



UO'K: 62 I. 38(075)  
K BK 32.85ya722

Ushbu darshda yarimo'tkazgichli asboblarning asosiy xossalari, yarimo'tkazgich diodlarning fizikaviy asoslari va ularning tavsiflari keltirilgan. Shuningdek, yarimo'tkazgichli rezistorlar, tranzistorlar va tiristorlar haqida ma'lumotlar berilgan va diodli, triodli, tetrodli va pentodli lampalar to'g'risidagi materiallar, fotodiodlar, fotorezistorlar, fototranzistorlar va fototiristorlar fizikaviy asoslari va tavsiflari to'g'risida ma'lumotlar hamda gibrid va yarimo'tkazgichli mikrosxemalar haqida materiallar keltirilgan.

Mazkur darshda texnika yo'nalishi bo'yicha ixtisoslashgan kasb-hunar kollejlari o'quvchilari uchun mo'ljallangan. Shuningdek, texnik yo'nalishdagi o'quv muassasalari o'quvchilari ham foydalanishlari mumkin.

Q-80 Elektronika element bazasi va mikroelektronika : kasb-hunar kollejlari uchun darshik / O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi, O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi markazi. – Toshkent: Noshir, 2013. 208 b.  
ISBN 978-9943-4197-7-3

Tag'rihchilar:  
N.Norqulov – O'ZMU "Fizikaviy elektronika" kafedrasida dotsent,  
Sh.Mavlonov – TD TU "Radioelektronika va kasbiy ta'lim" kafedrasida dotsent.

UO'K: 62 I. 38(075)  
K BK 32.85ya722

1. Elektronika sohasi qanday o'ziga xos xususiyatlarga ega?  
2. Elektronika va mikroelektronika sohasida qanday yutuqlarga erishilgan?  
3. "Elektronika element bazasi va mikroelektronika" fanining maqsadini va vazifasini tushuntiring.

## NAZORAT SAVOLLARI

"Elektronika element bazasi va mikroelektronika" fani bevosita quyidagi fanlar: fizika, kimyo, bioenergetika, radioelektronika va elektrotexnika bilan uzviy bog'langan.

asboblarning asosiy kattaliklari va tavsiflarini hisoblash, ular asosida zamonaviy yarim o'tkazgichli va mikroelektron asboblari qurilmalar yasash imkoniyatini beradi.

Barcha zamonaviy turli funksional imkoniyatli elektron asboblari, shu bilan birga mikro va nano elektron asboblari asosan qattiq jism asosida tayyorlanadi.

Qattiq jism o'ziga xos xususiyatlarga ega, bu esa ularni ilmfanning turli sohalarida ishlatilish imkonini beradi.

Kitobda yoritilgan va bayon qilingan har bir bo'limlar bo'yicha fizikaning mos fanlari mavjud: yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgich materiallar fizikasi, yarimo'tkazgich asboblari fizikasi, integral mikrosxemalar, mikroelektronika, yarimo'tkazgich tuzilmalar texnikasi va boshqalar.

Birinchi bob kirish va "Elektronika element bazasi va mikroelektronika" fanining qisqacha mazmunini yoritishga bag'ishlangan. Ikkinchi bob yarim o'tkazgichli asboblarning asosiy xossalari o'rganishga bag'ishlangan.

Bu yerda yarimo'tkazgichlarning asosiy xossalari, yarimo'tkazgich diodlarning fizika-viy asoslari va ularning tavsiflari keltirilgan. Shuningdek, yarimo'tkazgichli rezistorlar, tranzistorlar va tiristorlar haqida ma'lumotlar berilgan.

Uchinchi bob elektronli lampalarga bag'ishlangan. Bu yerda diodli, triodli, tetrodli va pentodli lampalar to'g'risidagi materiallar keltirilgan. To'rtinchi bob optoelektronika sohasiga bag'ishlangan.

Bu yerda fotodiodlar, fotorezistorlar, fototranzistorlar va fototiristorlarning fizikaviy asoslari va tavsiflari to'g'risida ma'lumotlar berilgan.

Beshinchi bob integral mikrosxemalarga bag'ishlangan. Bu yerda ular to'g'risida umumiy ma'lumotlar, gibrid va yarimo'tkazgichli mikrosxemalar haqida materiallar berilgan.

Ushbu kitob yarimo'tkazgichlar fizikasi, yarimo'tkazgich asboblari fizikasi, mikroelektronika va radioelektron asboblari sohasida bilim oladigan kasb-hunar kollejlari talaba o'quvchilariga mo'ljallangan.

## 1-BO'LIM. KIRISH. "ELEKTRONIKA ELEMENT BAZASI VA MIKROELEKTRONIKA" FANINING QISQACHA MAZMUNI

Elektronika va mikroelektronika XXI asrning eng yosh va juda tez rivojlanayotgan fani bo'lib, u inson faoliyatining barcha sohalariga kirib keldi. Ushbu fanning ma'nosini, shuningdek uning so'nggi yutuqlarini anglash uchun elektronikaning cheksiz imkoniyatlarini aniq tasavvur qilish, elektronikadagi fundamental va fizik tushunchalarni bilish va anglash lozim.

Bugun fan va texnikaning keyingi rivojlanishini, jamiyatning iqtisodiy o'sishini, shuningdek XXI asrda insoniyat oldida turgan ekologiya, energetikaning ulkan muammolarining yechishni elektron sanoati mahsulotlarini keng ishlab chiqarishga tatbiqisiz va ulardan foydalanishsiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Ayniqsa zamonaviy axborot texnologiyalari rivoji ancha chidamli, tez ishlovchi elektr sig'imli mikroelektron, nanoelektron asboblarni yaratish va ularni ishlatishni talab qiladi. Yarimo'tkazgichlar fizikasi o'zining strukturasi va tuzilishi (kristall, amorf yarimo'tkazgichlar), shuningdek agregat holati (qattiq, suyuq va gazsimon yarimo'tkazgichlar) bo'yicha keng qatordagi turlicha moddalarni o'rganuvchi fandır. Yarimo'tkazgichlar mikroelektronikasi va optoelektronikasi kabi zamonaviy texnologiyalar bilan bog'langan fan va texnikaning turli sohalarida yarimo'tkazgichlarning keng qo'llanilishi yarimo'tkazgichlar fizikasi, yarimo'tkazgich asboblari fizikasi, fizikaviy mikroelektronika kabi fizikaning qator turdosh mutaxassisliklari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar uchun ushbu fanning o'qitilish zaruratini shartlaydi.

Bugungi kunda fan va texnika sohasida eng tez taraqqiyot qilayotgan elektronikaning asosiy tashkil etuvchi fanlaridan bu yarimo'tkazgichli asboblari fizikasidir.

$$\begin{aligned} \text{Si} \quad n_1 &= 2 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3} \\ \text{Ge} \quad n_1 &= 2 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3} \\ \text{GaAs} \quad n_1 &= 10^8 \text{ sm}^{-3} \end{aligned}$$

konsentratsiyasi:

$T=300^\circ\text{K}$ , bo'lganda ba'zi yarimo'tkazgichlar uchun xususiy to'ldirilmagan valent bog'.

teng bo'lgan, o'zini musbat zaryad sifatida namoyon qiluvchi bo'lgan energiya ( $eV$ )Kovak – miqdor jihatidan elektron zaryadiga bog'langan valent elektronlarning erkin holatiga o'tishi uchun zarur  $E_g$  - yarimo'tkazgichning taqiblangan soha kengligi – bu zichligi.

$N^+$ -yarimo'tkazgich valent sohasida kovaklarning effektiv zichligi.

$N^+$ -yarimo'tkazgich o'tkazuvchanlik sohasida elektronlarning effektiv zichligi.

$1,381 \cdot 10^{-23}$  Jouling gradus Kelvinga [ $J/^\circ\text{K}$ ] nisbatiga teng. ya'ni universal gaz doimiyi va Avogadro soni orqali aniqlanib, u bo'lib, harorat va energiya o'tasidagi bog'lanishni aniqlaydi,  $k=0,86 \cdot 10^{-4} eV/^\circ\text{K}$  Boltsman doimiyi – bu fizik doimiy

$$(2.9) \quad n_i = p = u = d = (N^+ N^0)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

zaryad tashuvchilar konsentrat-siyasi quyidagiga teng:

tashuvchilarning konsentratsiyasi. Xususiy yarimo'tkazgichlarda siyasaiga teng. Bunda  $n_i$  – berilgan haroratda xususiy zaryad-ya'ni ularda elektronlar konsentratsiyasi kovaklar konsentrat-

$$(2.8) \quad u = p = n_i$$

Bunday yarimo'tkazgichlarda quyidagi shart bajarilishi kerak:

qiluvchi kirishma atomlariga ega bo'lmagan yarimo'tkazgich.

Xususiy yarimo'tkazgichlar – bu uning elektr xususiyatiga ta'sir

1. Xususiy yarimo'tkazgichlar. 2. Kirishmali yarimo'tkazgichlar.

Yarimo'tkazgichlar ikki guruhga bo'linadi:

ligining dinamik xususiyatlarini tavsiflovchi kattalik. Elektronlar-kattaligiga ega bo'lgan va elektron hamda kovaklar o'tkazuvchan- $m^*$ -zaryad tashuvchilarning effektiv massasi – bu massa yo'lining o'tacha vaqti;

zaryad tashuvchilarning ikki to'qnashuvi orasidagi erkin yugurish muvozanat holatiga qaytishi uchun kerak bo'lgan vaqt, yoki  $t$ -relaksatsiya vaqti – tashqi ta'sir tugagandan keyin tizim

$$e\text{-elektron zaryadi } e^b = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

bunda

(2.10)

$$n = \frac{m}{e} \left[ \frac{A \cdot s}{sm^2} \right]$$

tezligiga teng:

bo'lganda, harakatchanlik miqdor jihatidan zaryad tashuvchilarning birligi  $m^2/(V \cdot s)$  yoki  $sm^2/(V \cdot s)$ . Elektr maydon kuchlanganligi  $1 V/m$  maydon orasidagi proporsionallik ko'effitsienti. Harakatchanlik zaryad tashuvchilarning dreyf tezligi va qo'yilgan tashqi elektr harakatchanligi. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi –

**Yarimo'tkazgich materiallarda zaryad tashuvchilarning harakatchanligi.** boshqalar mos keladi.

Si Mendelyev davriy jadvalining 3 guruh elementlari B, Al, Ga va ta'minlash xossasiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlardir. Masalan,

zona oralig'ida joylashgan energetik sathlarga elektronlar bilan Akseptorli yarimo'tkazgichlar – bu valent zonadan taqiblangan boshqalar mos keladi.

Mendelyev davriy jadvalining 5 guruh elementlari P, As, Sb va siya ega bo'lgan yarimo'tkazgichlardir. Masalan, kremniyga Si

o'tkazuvchanlik zonani erkin elektronlar bilan ta'minlash xossa-joylashgan energetik sathlardagi bog'langan elektronlarni

Donorli yarimo'tkazgichlar – bu taqiblangan zona oralig'ida yarimo'tkazgich elektr xususiyatiga sezilarli darajada ta'sir qiladi.

arali darajada kirishma atomlari mavjudligi, ularning kiritilishi

Kirishmali yarimo'tkazgichlar – bu kristall hajmida yet-

quyi energetik sathlardan biriga o'tadi (energetik diagrammada valentlik zonasida kovaklar energiyasi pastga qarab ortadi). Elektr maydoni ta'sirida yarim o'tkazgichlarda vujudga keladigan elektronlarning dreyf toki zichligi Om qonuniga ko'ra quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$(2.13) \quad j_{nDR} = s_n E = qn m_n E,$$

bunda  $\sigma_n$ - $p$ -turdagi yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi,  $\mu_n$ -elektronlarning harakatchanligi, ya'ni elektronlarning birlik elektr maydoni ta'sirida oladigan o'tacha dreyf tezligi ( $v_{nDR} = \mu_n E$ ) ga teng bo'lgan fizik kattalik. Mos ravishda kovaklarning dreyf toki zichligi uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$(2.14) \quad j_{pDR} = \sigma_p E = qp \mu_p E$$

(2.13) va (2.14) ifodalarning o'ng qismi ishoralari bir xilda, chunki elektron va kovakning ishoralari har xil bo'lgani bilan ular elektr maydoni ta'sirida qarama-qarshi tomonga harakatlanadi.

Yarim o'tkazgichda elektron va kovaklar mavjud bo'lgan holda, undan oqadigan dreyf toki, elektron-kovak dreyf toklarining yig'indisi quyidagi ifodaga teng:

$$(2.15) \quad j_{DR} = j_{nDR} + j_{pDR} = q(n\mu_n + p\mu_p)E.$$

Yarim o'tkazgichdagi elektron va kovaklarning tabiatini gaz molekulari tabiatiga qiyos etish mumkin. Ana shu o'xshatishni, issiqlik muvozanati holatida, yarim o'tkazgich hajmida erkin zaryad tashuvchilarning notekis taqsimlangan holi uchun ham tatbiq etsa bo'ladi. Yarim o'tkazgichlar erkin zaryad tashuvchilar notekis taqsimlangan holda ularning diffuzion oqimi va shu oqim bilan bog'liq holda diffuzion tok vujudga keladi. Diffuziya hodisasining nazariy asosida FIK qonuni yotadi va bu qonunga asosan erkin zaryad tashuvchilar oqimining zichligi (birlik vaqt ichida konsentratsiya gradiyentiga tik yo'nalishdagi birlik yuzani kesib o'tuvchi tok tashuvchilar soni) shu zaryadlar konsentratsiyalari

ga kuchli bog'liq va eksponensial tarzda o'zgaradi.

Dielektrik – elektr tokini yomon o'tkazuvchi yoki umuman o'tkazmaydigan qattiq jism.

Dielektrikning asosiy xususiyati tashqi elektr maydonida qutblanish imkoniyatiga egaligidadir.

Yarimo'tkazgich materiallar – yarimo'tkazgich asboblarni yasash uchun asos bo'lgan, haroratning keng intervalida, jumladan xona sharoitida ( $\sim 300\text{K}$ ) yarimo'tkazgichlarning aniq ifodalangan xususiyatlariga ega bo'lgan moddalardan tashkil topgan. Dastlab biz qattiq jismga tegishli bo'lgan xossalar bilan tanishib chiqamiz.

Elektr o'tkazuvchanlik – bu jismning elektr maydon ta'siri ostida elektr tokini o'tkazish xususiyati, o'tkazgichlar doimo erkin zaryad tashuvchilarga ega (elektronlar, ionlar), ularning tartibli yo'naltirilgan harakati esa elektr tokidir.

Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik ( $\sigma$ ) – bu ko'ndalang kesimi  $1\text{ sm}^2$ , uzunligi  $1\text{ sm}$ . ga teng bo'lgan materialning elektr o'tkazuvchanligi va u  $\sigma$  harfi bilan belgilanadi hamda (Om·sm)-l'larda o'lchanadi. Solishtirma elektr qarshilik yoki sodda qilib aytganda moddaning solishtirma qarshiligi uning elektr tokini o'tkazish imkoniyatini tavsiflaydi. Solishtirma qarshilikning SI dagi o'lchov birligi - om·metr (Om·m); texnikada ko'p hollarda hosilaviy birligi qo'llaniladi:

Om·mm<sup>2</sup>/m, u  $1\text{ Om}\cdot\text{m}$  ning  $10^{-6}$  qismiga teng. Solishtirma qarshilik  $\rho$  harfi bilan belgilanadi.

Solishtirma qarshilikning fizik ma'nosi: uzunligi  $1\text{ m}$  va ko'ndalang kesim yuzi  $1\text{ sm}^2$  bo'lgan bir jinsli o'tkazgich bo'lagining qarshiligi, ya'ni solishtirma o'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan kattalik:

$$(2.1) \quad \rho = 1/\sigma \text{ [Om}\cdot\text{sm]}.$$

Solishtirma qarshiligi  $\rho$ , uzunligi  $l$  va ko'ndalang kesim yuzi  $S$  bo'lgan o'tkazgichning qarshiligi quyidagi formula orqali hisoblanishi mumkin:

Elektr maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilarning tartibli harakati tufayli vujudga keluvchi tok dreyni tok deb ataladi. Elektronlar maydon ta'sirida tezlanib, erkin yugurish yo'li ichida energiyasi taxminan  $10^{-8}$ ,  $10^{-4}$  eV ga ortadi. Bunda elektronlar yuqori energetik sathga o'tadi (tuxsat etilgan zonalarda qo'shni energetik sathlar orasidagi farq  $10^{22}$  eV ni tashkil etadi). Navbatdagi to'qnashuvda elektron maydon ta'sirida olgan qo'shimcha energiyani kristall panjaraga berib, qaytib o'tkazuvchanlik zonasidagi pastroq energiya sathiga o'tadi. O'z navbatida kovaklar maydon yo'nalishida bo'ylab tezlanib, qo'shimcha energiya oladi va valent zonasidagi

Elektron -kovakli o'tish hosil bo'lishining fizikaviy asoslari va ventilli xossalari

Yarimo'tkazgichli asboblarning ko'pchiligi bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichlardan tayyorlanadi. Xususiy holatda bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich bir sohasi  $p$ -turdagi, ikkinchi sohasi esa  $n$ -turdagi monokristallidan tashkil topadi. Bunday bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichning  $p$  va  $n$  - sohalarining ajralish chegarasida hajmiy zaryad gatilami hosil bo'ladi, bu sohalar chegarasida ichki elektr maydoni yuzaga keladi va bu gatilam elektron - kovak o'tish yoki  $p-n$  o'tish deb ataladi. Ko'p sonli yarimo'tkazgichli asboblarda integral mikrosoxmalarning ish-lash tamoyili  $p-n$  o'tish xossalari asoslangan.  $p-n$  o'tish hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun,  $n$ -sohadagi elektronlar va  $p$ -sohadagi kovaklar sonini teng deb olamiz. Bundan tashqari, har bir sohada uncha katta va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning miqdori mavjud. Xona haroratida  $p$ -turdagi yarimo'tkazgichda akseptor manfiy ionlarning konsentratsiyasi  $N_a$  kovaklar konsentratsiyasi  $p$  ga,  $n$ -turdagi yarimo'tkazgichda donor musbat ionlarning konsentratsiyasi  $N_d$  elektronlar konsentratsiyasi  $n$  ga teng bo'ladi. Demak,  $p$ - va  $n$ -sohalar o'rtasida elektronlar va kovaklar konsentratsiyasida sezilarli farq mavjudligi tufayli, bu sohalar birlashitirilganda elektronlarning  $p$ -sohaga, kovaklarning esa  $n$ -sohaga diffuziyasi boshlanadi.

### Elektron -kovakli o'tish hosil bo'lishining fizikaviy asoslari va ventilli xossalari

ning harakatchanligi quyidagiga teng:

$$\mu_n = \frac{e}{m_n^*} \tau, \left[ \frac{sm^2}{V \cdot s} \right]. \quad (2.11)$$

Kovaklarning harakatchanligi:

$$\mu_p = \frac{e}{m_p^*} \tau, \left[ \frac{sm^2}{V \cdot s} \right] \quad (2.12)$$

–relaksatsiya vaqti – zaryad tashuvchilarning kristall panjara nuqsonlari bilan bo'lgan o'zaro ta'sirini ko'rsatadi.

$m_n^*$  – elektronlarning effektiv massasi.

$m_p^*$  – kovaklarning effektiv massasi.

Kovaklarning harakatchanligi, elektronlarning harakatchanligidan sezilarli darajada kichik. Ba'zi yarimo'tkazgichlardagi elektron va kovaklarning harakatchanligi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Yarimo'tkazgichlar	Elektronlarning haraktchanligi, $sm^2/(V \cdot s)$	Kovaklarning harakatchanligi, $sm^2/(V \cdot s)$
Ge	3600-3900	1700-1900
Si	1200-1900	350-500
GaAs	2000-6800	200-680
InAs	20000-30000	100-240
InSb	65000-80000	700-4000

$$\sigma = en\mu_n + ep\mu_p \quad [Om \cdot sm]^{-1} \quad (2.4)$$

aniqlanadi:

Yarimo'tkazgichlarning to'liq o'tkazuvchanligi quyidagicha esa faqat elektronlar oqimi orqali tok yuzaga keladi.

Elektronlar va alohida kovaklar o'z hissasini qo'shadi, metallarda maydon berilganda yuzaga keladigan tok qiymatiga alohida ega bo'lgan kovaklar mavjud bo'ladi hamda ularga tashqi elektr manfiy zaryadga ega bo'lgan elektronlar va musbat zaryadga

Shuningdek, yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning sifati mavjudligidir.

keng intervalda solishtirma qarshilikni boshqarish imkoniyati orqali kirishma atomlarni kiritish va yoritish orqali yetarli yarimo'tkazgichlarning metallardan farqi – bu harorat o'zgarishi bo'lishidir.

ularning nuqsonsiz yoki kichik miqdordagi nuqsonlar soniga ega yarimo'tkazgich materiallarga qo'yiladigan asosiy talablar, bu yarimo'tkazgich mikroelektronikada foydalaniadigan  $A^2 B^6$  (CDS) tashkil topgan. Mikroelektronikada foydalaniadigan (Si) yoki yarimo'tkazgichli bitkimalardan Ge-Si,  $A^3 B^5$  (GaAs, InSb), foydalaniadi, ular o'z navbatida elementar yarimo'tkazgichlar (Ge, Mikroelektronikada asosan qattiq jismlar kristall strukturalaridan kimyoviy tarkibiga ko'ra: elementar, bitkimali, organik.

-fizikaviy xossalari bo'yicha: magnitli va segnetoelektrik;

-struktura bo'yicha: kristall va nokristall;

-agregat holati bo'yicha: qattiq va suyuq;

xususiyatlari bo'yicha tasniflash mumkin, masalan:

$sm^{-1}$  oralig'idagi joyni egallaydi. Yarimo'tkazgichlarni har xil dielektriklar solishtirma elektr o'tkazuvchanligi  $\sigma \geq 10^{12} Om^{-1}$  solishtirma elektr o'tkazuvchanligi  $10^4 < \sigma \leq 10^6 Om^{-1} sm^{-1}$  va yarimo'tkazuvchanligi  $10^3 < \sigma \leq 10^9 Om^{-1} sm^{-1}$  ga teng bo'lib, metallar Yarimo'tkazgichlarning 300 K haroratdagi solishtirma elektr

$$R = \frac{S}{\rho \cdot l} \quad [Om]. \quad (2.2)$$

bunda

$e$  – elektron zaryadi ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Kl);

$n$  – berilgan haroratda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi – bu  $1 sm^{-3}$  dagi elektronlar soni;

$p$  – berilgan haroratda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi – bu  $1 sm^{-3}$  dagi kovaklar soni;

$\mu_n, \mu_p$  – elektron va kovaklarning harakatchanligi;

$n \gg p$  bo'lganda, elektron o'tkazuvchanlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma = en\mu_n, \quad [Om \cdot sm]^{-1} \quad (2.5)$$

$n \gg p$  bo'lganda, kovakli o'tkazuvchanlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma = ep\mu_p, \quad [Om \cdot sm]^{-1}. \quad (2.6)$$

Kirishma atomlari bo'lmagan (yoki ularning konsentratsiyasi  $N < 10^{10} sm^{-3}$  kichik bo'lganda) yarimo'tkazgichlarda harorat oshishi bilan metallardan farqli ravishda o'tkazuvchanlik eksponensial qonun bo'yicha ortadi, ya'ni

$$\sigma \sim \sigma_0 e^{\frac{-\epsilon_A}{kT}}. \quad (2.7)$$

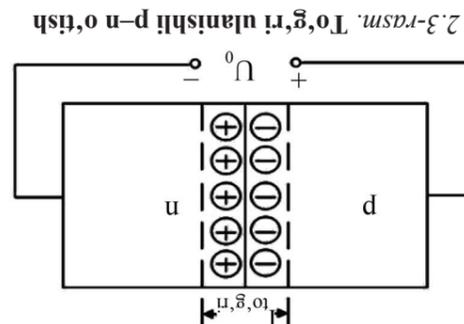
Bunda,  $\sigma_0$  – elektro'tkazuvchanlikning boshlang'ich qiymati,  $\epsilon_A$  – o'tkazuvchanlikning energiya aktivatsiyasi bo'lib, u elektronning atomlar bilan bog'lanish energiyasiga mos keladi – harorat oshishi bilan yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligining o'zgarish tezligini aniqlaydi va u yarimo'tkazgichning fundamental parametri bilan bog'langan.  $k$  – Boltsman doimiysi,  $T$  – harorat.

Yarimo'tkazgich solishtirma qarshiligining haroratga bunday bog'liqligi yetarli darajada keng bo'lgan sohada o'tkazuvchanlikni o'zgartirish imkonini beradi.

Deyarli barcha yarimo'tkazgich materiallar metall va dielektriklarda uchramaydigan yangi takrorlanmas xususiyatlarga ega.

$$I_{dif} = I_0 e^{-\frac{Lx}{U_0}} \quad (2.22)$$

Kuchlanish manbaining elektr maydoni kontakt maydon tomonga yo'nalgan bo'ladi, shu sababli  $p-n$  o'tishdagi natijaviy kamayishi potensial to'siq balandligini kuchlanish manbai qiy-matiga kamayishiga olib keladi:  $U^x = U_0$ . Bu vaqtda  $p-n$  o'tish kengligining ham kamayishini ko'rish qiyin emas. Potensial to'siq balandligining kamayishi shunga olib keladiki,  $p-n$  o'tish orqali harakatlanayotgan asosiy zaryad tashuvchilarning soni ham ortadi, ya'ni diffuziya toki ortadi. Har bir sohada ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yuzaga keladi –  $n$ -sohada kovaklar,  $p$ -sohada elektronlar. Bitur yarim o'tkazgich sohaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni siqib kiritish jarayoni *injeksiya* deb ataladi. Kuchlanish o'zgarishi bilan diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida yuz beradi:

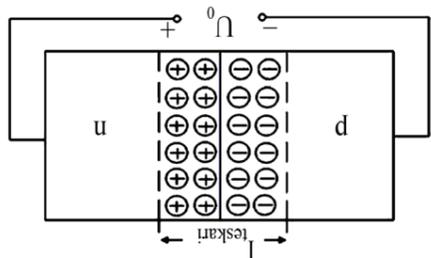


bo'lishi - to'g'ri o'tish deb ataladi. Elektron-kovak o'tishning to'g'ri ulanishi. Agar  $p-n$  o'tishga tashqi kuchlanish manbai  $U_0$  ulansa, u holda muvozanat sharti buziladi va tok oqib o'ta boshlaydi. Agar kuchlanish manbaining musbat qutbi  $p$ -turdagi sohaga, manfiy qutbi esa  $n$ -turdagi sohaga ulansa, bunday ulanish to'g'ri ulanish deb ataladi (2.3-rasm).

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U^x}{U_0}} \quad (2.24)$$

Kuchlanish manbaining elektr maydoni o'tishning kontakt maydoni yo'nalgan tomonga yo'nalgan. Shu sababli potensial to'siq balandligi ortadi va  $U^x = U_0$  ga teng bo'ladi. Teskari kuchlanish qiyimatining ortishi  $p-n$  o'tish kengligining yanada kengayishiga olib keladi. Amaliy hisoblarda quyidagi ifodadan foydalanish qulay:

2.4-rasm. Teskari ulanishli  $p-n$  o'tish.



Elektron-kovak o'tishning teskari ulanishi. Bu holda tashqi kuchlanish manbaining musbat qutbi  $n$ -sohaga ulanadi.

$$I_{o.g.} = I_0 - I_{dif} = I_0 \left( e^{\frac{Lx}{U_0}} - 1 \right) \quad (2.23)$$

bunda  $I_0$  – dreyf toki bo'lib, u  $p-n$  o'tishning teskari toki deb ataladi. To'g'ri kuchlanish berilganda potensial to'siq balandligiga teskari tok tasir ko'rsatmaydi, chunki bu tok faqat  $p-n$  o'tish orqali birlik vaqt ichida tartibsiz issiqlik harakati tu'yali olib o'tilayotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning soni bilan belgilanadi. Diffuziya va dreyf toklari bip-bitiga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, shu sababli  $p-n$  o'tish orqali o'tayotgan natijaviy (to'g'ri) tok (2.13) dan kelib chiqqan holda

xususiyati shundan iboratki, ularda elektr energiyasi issiqlikka aylanadi va bu issiqlik atrof-muhitga tarqaladi. Rezistorlar vazifasiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: yuqori chastotali, yuqori voltli, yuqori omli va maxsus.

Rezistorlar elektrsxemalarning ba'zi bir nuqtalaridagi kuchlanishni pasaytirish uchun, ya'ni kamaytiruvchi sifatida ishlatiladi. Ular reaktiv elementlar bilan birga har xil filtrlarni tashkil qiladi, kuchaytirgichlar sxemasida yuklama qarshiligini va boshqa vazifalarni bajarishi mumkin.

#### Yarimo'tkazgich rezistorlarning tasnifi va shartli belgilanishi.

Rezistor turlari	Shartli belgilanishi
Chiziqli rezistorlar	
Varistorlar	
Termorezistorlar: termistorlar, pozistorlar	
Tenzorezistorlar	
Fotorezistorlar	

Bu tasnifga mos kelgan yarimo'tkazgich rezistorlarning dastlabki ikkita guruhlari – chiziqli rezistorlar va varistorlar – tashqi omillarga kuchsiz bog'liq bo'lgan elektrik tavsiflarga egadir: atrof-muhit harorati, vibratsiyalar, namliklar, yoritilganlik va boshq.

gradiyentiga proporsionaldir:

$$F_m = -D_m \text{ grad } m, \quad (2.16)$$

bunda  $D_m$  – diffuziya koeffitsienti deb yuritilib, u zaryadlar oqimi zichligini, konsentratsiyalari gradiyentiga nisbatining absolut qiymatiga tengdir. (2.16) ifodaning o'ng tomonidagi minus ishora diffuzion oqim konsentratsiya gradiyenti vektori yo'nalishiga (konsentratsiya gradiyenti vektorining yo'nalishi konsentratsiyaning ortish yo'nalishiga mosdir) teskari yo'nalganligidan kelib chiqadi.

Yarimo'tkazgichlarda elektron va kovaklarning, ya'ni zaryadlangan zarralarning diffuzion jarayonini ko'rib chiqamiz. Zaryadlangan zarralarning har qanday tartibli harakati elektr tokini vujudga keltirishini hisobga olib, diffuzion tok zichligining elektron tashkil qiluvchisini (2.16) ifodani o'ng tomoni elektronning elementar zaryadi  $q$  ga ko'paytirib chiqarish mumkin. Elektronlar o'z konsentratsiyalari gradiyenti vektoriga teskari yo'nalgan bo'lib manfiy zaryadga ega. Shu sababli elektronlarning diffuziya toki, ularning gradiyentlari vektori yo'nalishiga mos bo'ladi, ya'ni

$$I_{n \text{ DIF}} = qD_n \text{ grad } n \quad (2.17)$$

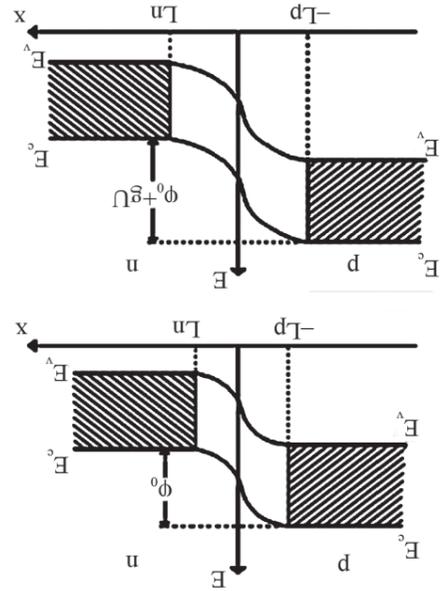
mos ravishda diffuzion tok zichligining kovak tashkil qiluvchisini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$J_{p \text{ DIF}} = qD_p \text{ grad } p. \quad (2.18)$$

Kovaklar zaryadi musbat shu sababli kovaklar diffuziya toki zichligining yo'nalishi, ularning diffuziya yo'nalishiga mosdir, ya'ni kovaklarning konsentratsiya gradiyenti vektoriga teskari bo'lmog'i, ya'ni (2.16) ifodaning o'ng tomonida manfiy ishora saqlanishi kerak. (2.17) va (2.18) ifodalardagi  $D_n$  va  $D_p$  – mos ravishda elektron va kovaklarning diffuziya koeffitsientidir.

Yarim o'tkazgichli materiallarda zaryadlarning dreyf va diffuzion harakatlari kattaliklari o'zaro Eynshteyn munosabati bilan bog'langandir:

2.1-rasm. p-n o'tishning energetik diagrammasi



Bu munosabatlar faqat aynimagan yarim o'tkazgichlarda muvozanat holatida o'rnatilgan. Muvozanat zaryad tashuvchilarning diffuziya qilinish jarayoni bilan bir vaqtning o'zida ularning rekombinatsiya jarayoni ham kechadi. Shu sababli zaryadlarning qo'shimcha konsentratsiyasi, shu qo'shimcha konsentratsiya man-baidan yitirilgan sari kamayib boradi. Elektr maydoni mavjud bo'lmagan holda, bu yo'nalish bo'yicha diffuziya qilinao'tgan zaryadlarning qo'shimcha konsentratsiyasi rekombinatsiya tufayli e-marta kamayish uzunligiga diffuzion uzunlik deb ataladi.

$$D_p = \frac{b}{KT} \mu_p \quad (2.20)$$

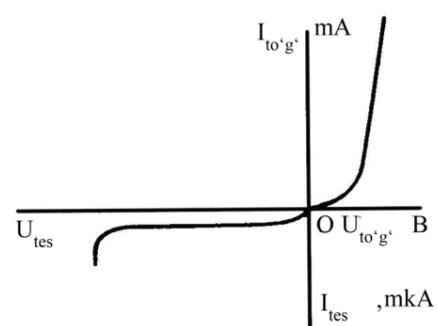
$$D_n = \frac{b}{KT} \mu_n \quad (2.19)$$

Boshqacha aytganda, diffuzion uzunlik zaryadlarning yashash vaqti davomidagi diffuziyalanish natijasida ko'chish masofasidir. Zaryadlarning diffuzion uzunligi, ularning yashash vaqti bilan quyidagi munosabatda bog'langandir:

$$L_n = \sqrt{D_n \cdot \tau_n} \quad (2.21)$$

2.1-rasmda p-n o'tishning tashqi maydon bo'lmagan va U teskari kuchlanish berilgan hollardagi energetik zonalar diagrammalari keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, teskari kuchlanish ortishi bilan potensial to'siq balandligi va hajmiy zaryad qatlami kengligi ortadi. p va n sohalaridagi hajmiy zaryad kattaligini n va p sohalarining Ln va Lp qatlamlari kengligi va n elektronlar hamda p kovaklar konsentratsiyalari orqali ifodalash mumkin.

**p-n o'tishning volt-ampere tavsifi.** p-n o'tishning volt-ampere tavsifinomasi (VAT) - to'g'ri tokning to'g'ri kuchlanishga va teskari tokning teskari kuchlanishga bog'liqligi tushuniladi (2.2-rasm). Bu tavsif ikkita shahobchaga ega: grafikning birinchi choragida to'g'ri va uchinchi choragida teskari.



2.2-rasm. p-n o'tishning volt-ampere tavsifi.

p-n o'tishning bitta yo'nalishda boshqa yo'nalishga nisbatan elektr tokini ko'p o'tkazish xossasi bitta yo'nalishli o'tkazuvchanlik deb ataladi. Elektron-kovakli o'tishning elektr qarshiligi tokning bitta yo'nalishida boshqasiga nisbatan bir necha tartibda katta

**Rezistor** - elektron qurilmalarning muhim detalidan biri hisoblanadi va ularning deyarli hammasida ishlatiladi. Rezistorlar elektr energiyasini sxema elementlari orasida qayta taqsimlash va nazorat qilish uchun mo'ljallangan. Rezistorlarning ishlatish tamoyili radionamateriallarning ular orqali o'tayotgan elektr tokiga qarshilik ko'rsatish xossasiga asoslangan. Rezistorlarning

## 2.2. Yarimo'tkazgichli rezistorlar

Tajribada ko'proq nosimmetrik p-n o'tishlardan foydalaniladi. Ular quyidagi shartlardan biri bajariladi.  $Nn \gg Pp$  yoki  $Pp \gg Nn$ . Qachonki akseptorlar konsentratsiyasi donorlar konsentratsiyasiga teng bo'lsa - simmetrik o'tish bo'ladi. Nosimmetrik o'tishda  $Na > Nd$  yoki  $Nd > Na$  munosabatlar o'rinni bo'ladi, boshqacha aytganda, ikkita qo'shni sohalarining legirlash darajasi bir-biridan farq qiladi. Yarimo'tkazgichli asbob yaratilayotgan vaqtda albatta nosimmetrik o'tishlardan foydalaniladi.

O'tish chegarasida konsentratsiya sakrab o'zgaradigan o'tishlar zinaoyali o'tishlar deb ataladi. Tajribada albatta ma'lum bir taxminni inobatga olgan holda, zinaoyali va ohista o'tishlar ham mavjuddir. O'tishni hosil qiluvchi qo'shni sohalaridagi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi orasidagi munosabatga qarab simmetrik va nosimmetrik p-n o'tishlar mavjuddir. Simmetrik, p-n o'tishda qo'shni sohalaridagi asosiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi o'zaro tengdir.  $Nn = Pp$ .

$$L_D = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0 U_K}{q N}} \quad (2.28)$$

bunda: N - kiritishma konsentratsiyasi,  $L_D$  - «Debyay uzunligi» esa elektr maydon qat'iq jism ichiga kirib borish chuqurligini ifodalaydi:

$$\frac{p}{N} L_D \gg N; \quad (2.27)$$

bunda

$$l_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0 U_K}{q} \left( \frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$$

tashqi maydon ta'sir etmagandagi p-n kengligi,  $\epsilon$ -yarim o'tkazgich nisbiy dielektrik doimiysi,  $\epsilon_0$ -elektr doimiysi. Potensial to'siqning ortishi diffuziya tokining kamayishiga olib keladi. Diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida ro'y beradi:

$$I_{dif} = I_0 e^{-\frac{qU_0}{k''}} \quad (2.25)$$

Dreyf toki potensial to'siq balandligiga bog'liq emasligi va  $I_0$  ga teng bo'lganligi sababli p-n o'tishdan o'tayotgan natijaviy tok

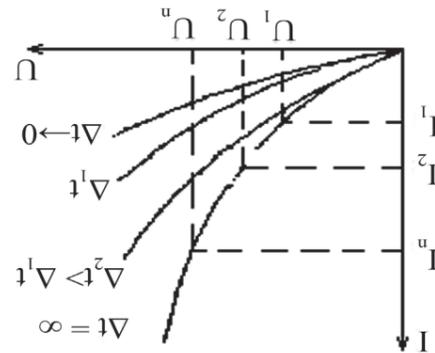
$$I_{tesk} = I_0 e^{-\frac{qU_0}{kT}}, \quad I_0 = I_0 \left( e^{-\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) \quad (2.26)$$

Teskari ulashda kontaktlashuvchi yarimo'tkazgichlardan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar chiqarib olinadi (ekstraksiya). Shu sababli teskari tok ekstraksiya toki deb ataladi.

**Elektron-kovak o'tish turlari.** Dastlab shuni eslatib o'tishimiz kerakki, ikki xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgichli materiallarni to'g'ridan to'g'ri bir-biri bilan tutashtirib p-n o'tish olib bo'lmaydi, chunki bunday tutashtirilganda, ikki qatlam orasida albatta havo qatlami mavjud bo'lib, qatlamlarni o'zaro ajratib qo'yadi. Aslida p-n o'tish ikki xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgichli materiallar o'zaro uzviy tutashtirilgandagina yuzaga keladi. Uzviy tutashtirish texnologik jihatdan bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan sohani yuzaga keltirish usuli bilan amalga oshiriladi. Bunda qotishtirish, diffuziya, ionli legirlash va boshqa usullardan foydalaniladi, o'tish oralig'ining kengligiga qarab keskin hamda ohista p-n o'tishlar mavjuddir. Odatda, o'tish keskinligi tushunchasi quyidagicha aniqlanadi. Agar o'tish chegarasida kirishma konsentratsiyasining o'zgarish gradiyenti quyidagi shartni qondirsa, bunday o'tishni keskin o'tish deb ataladi:

Impulsning davomiyligi  $\Delta t \rightarrow 0$  bo'lganda termorezistor qizishga ulgurmaydi va uning qarshiligi kuchlanish oshishi bilan amalda o'zgarib qolmaydi. Davomiylik  $\Delta t > 0$  bo'lganda termorezistor qiziydi va uning VATi keskin darajada noxiziqli bo'ladi. Impuls davomiyligi qancha katta bo'lsa, kuchlanish-ning bita va aynan shu qiymatida tok katta bo'ladi. Statik VAT  $\Delta t \rightarrow \infty$  ga mos keladi. Termorezistorlar (termistorlar va pozistorlar) tranzistorli kuchaytirgichlar rejimlarining haroratini stabilizatsiya uchun, shuningdek har xil qurilmalarda haroratni o'lchash, nazorat qilish va avtomatik boshqarish uchun ishlatiladi.

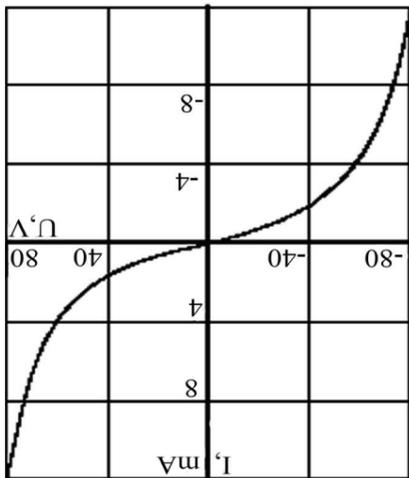
## 2.7-rasm Termorezistorlarning dinamik VATlari.



Termorezistorlarning statik va dinamik volt-ampere tavsiflari mavjud. Statik VATni olishda kuchlanishning har bir qiymatida termorezistorni uzok muddat ushlab turishdan keyin tok qiymati aniqlanadi. Dinamik VAT esa har xil kattalikdagi, lekin bir xil davomiylidagi kuchlanish impulsini ta'siriga termorezistorning reaksiyasini ko'rsatadi. Termorezistor bita statik va dinamik VATlarining o'lasiga ega bo'lib, u kuchlanish impulsini  $\Delta t$  ning bir nechta aniqlangan davomiyligiga mos keladi. Termorezistor VATi noxiziqli bo'ladi. Termorezistorlarning dinamik VATlari 2.7-rasmga ko'rsatilgan.

Vartistorlarni keramik texnologiya usuli yordamida, ya'ni kunksimon ko'rinishdagi kremniy karbidni SiC asosidagi qotishmani yuqori haroratda kuydirish orqali tayyorlanadi hamda bog'lovchi modda sifatida tuproqdan foydalaniladi. Tashqi varistorlar sterjen yoki disklar shaklida bo'ladi. Vartistorlarning VATini noxiziqli qilib karbid kremniy kristallari orasidagi nuqtaviy kontaktlarda yuz beradigan hodisalar: ya'ni, kuchli elektr maydonlarda sirt potensial to'siqlarini o'tkazuvchanligining oshishi (kichik kuchlanishlarda), shuningdek kontaktlarda ajralib chiqayotgan quvvatlar tufayli qizish-ga olib kelishi natijasida kristallar orasidagi nuqtaviy kontaktlar o'tkazuvchanligi oshishi bilan tushuntiriladi.

## 2.8-rasm Vartistorning volt ampere tavsifnomasi.



Vartistorning ishlash tamoyili, volt-ampere tavsifi. Vartistor-tavsifga egadir (2.8-rasm). bu yarimo'tkazgich rezistori bo'lib, uning qarshiligi berilgan kuchlanishga bog'liq bo'ladi va noxiziqli simmetrik volt-ampere tavsifga egadir (2.8-rasm).

- D – To'g'rilagich
- I–Tunelli diod
- S – Stabiltron
- V–Varikap
- A – Yorug'lik yoki fotodiod.
- Uchinchi son - diodning xususiyatini aniqlaydi.
- To'g'rilagich diodlarda 1-kam quvvatli  $I_{to'g'} = 0,3 \text{ A}$
- 2- o'rta quvvat  $I_{to'g'} < \text{A}$
- 3- universal. Ish chastotasi =  $10^3 \text{ mHz}$ .
- Tunelli diodlarda:
- 1-kuchaytirgichli, 2-generatorli.
- Yuqori chastotali diodlar:
- 1–aralastirgichli, 2–detektorli, 3–generatorli.
- Stabiltronlarda uchinchi element quvvatini bildiradi.
- 4, 5 son- diodlarning ishlab chiqarish tartibini bildiradi (01-99 gacha)
- 6 element – diodning turlarini aniqlaydi A,B,C.....

## To'g'rilagich diodlar, stabiltronlar, varikaplar, tunelli diodlar, impulsli diodlarning statik volt-ampere tavsiflari va parametrlari

**To'g'rilagich diodlar** o'zgaruvchan tokni o'zgarmas toka aylantirishga xizmat qiladi. Hozirgi vaqtda turli mamlakatlar sanoati 1700 A tok va 2000 V gacha bo'lgan kuchlanishga mo'ljallangan to'g'rilagich diodlarni ishlab chiqarmoqda.

2.10-rasmga KD103A turdagi to'g'rilagichning  $20^\circ\text{C}$  dan  $120^\circ\text{C}$  gacha harorat oralig'ida olingan volt-ampere tavsifnomasi keltirilgan.

Grafikdagi volt-ampere tavsifnomalaridan ko'rinadiki, harorat ortishi bilan diod orqali o'tayotgan tok ortadi.

Yarimo'tkazgichli diodning differensial parametrlari deb, diod orqali o'tadigan tok kichik o'zgarishlarini ularni hosil qiluvchi kichik sabablarga bog'liqligini aniqlovchi kattaliklariga aytiladi.

Yarimo'tkazgich rezistorlarning qolgan guruhlari uchun, aksincha, ularning elektr tavsiflari tashqi omillarga kuchli bog'liq bo'ladi. Bunda termorezistorlarning tavsiflari haroratga juda bog'liq bo'ladi.

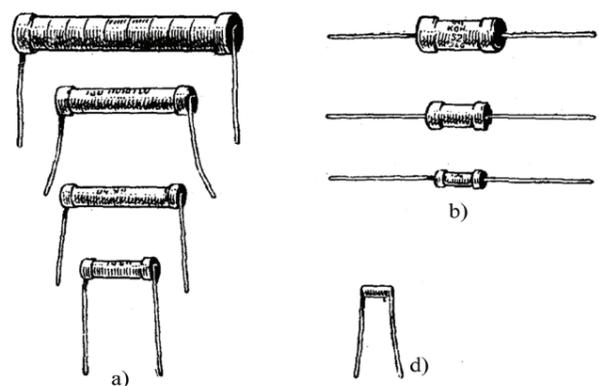
Rezistorning nominal miqdori uning ustida ko'rsatilgan bo'ladi. Miqdori 999 Om gacha bo'lgan qarshilik Om (om,  $\Omega$ ) bilan, 1000 dan 99 000 Om gacha–kiloOm (kom,  $k\Omega$ ) bilan, 100 000 Om va undan oshig'i – megaOm (MOM,  $M\Omega$ ) bilan ifodalanadi.

Nominal miqdordan yo'l qo'yilgan og'ish miqdori rezistorning ustida ko'rsatiladi va aniqlik sinfiga bog'liq bo'ladi. Ko'p rezistorlar uchun aniqlik sinfiga ega:

- 1-sinf, nominal miqdordan og'ish  $\pm 5\%$ ;
- 2-sinf, nominal miqdordan og'ish  $\pm 10\%$ ;
- 3-sinf, nominal miqdordan og'ish  $\pm 20\%$ .

Nominal tarqalish quvvati rezistorlarda ajraladigan quvvat bo'lib, bunda rezistor yo'l qo'yilgan miqdorda qiziydi.

Bu quvvatning miqdori rezistor ustida ko'rsatilgan nominal tarqalish quvvatidan oshmasligi kerak. Har xil turdagi rezistorlarning tashqi ko'rinishi 2.5-a,b,d rasmga ko'rsatilgan.



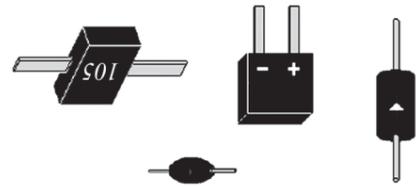
2.5-rasm. Rezistorlarning tashqi ko'rinishi:

- a – yuqori stabilli;
- b– metallangan, loklangan va issiqqa chidamli;
- d – uglerodli, oklangan, kichik gabaritli (o'lchamli) turidagi.

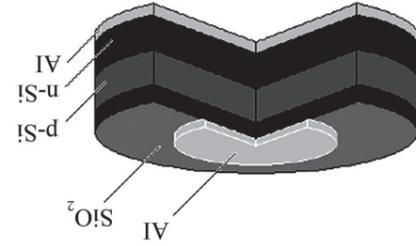




2.12-rasm. Kam quvvatli to'g'riagich diodlarning tashqi ko'rinishi.



2.11-rasm. To'g'riagich diodning eng soddada tuzilmasi.



Diod turi	It, A	Ut, V	I tes, mA	Utes, V	fmax, kHz
QD105V	0,3	1	0,1	400	0,5
QD209I	0,7	1	0,05	100	1
QD229I	0,7	1	0,05	200	1
QD212A	1	1	0,05	200	100
QD226D	1,7	1,4	0,05	800	35
QD202Q	5	0,9	0,8	400	5
QD202P	5	1	1,5	600	5
D242	10	1,25	3	100	1,1
D246A	10	1	3	400	1,1
QD2999V	20	1	0,2	100	100
QD2997V	30	1	0,3	100	100

2-jadval

ko'rsatadi. amper tavsifi qiyaligini trohlaydi, ya'ni stabilizatsiya darajasini  $R_p$ -differentsial qarshilik teshilish sohasida stabilizatsiya volt-kuchlanishini aniqlash usuli 2.17-rasmida ko'rsatilgan.

Nominal, maksimal va minimal tokni, shuningdek stabilizatsiya maksimal ruxsat etilgan stabilizatsiya toki.

bunda  $I_{min}$ -teshilish turg'un bo'lgan holdagi eng kichik tok,  $I_{max}$ -kattaligi mumkin bo'lgan quvvat sochilishi orqali aniqlanuvchi tok,  $I_{sm} = \frac{I_{max} - I_{min}}{2}$  (2.31)

bunda  $\mu_n$  va  $\mu_p$  lar mos ravishda elektronlar va kovaklarning harakatchanligi;  $E$ -elektr maydon kuchlaniganligi:

$$u = \frac{e n^2 E}{j_n^2}; \quad d = \frac{e n^2 E}{j_p^2}$$

orqali  $I_s$  vaqt ichida  $n$  ta elektron va  $p$  ta kovak o'tadi: qatlamidagi qatlamni ajratib olamiz. Bu qatlamning birlik yuzasi Bu toklarni hisoblaymiz.  $p-n$  o'tishning  $n$  sohasida  $dx$  bo'lganda o'tish orqali  $j_n$ -elektron va  $j_p$  kovaklar toki oqib o'tadi. ya'ni  $p-n$  o'tishda elektron va kovak juftlari generatsiyasi sodir Berkittuvchi kuchlanishning yetarlicha katta  $p \gg n$  qiyamatlarida, teng deb hisoblash mumkin.

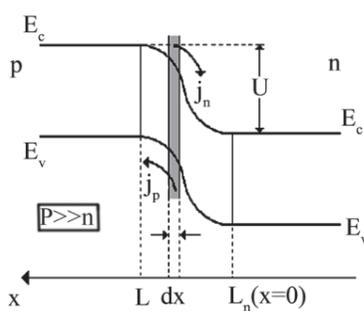
$j_n$ -elektronlar tokini esa  $x = L$  uchun  $p$  soha chegarasiga noiga bunda

$$j_n^p(0) = j_s^p;$$

va issiqlik generatsiyasi faqat shu sohada sodir bo'ladi, ya'ni  $x = 0$  bo'lganda  $n$  soha chegarasidagi kovaklar toki,  $n$  sohaga elektronlar toki kelayotgan kovaklar to'yinish toki  $j_s^p$  ga teng bo'ladi.

issiqlik miqdoridan katta bo'lsa, o'tish harorati orta boshlaydi. Haroratning ortishi issiqlik generatsiyasi tezligining ortishiga va ruxsat etilgan zonalarda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining oshishiga va buning natijasida teskari tokning ortishiga olib keladi. Bu jarayon issiqlik teshilishini yuzaga keltiradi. O'z navbatida  $p-n$  o'tish harorati va teskari tok kattaligi o'rtasidagi aloqadorlik sababli, issiqlik teshilishi sharoitida diodning volt-amper tavsifi nomasi manfiy differensial qarshilik qismiga ega bo'ladi (2.13-rasmdagi 2-qism). Bu qismda tok ortishi bilan potensial tushuvi kamayadi. Shuni ta'kidlash lozimki,  $p-n$  o'tishlarda teskari toklar yetarlicha kichik va odatda, o'z-o'zidan issiqlik teshilishi sodir bo'lmaydi, qoidaga muvofiq teshilish ko'chki yoki tunnel teshilishi natijasidir.

Ko'chki va tunnel teshilishdan farqli ravishda issiqlik teshilishi yarimo'tkazgich tuzilishida qaytmas o'zgarishlarga olib keladi va  $p-n$  o'tish buzilishi mumkin. Yarimo'tkazgich materiali va teshilish kuchlanishi orasidagi analitik bog'lanishni qarab chiqamiz. Buning uchun teshilishga mos keluvchi teskari kuchlanish qo'yilgan  $p-n$  o'tishning energetik zonal diagrammasini qarab chiqamiz (2.16-rasm).



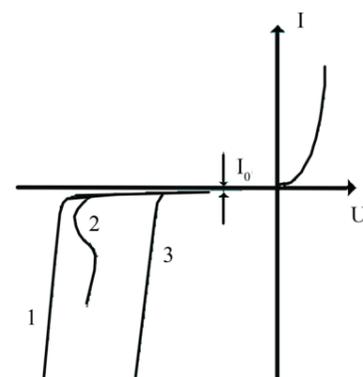
2.16-rasm. Teskari kuchlanish qo'yilganda simmetrik bo'lmagan p-n o'tishning energetik diagrammasi.

Bunda  $x$  soha hajmiy zaryad chegarasidan boshlab hisoblanadi. Shart bajarilganda, hajmiy zaryad faqat  $n$  sohada tarqaladi

**Stabilitronlar.** Volt-amper tavsinosasifida kuchlanishning o'tayotgan tok kattaligiga kuchsiz bog'langan qismi mavjud bo'lgan yarimo'tkazgichli diodlar-stabilitronlar deb ataladi. Tavsinoafning bunday qismlari mavjud bo'lganda, diodga qo'yilgan kuchlanish diod orqali o'tayotgan tokning yetarlicha katta o'zgarishlarida ham doimiy saqlanadi. Odatda  $U(I)$  bog'lanish kuchsiz bo'lgan sohalar, diodga yetarlicha katta teskari kuchlanish qo'yilgan sohalarida kuzatiladi.

Bunday qismlarning paydo bo'lishiga sabab,  $p-n$  o'tishdagi teshilishning uchta asosiy mexanizmi mavjud. Teskari kuchlanishni ma'lum bir qiymatgacha oshirish elektron-kovakli o'tishning teshilishiga olib keladi, uni  $U_{tec.tesh}$  - teshilish kuchlanishi deb ataladi, ya'ni teskari qarshilikning keskin kamayishi va mos ravishda teskari tokning ortib ketishi yuz beradi.

Bular ko'chkisimon, issiqlik va tunnel teshilishlaridir. 2.13-rasmida VATning teskari shohida teshilishning mos qismlari keltirilgan.



2.13-rasm. Mos teshilish sohalari ko'rsatilgan diodning volt-amper tavsifi: 1-qism-ko'chki, 2-qism-issiqlik va 3-qism tunnel teshilishga mos keladi.  $I_0$ -kichik teskari kuchlanish qiymatlarida diodning teskari toki.



to'g'ri siljitiilgan dioddagi potensial tushuvi orqali kompensatsiya yanada keng foydalanilgan. Kompensatsiya bunday usuli D818 turidagi stabilitronlarda keng foydalanilgan.

Bunday tipdagi stabilitronlarda teskari siljitiilgan asosiy diod bilan ketma-ket  $p-n$  o'tishi kompensatsiyalaydigan ikkita to'g'ri siljitiilgan diodlar ulangan.

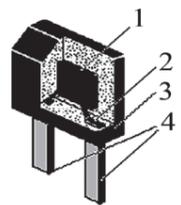
Ruxsat etilgan sochilish quvvatini oshirish va stabilitronning issiqlik ish rejimini yaxshilash uchun  $p-n$  o'tishi yarimo'tkazgich kristall metall asosi moslamaga joylashtiriladi, bunda metall asosli moslama radiatop-issiqlik tarqatuvchi vazifasini bajaradi.

Bunday asoslar aluminiy yoki misdan tayyorlanadi, ya'ni solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligi katta bo'lgan metallar ishlatiladi. Asosning issiqlik qarshiligi shunday tanlab olinadiki, bunda yarimo'tkazgich kristall diodga va dioddan atrof-muhitga eng katta miqdordagi issiqlik o'tkazish ta'minlanadi. Atrof-muhitning ixtiyoriy mumkin bo'lgan haroratida, diodning  $p-n$  o'tishi harorati, stabilitronning bu tuzilishi uchun ruxsat etilgan maksimal harorat qiymatidan oshmasligi kerak.

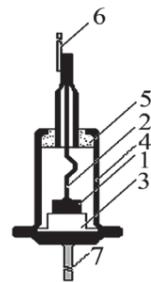
O'rta va yuqori quvvatda ishlaydigan stabilitronlar ish jaylarida go'shimcha issiqlik tarqatuvchi radiatop-sovuqkiciklar o'tnatiladi. 2.19-rasmda metall qobiqda tayyorlangan kamquvvatli stabilitron tuzilishi ko'rsatilgan.

Bunda  $1-p-n$  o'tishga ega bo'lgan kristall (dastlabki yarimo'tkazgich material sifatida aluminiyli akseptor kirish-mali, solishtirma qarshiligi  $0,025-0,12 \text{ Om bo'lgan } n$ -turidagi o'tkazuvchanlikka ega kremniy plastinikasi xizmat qiladi), 2-ichki chiqish, 3-issiqlik tarqatuvchi metall asos, 4-issiqlikdan va tashqi ta'sirdan himoya qiluvchi qobiq, 5-shisha izolyator, 6-7-tashqi chiqish.

Boshqa tipdagi stabilitronlar ham xuddi shunday tuzilishga ega. Keyingi yillarda stabilitronlar tayyorlashda tashqi ta'sirdan himoya qilish maqsadida oksid, shisha va plastmassalardan keng foydalanilmoqda.



2.20-rasm. Plastmassa qobiq yordamida himoyalangan stabilitron konstruktsiyasi.



2.19-rasm. Metall qobiq yordamida himoyalangan stabilitron konstruktsiyasi.

2.20-rasmda plastmassali himoya qobig'iga ega bo'lgan stabilitron tuzilishi ko'rsatilgan: bunda  $1-p-n$  o'tishga ega bo'lgan kristall, 2-ichki chiqish, 3-plastmassa qobiq, 4-tashqi chiqish. Aksariyat kremniyli stabilitronlarning chegaraviy ishchi harorati  $+120^{\circ}\text{C}$  ni tashkil qiladi. Ishchi harorat oralig'i  $-50^{\circ}\text{C}$  dan  $+100^{\circ}\text{C}$  gacha hisoblanadi. Keng zonali yarimo'tkazgichlar (GaP, GaAs) asosida tayyorlangan stabilitronlar  $+300^{\circ}\text{C}$  haroratgacha ishlashi mumkin. 3-jadvalda eng ko'p uchraydigan, germaniy va kremniy kristallari asosida tayyorlangan, kam quvvatli stabilitronlarning asosiy tavsiflari keltirilgan.

3-jadval

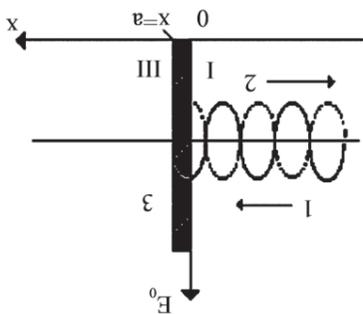
Stabilitron tipi	Ust, V	$I_{\max}$ mA	$I_{\min}$ mA	Rd, Om	KTK %grad	$P_{\max}$ mW
D808	7-8,5	33	1	6	+0,07	280
D811	10-12	23	2	15	+0,06	280
D813	11,5-14	20	1	18	+0,1	280
D814A	7-8,5	40	2	6	+0,07	340

Agarda  $p-n$  o'tishga tashqi elektr maydoni qo'yilgan bo'lsa, u holda elektronning valent zonasida energiya o'tkazuvchanlik zonasidagi energiya o'tkazuvchanlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga ko'rib turibdi, ham  $p$ , ham  $n$  sohada Fermi sathi ruxsat etilgan energiya zonasida 2.26-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, ham  $p$ , ham  $n$  sohada Fermi sathi ruxsat etilgan energiya zonasida 2.26-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, ham  $p$ , ham  $n$  sohada Fermi sathi ruxsat etilgan energiya zonasida 2.26-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, ham  $p$ , ham  $n$  sohada Fermi sathi ruxsat etilgan energiya zonasida 2.26-rasmda keltirilgan.

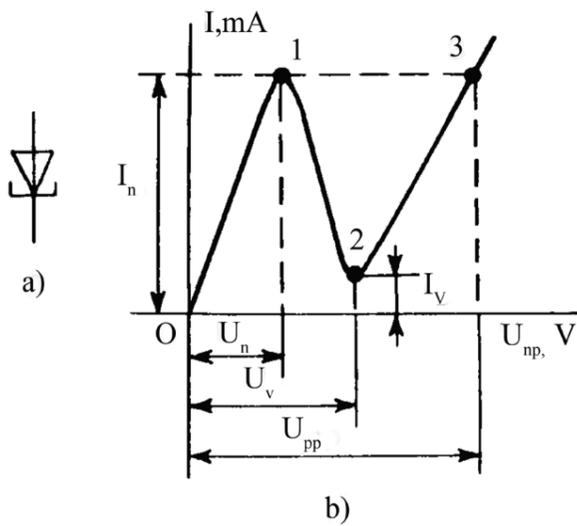
Shu sababli, Fermi sathi ham  $p$ , ham  $n$  sohalarida ruxsat etilgan energiya zonasida joylashadi, ya'ni yarimo'tkazgich ayni-yanan energiya zonasida joylashadi, ya'ni yarimo'tkazgich ayni-yanan energiya zonasida joylashadi, ya'ni yarimo'tkazgich ayni-yanan energiya zonasida joylashadi.

Ham  $p$ , ham  $n$  sohalarida bunday konsentratsiya kirishmalarining mavjud bo'lishi kirishma sathlarining parchalanishiga va kirishma energiya zonasining paydo bo'lishiga olib keladi.

2.25-rasm. Zarrachaning potensial to'siq orqali tunnel o'tishi.



undani o'tadi 3 ( $x > a$ ). Elektronning energiya  $E$  potensial to'siq balandligidan kam. Elektron  $x$  o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha harakatlanayotgan bo'lsin (2.25-rasm). Elektronning musbat yo'nalishdagi harakatiga mos keluvchi De-Broyl to'lqini (1), qisman potensial to'siq (2) dan qaytadi, qisman



2.24-rasm. Shartli grafik belgilanishi(a), tunneli diodning volt-ampere tavsifi (b).

Boshqa turdagi diodlardan tunnel diodlarning afzalligi shundan iboratki, ishchi chastotasi juda yuqori ( $10^{11} \text{ Hz}$ ). Diodlarning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishi oniy tezlikda bo'ladi  $10^{-9} \cdot 10^{-8} \text{ s}$ .

Tunnel diodlarning asosiy parametrlari:

$I_{\max}$  - maksimal to'g'ri tok;

$I_{\min}$  - minimal tok;

$U_{I_{\max}}$  - maksimal tokdagi kuchlanish;

$U_{I_{\min}}$  - minimal tokdagi kuchlanish;

$C_g$  - diodning sig'imi.

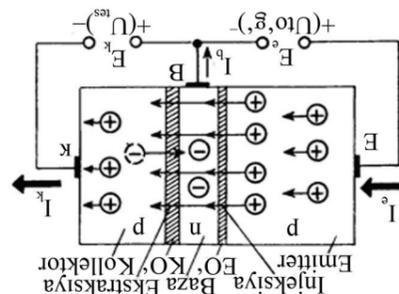
Ishning turiga qarab diodlar: kuchaytirgichli, generatorli va kalit sifatida ishlatilishi mumkin. Ko'p turdagi yarimo'tkazgichli asboblarda tunnel effektiga asoslanib ishlaydigan qurilmalar alohida o'rin tutadi. «Tunnel effekti» tushunchasi elektronlarning potensial to'siqdan energiya yo'qotmasdan sizib o'tishini anglatadi.

To'g'ri burchakli potentsil to'siq orqali elektronning o'tish ehtimoligini qarab chiqamiz. Faraz qilaylik, elektronning

qaliniigi juda kichik bo'lganligi sababli diffuziya jarayonida kovaklar kollektor o'tish yonida bo'lib qoladi. Ularining katta qismi bazada elektronlar bilan rekombinatsiyaga (elektron va kovakning yo'qolishi) uchraguncha ulgirmaydi va kollektor o'tishining tezlashtiruvchi elektr maydoni tomondan kollektor sohasiga tortiladi. Teskari kuchlanish ta'sirida kovaklarning bazadan kollektorga ekstraksiyasi yuz beradi. Ekstraksiyasi jarayonida kovaklarning bazadan kollektorga harakatini kollektor tokini yuzaga keltiradi. Emittordan bazaga injeksiyalangan kovaklarning katta bo'lmagan qismi bazada elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi. Rekombinatsiyalangan elektronlarning miqdori zanjirdan  $E_c$  manba tomondan to'ldiriladi. Shu sababli baza zanjirdan  $I_b$  baza toki oqib o'tadi. Baza qaliniigi katta bo'lmaganligi va asosiy zaryad tashuvchilar – elektronlarning konsentratsiyasi kam bo'lmaganligi uchun baza toki kichik bo'ladi. Mazkur shartlarda baza toki kattaligini aniqlovchi rekombinatsiyalar soni katta bo'lmaydi. Kollektor toki bilan boshqariladi: emitter tokini oshirsa, proporsional ravishda kollektor toki ortadi. Emitter o'tishidagi to'g'ri kuchlanishning kichik o'zgarishlarida emitter toki katta qiymatlarda o'zgarishi mumkin.  $d-u-d$  turli tranzistoridagi asosiy jarayonlarni tasvirlash uchun 2.31-rasmda kovaklarning (EO), emitter o'tishi orqali injeksiyasidagi va (KO), kollektor o'tishi orqali ekstraksiyasidagi oqimlari ko'rsatilgan. Kovaklar gora doirada oq rangdagi "plyus" ishorasi bilan ko'rsatilgan bo'lsa, elektronlar esa doirada "minus" ishorasi bilan ko'rsatilgan. Injeksiyalangan kovaklarning oqimi bazada kollektor tomondan sotilganadigan katta bo'lmagan qismga tarmoqlanadi. Bundan tashqari, jadalligi bo'yicha asosiy jarayonlardan juda kichik bo'lgan ikki jarayon ko'rsatilgan.

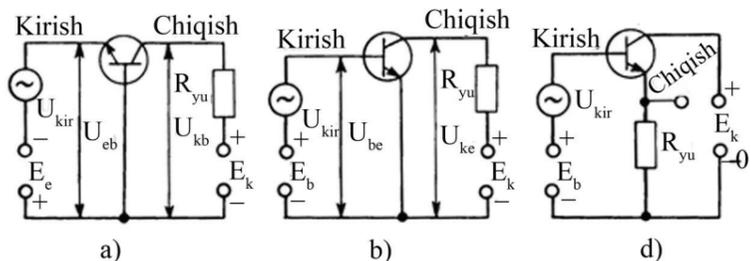
Tranzistorning ulash sxemasida (2.30 - rasm) emitter o'tishiga to'g'ri kuchlanish, kollektor o'tishiga teskari kuchlanish qo'yilgan bo'lishi kerak. Emitter o'tishda kuchlanish bo'lmasa, kollektor o'tishi orqali katta bo'lmagan  $I_{k,tes}$  teskari tok oqib o'tadi. Ishchi tok bilan taqoslanganda uni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shu sababli kollektor zanjirida tokni no'lgateng deb hisoblash bo'ladi, ya'ni tranzistor berik bo'ladi. Emitter o'tishiga  $E_c$  ta'minot manbasidan to'g'ri kuchlanish berilganda zaryad tashuvchilarni emittordan bazaga injeksiyasi yuz beradi. Mazkur zaryad tashuvchilar bazada noasosiy bo'ladi va ular  $d-u-d$  tranzistor uchun kovaklardir. Kovaklarning injeksiya jarayonida emitter o'tishi orqali harakatlanishi  $I_e$  emitter tokini hosil qiladi. Bazaga o'tgan kovaklar  $p-n$  o'tish yuqumida yuqori konsentratsiyaga ega bo'ladi. Bu esa ularning bazada diffuziyasini keltirib chiqaradi. Baza

2.30-rasm. Tranzistorlarning ishlash tamoyili.



bo'ladi. Baza qaliniigi juda kichik bo'lib, bir mikrometrdan tashqari qoladi. Kollektor o'tishining yuzasi emitter o'tish yuzasidan bir necha marta katta bo'ladi. Kichik quvvatli germaniy tranzistorining strukturasi va konstruksiyasi 2.29-rasmda ko'rsatilgan. Elektr tebranishlarni kuchaytirish uchun tranzistorning qo'llanishi, uning boshqariladigan elektron asbob sifatidagi ishlash tamoyiliga asoslanadi.

kollektorli (UK), Istalgan ulanish sxemalarida zanjirdagi tok, ta'minot manbasining musbat qutbidan tranzistorning mos keluvchi sohasi orqali ta'minot manbasining manfiy qutbiga boradi. Emitter ko'rsatgichi, u orqali o'tayotgan tokning yo'nalishini ko'rsatadi.

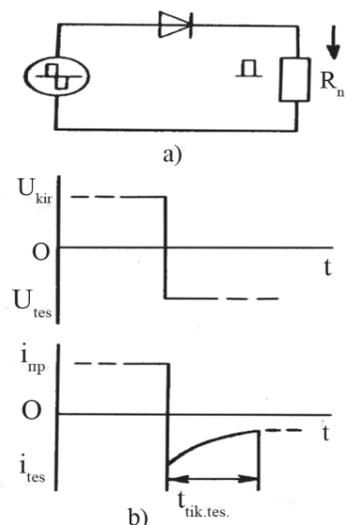


2.32-rasm. n-p-n turdagi tranzistorning ulanish sxemalari: a-umumiy bazali(UB); b-umumiy emitterli (UE); d-umumiy kollektorli(UK).

Tranzistorning ko'rib chiqilgan ishlash tamoyili barcha uchta sxemada saqlanadi. Biroq sxemalarning xususiyatlari, ularning tavsiflari va parametrlari bir biridan farq qiladi.

Istalgan ulanish sxemalarida ikkala zanjirning har birida ikkita elektrodlar orasida kuchlanish bo'ladi va tok oqib o'tadi: kirish zanjirida –  $U_{kir}$  va  $I_{kir}$  bo'lsa, chiqishda esa  $U_{chiq}$  va  $I_{chiq}$ . Bu elektr parametr tranzistorning ishlash rejimini aniqlaydi va bir-biriga o'zaro ta'sir qiladi. Tranzistor tavsifi mazkur kattaliklardan birini boshqasiga, uchinchi kattalik o'zgarimas bo'lgandagi bog'liqlikdir. Elektr kattaliklardan birining o'zgarimas holda ushlab turish uchun tavsifni olish sxemasiga faqat ta'minot manbasini ulash kerak. Yuklama va kuchaytiriladigan tebranish manbasini ulash kerak emas. Kuchlanishni rostlash uchun potensiometr kiritilsa, tok va kuchlanishni o'lchash uchun sxemaga o'lchash asboblari kiritiladi. Umumiy emitterli ulangan n-p-n tranzistor tavsiflarini olish sxemasi 2.33 - rasmda keltirilgan. Har bir tavsifni olishdan oldin potensiometr yordamida o'zgarimas kattalikning qiymati o'rnatiladi. So'ngra esa o'zgartiriladigan kattalikning turli qiymatlarini ketma-

uchun diodning ochiq holatdan yopiq holatga o'tishi (va aksincha) oniy vaqtda sodir bo'ladi.



2.27-rasm. Ulanish sxemasi (a) va ochiq holatdan yopiq holatdga o'tish momentida kuchlanish va tokning vaqt diagrammalari (b)

Lekin bunga n turdagi baza uchun noasosiy bo'lgan zaryad tashuvchilar-kovaklarning to'planishi va tarqalishi jarayonlarining inertligi qarshilik ko'rsatadi.

Masalan, diodga to'g'ri kuchlanish ta'sir ko'rsatsin; bu holda uning  $R_{to,g}$  qarshiligi kichik bo'ladi. p- sohadan p-n o'tish orqali n- sohaga kovaklar injeksiyalanadi; buning natijasida ularning konsentratsiyasi n-soha chegaralarida ortadi.

Kuchlanishni teskari holatga o'tkazish vaqtida, teskari kuchlanish ta'sirida hosil bo'lgan kovaklarning bu to'plangan qismi p-sohaga teskari ravishda o'tkaziladi; buning hisobiga teskari tokning impulsli ortishi yuzaga keladi (2.27-b rasm).

Kovaklarning n-sohadagi konsentratsiyasi asta-sekin ularning

Tranzistor uchta elektrodga ega bo'lib, ulanish sxemasida ulardan biri kiritish, boshqasi chiqish bo'lsa, uchinchisi kiritish va chiqish zanjirlari uchun umumiy bo'ladi. Qaysi elektrod umumiy bo'lishiga bog'liq ravishda tranzistorning uchta ulanish sxemalari mavjuddir: umumiy bazali (UB) umumiy emitterli (UE) va umumiy

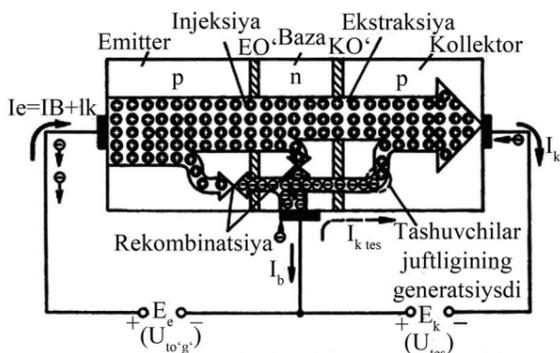
Tranzistorlarning ulanish sxemalari va statik tavsiflari. Tranzistorning ulanish sxemasida asoslanganidir. xususiyati yuqoridagi hodisaga asoslanganidir. tokini katta o'zgarishiga olib keladi. Tranzistorning kuchaytirish o'zgariganda sezilarli darajada o'zgaradi va mos ravishda kollektor bo'lgan emitter toki emitter o'tishidagi kuchlanish juda kichik bipolar tranzistor tok bilan boshqariladi  $p-n$  o'tishning to'g'ri toki o'zgartirish yo'li bilan boshqarish hisobiga ishlaydi. Shunday qilib, o'tuvchi) oqimini hosil qilish va kollektor tokini emitter tokini emitterdan baza orqali kollektor zaryad tashuvchilarning tranzit qilib o'tishini ta'minlaydi. Boshqariladigan asbob sifatida tranzistor, K o'rib chiqilgan jarayonlarga asoslanib quyidagilarni xulososa mos ravishda zanjirda toklarning yo'nalishi ham o'zgaradi.

$E_k$  va  $E_e$  manba qublari qarama-qarshi ishoraga o'zgartiriladi va orqali tokni hosil qiluvchi zaryad tashuvchilar elektronlar bo'ladi. kabi bo'ladi. Lekin injeksiya va ekstraksiya jarayonida  $p-n$  o'tish  $n-p-n$  turdagi tranzistorning ishlash tamoyili yuqorida ko'rilgan statik koeffitsient yoki o'zgarimas tok o'tish koeffitsienti deb ataladi. tokiga nisbatan  $I_k/I_e = \alpha$  emitter tokini uzatishning

Shuning uchun amaliy hisoblashlarda kollektor tokini emitter tokiga taxminan teng deb hisoblanadi:  $I_k \approx I_e$  Kollektor tokini emitter Baza toki kollektor tokidan sezilarli darajada kichik bo'ladi.

$$I_e = I_k + I_b \quad (2.33)$$

va  $I_{kies}$  teskari tok hisobiga kollektordan ketishi bilan to'ldiriladi. Emitterdan bazaga ketgan kovaklarning o'rni  $E_e$  manba ta'sirida elektronlarni emitterdan tashqi zanjirga ketishi hisobiga to'ldiriladi. Tranzistorning 3 ta elektrodlaridagi toklar quyidagi nisbat bilan bog'langan:



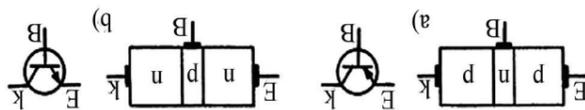
2.31-rasm. Zaryad tashuvchilar oqimi yordamida tranzistorlardagi jarayonlarning tasvirlash.

Ulardan birinchisi kollektor sohasida zaryad tashuvchilar juftligining generatsiyasi (paydo bo'lish) bo'lib, uning xususiy elektr o'tkazuvchanligini asoslaydi va kollektor o'tishi orqali  $I_{kies}$  tokini oqib o'tishini keltirib chiqaradi. Mazkur tok noasosiy zaryad tashuvchilar tomonidan hosil qilinadi va ular konsentratsiyasi haroratga bog'liq bo'ladi. Natijada teskari tok haroratga bog'liq bo'ladi. Uni ba'zida issiqlik toki deb ataladi. Ikkinchi jarayon emitter o'tishida to'g'ri kuchlanish bo'lganda potensial to'siq balandligining pasayishi natijasida bazadan emitterga elektronlarning harakatlanishi yuzaga keladi. Bazadagi asosiy zaryad tashuvchilarning (elektronlar) konsentratsiyasi emitterdagi kovaklarning konsentratsiyasidan ikki-uch tartibga kichik bo'lishini hisobga olgan holda EO orqali to'g'ri tokning elektron tashkil qiluvchisini juda kichik deb hisoblash bo'ladi. Shu sababli  $I_e$  emitter toki kattaligini kovak tashkil qiluvchisi aniqlaydi. Bazadan emitterga o'tgan elektronlar, u yerda kovaklar bilan rekombinatsiyalanadi.

Kollektordan kovaklarni ketishiga, ularning o'rniga tashqi zanjirdan  $E_k$  ta'minot manbasidan elektronlarni kelishi mos keladi. Baza va emitterdagi kovaklar bilan rekombinatsiyalangan elektronlarning o'rni, ularni tashqi zanjirdan  $E_e$  ta'minot manbasidan

Bipolar tranzistorning ishlashi ikkala zaryad tashuvchilar - elektronlar va kovaklar bog'liq bo'ladi. Bundan esa uning nomi "bipolar" kelib chiqadi, ya'ni ikkita qubli degan ma'noni anglatadi.

2.28-rasm p-n-n (a) va n-p-n (b) turdagi tranzistorlarning uch qatlami strukturasi va ularning shartli grafik belgilanishi.



Ikkita o'zaro ta'sirlashuvchi  $p-n$  o'tishga va uchta chiqishlariga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbobga bipolar tranzistor deyiladi. U uch qatlamli tuzilishga ega bo'lib, turli elektr o'tkazuvchanlikka ega sohalarni ketma-ket joylashtirish orqali hosil qilinadi:  $p-n-p$  yoki  $n-p-n$  (2.28 - rasm).

### 2.4. Tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlarni ishlatish sohalari, tasnifi va shartli belgilanishi.

Diod garshiligini o'tkazish momentida  $R_{ges}$  qiymati katta bo'ladi, binobarin, dioddagi kuchlanish ham katta, diffuziya toki esa kichikdir. Asta-sekin diffuziya ortib boradi,  $n$ -sohaga injeksiyalangan kovaklar esa unda to'plana boshlaydi, diod garshiligi  $R_{ges}$  ning o'rtatilgan qiymatigacha kamayadi, tok esa berilgan to'g'ri tok qiymatigacha oshadi. Diodni va undagi to'g'ri kuchlanishning ulanishiga ketadigan vaqtni, diodning to'g'ri tiklanish vaqti  $t_{tkies}$  deb ataladi.

va uni diodning teskari tiklanish vaqti  $t_{tkies}$  deb ataladi. Teskari kuchlanishni to'g'ri kuchlanishga o'tkazilganda jarayon oniy vaqtda sodir bo'lmaydi, u ma'lum bir vaqtni talab qiladi. Diod garshiligini o'tkazish momentida  $R_{ges}$  qiymati katta bo'ladi, binobarin, dioddagi kuchlanish ham katta, diffuziya toki esa kichikdir. Asta-sekin diffuziya ortib boradi,  $n$ -sohaga injeksiyalangan kovaklar esa unda to'plana boshlaydi, diod garshiligi  $R_{ges}$  ning o'rtatilgan qiymatigacha kamayadi, tok esa berilgan to'g'ri tok qiymatigacha oshadi. Diodni va undagi to'g'ri kuchlanishning ulanishiga ketadigan vaqtni, diodning to'g'ri tiklanish vaqti  $t_{tkies}$  deb ataladi.

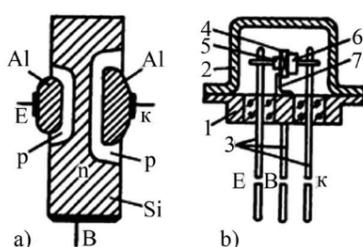
Tranzistorning asosiy elementi kremniy yoki germaniy kristalli bo'lib, unda ikkita  $p-n$  o'tish hosil qilingan bo'ladi.

Qotishmali texnologiya asosida tayyorlangan  $p-n-p$  va  $n-p-n$  turdagi bunday kristallning tuzilishi 2.28-rasmida ko'rsatilgan. Oldindan katta bo'lmagan miqdorda donor kirishmasi kiritilgan  $n$ -turdagi yarimo'tkazgich plastinasi baza (asos) bo'lib hisoblanadi.

Unda ikkala tomondan akseptor kirishmasining tabletkasi eritiladi. Germaniy uchun indiy, kremniy uchun aluminij tabletkasi olinadi. Haroratli ishlov berish jarayonida akseptor kirishmalari kristall ichkarisiga  $p$ -sohani hosil qilgan holda kiradi.

Hosil qilingan  $p$ -soha va  $n$ -turdagi yarimo'tkazgich orasida  $p-n$  o'tish hosil bo'ladi. Kirishmalarning kiritish jarayoni shunday nazorat qilinadiki, ularning  $p$ -sohalaridan biridagi konsentratsiya boshqasiga qaraganda ko'proq bo'lishi kerak (tasvirdagi chap tomondagi  $p$ -soha). Markaziy  $n$ -turdagi sohada kirishmalarning konsentratsiyasi eng kam bo'ladi.

Kirishmalar konsentratsiyasi ko'proq bo'lgan tashqi sohani emitter (zaryad tashuvchilarni bazaga uzatuvchi soha), ikkinchi tashqi sohani kollektor (zaryad tashuvchilarning to'planish sohasi), ichki sohani esa baza (tokni boshqaruvchi soha) deb ataladi. Elektr va baza orasidagi elektron-kovak o'tishni - emitter o'tishi, kollektor va baza orasidagini esa - kollektor o'tishi deyiladi.



2.29-rasm. Qotishmali tranzistorning strukturasi (a) va konstruksiyasi (b): 1-qobiq tubi; 2-qobiq qopqog'i; 3-tashqi chiqish simlari; 4-n-turdagi kremniy kristali; 5,6-aluminij tabletkasi; 7-kristall ushlagich.

Asosiy tashuvchilarning konsentratsiyasiga mos ravishda baza yuq-ori omli soha, kollektor past omli, emitter esa eng past omli soha

Har bir tavsifning boshlang'ich qiya o'suvchi sohasi ishchi hamda kollektor tokining katta qiymatiga mos keladi.

Tavsif olinayotgan  $I_b$  tokining qiymati qanchalik katta bo'lsa, u ancha katta bo'ladi.

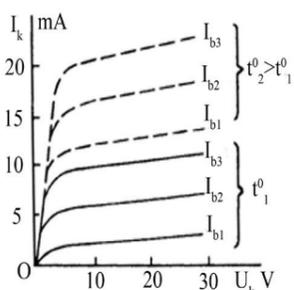
tomonidan hosil qilinadigan kollektor o'tishining teskari tokidan bo'lganda, ya'ni  $I_e = 0$  bo'lganda noasosiy tashuvchilar oqimi tomonidan hosil qilingan  $I_{k(0)}$  emittordan asosiy zaryad tashuvchilarning katta bo'lmaydi. Biroq emittordan asosiy zaryad tashuvchilarning Shuning uchun emitter toki va unga teng bo'lgan  $I_{k(0)}$  kollektor toki Zaryad tashuvchilarning bazaga injeksiyasi katta bo'lmaydi. bo'lganda emitter o'tishida potentsial to'siq hali mavjud bo'ladi. emittordan bazaga injeksiyalangan va kollektorga keluvchi barcha zaryad tashuvchilar oqimi tomonidan hosil qilinadi. Ammo  $I_b = 0$  va  $I_e = 0$  da  $I_e = I_c$  bo'lishi bilan tushuntiriladi, ya'ni kollektor toki marta katta bo'ladi. Bu holat kollektor toki  $I_c = I_e - I_b$  bo'lganligi tokining kattaligi kollektor o'tish teskari tokining kattaligidan 10 Lekin boshlang'ich boshqarmaydigan  $I_{k(0)}$  toki bo'lgan kollektor VA Tining teskari tarmog'iga mos keluvchi ko'rinishga ega bo'ladi.  $I_e = 0$  bo'ladi.  $I_b = 0$  Ida olingan boshlang'ich kollektor tavsifi did oqimining o'rmini qoplaydi (kompensatsiya qiladi). Shuning uchun baza orqali kollektorga keluvchi huddi shunday zaryad tashuvchilar kollektordan bazaga o'tuvchi asosiy zaryad tashuvchilar, emittordan  $U_{be}$  ga teng bo'lgan to'g'ri kuchlanish mavjud bo'ladi. Natijada bo'ladi va unda ham potentsial to'siq balandligini tushuruvchi tushuntiriladi. Kollektor o'tishi emitter o'tishiga parallel ulangan Bu holatda  $U_{ke} = 0$  emitter-kollektor zanjiri tushuntirilganligi bilan

(kollektor toki baza toki  $I_b > 0$  bo'lganda paydo bo'ladi)  $U_{ost}$  ostonaviy kuchlanishga teng bo'lgan  $U_{be}$  kuchlanishning qiymatida boshlanadi. Uning boshlanish sohasi tekis bo'ladi va  $U_{be}$  ni keyinchalik oshishi bilan tavsif qiya o'suvchi va deyarli chiziqli bo'ladi.  $U_{be} \leq U_{ost}$  da tranzistor berk va tok  $I_k = 0$  bo'ladi.  $U_{be} \geq U_{ost}$  tranzistor ochiladi.

Chiqish tokining kirish tokiga bog'liqligi to'g'ri uzatish tavsifi deyiladi. UE sxemasi uchun o'zgaras kollektor kuchlanishida kollektor tokining baza tokiga bog'liqligidir (2.39-b rasm):

$$I_{ke} = const \text{ bo'lganda } I_k = f(I_b)$$

Mazkur tavsif koordinata boshidan boshlanadi. Baza toki oshishi bilan kollektor toki ham o'sadi. Dastlab sekinroq, so'ngra deyarli chiziqli o'sadi. Tranzistor tavsiflariga harorat kuchli ta'sir qiladi: harorat oshishi bilan baza tokining qiymatida olingan tavsif yuqoriroqda joylashadi (2.37-rasm). UE sxemada haroratning ta'siri UB sxemasiga qaraganda ancha katta bo'ladi. Tavsifning yuqoriga siljishining asosiy sababi UE kollektor o'tishining teskari, tokini oshishidir. Teskari tok UE sxemasida 10 – 100 martalar oshadi. Bundan tashqari, UE sxemasida tokning kuchaytirishli harorat bilan o'sadi.



2.37-rasm. UE sxemasida tranzistor kollektor tavsifiga haroratning ta'siri.

Uchun taxminan  $U_{ke} \approx U_{be}$  deb hisoblashimiz mumkin.

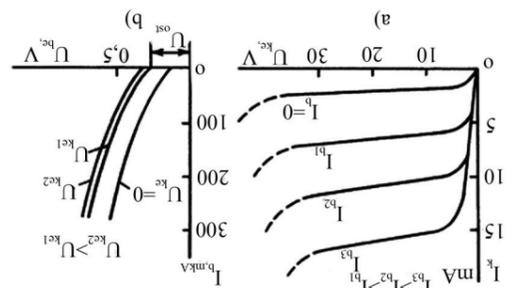
Mazkur sxemada  $U_{be}$  kuchlanish emitter o'tishdagi to'g'ri kuchlanish bo'lsa, kollektor o'tishdagi  $U_{ke}$  teskari kuchlanish  $U_{ke} - U_{be}$  kuchlanishlar farqi bilan aniqlanadi.  $U_{ke} \gg U_{be}$  bo'lganligi

$$I_e = const \text{ bo'lganda } I_k = f(U_{ke})$$

tavsif kollektor chiqishdir (2.35-a rasm):

UE sxema bo'yicha ulangan tranzistor chiqish tavsifi baza tokini o'zgaras bo'lganda kollektor tokini kollektor-emitter kuchlanishiga bog'liqdir. UB sxemasi kabi UE sxemasidagi chiqish

2.35-rasm. UE sxemasi bo'yicha ulangan tranzistor tavsifi a–chiqish; b–kirish.



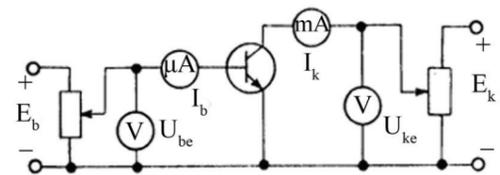
beradi.

Demak, UE ham tokni ham kuchlanishni kuchaytirar ekan. Bu hosil qilinayotgan kirish zanjiridagi kuchlanishdan oshadi.

Mazkur sxemada kirish toki –  $I_b$  baza toki, chiqish toki  $I_e$  kollektor tokidir. Kirish kuchlanishi  $U_{be}$  baza va emitter orasida hosil qilinadi, chiqish kuchlanishi esa  $U_{ke}$  kollektor va emitter orasida hosil qilinadi. Kollektor toki baza tokidan ancha kattaligi va yuqori omli chiqish zanjiridagi  $R_{yu}$  yuklamaga ular tomonidan

**UE sxemada tranzistorning statik tavsifi**

ket o'rnatgan holda unga bog'liq bo'luvchi kattalikning mos keluvchi qiymatlari aniqlanadi.



2.33-rasm Umumiy emitterli ulangan tranzistor tavsifini olish uchun sxema.

Kattaliklardan biri o'zgaras qilib ushlab turilgandagi yuklama-siz olingan tavsifni statik tavsif deyiladi. O'zgaras kattalikning turli qiymatlarida olingan tavsiflarning jamlanmasi statik tavsiflar oilasi bo'ladi.

Tranzistor qo'llanilganda ikkita turdagi tavsiflar eng katta aha-miyatga egadir: kirish va chiqish.

Chiqishdagi kuchlanish o'zgaras bo'lganda kirish tokining kirish kuchlanishiga bog'liqligiga kirish tavsifi deyiladi:

$$U_{chiq} = const \text{ bo'lganda } I_{kir} = f(U_{kir})$$

Kirish toking o'zgaras bo'lganda chiqish tokini chiqish kuchlanishiga bog'liqligiga chiqish tavsifi deyiladi:

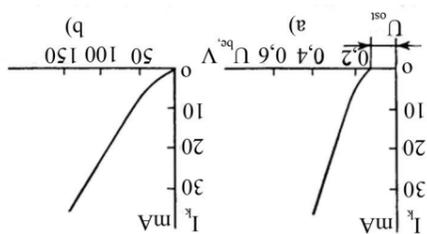
$$I_{kir} = const \text{ bo'lganda } I_{chiq} = f(U_{chiq})$$

Tranzistor tavsiflarining ko'rinishi uning ulanish usuliga bog'liq bo'ladi. Biroq UE va UK sxemalar uchun ular deyarli bir xildir. Shuning uchun odatda UB va UE sxemalarning kirish va chiqish tavsiflaridan foydalaniladi.

**UB sxemadagi tranzistorning statik tavsiflari.** Ko'rsatilgandek mazkur sxemada kirish elektrodi sifatida emitter, chiqish elektrodi sifatida kollektor xizmat qiladi. Shuning uchun kirish kuchlanishi emitter va baza orasidagi  $U_{eb}$  kuchlanish bo'lsa, chiqish kuchlanishi esa kollektor va baza orasidagi  $U_{kb}$  kuchlanishidir. Kirish toki  $I_e$

O'tkazish tavsifi kiritish va chiqish tavsiflaridan olingan nuqtalar bo'yicha qurish mumkin. U koordinata boshidan boshlanmasdan

2.36-rasm. UE sxemasidagi tranzistorning o'tkazish tavsifi (a) va to'g'ri uzatish tavsifi (b).



$$U_{ke} = const \text{ bo'lganda } I_k = f(U_{be})$$

Ko'rib chiqilgan tavsif o'ylaridan tashqari amaliy hisoblar uchun ikkita tavsif muhim hisoblanadi: o'tkazish va to'g'ri uzatish. O'tkazish tavsifi - chiqish kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda chiqish emitter toki o'zgarmas bo'lganda kollektor tokini kuchlanishga bog'liqligidir. Shuning uchun uni kollektor-baza deb atashadi (2.34 - a rasm):

$$U_{ke} = const \text{ bo'lganda } R_{kir,e} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_k} \text{ (100 va 1000 Omlar)}$$

Bu holat teskari kuchlanishning oshirilishi kollektor o'tishining baza hisobiga kengayishi bilan tushuntiriladi. Bunda baza qalinligi va undagi rekombinatsiyalar soni kamayishiga olib keladi. Demak,  $U_{be}$  kuchlanishning o'sish qiyamatidagi baza tokini kamayishi yuz beradi. Diod VATi to'g'ri tarmog'i kabi kiritish tavsifi koordinata boshidan emas, balki ostonaviy  $U_{os}$  deb ataluvchi baza kuchlanishining ma'lum bir qiymatidan boshlanadi. UE sxema kiritish qarshiligi juda kichik bo'lmaydi, ya'ni UB sxemasi qaratganda ancha katta bo'ladi:

yerdan kollektor o'tishdagi kuchlanish  $U_{kb} = U_{ke} - U_{be}$  ligi kelib chiqadi.  $U_{ke} < U_{be}$  da kichikdan kattasi olib tashlanadi, ya'ni  $U_{kb}$  ning ishorasi qarama-qarshi ishoraga o'zgaradi. Bu esa ishchi rejimda  $U_{kb}$  qutbi kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishga mos kelsa,  $U_{ke} < U_{be}$  da to'g'ri kuchlanishga mos kelishini anglatadi. Kollektor o'tishdagi eng katta to'g'ri kuchlanishning  $U_{kb}$  qiymati  $U_{kb} = U_{be}$  bo'lgan vaqtda  $U_{ke} = 0$  bo'lganda olish mumkin.

Mazkur to'g'ri kuchlanish  $U_{ke}$  oshgani sari kamayib boradi va  $U_{ke} = U_{be}$  bo'lganda nolga teng bo'lib qoladi. Kolektor o'tishdagi to'g'ri kuchlanish emitterdan bazaga injeksiyalangan noasosiy zaryad tashuvchilarni o'tish orqali bazadan kollektorga o'tishiga to'sinlik qiladi. Shuning uchun kollektor o'tishdagi to'g'ri kuchlanishning kamayishi noasosiy zaryad tashuvchilarning bazadan kollektorga ekstraksiyasini oshishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida kollektor tokini keskin oshishiga olib keladi.  $U_{ke} > U_{be}$  bo'lganda  $U_{kb}$  o'z qutbini kollektor o'tishi uchun teskari ishoraga o'zgartiradi. Tavsifning mazkur sohasida  $U_{ke}$  kuchlanishning o'zgarishi kollektor toki kattaligiga kam ta'sir qiladi. Tavsifning ishchi sohasi tekis ketadi. Biroq UB sxemaga qaraganda qiyaroq bo'ladi. Demak, UE sxemada chiqish qarshiligi kattadir. Biroq uning qiymati UB sxemasiga qaraganda kichikroq bo'ladi:

$$I_b = const \text{ bo'lganda } R_{chiq,e} = \frac{\Delta U_{ke}}{\Delta I_k} \text{ (10 larcha kOm)}$$

Kollektor kuchlanishini maksimal ruxsat berilgan qiymatdan oshirilishi kollektor o'tishining teshirilishiga olib keladi.

UE sxema bo'yicha ulangan tranzistorning kirish tavsifi bazaviy tavsif (2.35-b rasm) bo'lib, kollektor-emitter kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda baza tokini baza-emitter kuchlanishiga bog'liqligidir:

$$I_b = const \text{ bo'lganda } I_b = f(U_{be})$$

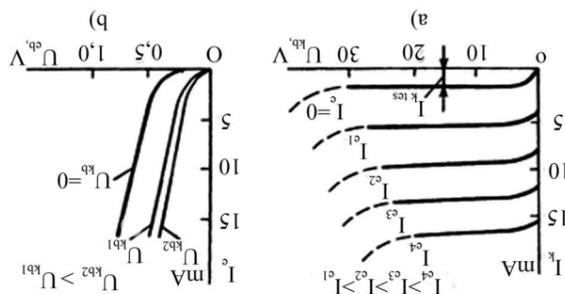
$U_{ke} = 0$  bo'lgandagi tavsif diod VATi to'g'ri tarmog'ining ko'rinishiga ega bo'ladi. Tavsif olinayotgan  $U_{ke}$  o'zgarmas kuchlanishning qiymati oshirilishi bilan tavsif o'ngroqqa siljiydi.

Tavsif chizmasi  $p-n-p$  va  $n-p-n$  turdagi tranzistorlar uchun uni-versal bo'lishi uchun kuchlanish gorizontal o'q bo'yicha ularning qutbini hisobga olmagan holda mutlaq kattalik bo'yicha qo'yilgan. Emitter  $I_e = 0$  bo'lganda kollektor toki kollektor o'tishining teskari tokiga tengdir:  $I_k = I_{kes}$ . Shuning uchun  $I_e = 0$  da olingan tavsif  $p-n$  o'tish VATining teskari tarmog'idir. Emitter tokining  $I_e > 0$  o'zgarmas qiymatlarida olingan tavsiflar  $I_e$  qanchalik katta bo'lsa, o'zgarmas qiymatlarida olingan tavsiflar  $I_e$  qanchalik katta bo'lsa, u shunchalik yuqorida joylashadi. Bunda ular koordinata boshidan chiqmaydi. Bu holat kollektor o'tishida  $U_{kb} = 0$  bo'lganda emitter bazaga injeksiyalangan noasosiy zaryad tashuvchilar uchun tezlashtiruvchi maydonni hosil qiluvchi  $\phi_0$  potensial to'siqning ma-vjudligi bilan tushuntiriladi. Shuning uchun tashuv - chilar elektr maydon tomonidan bazadan kollektorga o'tkaziladi va nolga teng

$$I_e = const \text{ bo'lganda } I_k = f(U_{kb})$$

UB sxemasi bo'yicha ulangan tranzistorning chiqish tavsifi emitter toki o'zgarmas bo'lganda kollektor tokini kollektor-baza kuchlanishga bog'liqligidir. Shuning uchun uni kollektor tavsifi deb atashadi (2.34 - a rasm):

2.34-rasm. UB sxemasi bo'yicha ulangan tranzistor tavsifi:



shuncha miqdorda signal quvlati kuchaytiradi. Uchun UB sxema tokini kuchaytirmasdan, faqat kuchlanishni va bo'lganligi uchun chiqish toki deyarli kiritish tokiga tengdir. Shuning emitter toki bo'lsa, chiqish toki esa  $I_k$  kollektor tokidir.  $I_e \approx I_k$

bo'lmagan  $I_k$  tokini hosil qiladi. Tavsif olinayotgan  $I_e$  qanchalik katta bo'lsa, u shunchalik katta bo'ladi. Tavsif juda tekis ketadi, ya'ni kollektor toki kollektor kuchlanishini o'zgarishiga deyarli bog'liq bo'lmaydi. Bu esa UB sxemada chiqish qarshilik juda katta bo'lishini anglatadi:

$$I_e = const \text{ bo'lganda } R_{chiq,b} = \frac{\Delta U_{kb}}{\Delta I_k} \text{ (100000 Om va undan katta)}$$

Kollektor kuchlanishining maksimal ruxsat berilgan qiymatdan oshishi kollektor o'tishining elektr teshilish xavfini yuzaga keltiradi. U esa issiqlik teshilishiga o'tishi va tranzistorning ishdan chiqarishi mumkin. UB sxemasi bo'yicha ulangan tranzistorning kirish tavsifi kollektor baza kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda emitter tokini emitter-baza kuchlanishiga bog'liqligidir (2.34-b rasm):

$$U_{kb} = const \text{ bo'lganda } I_e = f(U_{eb})$$

Kollektor kuchlanishi mavjud bo'lmay ( $U_{kb} = 0$ ) faqat emitter o'tishi to'g'ri yo'nalishda bo'lsin. Bunda tavsif  $p-n$  o'tish VATining to'g'ri tarmog'iga mos keladi.

Bu bilan UB sxemada kirish qarshiligini juda kichik bo'lishi tushuniladi:

$$I_{kb} = const \text{ bo'lganda } R_{kir,b} = \frac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} \text{ (1 va 10 Omlar)}$$

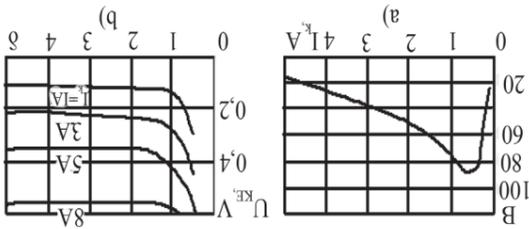
$U_{kb}$  kattalikning yuqori qiymatlarda kirish tavsifi ozgina chapga va yuqoriroqqa siljiydi. Bu holat kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning baza qalinligiga ta'siri tufayli yuz beradi.  $U_{kb}$ , ya'ni  $U_{tes}$  oshishi bilan kollektor  $p-n$  o'tishi baza sohasi hisobiga kengayadi va baza qalinligi kamayadi. Injeksiyalangan zaryad tashuvchilarning bazadagi konsentratsiyalarining tushishi oshadi. Ularning emitter o'tishdan diffuziya jarayoni o'sadi. Demak, emitterdan injeksiyasi oshadi, natijada  $U_{eb}$  ning bir xil qiymatlarida  $I_e$  tok katta bo'ladi.

Amaliyotda baza tokini  $I_{b1}$  eng kichik qiymatdan bir necha marta katta qilib olinadi. Mazkur  $I_{b1}$  baza tokini to'yinish rejimi chegarasidagi  $I_{b1}$  baza tokiga nisbatini to'yinish ko'effitsient yoki to'yinish darajasi deb ataladi:

$$I_{b1} = I_{k1} / B \quad (2.43)$$

Tranzistorni to'yinish rejimiga o'tkazish uchun kerak bo'ladigan eng kichik baza toki

2.39-rasm. UEsxemasida statik kuchaytirish ko'effitsiyentini kollektor tokiga(a) va ochiq tranzistoridagi kuchlanish tushuvini to'yinish ko'effitsiyentiga(b) bog'liqlik grafiqi.



ni olish mumkin. Bunda  $B = \frac{I_{k1}}{\alpha_n I_{b1}}$  - to'yinish rejimi chegarasida emitter sxemasida ulangan tranzistorning statik tok uzatish ko'effitsiyenti. B ko'effitsient kollektor tokiga bog'liq bo'ladi. Ko'p turdagi tranzistorlar uchun u kollektor toki ruxsat berilgan qiymatning 5, 20% ni tashkil qilganda o'zining maksimal kattaligiga ega bo'ladi va kollektor toki oshishi bilan kamayadi. 2.39 - rasmda  $B = f(I_{k1}^0)$  bog'liqlik keltirilgan.

ni olish mumkin. Bunda  $B = \frac{I_{k1}}{\alpha_n I_{b1}}$  - to'yinish rejimi chegarasida

$$I_k = \alpha_n I_{b1} = B I_{b1} \quad (2.42)$$

Bunday rejimda zaryad tashuvchilar bilan kambag'allashgan qatlam 0 ga yaqin o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Kanal orqali oqib o'tayotgan tokni boshqaradigan elektr maydon hosil qiluvchi kuchlanishni Z zatvor (darvoza ma'nosini anglatadi) deb ataluvchi elektrodga beriladi.

Plastinaning bir tomonidan  $p-n$  o'tishi hosil qilinganda (2.40 -a rasm)  $n$  - turdagi kanal  $p-n$  o'tish sohasi va plastina o'rnatilgan o'tkazmaydigan taglik orasida hosil bo'ladi.

Ko'pincha  $p-n$  o'tish plastinaning ikkala tomonidan qarama-qarshi yon tomonlarda hosil qilinadi va ikkala  $p$ -sohasini elektr jihatdan bitta zatvor chiqishiga ulanadi (2.40- b rasm). Mazkur holatda o'tkazuvchi kanal plastinada ikkita  $p-n$  o'tish sohasi orasida hosil bo'ladi.

2.40-d, e rasmlarda  $n$ -tur va  $p$ -turdagi kanalga ega bo'lgan maydonli tranzistorning shartli grafik belgilanishi ko'rsatilgan.

Maydonli tranzistorning ulanish sxemasida (2.40-e rasm) istok va stok orasidagi  $U_{si}$  kuchlanish shunday qutbda berilishi kerakki, asosiy zaryad tashuvchilar ( $n$ -turdagi kanalda elektronlar) kanal bo'ylab istokdan stok yo'nalishi tomon harakatlanishi kerak. Bunda kanal va tashqi zanjir orqali  $I_s$  stok oqib o'tadi. Stok va istok orasidagi zanjir asosiy hisoblanadi.

Istokka nisbatan zatvorga  $p-n$  o'tish uchun teskari bo'lgan  $U_{zi}$  kuchlanish beriladi. U kanalga nisbatan ko'ndalang bo'lgan elektr maydonni hosil qiladi.

Maydon kuchlanganligi qo'yilgan kuchlanishning kattaligiga bog'liq bo'ladi. Mazkur kuchlanish qanchalik katta bo'lsa (demak, elektr maydon ham kuchliroq bo'ladi), berkituvchi qatlam shunchalik kengroq va kanal shunchalik torroq bo'ladi (2.40-d rasmda uzlikli chiziq) kanalning ko'ndalang kesim yuzasi kamayishi bilan uning o'tkazuvchanligi kamayadi.

Bu esa zanjirda  $I_s$  tokining kamayishiga olib keladi. Zatvor va istok orasidagi zanjir boshqaruvchi bo'ladi.

Shunday qilib,  $p-n$  o'tishli maydonli tranzistorning ishlash prinsipi zatvor-istok kuchlanishi tomonidan hosil qilinadigan ko'ndalang

tengliklardan tushuvi noiga teng bo'ladi ( $U_c^k=0$ ). Bu holatda (2.34, a) va (2.34, b) va to'yinish rejimi chegarasida kollektor o'tishidagi kuchlanish kuchlanishni kamayishiga olib keladi. To'yinish rejimi. Faol rejim taxminan 1-2 tartibni tashkil qiladi). Bu esa tranzistorning teshilish tokidan sezilarli darajada katta bo'ladi (katta quvvatli tranzistor uchun topgan bo'ladi. Shuning uchun teskari tokning real kattaligi to'yinish ko'chikli ko'payish jarayoni tufayli yuzaga keluvchi tokidan tashkil termogeneratsiya toki, sirtidagi sirqish toki va zaryad tashuvchilarning to'yinish tokidir deb faraz qilingan. Biroq teskari tok to'yinish toki, bajarilishi kerak. Xuddi shunga o'xshash tarzda kollektor zanjiridagi yuklama qarshiligini tanlaganda  $U_{k1} = I_{k0} R_k << E_k$  shart yo'qotish uchun kiritish zanjirini hisoblashlarda  $U_{k1} = I_{k0} R_k << E_k$  rejimiga manbaning musbat  $E_k$  kuchlanishlarida o'tadi. Bu hodisani ko'rib turibdik, bazaning katta qarshiliklarida tranzistor faol tranzistorning amaldagi ishlash rejimiga mos keladi. Rasmdan baza toki egri chizig'i (1, 2 nuqtalar) bilan kesishish nuqtasi ( $R_{b1} > R_{b2}$ ) ikkita yuklama chizig'i 2.38-d rasmda keltirilgan. Ularning bo'lishini ta'kidlab o'tish lozimdir. Kiritish zanjiridagi  $R_{b1}$  va  $R_{b2}$  (2.35), (2.37) va (2.38) ni taqqoslashdan emitter toki uzilish rejimi chegarasida nol orqali o'tadi va o'z ishorasini o'zgartiradi degan xulosani chiqarish mumkin. Uzilish rejimida va faol rejim boshlanishida tranzistor toklarining o'zgarishi 2.38, d rasmda tasvirlangan. Emitter tokining ishlorasi o'zgarishi yuz beradigan emitter o'tishidagi kuchlanishni (3) dan aniqlash mumkin:

$$U_{e0} = \frac{b}{kT} \ln(1 - \alpha_n) \quad (2.41)$$

(2.35), (2.37) va (2.38) ni taqqoslashdan emitter toki uzilish rejimi chegarasida nol orqali o'tadi va o'z ishorasini o'zgartiradi degan xulosani chiqarish mumkin. Uzilish rejimida va faol rejim boshlanishida tranzistor toklarining o'zgarishi 2.38, d rasmda tasvirlangan. Emitter tokining ishlorasi o'zgarishi yuz beradigan emitter o'tishidagi kuchlanishni (3) dan aniqlash mumkin:

$$I_{b1} \approx -I_{k0} \quad (2.40)$$

Tranzistorning statik volt-ampere tavsifi Ebers-Moll tengligi bilan aniqlanadi:

$$I_e = a_{11} \left( e^{\frac{qU_c}{kT}} - 1 \right) - a_{12} \left( e^{\frac{qU_k}{kT}} - 1 \right), \quad (2.34, a)$$

$$I_k = a_{21} \left( e^{\frac{qU_c}{kT}} - 1 \right) - a_{22} \left( e^{\frac{qU_k}{kT}} - 1 \right). \quad (2.34, b)$$

Bunda

$$a_{11} = \frac{I_{e0}}{1 - \alpha_n \alpha_i}; \quad a_{12} = \frac{\alpha_i I_{k0}}{1 - \alpha_n \alpha_i}; \quad a_{21} = \frac{\alpha_n I_{k0}}{1 - \alpha_n \alpha_i}; \quad a_{22} = \frac{I_{k0}}{1 - \alpha_n \alpha_i}$$

$a_n$  va  $a_i$  - tranzistorning normal va invers ulandagi tok uzatish ko'effitsiyentlari (odatda  $a_n = 0,9 - 0,99$ ,  $a_i = 0,3 - 0,7$ ).

Bunda  $a_{12} = a_{21}$  yoki  $\alpha_n I_{e0} = \alpha_i I_{k0}$ .

Yuqoridagi (2.34, a) va (2.34, b) ifodalar o'tishlarda turli xil kuchlanishlar bo'lgandagi tranzistorning asosiy xususiyatlarini yoritadi va ularning statik ishlash rejimlarini tahlil qilish uchun qulaydir.

**Tranzistorning kalit rejimida ishlashi.** Tranzistorlarning uch xil ulanish usullari mavjud bo'lib, unda elektrodlaridan biri kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy bo'ladi. Elektrodning qaysi biri umumiy bo'lishiga bog'liq ravishda umumiy bazali (UB), umumiy emitterli (UE) va umumiy kollektorli (UK) sxemalarga ajratiladi. Ulanish sxemalarning har birida tranzistor o'tishlardagi kuchlanishning turli xil qutblarini tavsiflovchi 4 xil rejimda ishlashi mumkin:

- 1) Uzilish rejimi ( $U_c < 0$ ,  $U_k < 0$ );
- 2) Normal faol rejim ( $U_c > 0$ ,  $U_k < 0$ );
- 3) To'yinish rejimi ( $U_c > 0$ ,  $U_k > 0$ );
- 4) Invers faol rejim ( $U_c < 0$ ,  $U_k > 0$ ).

plastina bo'lib, uning yon tomonlaridan to'g'ri lamaydigan metall kontaktidan chiqish elektrodari tayyorlangandir. Zaryad tashuvchilar oqimi boshqarilishi amalga oshiriladigan mazkur kontaktlar orasidagi yarimo'tkazgich qatlami o'tkazuvchi kanal deyiladi (mazkur holatda n-tur).

Maydonli tranzistorlar. p-n o'tishli maydonli tranzistor qurilmasi va ishlash tamoyili.

O'tkazuvchi kanal orqali asosiy zaryad tashuvchilarning oqimi va ularning ko'ndalang elektr maydoni tomonidan boshqarilishi tufayli kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbobga maydonli tranzistor deyiladi.

Bipolar tranzistordan farqli ravishda maydonli tranzistorning ishlash tamoyili bitta qutbdagi zaryad tashuvchilarga n-turdagi kanalda faqat elektronlar, p-turdagi kanalda kovaklarga asoslangandir. Maydonli tranzistorlarning ikkita asosiy turi mavjuddir: p-n o'tishi bilan boshqariladigan va zatorli himoyalangan.

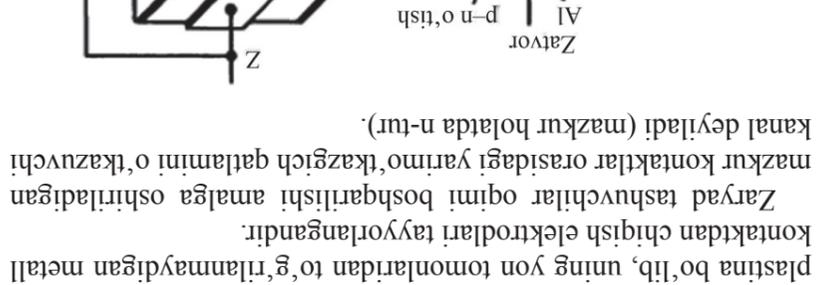
p-n o'tishi bilan boshqariladigan va zatorli himoyalangan.

Maydonli tranzistorning o'tkazuvchi kanalga zaryad tashuvchilarning kiritishi amalga oshiriladigan elektrodni I stok deb ataladi. Zaryad tashuvchilarni kanaldan chiqishi amalga oshadigan elektrodni S stok deb ataladi.

Plastina markaziy qismning yon tomoniga p-turdagi sohani hosil qiluvchi akseptor moddasi kiritiladi.

Natijada p-n o'tish hosil bo'ladi. Uchinchi elektrodning chiqishi sohadan qilingan bo'lib, unga p-n o'tishni taqsimlash beriladi.

2.40-rasm p-n o'tish bilan boshqariladigan maydonli tranzistor: a, b-soddalashtirilgan struktura; e-n-turli va p-turli kanalga ega bo'lgan asbobning sharti grafik belgilash: f-ishlash tamoyili



$$\delta = I_b / I_{b.t} \quad (2.44)$$

To'yinish rejimida bo'lgan tranzistordagi kuchlanish tushuvi

$$U_{ke} = \frac{kT}{q} \ln \frac{\alpha_i \left( 1 - \frac{I_k}{I_b} \cdot \frac{1 - \alpha_n}{\alpha_i} \right)}{1 + \frac{I_k}{I_b} (1 - \alpha_i)} \quad (2.45)$$

To'yinish ko'effitsiyenti katta bo'lganda ( $I_b \rightarrow \infty$ )

$$U_{ke} \rightarrow \frac{kT}{q} \ln \alpha_i \quad (2.46)$$

Ochiq tranzistordagi kuchlanish tushuvi baza toki oshganda, ya'ni to'yinish ko'effitsiyenti oshganda kamayadi.  $U_{ke} = f(\delta)$  bog'liqlik 2.39-b rasmda keltirilgan grafikda tasvirlangan. Ko'p turdagi tranzistorlar uchun to'yinish ko'effitsiyentining optimal qiymati  $\delta = 2 \div 7$  ni tashkil qiladi.

Maydonli tranzistorlar. p-n o'tishli maydonli tranzistor qurilmasi va ishlash tamoyili.

O'tkazuvchi kanal orqali asosiy zaryad tashuvchilarning oqimi va ularning ko'ndalang elektr maydoni tomonidan boshqarilishi tufayli kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbobga maydonli tranzistor deyiladi.

Bipolar tranzistordan farqli ravishda maydonli tranzistorning ishlash tamoyili bitta qutbdagi zaryad tashuvchilarga n-turdagi kanalda faqat elektronlar, p-turdagi kanalda kovaklarga asoslangandir. Maydonli tranzistorlarning ikkita asosiy turi mavjuddir: p-n o'tishi bilan boshqariladigan va zatorli himoyalangan.

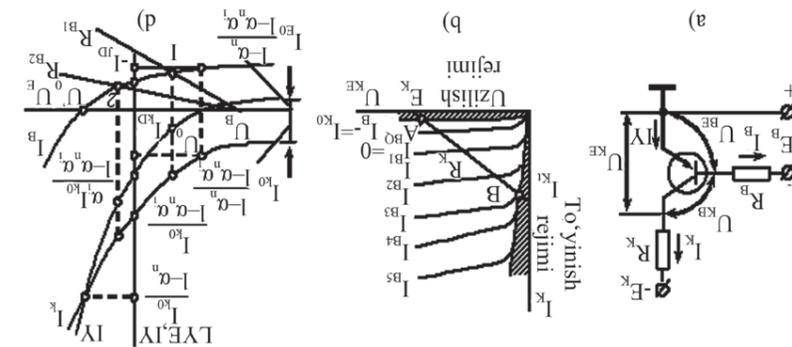
p-n o'tishi bilan boshqariladigan va zatorli himoyalangan.

Maydonli tranzistorning o'tkazuvchi kanalga zaryad tashuvchilarning kiritishi amalga oshiriladigan elektrodni I stok deb ataladi. Zaryad tashuvchilarni kanaldan chiqishi amalga oshadigan elektrodni S stok deb ataladi.

Plastina markaziy qismning yon tomoniga p-turdagi sohani hosil qiluvchi akseptor moddasi kiritiladi.

uzatish ko'effitsiyentining qiymati eng katta bo'ladi. O'zgartirgich texnikasida ko'proq amaliy qo'llanilishga ega bo'lgan umumiy emitter sxemasi uchun kalit rejimini batafsil ko'rib chiqamiz (2.38-a rasm). Umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan p-n-p turdagi tranzistorlarning chiqish VATi 2.38-b rasmda tasvirlangan. Agarda tranzistor tavsiflari oilasiga  $R_k$  yuklama chizig'ini o'tkazsak, u holda A nuqta joylashuvi uzilish rejimiga mos keladi, B nuqtaning joylashuvi esa to'yinish rejimiga mos keladi. Uzilish rejimi. Chuqur uzilish rejimida tranzistor toklari,  $U_k$  va  $U_e$  kattaliklar manfiy va katta bo'lgan

2.38-rasm. Umumiy emitter ulanish sxemasi (a), chiqish volt-ampere tavsifi (b) va tranzistor toklarini emitter o'tishidagi kuchlanishga bog'liqlik grafiqi (d)



Uzilish va to'yinish rejimlari tranzistor signal kuchaytirgich sifatida ishlaydigan faol rejim bilan chegaradosh bo'ladi.

Uzilish rejimi tranzistorning to'liq yopishi uchun yetarli bo'lgan yopuvchi signal boshqarish zanjirida paydo bo'lishi bilan boshlanadi. Bunda tranzistorning chiqish qarshiligi kichik kattalikka kamayadi va chiqish zanjiridagi tok asosan yuklama qarshiligi bilan aniqlanadi.

Tranzistorlarni to'yinish yoki uzilish rejimida uzoq vaqt bo'lgan holda ishlash rejimini kalit rejimi deb ataladi. Mayjud 3 ulanish sxemalarining har birida ham tranzistor kalit rejimida ishlaydi.

Tranzistor umumiy baza sxemasi bo'yicha ulanganda tok uzatish ko'effitsiyenti I dan kichik bo'lganligi uchun kiritish zanjirining toki chiqish

Uzilish va to'yinish rejimlari tranzistor signal kuchaytirgich sifatida ishlaydigan faol rejim bilan chegaradosh bo'ladi.

Uzilish rejimi tranzistorning to'liq yopishi uchun yetarli bo'lgan yopuvchi signal boshqarish zanjirida paydo bo'lishi bilan boshlanadi. Bunda tranzistorning chiqish qarshiligi kichik kattalikka kamayadi va chiqish zanjiridagi tok asosan yuklama qarshiligi bilan aniqlanadi.

Tranzistorlarni to'yinish yoki uzilish rejimida uzoq vaqt bo'lgan holda ishlash rejimini kalit rejimi deb ataladi. Mayjud 3 ulanish sxemalarining har birida ham tranzistor kalit rejimida ishlaydi.

Tranzistor umumiy baza sxemasi bo'yicha ulanganda tok uzatish ko'effitsiyenti I dan kichik bo'lganligi uchun kiritish zanjirining toki chiqish

uzatish ko'effitsiyentining qiymati eng katta bo'ladi.

O'zgartirgich texnikasida ko'proq amaliy qo'llanilishga ega bo'lgan umumiy emitter sxemasi uchun kalit rejimini batafsil ko'rib chiqamiz (2.38-a rasm). Umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan p-n-p turdagi tranzistorlarning chiqish VATi 2.38-b rasmda tasvirlangan. Agarda tranzistor tavsiflari oilasiga  $R_k$  yuklama chizig'ini o'tkazsak, u holda A nuqta joylashuvi uzilish rejimiga mos keladi, B nuqtaning joylashuvi esa to'yinish rejimiga mos keladi. Uzilish rejimi. Chuqur uzilish rejimida tranzistor toklari,  $U_k$  va  $U_e$  kattaliklar manfiy va katta bo'lgan

$|U_k| \gg kT/q$  va  $|U_e| \gg kT/q$  (va ) shartida (2.33), (2.34, a), (2.34, b) tenglamalardan aniqlanadi:

$$I_c = -I_{k0} \frac{\alpha_i}{\alpha_n} \frac{1 - \alpha_i}{1 - \alpha_n \alpha_i} \quad (2.35)$$

$$I_k = I_{k0} \frac{1 - \alpha_i}{1 - \alpha_n \alpha_i} \approx I_{k0} \quad (2.36)$$

$$I_b = \frac{-I_{e0} (1 - \alpha_n) + I_{k0} (1 - \alpha_i)}{1 - \alpha_n \alpha_i} \approx -I_{k0} \quad (2.37)$$

Bunda (2.33) ifodaga muvofiq uzilish rejimida  $I_k \approx -I_b \approx I_{k0}$  ifoda o'rinli bo'ladi. Uzilish rejimi va faol rejimi chegarasida emitter o'tishidagi kuchlanish  $U_e = 0$  bo'ladi. Bu holatda (2.33), (2.34, a), (2.34, b) tengliklardan olingan tranzistor toklarining qiymatlarini quyidagicha yozish mumkin:

$$I_c \approx I_{k0} \frac{\alpha_i}{1 - \alpha_n \alpha_i} \quad (2.38)$$

$$I_k \approx I_{k0} \frac{1}{1 - \alpha_n \alpha_i} \quad (2.39)$$

Harorat oshishi bilan  $p-n$  o'tishning teskari toki oshishi tufayli  $U_{kt}$  pasayadi. Harorat oshishi bilan  $p-n$  o'tishning teskari toki oshishi tufayli  $U_{kt}$  pasayadi. Harorat oshishi bilan  $p-n$  o'tishning teskari toki oshishi tufayli  $U_{kt}$  pasayadi.

Katta tok sohalarida ikkinchi omilning ta'siri kattaroq bo'ladi. Natijada  $I_s$  tok kam o'zgaradi. Bu esa kanal qarshiligining oshishiga harakatlanganligi kamayadi. Bu esa kanal qarshiligining oshishiga harakatlanganligi kamayadi.

Boshqa tomondan harorat oshganda asosiy zaryad tashuvchilarning harakatlanganligi kamayadi. Bu esa kanal qarshiligining oshishiga harakatlanganligi kamayadi. Bu esa kanal qarshiligining oshishiga harakatlanganligi kamayadi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Bit tomondan, haroratning oshishi  $p-n$  o'tishning potensial to'siq balandligini pasaytiradi. Bu esa uning kengligini kama-yishiga va kanalning kengayishiga olib keladi. Kanal qarshiligi kamayadi va  $I_s$  tok oshadi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

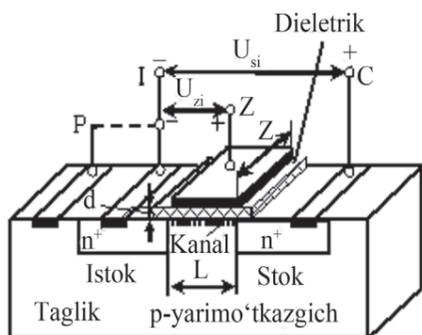
Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.

Haroratning o'zgarishi maydonli tranzistorning ishlash rejimiga kam ta'sir qo'ladi. Bu esa uning bipolar tranzistorlarga nisbatan atzalligidir. Bu holat kanal qarshiligiga va  $I_s$  chiqish tokiga ikkita omilni qarama-qarshi ta'siri bilan tushuntiradi.



2.43-rasm. N-kanal hosil qilinadigan MDYA-tranzistor strukturasi.

**Ishlash tamoyili.** Sirtning muvozanatli potentsiali nolga teng ( $\phi_{s0}=0$ ) bo'lgan ideal holatda  $n$ -kanalli MDYA-tranzistor quyidagicha ishlaydi. Zatvor istok bilan ulangan bo'lsin, ya'ni  $U_{zi} = 0$ . Bu holatda kanal mavjud bo'lmaydi va stok hamda istok orasidagi yo'lda ikkita qarama-qarshi ulangan  $p-n^+$  o'tish mavjud bo'ladi. Shuning uchun  $U_{si}$  kuchlanishi berilganda stok zanjiridagi tok juda kichik bo'ladi. Agarda zatvorga manfiy kuchlanish berilsa, sirt oldi

Bu bog'liqlik, kiritish kuchlanishini chiqish toki kattaligiga boshqaruvchi ta'sirini ta'sirlaydi. Ishchi rejimda, ya'ni to'yinish sohasida  $U_{si}$  ning berilgan o'zgarish qiyamati hamda  $U_{zi}=0$  da olingan ta'sir nuqtasi tok o'qida yotadi va  $I_{s0,y}$  to'yinish tokiga teng

$$U_{si} = const \text{ bo'lganda } I_s = f(U_{si})$$

(2.42-a rasm):

kattaligida stok tokini zatvor-istok kuchlanishiga bog'liqligidir. Stok-zatvor ta'siri, stok-istok kuchlanishining o'zgarishiga boshqariladigan omik qarshilik sifatida ishlatilishi mumkin. Bunda Maydonli tranzistor natqat kuchaytirish sxemalarida, balki kichikroq qiyamatlarda yuz beradi.

Mazkur holatda tranzistorning teshilishi  $U_{si}$  kuchlanishining oshishiga va  $I_s$  tokining kichikroq qiyamatlarda to'yinish rejimiga boshqariladigan omik qarshilik sifatida ishlatilishi mumkin. Bunda Tavsifning boshlang'ich sohasi qiyaroq boshlanadi. Shuningdek yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Tranzistor teshilishi kerak emas. Shuning uchun ishchi rejimda  $U_{si}$  oshirilishi ma'lumotlarda ko'rsatiladigan maksimal ruxsat beriladigan qiyamalar bilan chegaralanadi.  $U_{zi} \neq 0$  qiyamatlarda olingan ta'siflar pastroqda joylashadi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Tranzistor teshilishi kerak emas. Shuning uchun ishchi rejimda  $U_{si}$  oshirilishi ma'lumotlarda ko'rsatiladigan maksimal ruxsat beriladigan qiyamalar bilan chegaralanadi.  $U_{zi} \neq 0$  qiyamatlarda olingan ta'siflar pastroqda joylashadi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

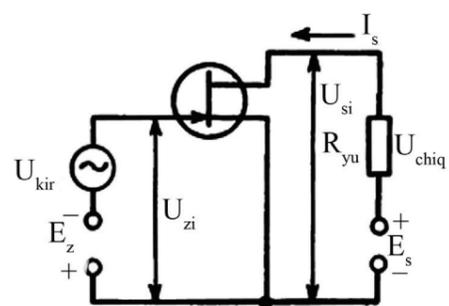
Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.

Zatvoristok kuchlanishining mutloq kattaligi bo'yicha qiyamati gancha katta bo'lsa, shunchalik pastroqda joylashadi. Stok ta'siri olinadigan  $U_{zi}$  kuchlanishi oshishi bilan kanalning boshlang'ich yuzasi kichiklashsa, uning qarshiligi katta bo'ladi.



2.41-rasm. Elektr tebranishlarni kuchaytirish uchun maydonli tranzistorning umumiy istokli ulanish sexemasi.



Tashkil qiluvchi  $U^{ob}$  – sohani bukish kuchlanishidir: u kanalni hosil bo'lishi uchun kerak bo'lgan tomonga sohaning bukilishini (egri chiziq 3) ta'minlaydi va elektrostatik potensial sathining Fermi sathini kesib o'tishi yuz beradigan  $f^{sm}$  sirt potensialini hosil qiladi. Shunday qilib,  $U^{ob}$  kuchlanish yarimo'tkazgichni kanal hosil qilishiga tayyorligini tavsiflaydi;  $f^{so}=0$  bo'lsa,  $U^{ob}=0$  bo'ladi. Muvozanatli soha pastga bukilgan bo'lsa,  $U^{ob}>0$  bo'ladi.  $U^{ob}$  kuchlanish esa

2.45-rasmda ko'rsatilgan. 2.46 - rasmda boshlang'ich bukilish kanalini hosil bo'lishi uchun kerak bo'lgan qarama-qarshi qilib solishtirish)  $n$ -kanali mavjud bo'lgan MDYA tranzistor strukturasi boshlang'ich bukilishini yo'qotadi (1 va 2 egri chiziq) va muvozanatli sirt  $f^{so}$  potensialini noiga keltiradi, ya'ni sohaning Tashkil qiluvchi  $U^{op}$  – sohani to'g'rilash kuchlanishidir: u

$$U^0 = U^{op} + U^{ob}. \quad (2.50)$$

tashkil qiluvchiga ajratish mumkin:  
 $C^0 \approx 1000 \text{ pF/mm}^2$  ga teng bo'ladi. Ostonaviy  $U^0$  kuchlanishni ikkita Agarda  $d=0,03 \text{ mkm}$  va  $e^d=3,9$  ( $\text{SiO}_2$  uchun) desak, u holda qalinligining odatiy qiymati  $d=0,01-0,1 \text{ mkm}$  ni tashkil qiladi. Biroq u dielektrikni teshilishi bilan cheklangandir. Kremniy oksidi singdiruvchanlik. Kattalik  $d$  ni kamaytirilishi maqsadga muvofiqdir, ko'rinishga ega. Bunda  $d$  – dielektrik qalinligi;  $e^d$  – dielektrik

$$C^0 = \varepsilon^0 \varepsilon^d / d \quad (2.49)$$

Bu sig'im parametrlardan biridir. gobilayini aniqlaydi. Shu sababli u MDYA-tranzistorlarning muhim Demak, zatvor-kanal solishtirma sig'imi zatvorning boshqarish bo'lsa, shuncha ko'p solishtirma zaryadni yarimo'tkazgichga keltiradi. yarimo'tkazgich sirt orasidagi solishtirma sig'im qanchalik katta **Ostonaviy kuchlanish.** Zatvordagi kuchlanish, metall va oldi qatlami ko'rinishida tayyorlanadi (2.44-rasm). qilingan holda, kanal ionli legirash usuli yordamida yuqqa sirt

potensialni istokdan stok tomon o'tib boradi. bo'ladi (2.47 - a rasm). Agar  $U^{st} > 0$  bo'lsa, tok oqib o'tadi va sirt va hosil bo'lgan kanal qalinligi  $h$  butun ko'lam bo'yicha bir xil ekvipotensial bo'ladi. Dielektrikdagi maydon bir jinsi bo'ladi chiqamiz. Agar kuchlanish  $U^{st}$  bo'lsa, yarimo'tkazgich sirti **Statik tavis.** Tokning kanal strukturasi ta'sirini ko'rib oraliqda yotadi.

ni olamiz. To'liq ostonaviy kuchlanishning qiymati  $U^0=0,5-1,5 \text{ V}$   $a \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ F} \cdot \text{V} / \text{sm}^2$  bo'ladi.  $C^0=10^{-7} \text{ F/sm}^2$  deb, (2.51, b) dan  $U^{ob} \approx 1,0 \text{ V}$  va bundan  $\phi^{sm}=0,6 \text{ V}$  ligi kelib chiqadi; (2.52) ifodaga muvofiq farq moduli. Misol uchun,  $N=10^{16} \text{ sm}^{-3}$  bo'lsa,  $\phi^f \approx 0,3 \text{ V}$  bo'ladi Odatda  $\phi^{sm}=2\phi^f$  deb olinadi. Bunda  $\phi^f$  – yarimo'tkazgich hajmida Fermi sathi va elektrostatik potensial sathlari orasidagi kiritishma konsentratsiyasi).

( $e^{va}$  – yarimo'tkazgichning dielektrik singdiruvchanligi;  $N$  – taglikdagi hajmiy zaryadning ta'sirini izohlovchi ko'effitsient

$$a = \sqrt{2q\varepsilon^0 \varepsilon^x N} \quad (2.52)$$

bunda

$$U^{ob} = \phi^{ms} + \frac{C^0}{a} \sqrt{\phi^{ms}} \quad (2.51, b)$$

$U^{ob}$  kuchlanish quyidagicha ifodalanaadi: olinadi va  $5 \cdot 10^{-9} - 5 \cdot 10^{-8} \text{ Kl/sm}^2$  ni tashkil qiladi. orasidagi kontakt potensiallar farqi:  $\tilde{Q}^{os}$  kattalik tajriba yo'li bilan hosil bo'lgan zaryadlarni o'z ichiga oladi;  $\phi^{ms}$  – metall va dielektrik sirt holatlarining zaryadini va dielektrikdagi kiritish ionlari tufayli bunda  $\tilde{Q}^{os}$  – sirtning muvozanatli solishtirma zaryadi bo'lib, u

$$U^{ob} = \phi^{ms} + \tilde{Q}^{os} / C^0 \quad (2.51, a)$$

$U^{op}$  kuchlanish quyidagicha ifodalanaadi: kuchlanishni aniqlaydi. sirt potensial noiga teng bo'lgan ideal sharoitdagi ostonaviy

a'zolarining mavjud bo'lganligi uchun) VAT uchun ifodaga keltirib chiqaradi. Shuning uchun amaliyotda VAT approksimatsiyalardan (tabriqlashtirish) foydalaniladi. Ulardan eng soddasi va keng tarqalgani quyidagidir:

$$I_s = b \left[ (U_{zi} - U_0) U_{st} - \frac{1}{2} U_{st}^2 \right]. \quad (2.54)$$

Bu  $b$  – MDYA-tranzistorning solishtirma qiyaligi (asosiy parametrlardan biridir):

$$b = \mu C^0 \frac{Z}{L} = \frac{\varepsilon^0 \varepsilon^d}{d} \frac{Z}{L}. \quad (2.55)$$

Bunda  $\mu$  - zaryad tashuvchilarning sirt oldi harakatchanligi (odatda u hajmdagidan 2–3 marta kichikdir);  $Z$  – kanal kengligi.  $m=550 \text{ sm}^2/(\text{V} \times \text{s})$ ,  $Z/L=10$  va  $C^0=10^{-7} \text{ F/sm}^2$  qiymatlarda  $b \approx 0,5 \text{ mA/V}^2$ . Ifoda (2.54)  $U_{st} < U_{st}$  shartda o'rinlidir, ya'ni VATning boshlang'ich – qiya sohalarda (2.49-a rasm).

Agar  $U_{st} > U_{st}$  bo'lsa, tok o'zgarmaydi va  $U_{st} = U_{st}$  da ega bo'lgan qiymatga teng bo'lib qoladi. Shuning uchun (2.53) ni (2.54) ga qo'yib, to'yinish sohasi uchun ifodani olamiz, ya'ni VATning tekis sohasi uchun:

$$I_s = \frac{1}{2} b (U_{zi} - U_0)^2 \quad (2.56)$$

Bu ifodaga 2.48–b rasmdagi  $U_{st}$  parametrlari egri chiziq mos keladi. Odatda, MDYA-tranzistorlarning nominal toki  $U_{zi}=2U_0$  kuchlanishdagi tok hisoblanadi, ya'ni

$$I_{snom} = \frac{1}{2} b U_0^2 \quad (2.57)$$

Ko'rinib turganidek, ostonaviy kuchlanish qanchalik kichik bo'lsa, ishchi tok shunchalik kichik bo'ladi. Nominal rejimga, ya'ni  $U_{zi}=2U_0$  ga, (105) ga muvofiq to'yinish kuchlanishi  $U_{st}=U_0$  mos keladi. Demak,  $U_0$  ning kichik qiymatlari tranzistorning kichik toklarni va kichik ishchi kuchlanishni ta'minlaydi.

+

qatlami kovaklar bilan boyitiladi; bunda ishchi zanjirda tok kam o'zgaradi. Agarda zatvorga yanada katta musbat siljish  $U_{zi} > 0$  berilsa, dastlab kambag'allashgan qatlam (akseptorlarning hajmiy zaryadi), so'ngra elektronlarning inversion qatlami hosil bo'ladi, ya'ni o'tkazuvchi kanal.

Shundan so'ng stok toki yakuniy qiymatga ega bo'lib, u zatvordagi kuchlanishga bog'liqdir. Bu MDYA-tranzistorning rejimidir. Kirish toki (zatvor zanjirida) kam bo'lganligi uchun quvvat bo'yicha kuchaytirish mavjud.

Muvozanat holatda mavjud bo'lmagan va tashqi kuchlanish ta'sirida hosil bo'luvchi kanallar induksion (hosil bo'ladigan) deb ataladi. Hosil bo'lgan kanalning qalinligi (1–2 nm) deyarli o'zgarasdir. Shuning uchun kanal o'tkazuvchanligining modulatsiyasi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi tufaylidir. Kanal hosil bo'lishiga olib keluvchi zatvordagi kuchlanishni ostonaviy kuchlanish deb ataladi va  $U_0$  bilan belgilanadi.

Kanalning uzunligi  $L$  istok va stok qatlamlari orasidagi masofaga teng bo'lsa, u holda  $Z$  – mazkur qatlamlarning kengligiga tengdir

Agarda  $n$ -turdagi taglik tanlansa, istok va stok qatlamlarini  $p^+$ -turdagidan qilinsa,  $p$ -kanalni yuzaga keltiradigan MDYA-tranzistor hosil bo'ladi. Unga teskari qutbdagi ostonaviy va ishchi kuchlanish o'rinlidir:

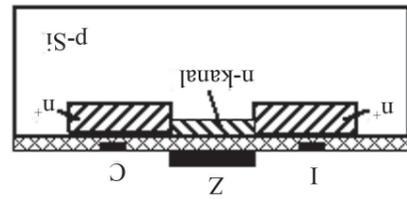
$$U_0 < 0, U_{zi} < 0, U_{st} < 0.$$

MDYA-tranzistor tagliklarini, kanalning hosil bo'lishini osonlashtirish va istok hamda stok o'tishlarning teshilish kuchlanishini oshirish maqsadida uni yuqori solishtirma qarshilikka ega bo'lgan materialdan tayyorlanadi. MDYA-tranzistorlarning ishlash mexanizmi va xossalari bir xildir.

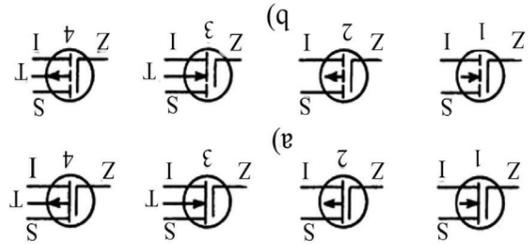
Biroq ayrim hollarda ular bir-biridan farq qilishlari mumkin. Birinchidan,  $n$ -kanalli tranzistorlarning ishchi tashuvchilari – elektronlarning harakatchanligi kovaklarnikiga qaraganda 3 marta katta bo'lganligi uchun ular tezkor bo'ladi.

Ikkinchidan,  $n$ - va  $p$ -kanalli tranzistorlarning sirt oldi

2.45-rasm. n-kanal mavjud bo'lgan MDYA-tranzistor strukturasi.



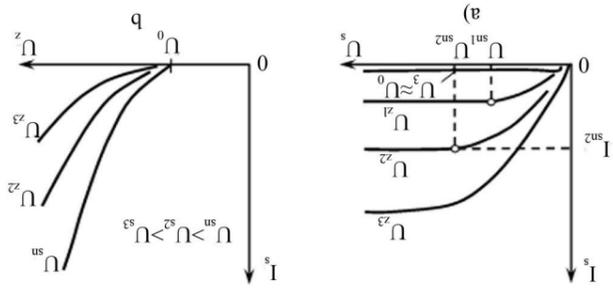
2.44-rasm. Kanali mavjud bo'lgan (a) va hosil qilinadigan (b) MDYA tranzistorning shartli grafitk belgilanish 1-kanali n-turda; 2-kanali p-turda; 3-kanali n-turda va taglikdan chiqishga ega; 4-kanali p-turda va taglikdan chiqishga ega.



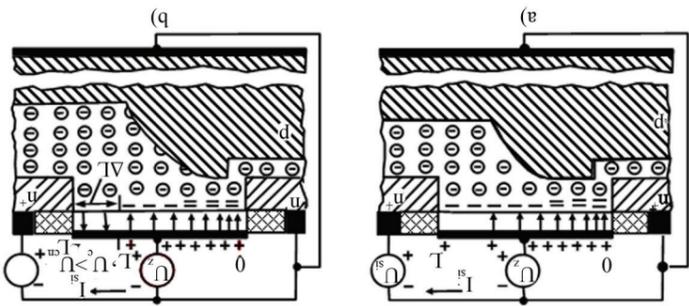
gatlamlarining strukturasi muvozanat holatda farq qiladi. Bu esa ostonaviy kuchlanish kattaligiga ta'sir qiladi. Sirt oldi qatlam strukturadagi farq, oksid mavjud bo'ladigan musbat zaryadning turlicha ta'siri bilan tushuntiriladi. Shu bilan birga n-turdagi taglikda mazkur zaryad p-kanalning hosil bo'lishiga ta'sir qiladi. Bunga mos ravishda p-kanalli tranzistorlarda ostonaviy kuchlanish katta bo'ladi. O'z navbatida p-turdagi taglikda mazkur zaryad kambag'allashgan gatlamni hosil qiladi, ya'ni n-kanal hosil bo'lishini yengillashtradi. Shu sababli n-kanalli tranzistorlarda ostonaviy kuchlanish kamayadi.

Kanal «yo'lka»si hosil bo'lganidan keyin ishchi zanjirdagi tok stokdagi kuchlanishga bog'liq bo'lmay qoladi – tokning to'yinishi boshlanadi (2.49-a rasm). Bundan  $U_{ST}$  kuchlanishning nomlanishi kelib chiqadi. Yoritilgan jarayonlarni hisobga olingan holda bajarilgan tahlil muhandislik hisoblarida noqulay bo'lgan ( $3/2$  darajadagi

2.49-rasm. MDYA-tranzistorning statik tavsifi: a–chiqish; b–uzatish.

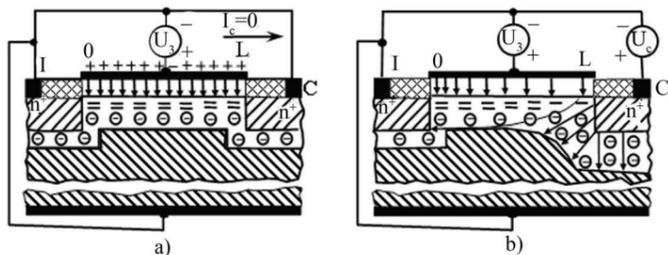


2.28-rasm. MDYA-tranzistorlarda maydon va zaryadlarning taqsimoti: a–to'yinish chegarasida ( $U_{ST}=U_{ST}$ ); to'yinish sohasida ( $U_{ST} < U_{ST}$ )



farqiga  $U_{ST} - U_{ST}$  bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlik, p-n-o'tish kengligi teskari kuchlanishga bog'liqligi kabi bo'ladi.

2.47-rasm. Stokda nol (o) va eng katta musbat (b) kuchlanish bo'lgan paytda MDYA-tranzistorlarda zaryadlar va maydonning taqsimoti.



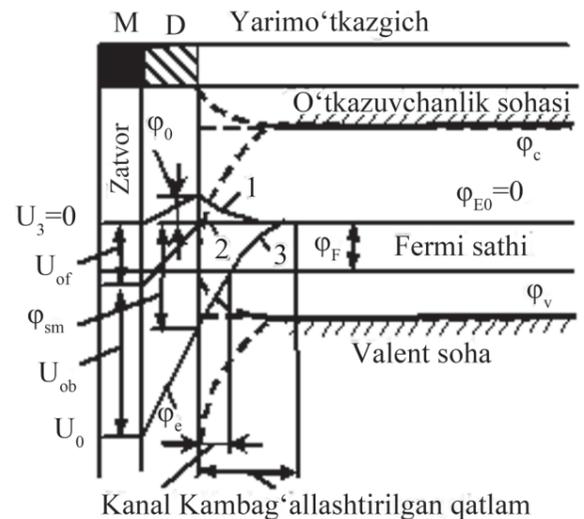
Demak, zatvor va sirt orasidagi potentsiallar farqi stok yo'nalishi tomon kamayib boradi. Mos ravishda dielektrikdagi maydon kuchlaniligi va kanalidagi elektronlarning solishtirma zaryadi kamayadi. Shuning uchun  $x = L$  nuqtada kanalning yuzasi torayadi (2.47-b rasm).

To'yinish kuchlanishi deb ataluvchi stokdagi kuchlanishning ma'lum bir kritik (chegaraviy) qiymatida  $x = L$  nuqtada zatvor va sirt orasidagi potentsial ostonaviy kuchlanishga teng qilinadi. Kanal «yo'lka (gorlovina)»si hosil bo'ladi (2.48-a rasm).

To'yinish kuchlanishi quyidagi ko'rinishga ega:

$$U_{ST} = U_{ZI} - U_0 \quad (2.53)$$

$U_{ST} > U_{ST}$  kuchlanishlarda kanal sirtidan ajralib turilgan hajmiy zaryad qatlami  $\Delta L$  sohada sirtga chiqsa, kanal «yo'lka»si mos ravishda  $L'$  nuqtaga siljiydi (2.48-b rasm). Shu sababli kanal  $\Delta L$  kattalikka qisqarishi yuz beradi;  $L'$  nuqtadagi «yo'lka» potentsiali to'yinish boshidagi  $U_{ST}$  qiymatni saqlaydi.  $\Delta L$  kattalik (hajmiy zaryadlarning sirt oldi kengligi) mazkur sohadagi kuchlanishlar



2.46-rasm. MDYA-tranzistorning kuchlanish 0 dan  $U_0$  gacha bo'lgandagi zona diagrammasi.

Ba'zida oksiddagi musbat zaryad nafaqat kambag'allashgan, balki invers qatlamni, ya'ni n-kanalni hosil qilishi mumkin. Bunday kanal nol kuchlanishda mavjud bo'lganligi uchun uni induksiyalangan deb bo'lmaydi. Demak, ostonaviy kuchlanish kattaligi o'zining oddiy ma'nosini yo'qotadi. Mazkur turdagi tranzistorlarda kanalni mavjud bo'lgan deb atashsa, ostonaviy kuchlanish o'rniga uzish kuchlanishi degan parametr kiritiladi. Bu kuchlanishda muvozanatdagi inversion qatlamdagi elektronlar sirtidan itariladi va mavjud bo'lgan kanal yo'qoladi. Umuman olganda ichki kanalning mavjud bo'lishi MDYA-tranzistorlarning ishlatilishiga ta'sir qilmaydi. Bunday tranzistorlar zatvordagi kuchlanishning ikkala qutbida ishlaydi: manfiy qutbda kanal zaryad tashuvchilar bilan kambag'allashgan va stok toki kamayadi, musbat qutbda kanal boyitiladi va tok oshadi. Zatvordagi kuchlanishning bitta qutbida ishlasa ham kanali hosil qilinadigan tranzistorlar keng tarqalgandir. Ichki kanal talab



Tiristor,  $\alpha_1 + \alpha_2$  ko'effitsiyentlar yig'indisi birdan kichik bo'lgan vaqtgacha kichik o'tkazuvchanlik holatida bo'ladi.

$$I^a = \frac{I_{k0} (1 - \alpha_1 - \alpha_2)}{\alpha_2 I_{bosh} + I_{k0}} \quad (2.72)$$

Boshqaruvchi tok mavjud bo'lganda  $I^a = I^k + I^{bsh}$  bo'ladi va asbob orqali oqib o'tuvchi tok uchun ifoda ko'rinishda bo'ladi:

$$I^a = \frac{I_{k0} (1 - \alpha_1 - \alpha_2)}{I_{k0}} \quad (2.71)$$

Boshqaruvchi tok mavjud bo'lmaganda  $I^a = I^k$  bo'ladi va asbob ifodani olamiz.

$$I^a = \alpha_1 I^a + \alpha_2 I^k + I_{k0} \quad (2.70)$$

$$I_{k0} = I^d + I'' + I^n$$

belgilasak:

Termogeneratsiya tufayli yuzaga kelgan tokni  $I_{k0}$  bilan

$$I^a = I^d + I^n + \alpha_1 I^a + \alpha_2 I^k + I^d + I'' + I^n \quad (2.69)$$

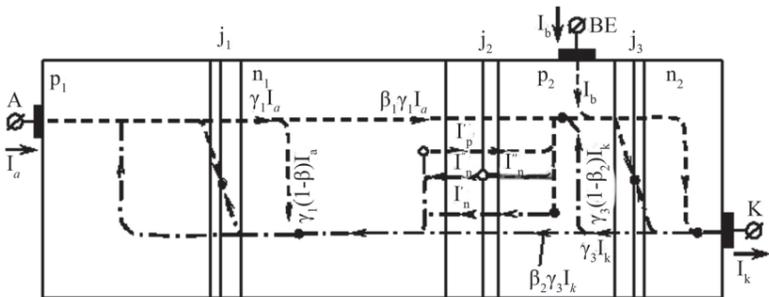
ifodani topamiz:

Yuqoridagi (2.67) va (2.68) ifodalarni qo'shgan holda  $p$ -turdagi termogeneratsiyasi tufayli yuzaga kelgan elektron tok.

uzatish ko'effitsiyenti;  $I''$  -  $p$ -turdagi bazada elektronlarning ko'rinishda yozish mumkin. Bunda  $\alpha_2 = \beta_2 \gamma_3$  - elektron tokini

$$I^n = \alpha_2 I^k + I'' \quad (2.68)$$

bir qismini  $P_1 I_a$  orqali belgilaymiz ( $\gamma_1 - j_1$  o'tishning injeksiya ko'effitsiyenti). Tokning qolgan  $(1 - \gamma_1) I_a$  qismi  $n$ -turdagi bazadan  $j_1$  o'tishning hajmiy zaryad sohasi tomon harakatlanayotgan elektronlar oqimidan tashkil topgan.



2.53-rasm. To'g'ri ulanishdagi yopiq holatda bo'lgan tiristorda elektronlar(-·-·-·) va kovaklarning (---)harakatlanishi (●-rekombinatsiya, ○-generatsiya)

O'tish  $j_1$  dan o'tish  $j_2$  tomon  $n$ -turdagi bazada harakatlanayotgan kovaklar qisman elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi. Shuning uchun  $j_2$  o'tishga, baza sohasi orqali ko'chish ko'effitsiyenti  $b_1$  asoslanuvchi tokning ma'lum bir miqdori ( $\beta_1 \gamma_1 I_a$ ) yetib keladi.

Agarda  $n$ -turdagi bazada va teskari siljigan  $j_2$  kollektor o'tishi hajmida kovaklarning generatsiya jarayoni mavjudligini hisobga olsak, u holda  $j_2$  o'tishning hajmiy zaryad sohasi tomonidan hosil qilinadigan elektr maydonining ta'sir qilishi tufayli  $p$ -turdagi bazaga oqib kiruvchi to'liq kovak tokini

$$I_p = \alpha_1 I_a + I_p' + I_p'' \quad (2.67)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bunda  $\alpha_1 = \beta_1 \gamma_1$  - kovak tokini uzatish ko'effitsiyenti;  $I_p'$  va  $I_p''$  - mos ravishda  $n$ -turdagi bazada va  $j_2$  o'tish hajmida kovaklarning termogeneratsiyasi tufayli yuzaga kelgan kovaklar toki. Bunga o'xshash ifodani  $p$ -turdagi baza tomonidan  $j_2$  o'tishning hajmiy zaryad sohasi chegarasiga yetib keluvchi elektronlar oqimi uchun

Mos keluvchi VAT oilasi 2.50 - rasmida ko'rsatilgan. (2.65)

$$I^s = b(U_{zi} - U_0) U_{si} \quad (2.65)$$

mumkin:

kvadratlik a'zoni hisobga olmagun holda chiziqli bog'lanishni olish qiyasohasini ko'rib chiqamiz.  $U_{si} \gg U_{zi} - U_0$  deb, (106) ifodadagi impuls sxemalarda keng qo'llaniladigan VATning boshlang'ich mavjud bo'lishi ostonaviy kuchlanishning oshganidek bo'ladi.

Ko'rinib turganidek, taglik va istok orasidagi kuchlanishning

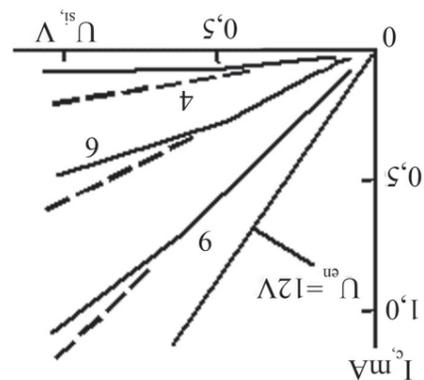
$$I^s = \frac{1}{b} \left( \frac{2}{1} + \frac{u}{b} \right) \left( U_x - U_0 - \frac{3}{2} \eta |U_{r1}| \right) \quad (2.64)$$

bilan almashitirish mumkin:

Taglikning ta'sirini hisobga olgan holda (2.61) tavsifni quyidagi  $U_{tr}$ , ya'ni tokni ikki tomonlama boshqarish mumkin bo'ladi.

ravishda  $I_s$  tok ikkita kuchlanish funksiyasi bo'lib qoladi:  $U_{zi}$  va Mos Bunda  $U_{tr}$  kuchlanish tabiiyki, ifoda (2.56) ga kiradi. Mos

2.50-rasm. MDYA-tiristor chiqish tavsifining boshlang'ich kvazichiziqli sohasi.



ifodaning o'ng qismidagi  $U_{si}$  dagi ko'effitsient kanal o'tkazuvchanligi deyiladi. Teskari kattalik - kanal qarshiligi quyidagiga tengdir:

$$R_0 = \frac{1}{b(U_{zi} - U_0)} \quad (2.66)$$

Ko'rinib turganidek, kanal qarshiligini zatvordagi kuchlanishni o'zgartirgan holda keng oraliqda o'zgartirish mumkin.

### 2.5. Tiristorlar

Eng sodda tiristor  $p$ - va  $n$ -turdagi qatlamlarning navbatma navbat kelishidan tashkil topgan to'rt qatlamli strukturadir.

Tiristorlar - ikkita turg'un holatga, ya'ni kichik o'tkazuvchanlik holatiga (asbob berk) va yuqori o'tkazuvchanlik holatiga (asbob ochiq) ega bo'lgan asbobdir.

Bir holatdan boshqa holatga o'tish tashqi omillar ta'sirida yuz beradi. Bu tashqi omillarga kuchlanish, yorug'lik, harorat va h.k. lar kiradi.

Tiristorlar fan va texnikaning turli sohalarida qo'llanilishi uchun mo'ljallangandir. Toki yuz ampergacha, kuchlanishi esa ming va undan ortiq volt bilan tavsiflanadigan katta quvvatli tiristorlar o'zgartirgich texnikasida ishlatiladi.

Tiristorlarning quyidagi turlari mavjud:

1. Ikkita elektrodga (anod va katod) ega bo'lgan diodli tiristorlar (dinistorlar). Ularni elektrodga katta tezlikda o'suvchi kuchlanishni berish yoki qo'yilgan kuchlanishni kritik qiymatdan katta bo'lgan kattalikkacha oshirish bilan boshqarish mumkin.

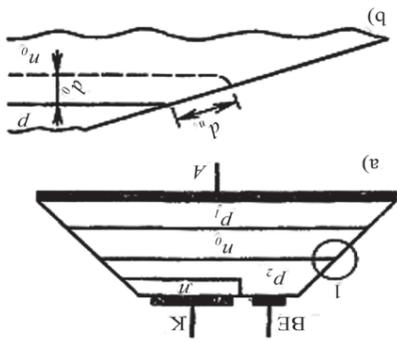
2. Uchta elektrodga ega bo'lgan triodli tiristorlar (ularni, odatda, tiristor deb atashadi).

Uchinchi elektrod (boshqaruvchi) tiristorni yopiq holatdan ochiq holatga o'tkazish uchun xizmat qiladi.

**Tiristorlarning ishlash tamoyili.** Eng sodda tiristorning strukturaviy sxemasi 2.51 - rasmida keltirilgan.

Natijada tiristorning maksimal ulanish kuchlanishi kamayadi. Sirt teshilishini bartaraf qilish uchun sirtidagi hajmiy zaryad sohasi, odatda, suniy ravishda cho'ziltirishadi, masalan, faska hosil qilish orqali (2.57 - rasm). Bu holatda  $d_s < d_0$  bo'lad va sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi  $U/d_s$  hajmadagiga  $U/d_0$  qaraganda kichikroq bo'ladi. Shuning uchun teshilish kuchlanishi yarimo'tkazgich hajmida  $p-n$  o'tishning ko'chikli teshilishi bilan aniqlanadi. O'zgaruvchan tokni to'g'rilashda  $p-n-p$  strukturadan foydalanilganda u tokni faqatgina bir tomonga o'tkazadi. Ikkala yarimdavrdan foydalanish uchun qarama-qarshi ulangan ikkita  $p-n-p$  strukturada ishlatiladi. Bunday birlikning volt - amper tavsifi simmetrik bo'ladi (2.58-b rasm). Uch qatlamli  $p-n-p$  struktura, yagona besh qatlamli  $n-p-n-p-n$  struktura va boshqalarga biriktirishni mumkin bo'lgan ikkala  $p-n-p$  struktura uchun umumiydir (2.58-rasm).

2.57-rasm. Sirtida fakasi bo'lgan tiristor strukturalari (a) va qism I kattalashtirilgan o'lchamda (b) uzluqli chiziq-hajmiy zaryad sohasining chegarasi.



tranzistor tashkil qiluvchilari kollektor tokining to'yinish rejimida ishlaydi. Sirtidagi hajmiy zaryad sohasining kengligi hajmga nisbatan kichikroqdir. Shu sababli sirtida  $p-n$  o'tishning ko'chikli teshilishi hajmga nisbatan kichikroq kuchlanishlar yuz beradi.

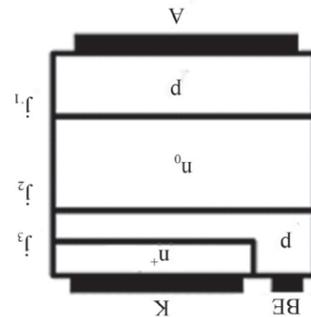
Boshqaruvchi impulsning amplitudasi ulanish sharti bajarilishi ro'y beruvchi ma'lum bir minimal  $I_{bosh0}$  kattaligidan katta bo'lgandagina ulanish yuz beradi.  $U_1$  kuchlanish oshishi bilan  $I_{bosh0}$  tok kamayadi. Boshqaruvchi impuls berilganda elektronlarning  $p$ -bazaga injeksiyasi yuz beradi. Elektronlarning  $p$ -baza orqali diffuziya vaqtiga  $t_p = W_p^2 / (2D_n)$  teng vaqtdan so'ng ular  $n$ - bazada jamlanishni boshlaydi. Jamlangan manfiy zaryad  $j_1$  o'tishning potensial to'sig'ining pasaytiradi. Bu esa  $n$ -bazaga kovaklarning injeksiyalanishiga olib keladi. Injeksiyalangan kovaklar  $t_n = W_n^2 / (2D_p)$  vaqtdan so'ng  $n$ -baza orqali diffuziyalanib, kollektor maydoni tomonidan  $p$ -bazaga o'tkaziladi. Bu esa  $j_3$  o'tishning potensial to'sig'ini pasayishiga va keyinchalik elektronlarning injeksiyasini oshishiga olib keladi. Struktura orqali oqib o'tayotgan tok  $I_{or}$  ga teng bo'lganda tokning ko'chikli o'sishi uchush shart bajarilganligi uchun boshqaruvchi impulsni uzish mumkin. Buning uchun kerak bo'ladigan minimal vaqtni  $t_{ush} = t_n + t_p$  ushlanish vaqti deb atashadi.  $N$ -baza  $p$ -bazadan ancha keng bo'lganligi uchun  $t_p$  vaqtni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Amaliyotda ushlanish vaqti boshqaruvchi impuls berilgan vaqtdan  $p-n-p$ -struktura orqali oqib o'tayotgan tok  $0,1I_1$  ( $I_1 \approx U_1 / R$  - ulangan holatdagi maksimal tok) qiymatga erishgan vaqtgacha bo'lgan vaqt sifatida aniqlanadi. Ko'pincha  $t_{ush}$   $p-n-p$  strukturani ulovchi boshqarish impulsining minimal davomiyligi sifatida aniqlanadi. Boshqaruvchi impulsining amplitudasi oshishi bilan  $t_{ush}$  kamayadi. Buning sabablaridan biri, injeksiya darajasi oshishi bilan diffuziya koeffitsiyentining oshishidir. Tokning  $0,1I_1$  dan  $0,9 I_1$  gacha o'sish vaqti  $t_f$  front davomiyligini tavsiflaydi. Bu vaqt tranzistor ulanishdagi o'sish vaqtida yuz beruvchi jarayonlar bilan aniqlanadi. U ham  $RC_2$  - doimiyni oshishi bilan oshadi. Bu yerda  $C_2$  - kollektor o'tishining sig'imi. Tokning keyinchalik  $I_1$  ga oshishi va  $p-n-p$ -strukturadagi kuchlanishni  $U_{qol}$  gacha pasayishi injeksiyalangan tashuvchilar tufayli baza qarshiligini kamayishi va ulangan holatni  $p-n-p$  strukturaning butun yuzasi bo'yicha tarqalishi bilan bog'liqdir. Injeksiya dastlab boshqaruvchi elektrod yaqinida boshlanadi. So'ngra esa  $j_3$  o'tishning butun yuzasi bo'yicha tarqaladi. Huddi shunday jarayonlar fototiristor

Mos ravishda katta emitter toklarida  $p-n-p$  struktura ham kollektor to'yinish rejimida ishlaydi. Buning sababi tranzistorida bo'lganidek katta emitter tokida, bo'lsada, kollektor  $p-n$  o'tishdagi kuchlanish tushuvi to'g'ri qutubda Ulangan holatda, tashqi kuchlanish kollektor nisbatan teskari Om atrofida bo'lsa,  $U^{ob1} - 1 \dots 2$  V atrofida bo'ladi. Ulangan holatda  $p-n-p$ -strukturaning qarshiligi bir tushuvi keng bazali diod uchun ishlatiladigan formula orqali bazali dioddagi kabi aniqlansa,  $j_1$  o'tish va  $n_0$  bazadagi kuchlanish tushuvlaridan tashkil topadi.  $j_3$  o'tishdagi kuchlanish tushuvi yuqqa emitter  $p-n$  o'tishlaridagi va  $n_0$  keng baza qarshiligidagi kuchlanish Shuning uchun  $p-n-p$  o'tishdagi qoldiq kuchlanish  $j_1$  hamda  $j_3$  o'tishdagi sababli juda kichik bo'ladi.

Injeksiyalangan zaryad tashuvchilarning katta konsentratsiyasi Ulangan holatda kollektor  $p-n$  o'tish qarshiligi uning orqali darajada katta qilib ( $L^p$  ga yaqin yoki undan katta) olinadi. kuchlanishlar bazani teshilish effekti yo'qotish uchun yetarli  $n_0$  sohaga tarqalganligi uchun  $n_0$  sohaning kengligini yuqori kerak. Kollektor  $j_2$   $p-n$  o'tishlarining hajmiy zaryad sohasi asosan darajada katta bo'lishi uchun  $d \gg n_0$ ,  $u^+ \gg d$  shart bajarilishi  $j_1$  hamda  $j_3$  emitter  $p-n$  o'tishlarining samaradorligi yetarli

2.56-rasm. Ikkita diffuziya usuli bilan tayyorlangan tiristor strukturalari.



Ikkita  $n-p-n$  va  $p-n-p$ -turtdagi tranzistorlarning kombinatsiyasi ko'rinishida keltirilgan to'rtqatlamli strukturaning analog sxemasi 2.54 - rasmda ko'rsatilgan. Tranzistorlar shunday tarzda ulangan, birining baza elektrodi boshqasining kollektor elektrodi bilan ulangan va aksincha, ya'ni tranzistorlar orasida tok bo'yicha musbat teskari bog'lanish mavjud bo'lib, uning chuqurligi tranzistorlarning  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  tok uzatish koeffitsiyentlari bilan aniqlanadi.  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  koeffitsiyentlar kollektor kuchlanishi va emitter tokiga bog'liq bo'lganligi sababli tiristorga qo'yilgan kuchlanish yoki boshqaruvchi elektroddagi tokni o'zgartirgan holda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  koeffitsiyentlarning qiymatlarini boshqarish mumkin, teskari bog'lanish chuqurligini o'zgartirganda, uning ma'lum bir kattaligida tiristorning yopiq holatdan ochiq holatga o'tishi yuz beradi.

2.54 - rasmdan ko'rinib turibdiki,  $I_{bosh}$  ( $I_{bosh} > 0$ ) boshqarish toki oshganda  $n-p-n$ -turtdagi tranzistorning  $I_{b2}$  baza toki oshadi. Bunda  $p-n-p$ -turtdagi tranzistor baza toki bo'lgan  $I_{k2}$  kollektor toki oshadi. O'z navbatida  $I_{b1}$  baza tokini oshishi esa  $p-n-p$ -turtdagi tranzistorning  $I_{k1}$  kollektor tokini oshishiga olib keladi. Natijada  $p-n-p$ -turtdagi tranzistor baza tokini yanada oshishiga olib keladi va yuqoridagi jarayonlar takrorlanadi. Shunday qilib, ko'chikli jarayon rivojlanadi va unda tranzistorlarning tok uzatish koeffitsiyentlarining oshishi sababli tranzistorlar to'yinish rejimiga o'tadi. Bu esa yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan tiristorning holatiga mos keladi.

$T_2$  tranzistorning kollektor toki bo'lgan  $T_1$  tranzistorning baza toki quyidagi ifodaga teng:

$$I_{b1} = (1 - \alpha_1) I_{k1} - I_{k01} \quad (2.73)$$

$T_2$  tranzistorning kollektor toki uchun ifoda:

$$I_{k2} = \alpha_2 I_{e2} + I_{k02} \quad (2.74)$$

ko'rinishga ega. Bunda  $I_{k01}$  va  $I_{k02}$  - mos ravishda  $n$ - va  $p$ -turtdagi bazalarga nisbatan kollektor o'tishning teskari toklari.

Yuqoridagi (2.73) va (2.74) ifodalarni tenglashtirib va

$$\alpha_1^* + \alpha_2^* + I^{bosh} = 1 \quad (I^{bosh} > 0 \text{ bo'lganda}),$$

$$\alpha_1^* + \alpha_2^* = 1 \quad (I^{bosh} = 0 \text{ bo'lganda}),$$

Bunda quyidagi shart bajarilishi kerak: tiristorlarda musbat teskari bog'lanishni hosil bo'lishiga mos keladi. 2-bo'lakda tiristorning yuqori o'tkazuvchanlik holatiga ko'ch-teskari siljigan  $j_2$  markaziy o'tishning xususiyatlari bilan aniqlanadi. Bu bo'lakda  $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$  bo'ladi. Tiristorning qarshiligi katta kuchlanish qo'yilgan.

1-bo'lakda, yopiq holatda bo'lgan tiristorga musbat qutbdagi tiristorning volt-ampere tavsifi to'rtta bo'lakka bo'lish mumkin. Tiristorlarning volt-ampere tavsifi. 2.55-rasm. 2.55-rasm. Tiristorlarning volt-ampere tavsifi. 2.55-rasm. Tiristorlarning volt-ampere tavsifi. 2.55-rasm.

darajada to'liq yoritishdan darak beradi. esa tanlangan model tiristorlarda yuz beruvchi jarayonlarni yetarli qilib olingan (2.71) va (2.72) ifodalarning aynan o'zidir. Bu (2.75) va (2.76) ifodalarda fizik jarayonlarni tahlil ko'rinishga ega bo'ladi.

$$I^a = \frac{I^{k0} (1 - (\alpha_1 + \alpha_2))}{I^{k0}} \quad (2.76)$$

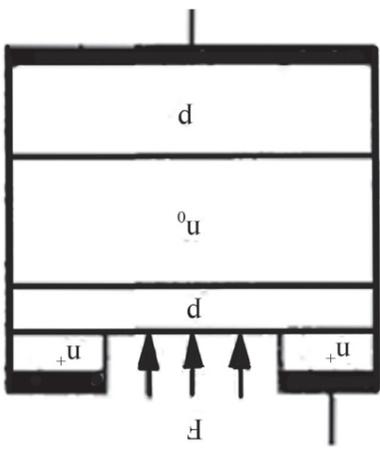
Boshqaruvchi tok mavjud bo'lmaganda ( $I^{bosh} = 0$ ) yuqoridagi (2.75) ifoda:

$$I^a = \frac{I^{k0} (1 - (\alpha_1 + \alpha_2))}{I^{k0} + \alpha_2 I^{bosh}} \quad (2.75)$$

topish mumkin: bo'lishini hisobga olgan holda anod toki uchun quyidagi ifodani

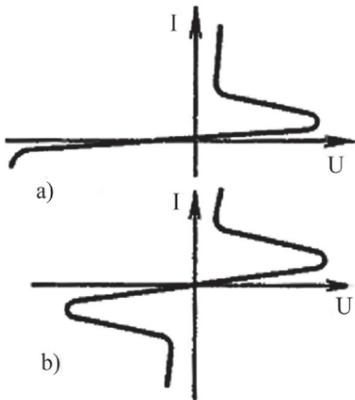
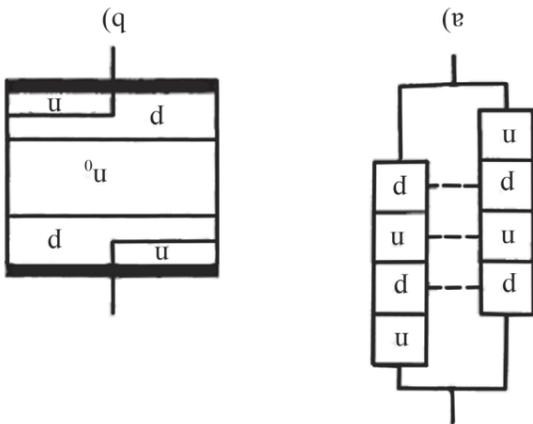
$$I^{k1} = I^a I^{e1} = I^k = I^a + I^{bosh} I^{k0} = I^{k01} + I^{k02}$$

2.60-rasm Fototiristor



Tiristorni qayta ulash. Tiristorni yuqori omli holatdan past omli holatga o'tkazish uchun boshqaruvchi elektrodga musbat impuls berish (2.60 - rasm) bilan ulash mumkin.

2.59-rasm. Ikkita p-n-p-n-struktura qarama-qarshi ulanishi(a) va ularning analoging konstruksiyasi-besh qatlamli n-p-n-p-n-struktura.



2.58-rasm. p-n-p-n-struktura (a) va ikkita qarama-qarshi parallel ulangan p-n-p-n strukturaning (b) volt-ampere tavsiflari.

Tashqi kuchlanishning bir qutubida strukturaning birinchi yarmi ishlasa, qarama-qarshi qutubida boshqa yarmi ishladi va volt-ampere tavsifi simmetrik ko'rinishga ega bo'ladi. Besh qatlamli strukturaga boshqaruvchi elektrod kiritilishi mumkin. Bitta boshqaruvchi elektrod volt - amper tavsifining ikkala tarmog'ini boshqarishni ta'minlaydi.

Fototiristorning strukturasi tiristor strukturasi bilan farq qiladi (2.59-rasm).



ya'ni, o'tish jarayoni boshlanishi uchun asbob orqali o'tuvchi tok o'sishi bilan oshadigan tranzistorlarning tok uzatishning differensial koeffitsiyentlari yig'indisi birga teng bo'lishi kerak.

2-bo'lak, tokning o'sishi va bir vaqtning o'zida tiristorning kuchlanish tushuvining kamayishi tufayli manfiy differensial qarshilikni tavsiflaydi.

3-bo'lak tiristor volt-ampere tavsifining ishchi qismi hisoblanadi.

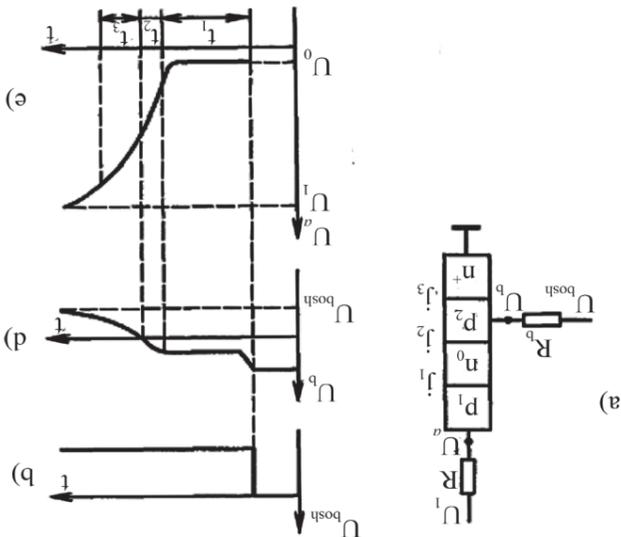
2.55-rasm. Tiristorning volt-ampere tavsifi. Asbob yuqori o'tkazuvchanlik holatida bo'ladi va to'g'ri yo'nalishdagi uning qarshiligi kichik bo'ladi. 2-bo'lakdan 3 - bo'lakka o'tish, ya'ni ulanish jarayonning tugashi, tok uzatishning integral koeffitsiyentlarining yig'indisi  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$  bo'lganda yuz beradi. Ta'kidlash joizki, asbobning ikkala bazasida elektronlar va kovaklarning rekombinatsiya jarayoni mavjud bo'lishi tufayli  $\alpha_1 + \alpha_2$  yig'indining birdan oshuvchi kattalikkacha oshishi yuz bermaydi.

4-bo'lakda tiristorga manfiy qutbdagi kuchlanish qo'yilgan. Volt-ampere tavsifining shakli oddiy diod VATning teskari shohini (tarmog'ini) eslatadi.

**Konstruksiya.** Hozirgi kunda p-n-p-n-strukturani tayyorlash usuli ikkitali diffuziyadir. N-turdagi kremniyning ikki tomonidan akseptor kirishmasining diffuziyasi o'tkaziladi va  $j_1$  hamda  $j_2$  p-n-o'tishlari hosil qilinadi. So'ngra diffuzion p- sohaga donor kirishmasining lokal diffuziyasi amalga oshiriladi va  $j_3$  p-n-o'tish hosil qilinadi (2.56 - rasm).

Yashash vaqtini kamaytirish tirtistorida to'g'ri kuchlanish tushuvining katta qiymatda bo'lishiga va ruqsat berilgan to'g'ri tokning kamayishiga olib keladi. Baza kengligini kamaytirish hisobiga

2.64-rasm. Tirtistorning bazaga maniy impuls berishi bilan uzish sexmasi (a), boshqaruvch elektrodagi impuls shakli (b), bazadagi (d) va anodagi kuchlanishning (e).



domiy vaqt hisobiga oshadi. Baza bo'yicha berilishdagi uzilish vaqt  $t_{uzil} \approx t_1 + t_3$ .  $t_3$  vaqt anod bo'yicha uzilish vaqtiga tengdir. Boshqaruvchi elektrodning teskari toki oshishi bilan  $t_1$  kamaysa, baza bo'yicha berilishdagi uzilish vaqt anod bo'yicha uzilish vaqtiga qiyomatigacha yaqinlashadi. Takidlash joizki, kichik qalinlikdagi va katta yuzali  $p_2$  bazada boshqaruvchi tok oqib o'tganda katta bo'yicha yopilishda uzilishni qiyinlashtiradi. Yuqorida bayon qilinganlardan, tirtistorning ishlash tezligini oshirish uchun bazada noasosiy tashuvchilarning yashash vaqtini kamaytirish kerakligi kelib chiqadi.

Uchinchi davr tiklanish davri deb ataladi ( $t_3$ ). Bu vaqt davomida anodagi kuchlanish  $U_1$  ga yaqinlashadi.  $t_1$  vaqt anod bo'yicha uzilishdagi kabi aniqlanadi, ya'ni yuqori omli bazada ( $n_0$ ) noasosiy tashuvchilarning samarali yashash vaqt orqali. Tiklanish vaqt ham  $n_0$  sohada  $t_{pd}$  kabi aniqlanadi, bundan tashqari u kollektorning  $RC_2$ -

Keyingi  $t_2$  davrda  $I_a$  tok regenerativ kamayadi va  $I_a > I_b$  bo'lishi bilan katta bo'lganligi uchun  $j_3$  o'tish to'g'ri yo'nalishda ulangan bo'ladi. Oqib o'tayotgan tok ( $I_a$ ) baza chiqishi orqali oqayotgan ( $I_b$ ) tokdan kuchlanish o'tmaydi.  $t_1$  vaqt davomida  $p-n-p-n$ -struktura orqali tashkil qiluvchilari to'yinish rejimidan chiqadi va kollektorida teskari vaqt  $t_{2.64}$  - rasmda  $t_1$  bilan belgilangan. Bu vaqt davomida tranzistor nomuvozanati tashuvchilar konsentratsiyasi kamayadi. So'rtish aniqlanadi. Maniy impulsni  $p_2$  bazaga berilganida unda jamlangan uzilgan holatda qolishiga olib keladigan minimal davomiyligi bilan oshirish mumkin. Uzilish vaqt, impuls tuganidan so'ng struktura elektrodga (2.64 - rasm) maniy impuls berish orqali amalga oshiriladi. Demak  $t_{uzil} \approx t_{pd} \ln(I_1/I_0)$  bo'ladi. Bu formula yordamida tajriba yo'li bilan  $t_{uzil} = f(I)$  bog'liqlikni o'lchab,  $n_0$  aniqlanadi. Tokning  $I_0$  dan kichik qiymatigacha kamayishiga kegan vaqt sifatida  $R$  rezistorning mavjud bo'lishi bilan tushuntiriladi. Uzilish vaqt shakli  $t < t_3$  da (2.63-d rasm) eksponentadan og'ishini ketma-ket yozish mumkin. Bu yerda  $I_1 - t = 0$  vaqtidagi to'g'ri tok  $I(t)$  bog'liqlik konsentratsiyaga proporsional bo'lganligi uchun  $I = I_1 \exp(-t/\tau^{pd})$  ( $\exp(-t/\tau^{pd})$ ) qonuniyat bo'yicha yuz beradi deb hisoblasa bo'ladi. Tok tashuvchilarning  $n_0$  bazadagi konsentratsiyasini kamayishini hajmiy zaryad sohasining o'lchamlarini bildiradi. Injeksiyalangan tushuv vaqt deb atash mumkin. 2.63 - rasm  $x_n$  va  $x_p$  kattaliklar tranzistorga o'xshash  $0-t_3$  oralig'ini so'rtish vaqt,  $t_3-t_4$  oralig'ini rekombinatsiya vaqt bilan aniqlanadi.

strukturaning uzilish vaqt injeksiyalangan tashuvchilarning  $n_0$  bazada

### 3 - BOB. ELEKTRON LAMPALAR

#### 3.1 Diodli, triodli lampalar

**Diod qurilmasi va uning ishlash tamoyili.** Katod va anodga ega bo'lgan ikki elektrodli lampa **diod** deb ataladi.

Elektr vakuumli diod yuqori vakuum hosil qilgan ballon bo'lib, unga ikkita elektrod – katod va anod joylashtirilgan bo'ladi. Bevosita qizdiriladigan katod, qizdirish toki bilan isitilgan to'g'ri yoki W- shakldagi simdir. Bilvosita qizdiriladigan katod – uzun silindr bo'lib, uning ichiga elektr jihatdan izolatsiya qilingan qizdirgichning spirali joylashtiriladi. Katod silindr yoki qutuli anod ichiga joylashtirilgan bo'ladi.

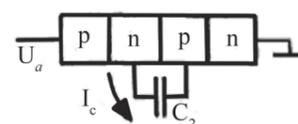
Katta quvvatli diodlarda issiqlik olib ketilishi uchun anod qovurg'alarga ega bo'ladi. Katod, anod va qizdirgichlar (bilvosita qizdirilagan lampalarda) tashqi chiqishlar bilan ulangan bo'ladi (lampa oyoqchalari bilan). Lampali diodning shartli grafik belgilanishi 3.1-a rasmda ko'rsatilgan.

Katod qizdirilganda elektronlar termoelektron emissiya hisobiga katod sirtini tark etadi. Sirtini tark etgan elektronlar boshqa elektronlarni chiqishiga to'sqinlik qiladi. Buning natijasida katod atrofida elektronlar buluti hosil bo'ladi.

Kichik tezliklarga ega bo'lgan elektronlarning bir qismi bulutdan katodga qayta tushadi. Berilgan katod haroratida bulut turg'unlashadi: katodga undan qancha elektron uchib chiqqan bo'lsa, shuncha elektron tushadi.

Katodga nisbatan anod kuchlanishi nol bo'lganida (masalan, anod katodga qisqa tutashtirilganda) lampada, katoddan anodga elektronlar toki oqib o'tadi. Nisbatan tezkor bo'lgan elektronlar fazoviy zaryadning potensial o'rasini yengib o'tadi va anodga tortiladi.

yorug'lik impulsi bilan ulanganda yuz beradi.  $p-n-p-n$ -strukturani ulanishi  $U_a < U_{or}$  bo'lishiga qaramasdan, anod va katod orasidagi kuchlanishni katta o'zgarish tezliklarida ( $dU_a/dt$ ) yuz berishi mumkin. Buning sababi tiristor kollektor o'tishi sig'imi orqali tokning oqib o'tishidir (2.61-rasm).



2.61-rasm.  $p-n-p-n$ -strukturada kollektor sig'imining ekvivalent ulanishi.

$j_1$  va  $j_2$  o'tishlar to'g'ri yo'nalishda ulanganligi sababli ularning sig'imlari kollektor  $C_2$  sig'imiga qaraganda kichikdir, ya'ni  $p-n-p-n$ -struktura sig'imi  $C_2$  ga tengdir. Tiristor ta'minot manbasiga ulanganda sig'im orqali tok oqib o'tadi. Bu tokning paydo bo'lishi kollektor o'tishning sirqish tokini oshishiga ekvivalentdir. Bu esa o'z navbatida umumiy tokning oshishiga va ulanish kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Buning natijasida tiristor ta'minot manbasiga ulanganda o'z o'zidan ulanish mumkin.

Bu effekt emitter o'tishini shuntlash orqali sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Tiristorning uzilishning eng oson usuli ularni teskari yo'nalishga o'tkazishdir. Bu usulni, odatda, anod bo'yicha uzilish deb atashadi (2.62 - rasm).

To'g'ri siljishda  $j_1$  o'tishdan  $n_0$  bazaga kovaklarning injeksiyasi yuz bersa,  $j_3$  o'tishdan  $p_2$  bazaga elektronlarning injeksiyasi yuz beradi. Teskari siljishda  $j_1$  va  $j_3$  o'tishlar injeksiyalangan tashuvchilarni bazadan tortib oladi. Bunda  $j_2$  o'tish to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'ladi. Real strukturada (53 - rasm)  $p_2 \gg n_0$  bo'lganligi uchun  $j_2$  o'tish orqali oqib o'tadigan tok  $p_2$  sohadan  $n_0$  sohaga yo'nalgan kovaklardan tashkil topgan bo'ladi. Teskari yo'nalishda elektronlar tokini nolga teng deb hisoblasa bo'ladi.

3. Elektron-kovak o'tish turini tushuntiring.
4. Yarimo tkazgich rezistorlarining tasnifi va sharti belgilanishini tushuntiring.
5. Rezistorlar deb nimaga aytiladi?
6. Rezistorlarning qanday turlari mavjud?
7. O'zgarimas rezistorlar va ularning xossalari tushuntiring.
8. Termorezistorning ishlash tamoyili qanday?
9. Termorezistorning asosiy parametrlarini tushuntiring.
10. Varistorning ishlash tamoyili qanday?
11. Varistorning asosiy parametrlarini va volt-ampere tavsifini tushuntiring.
12. Yarimo tkazgichli diodlarning tuzilishi va ishlash tamoyilini tushuntiring.
13. Yarimo tkazgichli diodlar qanday tasnifga va sharti belgilanishlariga ega?
14. To'g'ri va o'g'ri va o'g'ri diodlarning volt-ampere tavsifi va parametrlarini tushuntiring.
15. Stabilitronlar qanday asosiy parametrlarga ega?
16. Varikaplarning qanday asosiy parametrlari mavjud?
17. Tunnel diodlar to'g'risida tushuncha bering.
18. Impulsli diodlar qanday xususiyatlariga ega?
19. Bipolar tranzistorlar qanday tasnifga va sharti belgilanishlariga ega?
20. Tranzistorlarning ulanish sxemalari va statik tavsiflarini tushuntiring.
21. P-n o'tishli maydonli tranzistorning ishlash tamoyili qanday?
22. P-n o'tishli maydonli tranzistorning statik volt-ampere tavsifi tushuntiring.
23. MDYa-tranzistorlar qanday asosiy parametrlarga ega?
24. Tranzistorlarning ishlash tamoyilini tushuntiring.

to'g'ri kuchlanish tushuvini kamaytirilishi maksimal qayta ulanish kuchlanishining pasayishiga olib keladi. Shunday qilib, tezkorlikni yaxshilash energetik parametrlarning yomonlashuviga olib keladi va aksincha. Getero o'tishlarning p-n-p-n-strukturalarda ishlatilishi ularning tavsiflarini yaxshilashga imkon beradi. Tranzistorlardagi singari geteroemitterlarning qo'llanilishi tok oshishi bilan emitter samaradorligining pasayish hodisasini bartaraf qiladi. Bu esa ulangan holatda baza sohasida kuchlanish tushuvining pasaytirishga imkon beradi, ya'ni  $U_{qol}$  kamaytirish va maksimal tokni oshirish mumkin. Yupqa bazali emitter sifatida getero o'tishli yorug'lik tarqatuvchi diod ishlatilsa, tiristor ulangan holatda u yorug'lik chiqaradi.

Bu yorug'lik kollektorda va uzun bazada elektron-kovak juftligini hosil qilgan holda yutiladi. Yorug'lik injeksiyalangan tashuvchilarga qaraganda kollektorga tezroq yetib borganligi uchun tiristor tezkorligining oshirishga imkon beradi. Yorug'lik tomonidan hosil qilingan tashuvchilar uzun bazaning qarshiligini, shuningdek  $U_{qol}$  kamaytiradi. Boshqaruvchi elektrod sifatida MDYa-turdagi maydonli elektrod ishlatilishi mumkin. Uni strukturada  $p_2$ -baza sirtiga joylashtirilishi mumkin. Bu holatda MDYa-zatvorli  $n_0$ - $p_2$ - $n^+$ -tranzistor MDYa-tranzistor strukturasi ekvivalent bo'ladi. Zatvorga musbat kuchlanish berilganda  $p_2$ -baza sirtida n-turdagi inversion kanal hosil qilinadi va u kollektorni shuntlaydi va ulanish kuchlanishini pasaytiradi. Bunday tiristorning afzalligi kirishdagi katta qarshilik va kirish zanjirida tokning iste'mol qilishning mavjud bo'lmasligidir.

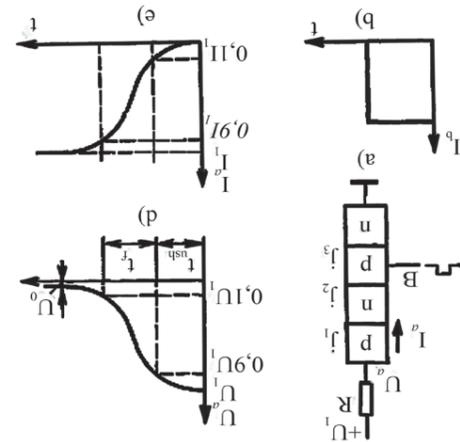
Hozirgi kunda p-n-p-n-strukturaning turli xil konstruksiyalari ishlab chiqarilgan. Boshqarish prinsipi bo'yicha ular boshqarilmaydigan, boshqariladigan va fototiristorlarga ajratiladi.

**NAZORAT SAVOLLARI**

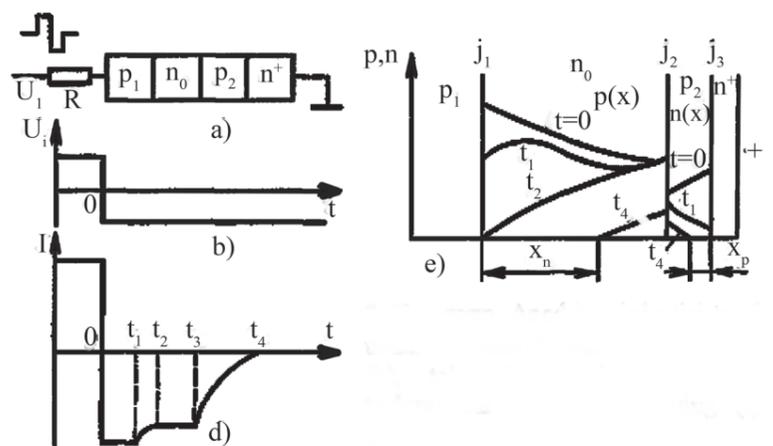
1. Yarimo tkazgichlarning asosiy xossalari tushuntiring
2. Elektron-kovakli o'tish hosil bo'lishining fizikaviy asoslarini tushuntiring

Shuning uchun  $j_3$  p-n-o'tishning qayta ulanish jarayoni oddiy ulanish vaqtida ham yashash vaqtiga bog'liq bo'ladi va teskari tok oshishi bilan kamayadi.  $p_2$  soha kengligi kichik bo'lganligi uchun katta bo'lgan vaqtdan so'ng  $j_3$  o'tish yaqinidagi elektronlar konsentratsiyasi no'lg teng bo'lib qoladi va uning qarshiligi keskin oshib ketadi. Mos ravishda  $j_3$  o'tishdagi kuchlanish tushuvi oshadi. Asosiy tashuvchilarning  $p_2$ - va  $n^+$ -sohasidagi konsentratsiyasi katta bo'lganligi sababli  $j_3$  o'tishning teshilish kuchlanishi kichik bo'ladi va, odatda, bir necha voltni tashkil qiladi.  $F_2$  bazada injeksiyalangan tashuvchilarning konsentratsiyasi kamayishi bilan tok  $j_3$  o'tishdagi kuchlanish teshilish kuchlanishi qiymatigacha oshmaguncha ( $t_2$ ) kamayib boradi va uning qarshiligi keskin kamayadi. Shuning uchun p-n-d-n-struktura orqali tok  $t_2$  vaqt davomida oqib o'tadi.

2.62-rasm. Tiristorning qayta ulanish sxemasi (a), boshqaruvchi elektroddagi kuchlanish (b), tiristoridagi kuchlanish (d) va tokning (e) vaqtga bo'linishi.



O'tish  $j_2$   $n_0$  bazaga kovaklarni injeksiyalagan uchun  $j_1$  o'tishning qayta ulanish jarayonini alohida ko'rish kerak emas. Mazkur holatda  $p_2$ - $n_0$ - $p_1$ -struktura UE sxemasi bo'yicha ulangan tranzistor kabitdir (bunda  $p_2$  soha emitter). UE sxemasi bo'yicha ulangan va bazasi uzilgan tranzistordagi qayta ulanish vaqti faqatgina injeksiyalangan tashuvchilarning tranzistor bazasidagi samarali yashash vaqti bilan aniqlanadi, ya'ni ularning  $n_0$  sohasidagi rekombinatsiyasi bilan aniqlanadi. Kovaklarni  $j_1$  o'tish tomonidan tortilishi ularning  $n_0$  sohasidagi miqdorini kamaytirmaydi.



2.63-rasm. Anod bo'yicha tiristorning ulanish sxemasi (a), bazada kuchlanish (b), tok (d) va injeksiyalangan tashuvchilar konsentratsiyasining (e) o'zgarishi.

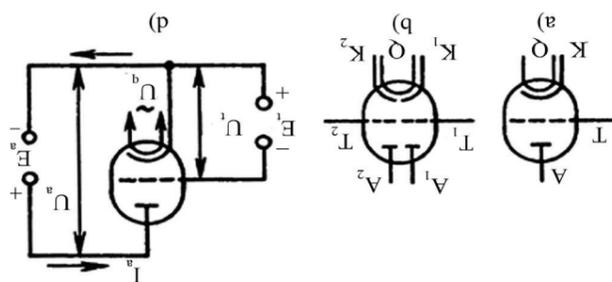
Bunga sabab, shu miqdorda ular  $j_2$  o'tish tomonidan injeksiyalanadi.  $W_n \gg W_p$  va noasosiy tashuvchilarning  $n_0$  sohasidagi samarali yashash vaqti  $p_2$  ( $p_2 \gg n_0$ ) dan katta bo'lganligi uchun kovaklarning  $n_0$  bazadagi rekombinatsiya vaqti, elektronlarning  $p_2$  bazada rekombinatsiyasi va ularning  $j_3$  o'tish tomonidan tortilishi hisobiga  $j_3$  o'tishning qayta ulanish vaqtidan ancha kattadir. Shuning uchun p-n-p-n-

To'rt zanjirida anod tokini o'z ichiga oladi. To'rt va katod orasidagi potensiallar farqi  $U_a$  ni to'rt kuchlanishi deb ataladi. Katod chiqishida anod va to'rt zanjirining umumiy nuqtasi sharti ravishda nol potensialiga ega bo'ladi, unga nisbatan boshqa elektrodning potensialini hisoblanadi.

Triodda katoddan elektron emissiyasi hamda anod va to'rt tomondan hosil qilinadigan natijaviy elektr maydonida elektronlarning harakatlanishi ishlatiladi. Triodning ishlatish prinsipi katoddan anodga ketuvchi elektronlar oqimiga to'rt elektr maydonining ta'siriga asoslanganidir.

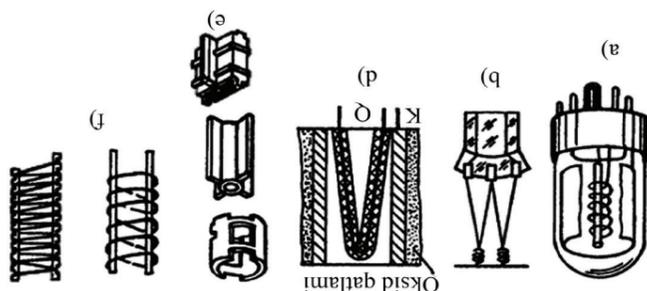
Anodda o'zgarimas musbat kuchlanish va katodga nisbatan to'rt turlu kuchlanishlar mavjud bo'lganda, mazkur kuchlanishlarning ta'sirini ko'rib chiqamiz. To'rt  $E_t$  manbaga ulangan bo'lsa, ya'ni zanjir ochiq bo'lsa, u o'zining elektr maydonini hosil qilmaydi va anod tokining kattaligiga ta'sir qilmaydi. Qizdirilgan katodda va anod kuchlanishi mavjud bo'lmaganda emittirlangan elektronlar katod atrofida elektrodlar orasidagi bo'shliqni to'ldiradi. Mazkur elektronlar tomondan hosil qilingan zaryad, manfiy hajmiy zaryad deb ataladi. Mazkur zaryad katoddan uchi chiqqan elektronlar uchun to'xtatuvchi elektr maydonini hosil qiladi. Emittirlangan elektronlar uchun to'xtatuvchi elektr maydon hosil bo'ladi va u anod tezlashtiruvchi maydon bilan qo'shiladi: to'rt-katod orasidagi tezlashtiruvchi maydon shunchalik ko'p elektronlar to'rt orqali anodga boradi. To'rtning musbat kuchlanishi ganchalik yuqori bo'lsa, anod toki shunchalik oshib boradi. Biroq triodning bunday ishlatish rejimi

3.3-rasm. Bittali (a) va ikkitali (b) triodning shartli grafik belgilanishi va triodning ulanish sxemasid (d).



Anod zanjiri anod  $E_a$  ta'minot manbasini, lampaning anod-katod orasidagi va ulash simlarini o'z ichiga oladi. Katoddan uchi chiqqan elektronlar, anodga tushishi uchun lampadagi elektr maydon ulanish uchun tezlashtiruvchi bo'lishi kerak. Shuning uchun ta'minot manbasidan anodga katodga nisbatan musbat kuchlanishi beriladi. Anod va katod orasidagi anod kuchlanishi amal qilinadi; anod zanjirida  $E_a$  anod toki oqadi, ya'ni  $E_a$  ta'minot manbasining musbat qutbidan lampaga orqali ta'minot manbasining manfiy qutbiga oqadi.

3.2-rasm. Triod: a-qurilmaning sistematik ko'rinishi; b,d-Bevosita va bilvosita qizdirilishi katodning konstruksiyasi; e,f-anod va to'rtning konstruksiyasi.



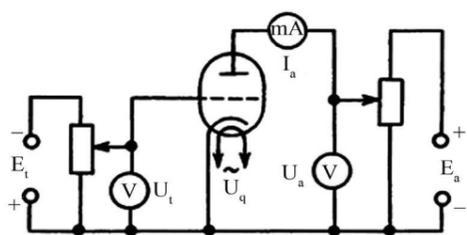
o'zgarimas bo'lganligi uchun triod statik tavsiflarining ikkita turi ko'riladi: anodli – to'rt kuchlanishi o'zgarimas bo'lganda anod tokini anod kuchlanishiga bog'liqligi:

$$U_t = const \text{ bo'lganda } I_a = f(U_a);$$

anod-to'rtli – anod kuchlanishi o'zgarimas bo'lganda anod tokining to'rt kuchlanishiga bog'liqligi

$$U_a = const \text{ bo'lganda } I_a = f(U_t)$$

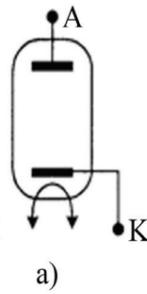
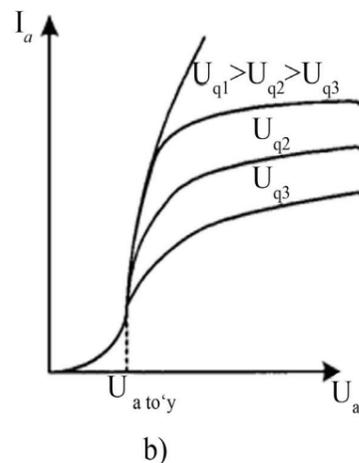
Triodning statik tavsifini olish sxemasi,  $E_a$  va  $E_t$  o'zgarimas kuchlanish manbalari, anod va to'rtning kuchlanishini o'zgartirish uchun potensiometr, anod va to'rt kuchlanishlarini hamda anod toki o'lchash uchun mo'ljallangan asboblarni o'z ichiga oladi (3.5 - rasm).



3.5-rasm. Triod statik tavsifini olish uchun sxema.

To'rt o'zgarimas kuchlanishlarining turli qiymatlarida olingan anod tavsiflari anod statik tavsiflari oilasini tashkil qiladi (3.6-a rasm). Anod tavsifi triodning chiqish tavsifidir.

To'rt kuchlanishi  $U_t = 0$  bo'lganda olingan anod tavsifi koordinata boshidan chiqadi: anod kuchlanishi mavjud bo'lmaganda anod zanjirida anod toki yo'q bo'ladi. Anod tavsifi nochiziqlidir:  $U_a$  oshishi bilan tok dastlab sekin-asta oshib boradi (manfiy hajmiy zaryadning to'xtovchi ta'siri tufayli), keyin esa tezroq oshadi (bu zaryadning so'rilgani sari). To'rt o'zgarimas manfiy



3.1-rasm. Lampali diodning shartli grafik belgilanishi (a) va uning volt-ampere tavsifi.

Tok oqishini to'xtatishi, anodga -1V va undan pastroq berkituvchi manfiy kuchlanish berilganda yuz beradi. Anodga musbat kuchlanish berilganda diodga tezlashtiruvchi maydon hosil bo'ladi va anod toki oshadi. Anod toki katod emissiya darajasining qiymatiga erishganida tokning oshishi sekinlashadi va anod toki turg'unlashadi (to'yinadi).

**Diod tavsifi.** Diod VATi uchta sohaga egadir (3.1-b rasm):

**1.Nohezizqli soha.** VATning boshlang'ich sohasida anod kuchlanishi oshganda tok sekin oshib boradi. Bu holat anod maydoniga bulutning hajmiy manfiy zaryadlarining ta'sir ko'rsatishi bilan tushuntiriladi.

To'yinish toki bilan taqqoslaganda  $U_a = 0$  dagi anod toki juda kichik bo'ladi. Elektronlarning boshlang'ich tezliklari farq qilishi tufayli tokning kuchlanishiga bog'liqligi eksponensial oshadi. Anod tokining to'rt to'xtalishi uchun anodga noldan kichik, berkituvchi deb nomlanadigan kuchlanish qo'yish kerak.

**2.Ikkidan uch (3/2) darajadagi bog'liqlik qonuniyati sohasi.**

bo'ladi: qizdirish, to'rt va anod. Qizdirish kuchlanishi har doim **Triod tavsifi.** Trioddagi anod toki uchta kuchlanishga bog'liq kuchlanishning qancha qismi ishtirok etishini ko'rsatadi.

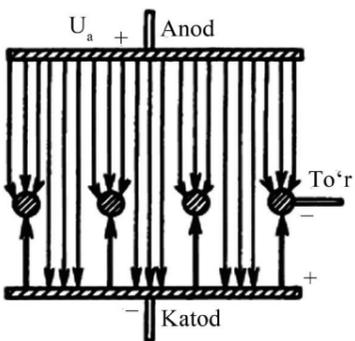
Tenglamadan ko'rinib turganidek,  $D$  singdirtuvchanlik katod atrofidagi natijaviy elektr maydonini hosil qilishda anod

$$U^{ab} = U' + DU^a \quad (3.2)$$

bilan aniqlanadi:

amal qiluvchi kuchlanishi  $U^{ab}$  deb ataladi va quyidagi tenglama bo'ladi. Natijaviy maydoni hosil qiluvchi kuchlanish to'rtning ega bo'lgan bitta elektrod tomonidan hosil qilinadi deb hisoblasa  $DU^a$  anod kuchlanishi qismining yig'indisiga teng kuchlanishga anoddan katodga yetib borgan kuch chiziqlariga mos kelgan to'rtning turuvchi va katodga nisbatan to'rt kuchlanishi  $U'$  va maydonning bir qismidan tashkil topgan bo'ladi. Sharti ravishda, ta'sir qiluvchi natijaviy elektr maydon, to'rt maydoni va anod katoddan uchib chiqqan elektronga to'rt-katod oralig'ida doim birdan kichik bo'ladi.

parametrlari  $D$  singdirtuvchanlik deb ataladi. Singdirtuvchanlik har qancha qismi to'rt orqali katodga borishini ko'rsatuvchi lampaning kattaligiga ta'sirini kamaytiradi. Anod maydoni kuch chiziqlarining anod maydonining katod atrofidagi elektrolariga va anod tokining ayrim qismining to'rt orqali katodga boradi. Shunday qilib, to'rt tugaydi, go'yoki u tomonidan ushlab qolinganday bo'ladi. Ularning bo'lganligi uchun anod maydonining kuch chiziqdari to'rt bilan ko'rsatilgan. To'rt potentsiali anod potentsialidan kichik chiziqdar bilan ko'rsatilgan bo'lsa, to'rt maydoni esa qalin chiziqdar bilan ko'rsatilgan, anod maydonining kuch chiziqdari ingichka nisbatan potentsiali "qo'shuva" (plus) va "ayruv" (minus) ishoralari maydon kuchlanishini tavsirlaydi. Anod va to'rtning katodga bo'lgan elektrodga kiradi: ularning zichligi sharti ravishda elektr potentsiali yuqoriroq bo'lgan elektrodan chiqib potentsiali pastroq soddalashtirilgan tasviri 3.4 - rasmda ko'rsatilgan. Kuch chiziqdari,



3.4-rasm. Trioddagi elektr maydon.

Odatda, anod tokini boshqarish uchun to'rtning manfiy kuchlanishining o'zgarishi ishlatiladi. Bu bilan to'rt tokini hosil bo'lishi bartaraf qiladi. To'rtning manfiy kuchlanishi kamayishi bilan anod toki oshsa, manfiy  $U'$  oshishi bilan anod toki kamayadi.

To'rt manfiy kuchlanish bo'lgandagi trioddagi elektr maydonning

anod tokini mA ga o'zgaritish.

1.VAT qiyligi:  $S = \frac{dU^a}{dI^a}$  - kuchlanish 1 V ga o'zgaranda kiradi:

**Parametrlar.** Diodning asosiy parametrlariga quyidagilar lampaning xizmat vaqtini kamayishiga olib keladi.

Qizdirish tokining haddan tashqari oshirish katta bo'ladi. VAT qiyligi va to'rt yimish toki shunchalik qanchalik katta bo'lsa, VAT qiyligi va to'rt yimish toki shunchalik Anod VAT qizdirish kuchlanishiga bog'liq bo'ladi. Qizdirish termoelektron doimiy.

$$\text{bunda } A = \frac{4\pi m e k^2}{h^3} = 120 \frac{m^2 K^2}{A} \text{ Zommerfeldning universal}$$

$$f = A T^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \quad (3.1)$$

qonuni bilan aniqlanadi:

anod toki to'rt yimish toki deb ataladi. Bu soha Richardson-Deshman elektronlar olishning imkoni yo'qdir. Mazkur rejimda o'rnatilgan esa katod emissiyasi to'rt ishlatib bo'linganligi uchun ortiqcha iloji yo'q. Buning uchun qo'shimcha elektronlar kerak bo'ladi. Ularni Berilgan qizdirish kattaligida keyinchalik anod tokini oshirishning elektronlar anodga yetib boradi.

o'shishi to'rt xataydi. Bunga sabab katoddan uchib chiqqan barcha oshirilganda tokning o'sishi sekmlashadi. So'ngra esa tokning **3.To'rt yimish sohasi.** Keyinchalik anoddagi kuchlanishning oshadi.

uni bir tekisda qizdirilmaganligi tufayli harorat ko'tarishi bilan perevans katod tarkibi va haroratiga bog'liq bo'lmaydi. Aslida esa o'ichamiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas son. Sodda modellarda yoritadi. Bu yerda perevans g - elektrodning konfiguratsiyasi va Anod tokining kuchlanishiga bog'liqligi  $f = g U^a$  ifoda bilan

$$2.\text{Differensial qarshilik: } R_i = \frac{1}{S}.$$

3.Maksimal ruxsat berilgan teskari kuchlanish. Teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanishning ma'lum bir qiymatida diodning teshilishi yuz beradi. Bunda katod va anod orasida uchqun chiqadi va mazkur holat tok kuchining keskin oshishi bilan yuz beradi.

4.Berkituvchi kuchlanish - diodda tok oqishini to'xtatish uchun kerak bo'ladigan kuchlanish.

5.Maksimal ruxsat berilgan quvvat oshishi. Qiyalik va ichki qarshilik anod kuchlanishi va katod haroratiga bog'liq bo'ladi.

**Triod qurilmasi va uning ishlash tamoyili.** Katod, anod va boshqaruvchi to'rtga ega bo'lgan 3 elektrodli lampa triod deb ataladi. Elektron lampalarda asosan bilvosita qizdirishli oksidli termokatodlar ishlatiladi. Anod silindrik yoki yassi shakllarda bo'lib, u, odatda, nikeldan tayyorlanadi va issiqlik uzailishi yaxshi bo'lishi uchun qovurg'alarga ega bo'ladi.

Shu maqsadda grafit qatlami bilan qoplagan holda anod qora rangda tayyorlanadi. Katod anod ichida joylashtiriladi. To'rt simli spiral ko'rinishida tayyorlanadi hamda katod bilan anod orasiga (katodga yaqinroq) joylashtiriladi (3.2 - rasm). Elektrodlar shishali oyoqlarga yopishtirilgan ushlagichlarga ulangan bo'ladi. Ularning barchasi elektrodning tashqi chiqish sifatida xizmat qiladigan shtirklarga ega bo'lgan sokolli shisha yoki metall ballonga joylashtiriladi.

Ular qizdirgich, katod, to'rt va anodning ichki chiqishlari bilan elektr jihatdan ulanadi. Ballonda havo  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  gPa bo'lgan bosimgacha so'rib olinadi, ya'ni vakuum hosil qilinadi.

Triodning ulanish sxemasi (3.3 - rasm) uchta zanjirni o'z ichiga oladi: qizdirish zanjiri, anod zanjiri va to'rt zanjiri. Qizdirish zanjirida  $I^a$  toki oqib o'tsa, isitgich chiqishlari orasida  $U^a$  qizdirish kuchlanishi amal qiladi. Isitgichni qizdirish o'zgaruvchan tok orqali amalga oshiriladi. Lampaning ishlash vaqtida qizdirish kuchlanishi o'zgarmas bo'ladi.



**Triod parametrlari.** Triodning amaliy va yordamchi parametrlari esa kuchaytirilayotgan tebranishning buzilishiga olib keladi.

Anod-to'rtavsliflari to'rtavsliflarning faqatgina manfiy sohasida boshlanadi. Bunga sabab, musbat anod kuchlanishida lampani faqatgina to'rtavsliflarning maydoni bilan berkitish mumkin. To'rtavsliflarning musbat sohasidagi anod-to'rtavsliflarning qismi, odatda, ishlatilmaydi: to'rtavsliflarning musbat kuchlanishi bilan anod to'rtavsliflari birga to'rtavsliflarning oshib boradi. Bu esa kuchaytirilayotgan tebranishning buzilishiga olib keladi.

Anod kuchlanishi oshishi bilan manfiy berkituvchi kuchlanish oshib boradi. Shuning uchun yuqoriroq o'zgarmas anod kuchlanishlarida olingan anod-to'rtavsliflari chaproqqa siljiydi.

$$U_{berk} = -DU_a \quad (3.4)$$

bu yerdan berkituvchi kuchlanishni aniqlash mumkin:

Berkitish nuqtasida amal qiluvchi kuchlanish noiga teng bo'ladi, dastlab sekintir, so'ngra tezroq oshadi, ya'ni tavsiflari nohiziqdirlar. Ular asosida egri chiziqqlar quriladi (3.6-b-rasm). Bunda anod toki boriladi va mos keluvchi anod tokining qiymati yozib boriladi. manfiy kuchlanish kattaligi ma'lum bir oraliq bilan kamaytirilib tavsiflarning boshlanishi bo'ladi. Mazkur nuqtadan boshlab to'rtavsliflarning kuchlanishi o'rnatiladi, ya'ni lampaga berkitiladi. Bu  $U_i = U_{berk}$  dagi tokining noiga teng bo'lishiga olib keladigan to'rtavsliflarning manfiy kuchlanishining ma'lum bir qiymati o'rnatiladi, so'ngra anod to'rtavsliflarning o'rtasida, dastlab o'zgarmas anod to'rtavsliflari tavsiflari uzatish tavsifidir.

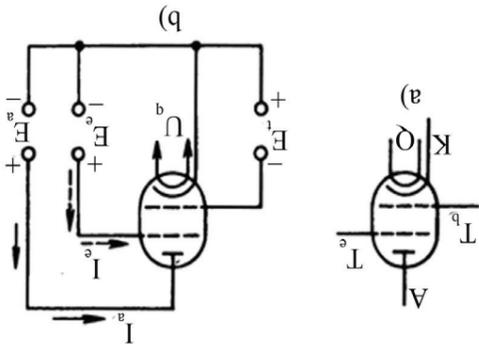
Anod-to'rtavsliflari statik anod-to'rtavsliflari o'lasini tashkil qiladi. O'zgarmas anod kuchlanishining turli qiymatlarida olingan musbat to'rtavsliflarning anod tavsiflari qiyaroq bo'ladi.

Katta bo'ladi va elektronlarning ma'lum bir qismi anodga keladi. Katta kichik qiymatlarida ham katod atrofidagi maydon tezlashtiruvchi

3.8 - rasm - rasm tetrodning ulanish sxemasi ketirilgan. Elektrodlar soniga mos ravishda unda to'rtavsliflarning ma'lum bir qismi, anod, boshqaruvchi to'rtavsliflari va ekranlovchi to'rtavsliflari tetrod kabidir. Ekranlovchi to'rtavsliflari ta'minot manbasini, lampani ekranlovchi to'rtavsliflari va bog'lovchi simlarni o'z ichiga o'lib oladi. Ekranlovchi to'rtavsliflari va katod orasidagi potensiallar farqi ekranlovchi to'rtavsliflari deb ataladi, uning zanjirlarida oqib o'tayotgan tokni ekranlovchi to'rtavsliflari deb atashadi. Ekranlovchi to'rtavsliflari odatda anod kuchlanishidan kichik bo'ladi.

Amaliy sxemalarda ekranlovchi to'rtavsliflarning rezistor orqali ta'minot manbasidan so'ndiruvchi rezistor orqali beriladi. Ekranlovchi to'rtavsliflarning potentsialiga ega bo'lganligi sababli katoddan anodga ketuvchi elektronlar oqimidan bir qismi mazkur to'rtavsliflari va uning zanjirlarida  $I_{ye}$  tokini hosil qiladi. Shuning uchun anod va ekranlovchi to'rtavsliflarning kuchlanishlariga bog'liq ravishda ular orasida toklarning qayta taqsimlanishi yuz

3.8-rasm. Tetrodning shartli grafik belgilanishi(a) va uning ulanish sxemasi(b).



maydonining yuqoridan va pastdan kirishidan himoya qiladi. Anod va boshqaruvchi to'rtavsliflari orasidagi sig'imi kam-aytirish uchun ularning birini lampaga sokolining pastida, boshqasini ballon yuqoridagi tayyorlanadi.

Anod tomonidan sochilayotgan quvvat  $P_a$  – bir sekund davomida anodga elektronlar tomonidan olib kelinayotgan energiya bo'lib, u anod tokini anod kuchlanishiga ko'paytmasiga teng:

$$P_a = I_a U_a$$

Lampaning asilligi kuchaytirilayotgan tebranishning maksimal foydali quvvatini tavsiflaydi. Asillik kuchaytirish koeffitsientini tavsif qiyaligi ko'paytmasi bilan aniqlanadi:

$$G = \mu S,$$

hamda mW/V<sup>2</sup> larda o'lchanadi.

### 3.2. Tetrodli, pentodli lampalar

**Tetrod qurilmasi va uning ishlash tamoyili.** Katod, anod va ikkita to'rtavsliflari (boshqaruvchi va ekranlovchi) ega bo'lgan to'rtavsliflari tetrod deb ataladi.

Katod, anod va boshqaruvchi to'rtavsliflari va mazkur elektrodning konstruksiyasi triod kabidir. Ekranlovchi to'rtavsliflari o'ramlar qadami kichik bo'lgan simli spiral ko'rinishda tayyorlanadi, ya'ni uning zichligi boshqaruvchi to'rtavsliflari qaraganda yetarli darajada katta bo'ladi.

Nomining o'zi aytib turganidek, ekranlovchi to'rtavsliflari vazifasi ekranlashdir, ya'ni boshqaruvchi to'rtavsliflari va katodni anod elektr maydonining ta'siridan himoya qilishdir.

Mazkur to'rtavsliflari elektrod elektostatik ekran bo'lib, katoddan emitterlangan elektronlar anodga tushishi uchun to'rtavsliflari ko'rinishida bo'lishi kerak. Ekranlovchi to'rtavsliflari elektronlarning anod tomon harakatini tezlashtirish zarur.

Shuning uchun unga musbat o'zgarmas kuchlanish beriladi. Ikkinchi to'rtavsliflari ekranlovchi ta'sirini kuchaytirish uchun uning o'ramlar qadami kamaytiriladi va u bilan bog'langan yuqori va pastki metall ekran qo'yiladi. Ular boshqaruvchi to'rtavsliflari va katodni anod

sochiladigan quvvat kiradi. Yordamchi parametrlarni asosiy parametrlarni bilgan holda aniqlash mumkin.

Triod tavsifining qiyaligi  $S$  – anod kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda to'rtavsliflari kuchlanishi 1 V ga o'zgaranda anod tokining qancha milliAmperga o'zgarishini ko'rsatuvchi parametr:

$$U_a = const \text{ bo'lganda } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_i}$$

Qiyalik anod-to'rtavsliflari tavsifining og'masini ko'rsatadi va milliAmper taqsim Voltlarda (mA/V) o'lchanadi. Tavsifning turli nuqtalarida qiyalik turlicha bo'ladi. Berilgan nuqta uchun tavsif qiyaligini anod-to'rtavsliflari tavsifi bo'yicha aniqlash mumkin.

Buning uchun tavsifdagi ikkita yaqin nuqtalardagi anod toki va to'rtavsliflari kuchlanishining farqi bo'lgan  $\Delta U_a$  anod toki va  $\Delta U_i$  to'rtavsliflari kuchlanishining o'zgarishini aniqlash kerak. Turli turdagi triod uchun tavsif qiyaligi 1–2 mA/V dan 30–40 mA/V gacha bo'lgan qiymatlarga ega bo'lish mumkin. Triodning ichki qarshiligi  $R_i$  – to'rtavsliflari kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda anod toki 1 A ga o'zgarishi uchun anod kuchlanishini qancha voltga o'zgartirish kerakligini ko'rsatuvchi parametrdir:

$$U_i = const \text{ bo'lganda } R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

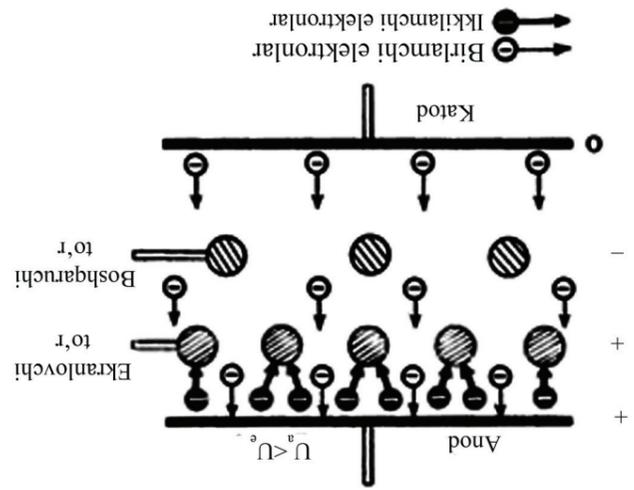
Ichki qarshilik tok o'zgarishiga lampaning qarshiligini tavsiflaydi; bu o'zgaruvchan tokdagi qarshilikdir. Uni shuningdek differensial qarshilik deb ham atashadi.

Turli nuqtalar uchun aniqlanadigan ichki qarshilik turlicha bo'ladi. Berilgan nuqta uchun ichki qarshilikning anod tavsifida yaqin joylash ikkinchi nuqta olib,  $\Delta U_a$  anod kuchlanishi va  $\Delta I_a$  anod tokining o'zgartirishni aniqlangan holda topish mumkin.  $R_i$  qiymati yuz omdan bir necha o'n kiloomni tashkil qilishi mumkin.

Triodning kuchaytirish koeffitsienti  $\mu$  – u to'rtavsliflari kuchlanishining necha marta o'zgarishi, xuddi shu kattalikda anod kuchlanishining o'zgarishiga qaraganda anod tokiga ta'sir qilinishini ko'rsatuvchi

Ishchi rejim to'yinish rejimi bo'lmaydi. Pentod qurilmasi va uning ishlash tamoyili. Katod, anod va uchta to'rga (boshqaruvchi, ekranlovchi va antidinatron) ega bo'lgan besh elektrodli lampada pentod deb ataladi. Antidinatron to'rni o'ramlar qadami katta bo'lgan simli spiral ko'rinishida tayyorlanadi va anod bilan ekranlovchi to'r orasiga joylashtiriladi (3.12 - rasm). Antidinatron to'r katod bilan yoki lampada ichida yoki alohida chiqishga ega bo'lsa, tashqi sim yordamida ulanadi. Shuning uchun pentodning ulanish sxemasi

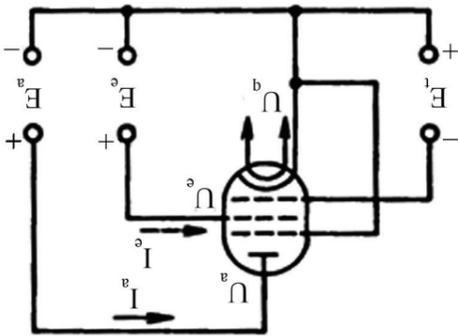
3.11-rasm. Tetrodda dinatron effekt mavjud bo'lganda birlamchi va ikkilamchi elektronlarning harakatlanishi.



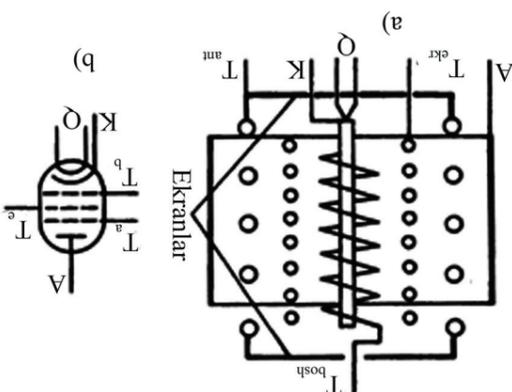
tugaydi: tavsif tekis bo'lib qoladi (4-soha). Bu tavsifning ishchi sohada anod kuchlanishi o'zgarishi bilan anod tokining kam o'zgarishi, ikkita to'ring singdiruvchanligi kichikligi tufayli to'r-katod oralig'idagi elektronlarning harakatlanishiga anod kuchlanishining kuchsiz ta'sir qilishi bilan tushuntiriladi.

(3.13 - rasm) tedrodning ulanish sxemasidan foydalaniladi. Antidinatron to'r o'ramlari, nolga teng bo'lgan katod potensialiga ega bo'ladi, ya'ni har doim anod potensialidan kichik bo'ladi. Mazkur to'r va anod orasidagi bo'shliqda anoddan uchib chiqqan ikkilamchi elektronlar uchun to'xtatuvchi maydon hosil bo'ladi. Ikkilamchi elektronlar anodga qaytadi (3.14 - rasm). Shu yo'l bilan dinatron effekti bartaraf qilinadi.

3.13-rasm. Pentodning ulanish sxemasi.



3.12-rasm. Pentod: a - qurilma sxemasi; b - shartli grafik belgilanishi.



masofa kichiklashadi va ular bir biriga parallel bo'lmaydi. Ishchi soha esa yanada tekis bo'ladi. Ekranlovchi to'rning kattaroq o'zgarish kuchlanishida pentodning anod tavsiflari oilasi yuqoriroqda joylashadi.

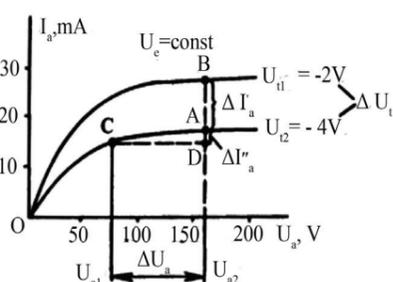
**Pentod parametrlari.** Tetrod va pentodlarning asosiy parametrlari triod kabidir, ya'ni tavsifning qiyaligi, ichki qarshilik va kuchaytirish koeffitsienti:

$$U_a = const \text{ va } U_e = const \text{ bo'lganda } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_t},$$

$$U_t = const \text{ va } U_e = const \text{ bo'lganda } R_t = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a},$$

$$I_a = const \text{ va } U_e = const \text{ bo'lganda } \mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_t},$$

Uchinchi to'rning kiritilishi tetrodlarga qaraganda anod kuchlanishining anod tokiga ta'sirini yanada ko'proq kamaytiradi. Shuning uchun pentodlarning kuchaytirish koeffitsienti va ichki qarshiligi juda katta bo'lsa, tavsifning qiyaligi triod kabi bo'ladi. Uchinchi to'r, boshqaruvchi to'r va katodni anod maydonining ta'siridan qo'shimcha ekranlaydi. Shuning uchun elektrodlar orasidagi o'tish sig'imi  $C_{at}$  pikofaradning ming bir ulushigacha kamaytiradi.



2.16-rasm. Pentod tavsiflari bo'yicha parametrlarini aniqlash.

ravishda sig'im triod bilan taqqoslanganda 10 va 100 martagacha kamayadi. Katod yonida anod maydonining yetarli darajada kuchsizlanishi anod kuchlanishining anod tokiga ta'sirini kamaytiradi.

Bu esa boshqaruvchi to'rning ta'sirini nisbatan oshishiga olib keladi. Bunga bog'liq ravishda esa lampaning kuchaytirish koeffitsientini oshishiga olib keladi. Bu bilan ekranlovchi to'r triodning kamchiligini bartaraf qiladi.

Katod-to'r oralig'idagi tezlashtiruvchi maydon 3.9 - rasmda ko'rib turilganidek, asosan ekranlovchi to'rning musbat kuchlanishi tomonidan hosil qilinadi.  $U_e$  mavjud bo'lmaganida anodning juda kuchsiz elektr maydoni katod to'r tezlashtiruvchi bo'ladi. U manfiy fazoviy zaryad va boshqaruvchi to'rning to'xtatuvchi ta'sirini qoplamaydi va anod toki nolga teng bo'ladi. Shunday qilib ekranlovchi to'rga kuchlanish berilmagan bo'lsa, lampada berk bo'ladi.

Anod maydoni ikkita to'r orqali katoddan chiqqan elektronlarning harakatlanishiga juda kam ta'sir qilganligi uchun tetrodda amal qiluvchi kuchlanishda anod kuchlanishining ulushini hisobga olmasa ham bo'ladi:

$$U_{a,q} \approx U_t + D_t U_e, \tag{3.7.}$$

bunda  $U_t$  va  $U_e$  - boshqaruvchi va ekranlovchi to'r kuchlanishi,  $D_t$  - boshqaruvchi to'r singdiruvchanligi.

**Tetrod tavsifi.** Anod va ekranlovchi to'rdagi kuchlanish o'zgarish bo'lgandagi anod tokining boshqaruvchi to'r kuchlanishiga bog'liqligiga tetrodning anod-to'r tavsifi deyiladi (3.10-a rasm).

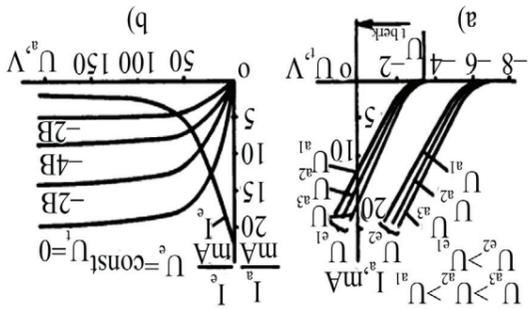
$$U_a = const \text{ va } U_e = const \text{ bo'lganda } I_a = f(U_t)$$

Anod - to'r tavsifi absissa o'qida yotuvchi nuqtada boshlanadi va u boshqaruvchi to'rning berkitish kuchlanishiga  $U_{t,berk}$  mos keladi. Berkituvchi kuchlanish kattaligi to'rning amal qiluvchi

Tavsif tekis bo'ladi. Bu tavsifning ishchi sohasidir. Ishchi sohada tokning kam o'zgarishi, katod atrofidagi hajmiy zaryaddan boshqaruvchi va ekranlovchi to'rtar orqali o'tuvchi elektronlar oqimiga anod kuchlanishining ta'siri kichik bo'lishi bilan tushuntiriladi. Pentodda qiya qismidan tekis qismiga o'tish-asta sekilik bilan yuz beradi. Lampani yaxshi ishlatilishi uchun tekis sohasi katta bo'lishi va tavsifning o'suvchi qismidan tekis qismiga keskin o'tishga ega bo'lishi maqsadga muvofiqdir.

Boshqaruvchi to'rtar kuchlanishi oshishi bilan anod toki kamayadi. Tavsif pastroqda joylashadi. Bunda ular orasidagi

3.15-rasm. Pentodning anod-to'rtar (a) va anod (b) tavsiflari.



yanada tor bo'ladi (3.15-a rasm). Shu sababli pentod rejimlari va parametrlarini hisoblashda anod-to'rtar tavsiflaridan foydalanish noqulaydir. Asosiy tavsif, anod tavsifi hisoblanadi. Pentodning anod tavsifi (3.15-b rasm) tushib ketishga ega emas. Katta bo'lmagan anod kuchlanishida tok  $U_a$  oshishi bilan keskin oshadi. Tavsif qiya holda yuqori ketadi.

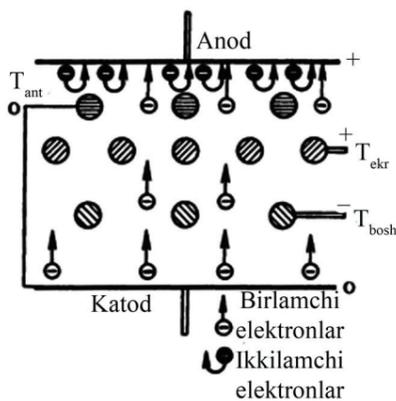
Mazkur rejimda ekranlovchi to'rtaragi kuchlanish, anod kuchlanishidan yuqori bo'ladi va elektronlarning kattagina qismi mazkur to'rtaraga tortiladi. Anod  $U_a$  kuchlanishi oshishi bilan bunday elektronlar kamayadi. Shu sababli tok tez oshadi.

Anodning yuqori kuchlanishlarida ekranlovchi to'rtaragi o'tgan barcha elektronlar anodga keladi.

**Pentod tavsiflari.** Uchinchi to'rtar kiritilganligi sababli pentodlarda umumiy singdiruvchanlik tetrodga qaraganda yanada kichik bo'ladi. Anod kuchlanishi esa katod atrofidagi hajmiy zaryadga va to'rtar-katod oralig'ida harakatlanayotgan elektronlarga ta'siri yanada kuchsiz bo'ladi. Shuning uchun amal qiluvchi to'rtar kuchlanishidagi anod kuchlanishining ulushi juda kichik bo'ladi va uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Uchinchi to'rtardagi kuchlanishning nolga tengligini hisobga olgan holda pentodda amal qiluvchi kuchlanishini yuqori aniqlikda quyidagiga teng deyish mumkin:

$$U_{a,q} = U_t + D'U_e \quad (3.9)$$



3.14 - rasm. Antidinatron yordamida pentodda dinatron effektini bartaraf qilinishi.

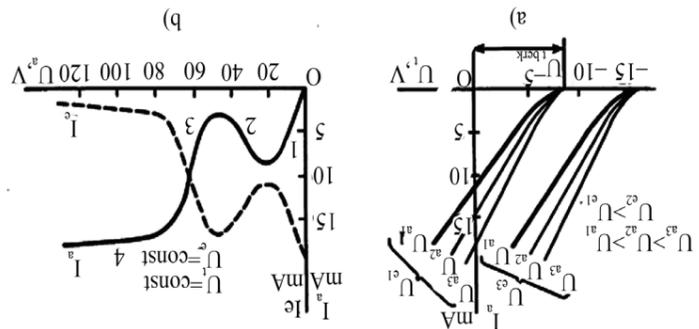
Ekranlovchi to'rtarining o'zgarish kuchlanishida va anod kuchlanishi-ning turli qiymatlarda olingan pentodning anod-to'rtar tavsiflari oilasi bitta nuqtadan to'rtar bo'lib chiqadi. Tavsifning chapga siljishi ekranlovchi to'rtarining kuchlanishiga bog'liq bo'ladi.

Anod  $U_a$  kuchlanishining turli qiymatlardagi tavsiflar to'rtar, anod va ekranlovchi to'rtar orasida toklarning taqsimlanishiga  $U_a$  kuchlanishning ta'siri kichikligi tufayli tetrodlarga qaraganda

Ekranlovchi kuchlanishining  $U_e$  qiymati o'zgarish bo'lib, anod o'zgarish kuchlanishining turli  $U_{a1}$ ,  $U_{a2}$  va  $U_{a3}$  qiymatlarida olingan tavsiflar to'rtar yoyilishi to'rtar bilan deyarli bir nuqtadan chiqadi. Bunga sabab anod kuchlanishi ikkita to'rtar orqali anod tokiga kam ta'sir qiladi.  $U_a$  ning katta qiymatlarida katoddan ketayotgan elektronlar oqimi anod va ekranlovchi to'rtar orasida qayta taqsimlanish uchun tavsif qiymat bo'ladi. Anodga elektronlarning kattaroq ulushi boradi va anod toki oshadi.

Elektronlovchi to'rtar kuchlanishining oshirishi tavsifning chapga siljishini keltirib chiqaradi. Shuning uchun  $U_{e2} > U_{e1}$  turli anod kuchlanishida olingan tavsiflarning barcha to'rtar chapga siljishi.

3.10-rasm. Tetrodning anod-to'rtar (a) va anod tavsifi (b).



kuchlanishi nolga teng bo'lganda tok nolga teng bo'lishi shartidan topish mumkin:

$$U_{t,berk} = -D'U_e \quad (3.8)$$

Shunday qilib, tetrodlarda berkituvchi kuchlanishning mutlaq kattaligi yoki anod-to'rtar tavsifning koordinata boshidan chapga siljishi asosan boshqaruvchi to'rtarining singdiruvchanligi va ekranlovchi to'rtarining kuchlanishiga bog'liq bo'ladi va anod kuchlanishi hamda lampaning umumiy singdiruvchanligiga deyarli bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun trioddan farqli ravishda tetrodlarda lampaning katta kuchaytirish ko'rsatkichini olish mumkin.

Tetrodning anod tavsifi boshqaruvchi va ekranlovchi to'rtar kuchlanishi o'zgarish bo'lganda anod tokini anod kuchlanishiga bog'liqligidir:

$$U_t = const \text{ va } U_e = const \text{ bo'lganda } I_a = f(U_a)$$

Anod tavsifi bilan bir vaqtda ekranlovchi to'rtar tokini anod kuchlanishiga bog'liqligi olinsa, u holda quyidagini aniqlash mumkin (3.10-b rasm).  $U_a=0$  bo'lganda boshqaruvchi to'rtar orqali o'tgan barcha elektronlar musbat potensialga ega bo'lgan ekranlovchi to'rtaraga tushadi. Shuning uchun ekranlovchi tok maksimal qiymatiga ega bo'lsa, anod toki nolga teng bo'ladi. Anod kuchlanishi 18-20 V gacha oshirilganda anod toki tez oshib borsa, ekranlovchi to'rtar toki kamayadi.

Bunga sabab anod va ekranlovchi to'rtar orasida elektronlarning qayta taqsimlanishning yuz berishidir (1-soha). Anod kuchlanishi keyinchalik oshirilganda anodga kelayotgan elektronlarning energiyasi, anoddan elektronlarning ikkilamchi emissiyasini keltirib chiqarish uchun yetarli bo'ladi. Anoddan chiqqan ikkilamchi elektronlar ekranlovchi to'rtaraga boradi (potensial yuqori bo'lganligi uchun). Shuning uchun anod toki kamaysa, ekranlovchi to'rtar toki oshadi (2-soha).

Anod  $U_a$  kuchlanishi  $U_e$  ga yaqinlashgan sari ekranlovchi to'rtar va anod orasidagi potensiallar farqi kamayadi. Ikkilamchi elektronlarni tezlashtiruvchi maydon kuchsizlanadi va ularning ko'proq qismi qaytadan anodga keladi.

Anod toki yana oshib borsa, ekranlovchi to'rtar toki kamayadi (3-soha). Anoddan chiqqan ikkilamchi elektronlarni potensial yuqoriroq bo'lgan ekranlovchi to'rtaraga o'tish hodisasi dinatron effekt deb ataladi (3.11 - rasm). Dinatron effektida anod kuchlanishining oshishi, anod tokining kamayishiga, ya'ni o'z navbatida anod tavsifini tushib ketishga olib keladi.

$U_a > U_e$  da ekranlovchi to'rtar va anod orasidagi maydon, ikkilamchi elektronlar uchun to'xtatuvchi bo'lganligi uchun dinatron effekti to'xtatiladi. Ular anodga qaytadi. Anod kuchlanishi oshishi bilan anod va ekranlovchi to'rtar orasida tokning qayta taqsimlanishi

Teskari kuchlanishning oshishi  $p-n$  o'tish sohasining kengayishiga olib keladi va shuning uchun  $n$ -sohaning bazaviy kengligi kamayadi. Kam miqdordagi kovaklar  $p-n$  o'tish tomon harakatlanishda rekombinatsiyalanishga ulg'iradi. Ko'pchiligi esa fotodiod orqali o'tuvchi tokni hosil qilishda ishtirok etadi. Fotodiodda ishchi kuchlanishning oshishi  $p-n$  o'tishning teshilishiga olib kelishi mumkin.

bilan tokning kam miqdorda oshishini quyidagicha tushuntirish bilan fotodioddagi tok deyarli oshmaydi. Kuchlanishning ko'tarilishi kuchlanishga kam bog'liq bo'lganligi uchun kuchlanishning oshishi miqdori asosan yorug'lik oqimiga bog'liq bo'ladi va qo'yilgan  $p-n$  o'tish orqali o'tuvchi  $n$ -sohadagi noasosiy zaryad tashuvchilar tavsif yuqorida joylashadi.

4.3-b rasmdagi ko'rinishda bo'ladi. Katta yorug'lik oqimlarida Volt-Amper tavsifini grafik ko'rinishida tasvirlasak, u holda ular siljiydi. Agar tok va kuchlanishning ishoralarini hisobga olmasdan tokning teskari tarmog'i teskari tok o'q bo'ylab uni ortishi bilan ta'sirida tokning qiyamati ortadi: yorug'lik oqimi ortishi bilan diod VAtining teskari tarmog'iga mos keladi. Yorug'lik oqimi g'orung'ulikdagi tokning tavsifi bo'lib,  $I^q = f(U)$  yaratimo'tkazgichli qorong'ulikdagi fotodiodning ( $I^f=0$ ) da) volt-amper tavsifi

$$\Phi = const \text{ da } I^f = f(U).$$

VAti-domiy yorug'lik oqimida fotodiod tokining qo'yilgan diatramalar kerak.

$L$  va yorug'lik oqimini o'zgarishi uchun diametri o'zgaruvchi  $D$  Bundan tashqari, yorug'lik oqimi manbasi – cho'g'lama lampa ta'minot manbasi  $E_0$ , potensiometr va o'lchash asboblardan iborat. Fotodiod tavsiflarini olishga mo'ljallangan sxema (4.3-a rasm) uchun asosan ikki turdagi tavsifga ega: volt-amper va yorug'lik. Shuning kuchlanishga va yorug'lik oqimi  $\Phi$  ga bog'liq bo'ladi. Shuning

kuchlanish o'zgarishini mos holda qorong'ulik toki o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$r_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

O'zgarish tavsifdagi ikkita bir biriga yaqin nuqtalardan olinadi (4.3-b rasm:  $A$  va  $B$  nuqtalar).

Boshlang'ich statik qarshilik  $R_{st}$  – qorong'ulikda joylashgan fotodiodning o'zgarimas 1V kuchlanishdagi qarshiligidir.

Uni kuchlanishning qorong'ulikdagi tokka nisbati bilan aniqlanadi

$$R_{st} = \frac{U}{I_t} \quad (4.2.)$$

ya'ni boshlang'ich statik qarshilik, qorong'ulik tokiga teskari kattalik sifatida hisoblanadi. Masalan, kremniyli fotodiod uchun

$$I_t = 1 \text{ mkA da } R_{st} = 1 \text{ MOm bo'ladi.}$$

Fotodiodning teshilishi yuz bermaydigan eng katta kuchlanish ruxsat berilgan kuchlanish bo'ladi.

Kremniyli fotodiodlar germaniyilarga qaraganda tashqi muhit haroratning keng oralig'ida ishlaydi.

Ishchi kuchlanish - shunday kuchlanishki, unda fotodiod uzoq muddat ishonchli ishlaydigan kuchlanishdir. Kremniyli va germaniyli fotodiodlar uchun u 10–20 V ni tashkil etadi.

Chegaraviy chastota – fotodiodning chastotaviy xossasini tavsiflaydi;  $f_{cheg}$  – integral sezgirlikni  $\sqrt{2}$  marta kamayishiga olib keladigan yorug'lik oqimi intensivligining o'zgarish chastotasidir. Fotodiod rejimda ishlovchi kremniyli fotodiodlar uchun chegaraviy chastota  $10^7$  gersni tashkil qiladi, ya'ni ularning tezkorligi katta va inert emas.

**Fotodiodning fotogalvanik rejimida ishlashi.** Bu rejimda fotodiod tashqi kuchlanish manbasiz ishlaydi. Bu holatda fotodiod

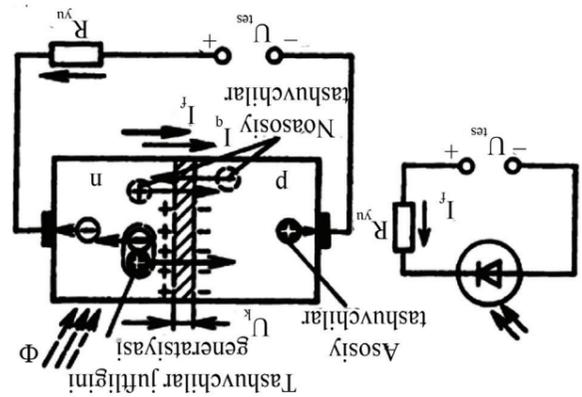
Bu rejimda fotodiod toki ikkita kattalikka – tashqi qo'yilgan U holda kamayadi.

ta'sirida  $p-n$  o'tishning teskari toki oshadi, teskari qarshilik mos bilan oshadi. Shunday qilib, fotodiod rejimda yorug'lik oqimi o'tadigan tok  $I^f$  fototok hisoblanadi va yorug'lik oqimining ortishi o'tish orqali oqimi oshadi. Yorug'lik oqimi ta'sirida fotodiod orqali zaryad tashuvchilar (kovaklar) miqdori oshadi va ularning  $p-n$  elektron-kovak juftligi generatsiyalanadi.  $n$ -sohadagi noasosiy Odatda, yuqqa  $n$ -sohaga tushiriladigan yorug'lik oqimi ta'sirida toki  $I^q$  hisoblanadi.

o'tishning katta bo'lmagan teskari toki oqib o'tadi va u qorong'ulik qo'yilisa ( $I^f=0$ ,  $U=U^{les}$ ), qorong'ulashtirilgan fotodioddan  $p-n$  Yorug'lik oqimi bo'lmaganda fotodiodga teskari kuchlanish potensiallar farqi hosil qilinadi (aylanasiz “+” va “-” belgilar).  $U=0$ ), oddiy yaratimo'tkazgichli dioddagi kabi  $p-n$  o'tishida kontak Yorug'lik oqimi va tashqi kuchlanish mavjud bo'lmaganda ( $I^f=0$ , bo'ladigan jarayonning tavsifi 4.2 - rasmda keltirilgan.

fotodiod rejimida ulanish sxemasi va yorug'lik ta'sirida unda Fotodiodning rejimida ishlashi. Fotodiodning

4.2-rasm. Fotodiodning fotodiod rejimida ishlashi.



Tetrod va pentodlarda bu barcha parametrlar nafaqat elektrodlar konstruksiyasiga, balki anod va ekranlovchi to'rlar orasida toklarning taqsimlanishiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun tetrod va pentodlarda kuchaytirish koeffitsienti singdiruvchanlikka teskari kattalik bo'lmaydi. U mazkur kattalikdan kichik bo'ladi:

$$\mu < \frac{1}{D}.$$

Triod uchun o'rinli bo'lgan lampa parametrning tenglamasi mazkur lampalar uchun ham o'rinlidir:

$$\mu = SR_i.$$

Pentod parametrlari anod tavsiflari oilasi bo'yicha aniqlanadi. Pentod tavsiflari juda tekis ketganligi uchun triod uchun ishlatilgan uslub bo'yicha aniqlanmaydi.  $A$  nuqtadagi parametrlarni aniqlash uchun quyidagilarni amalga oshirish kerak bo'ladi (3.16 - rasm). Ular quyidagicha hisoblanadi:

1) tavsif qiyaligi  $S = \frac{\Delta I'_a}{\Delta U_t} = \frac{AB}{U_{t1} - U_{t2}}$

2) ichki qarshilik  $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I''_a} = \frac{CD}{AD}$

ifoda bilan aniqlanadi. Bunda  $I''_a$  bitta tavsifda yotuvchi  $A$  va  $S$  nuqtalariga mos keluvchi toklar farqi sifatida aniqlansa,  $\Delta U_a$  esa mazkur nuqtalar uchun anod kuchlanishining farq sifatida aniqlanadi.

3) kuchlantirish koeffitsienti lampa parametrli tenglamasi

$$\mu = SR_i$$

ifodasidan foydalangan holda aniqlanadi.

Differensial qarshilik  $r_{diff}$  – qorong‘ulik toki VATdan qo‘yilgan o‘zgarishiga qarshiligidir. Uni qorong‘ulik toki VATdan qo‘yilgan boradi.

Qorong‘ulik toki  $I_q$  bo‘lganda, germaniyalar esa 10 – 20 mA/Im sezgiriklarga ega.

Kremniy fotodiodlar 3 – 7 mA/Im, germaniyalar esa 10 – 20 mA/Im sezgiriklarga ega.

$$(4.1.) \quad U = I r \text{ da } S = \frac{\Phi}{I}$$

Fotodiodning asosiy parametrlariga integral sezgirik, differensial qarshilik, boshlang‘ich statik qarshilik, maksimal ruxsat beriladigan va ishchi kuchlanish, chegaraviy chastotalar kiradi. Fotodiodning sezgirliigi  $S$  – birlik yorug‘lik oqimiga qancha tok to‘g‘ri kelishini ko‘rsatadi. Fotodiod toki va mos holda uning sezgirliigi ma’lum darajada qo‘yilgan kuchlanishga bog‘liq bo‘lganligi sababli, sezgirik  $U=1V$  kuchlanishda aniqlanadi va solishtirma integral sezgirik deb ataladi.  $U=1V$  kuchlanish ostida olingan volt-ampere tavsifidan yoki yorug‘lik tavsifidan quyidagi tenglama orqali aniqlash mumkin.

Fotodiodning asosiy parametrlariga integral sezgirik, differensial qarshilik, boshlang‘ich statik qarshilik, maksimal ruxsat beriladigan va ishchi kuchlanish, chegaraviy chastotalar kiradi. Fotodiodning sezgirliigi  $S$  – birlik yorug‘lik oqimiga qancha tok to‘g‘ri kelishini ko‘rsatadi. Fotodiod toki va mos holda uning sezgirliigi ma’lum darajada qo‘yilgan kuchlanishga bog‘liq bo‘lganligi sababli, sezgirik  $U=1V$  kuchlanishda aniqlanadi va solishtirma integral sezgirik deb ataladi.  $U=1V$  kuchlanish ostida olingan volt-ampere tavsifidan yoki yorug‘lik tavsifidan quyidagi tenglama orqali aniqlash mumkin.

Fotodiodning asosiy parametrlariga integral sezgirik, differensial qarshilik, boshlang‘ich statik qarshilik, maksimal ruxsat beriladigan va ishchi kuchlanish, chegaraviy chastotalar kiradi. Fotodiodning sezgirliigi  $S$  – birlik yorug‘lik oqimiga qancha tok to‘g‘ri kelishini ko‘rsatadi. Fotodiod toki va mos holda uning sezgirliigi ma’lum darajada qo‘yilgan kuchlanishga bog‘liq bo‘lganligi sababli, sezgirik  $U=1V$  kuchlanishda aniqlanadi va solishtirma integral sezgirik deb ataladi.  $U=1V$  kuchlanish ostida olingan volt-ampere tavsifidan yoki yorug‘lik tavsifidan quyidagi tenglama orqali aniqlash mumkin.

o‘qi bo‘yicha nisbiy spektral sezgirik, ya’ni  $S_{\lambda} / S_{\lambda_{maks}}$  nisbat joylashtirilgan Tavsifdan ko‘rinib turibdiki, kremniyli fotodiod ko‘proq tanlash sezgirliigiga ega bo‘lib, u maksimumi 0,7–0,85 mkm to‘lqin uzunlikdagi qizil va infraqizil nurlanishga to‘g‘ri keladi. Germaniyli fotodiod spektrining kengroq sohasi uchun sezgirdir, ya’ni 0,6 dan 1,8 mkm gacha boradi. Fotodiodning asosiy materiali va unga kiritilgan kirishmalar qarang, nurlanishni ko‘zga ko‘rinuvchi spektrining barcha sohasini (0,38 dan 0,76 mkm gacha) va infraqizil sohani o‘z ichiga oladigan spektral tavsifarni olish mumkin.

1. Lampali diodning ishlayish tamoyilini tushuntiring.
2. Lampali diod qanday tavsiflariga ega?
3. Lampali diod qanday asosiy parametrlarga ega?
4. Triodli lampaning tuzilishi va uning ishlayish tamoyilini tushuntiring.
5. Triodli lampalar parametrlari qanday xususiyatlarga ega?
6. Tetrodli lampaning tuzilishi va uning ishlayish tamoyilini tushuntiring.
7. Tetrodli lampada qanday tavsiflariga ega?
8. Pentodli lampada qanday tavsiflariga ega?
9. Pentodli lampada qanday tavsiflariga ega?
10. Pentodli lampaning asosiy parametrlarini tushuntiring.

NAZORAT SAVOLLARI

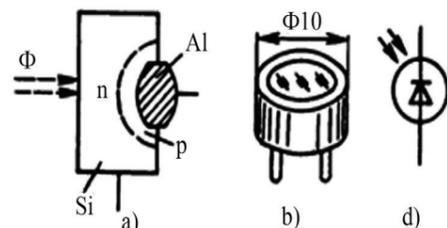
4 - BOB. OPTOELEKTRONIKA

4.1. Fotodiodlar, fotorezistorlar

Fotodiod deb, toki yorug‘lik oqimi bilan boshqariladigan yarimo‘tkazgich diodga aytiladi.

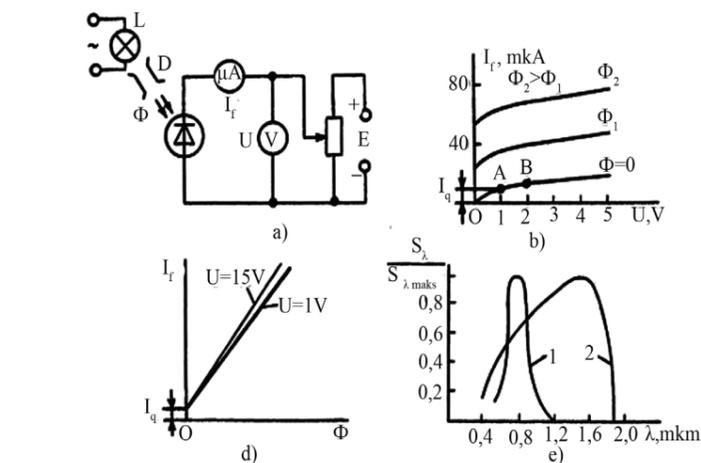
Fotodiod bitta  $p-n$  o‘tishga ega bo‘lgan ikki qatlamli strukturadir (4.1-a rasm). Fotodiod kremniy, germaniy, arsenid, galiy va boshqa yarimo‘tkazgichlar asosida tayyorlanishi mumkin. Ular yorug‘lik signalini elektr signaliga aylantiradi. Fotodiodning shartli grafik belgilanish 4.1-b rasmda keltirilgan.

Fotodiodlar turli xil o‘lchov apparatlari va hisoblash texnikasida, avtomatika va nazorat tizimlarida ishlatilishi keng tarqalgan.



4.1-rasm. Fotodiod: a–tuzilishi; b–tashqi ko‘rinishi; d–shartli grafik belgilanishi.

Fotodiod ikki xil rejimda ishlaydi: fotodiodli – tashqi ta’minot manbasiga teskari ulangan holda; bunda fotorezistiv effekt ishlatiladi, natijada yorug‘lik oqimi fotodiodning teskari tokini boshqaradi; fotogalvanik – tashqi ta’minot manbasiz; bunda fotogalvanik effekt ishlatiladi, natijada yorug‘lik oqimi fotodiod hosil qiladigan foto-EYKni boshqaradi.



43-rasm. Fotodiod tavsifini olish uchun sxema (a), volt-ampere (b), yorug‘lik (d) va spektral (e) tavsiflar: 1–kremniy uchun; 2–germaniy uchun.

Yorug‘lik tavsiflari–ta’minot manbasi doimiy bo‘lganda fototokning yorug‘lik oqimiga bog‘liqligidir:

$$U = const \text{ da } I_f = f(\Phi).$$

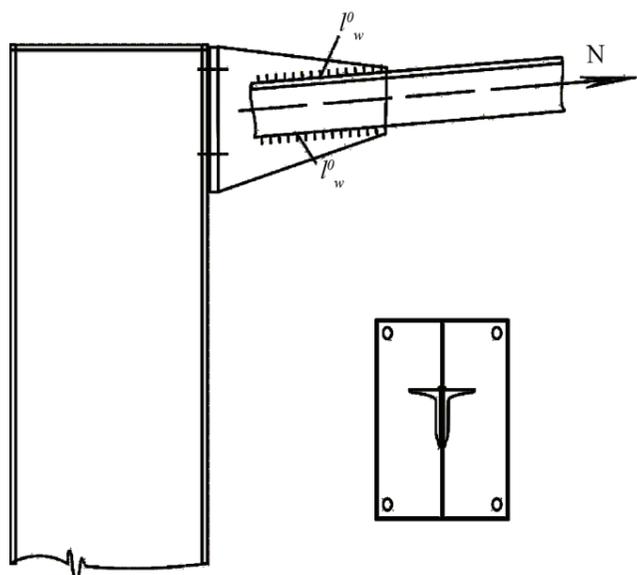
Fotodiod rejimda yorug‘lik tavsifi deyarli chiziqli bo‘ladi (4.3-brasm). Agar  $\Phi=0$  bo‘lganda oqib o‘tadigan qorong‘ulik tokini hisobga oladigan bo‘lsak, yorug‘lik tavsiflari koordinatalar boshidan boshlanadi. Biroq, qorong‘ulik toki, ayniqsa kremniy fotodiodlarda fototok bilan solishtirishga shunchalik kichik bo‘ladiki, uni yorug‘lik tavsiflarda hisobga olmasa ham bo‘ladi. Kuchlanishning katta qiymatlarida olingan tavsif, tok ozgina oshganligi sababli qiya o‘sadi.

Spektral tavsifi – fotodiodlarning spektral sezgirliigi to‘lqin uzunligini bog‘liqligini ko‘rsatadi. 4.3-e rasmda kremniyli va germaniyli fotodiodlarning spektral tavsiflari keltirilgan. Ordinata



bo'lgan elektronlar bilan to'ldirish mavjud emas. Shunday yo'l bilan bazaning  $n$ -sohasida hosil bo'layotgan kovaklarning musbat hajmiy zaryadi, emitter o'tish potensial to'sig'ini oshiradi va kovaklarni emitterdan bazaga injeksiyalanadigan kovaklarning miqdori chegaralanadi. Demak, kollektor qo'yilgan kuchlanish ta'sirida kollektor qayta keladigan kovaklar soni kamayadi. Shunday qilib fototranzistorning qorong'ulik toki nisbatan kichik bo'ladi. Bazaviy  $n$ -sohasini yorug'lik bilan yoritilganda fotodioddagi kabi unda yorug'lik energiyasi hisobiga kovalent bog' uziladi va elektron kovak juftligi hosil bo'ladi. Qo'yilgan kuchlanish ta'sirida kovaklar kollektor qo'yiladi va uning tokini qorong'ulik tokiga qaraganda oshiradi, ya'ni  $I_f$  fototok paydo bo'ladi. Shunday qilib, fototranzistorning  $n$ -turidagi baza va  $p$ -turidagi kollektor orasidagi kollektor o'tishida fotodioddagi kabi jarayonlar yuz beradi. Biroq fototranzistorda emitter o'tishi mavjud bo'lganligi sababli, uning ishlash prinsipi ko'rib chiqilgan jarayonlar bilan cheklanmaydi. Yorug'lik fotonlari tomonidan kovalent bog'larni uzilishida hosil bo'lgan elektronlar, emitter o'tish yaqinida  $n$ -bazada jamlanadi va uning potensial to'sig'ini pasaytiradi. Natijada emitterdan bazaga injeksiyalanadigan kovaklarning miqdori keskin oshadi. Ular kollektor o'tishi tomon harakatlanadi va u orqali kollektor qo'yiladi. Mazkur kovaklar hisobiga kollektor zanjirida  $I_k$  tok tashkil qilib chiqishi paydo bo'ladi. Kollektorning umumiy toki oshadi. Ular yorug'lik oqimi tushganda bazada fotonlar tomonidan hosil qilingan kovak hisobiga oshirishga qaraganda katta darajada oshadi. Bu yerda tranzistorning kuchaytirish xususiyati namoyon bo'ladi: umumiy emitterli sxemada tok  $\beta$  marta kuchaytiriladi. Bu yerda  $\beta = h_{21e}$ .

$p-n-p$ -turidagi fototranzistorning erkin bazali sxemasidagi ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. Baza-kollektor qismida uni fotodiod kabi qarash mumkin. Emitter bilan birgalikda u taranzistorning qo'shimcha kuchaytirish xususiyatiga ega bo'ladi. Bu esa uning yorug'lik signalini elektr signalga o'zgartirishda uning sezgirlikni yanada oshiradi.



4.5–rasm .Fototranzistor: a–struktura; b–shartli grafik belgilanish; d–baza ulangan umumiy emitterli sxema; e–erkin bazali ulanish sxemasi.

Yorug'lik oqimi mavjud bo'lganda fototranzistor orqali juda kichik toki oqib o'tadi. Bu tok emitterdan bazaga o'tgan kovaklarning qisman kollektor o'tishga yetib borishi va kollektor tomonidan tortib olish tufayli yuzaga keladi.

Mazkur tok qiymati katta bo'lmisligi yuqorida keltirilgan jarayonda bazada kovaklarning zaryadi, bazada konsentratsiyasi kam

Kichik yorug'lik oqimlarida sezgirlik katta bo'ladi; yorug'lik

$$R_{yn} = \text{const bo'lganda } S_{dif} = \frac{V\Phi}{VI} \quad (4.3)$$

topiladi:

Yorug'lik tavsifining nohiziqdagi tufayli fotogalvanik rejimda fotodiodning sezgirlik tok va yorug'lik oqimining o'zgartirishlaridan kamchiligi hisoblanadi.

Katta yuklama qarshiliklarida fotogalvanik rejimda ishlovchi fotodiodning yorug'lik tavsifining nohiziqdagi bo'lishi, uning qismiga ega bo'ladi.

Yuklamaning qarshiligi juda katta qarshiliklarida tavsif, yorug'lik oqimining katta qiymatlarida to'yinish sohasini aks ettiruvchi qiya qarshiligi bilan esa tavsiflar ko'proq egrilib boradi; g'andagi ( $R_{ym} = 0$ ) yorug'lik tavsif to'g'ri chiziq bo'lsa, yuklama tashkil qilib ( $2 -$  egril chiziq), ulardan yuklama qisqa tutashirli yorug'lik oqimiga bog'liqligi yorug'lik tavsifining o'lasini  $R_{yn}$  qarshilikning turli o'zgarish qiyamatlarida  $I_f$  tokning sekintir o'rtadi ( $1 -$  egril chiziq).

EYuK yorug'lik oqimining oshishi bilan dastlab tez, keyin esa Birinchi bog'liqlik nohiziqdagi tavsif bilan ifodalanaadi: foto-

$$R_{yn} = \text{const bo'lganda } I_f = f(\Phi).$$

oqimiga bog'liqligi

2) yuklama qarshiligi doimiy bo'lganda fototokning yorug'lik

$$E_f = f(\Phi);$$

1) Foto-EYuKni yorug'lik oqimiga bog'liqligi

Fotodiodning fotogalvanik rejimida asosiy tavsiflari – yorug'lik yorug'lik energiyasini elektr energiyaga aylantiradi. Shunday qilib, fotodiod tashqi ta'minot manbasiz (bevosita) yuklamada kuchlanish tushuvini hosil qiladigan  $I_f$  tok oqib o'tadi. Fotodiod zanjiriga yuklama ulanganda, foto-EYuK ta'sirida

oqimining oshishi bilan u kamayadi. Sezgirlik yuklama qarshiligiga ham bog'liq bo'ladi; fotodiodda eng katta sezgirlikni yuklama qisqa tutashtirilganda olinadi. Bu holatda sezgirlik yorug'lik oqimining turli kattaliklarida bir xil bo'lib qoladi va tavsifning istalgan nuqtasi uchun  $I/\Phi$  nisbati bilan aniqlanadi. Yuklama qarshiligi oshishi bilan sezgirlik kamayadi.

Fotogalvanik rejimida ishlayotgan fotodiodning ichki qarshiligi fotodiod rejimiga qaraganda ancha kichik bo'ladi: bir xil yorug'lik oqimi ta'sirida fotogalvanik rejimda fotodiod hosil qiladigan kuchlanish ham fotodiod rejimdagiga qaraganda kichik. Birlik yorug'lik oqimi ta'sirida hosil bo'ladigan tokdan aniqlanuvchi sezgirlik, ikkala rejimda ham bir xildir.

Ichki fotoeffekt (fotogalvanik yoki fotorezistiv) asosida ishlaydigan yarimo'tkazgichli fotoelektron asboblarda valent elektronlar tomonidan yutiladigan fotonlar energiyasi taqiqlangan zona kengligi  $\Delta W$  dan kichik bo'lmisligi kerak. Valent elektron bu qo'shimcha energiyani qabul qilib o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Bunda yarimo'tkazgichda elektron kovak juftligi hosil bo'lgan holda kovalent bog'ning buzilishi yuz beradi. Buning hisobiga uning qarshiligi kamayadi. Agar fotonning energiyasi  $\Delta W$  dan katta bo'lsa, elektronlar tomonidan olingan ortiqcha energiya uning kinetik energiyaga aylanadi.

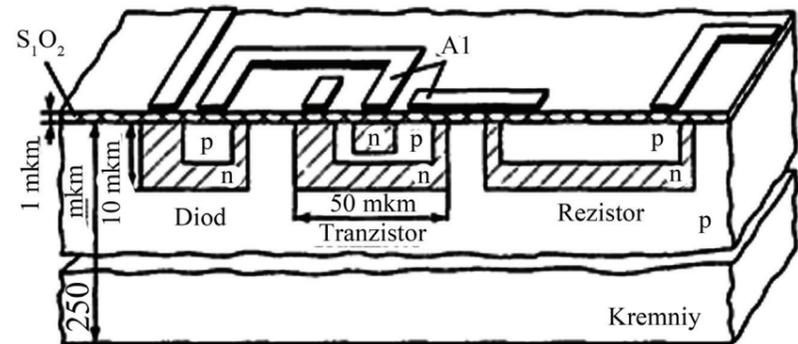
Kirishmali yarimo'tkazgichlarda shu bilan bir qatorda kirishma atomlari fotonlar energiyasi hisobiga ionlashadi,  $p$ -tur sohasida valent elektronlar akseptor atomlarning energetik sathiga o'tsa,  $n$ -tur soha esa donor atomlar sathidan elektronlar o'tkazuvchanlik sohasiga o'tadi

Yarim o'tkazgichli fotoelektron asboblarga fotorezistorlar, fotogalvanik elementlar, fotodiodlar, fototranzistorlar va fototiristorlar kiradi. Ishlashi yarimo'tgazgich solishtirma qarshiligini yorug'lik yoki ko'zga ko'rinmaydigan (infraqizil va ultrabinafsha) nurlanishlar ta'sirida kamayishga asoslangan fotoelektron asbobga **fotorezistor** deb aytiladi.

Fotorezistorning asosiy qismini yarimo'tkazgich plastinasi

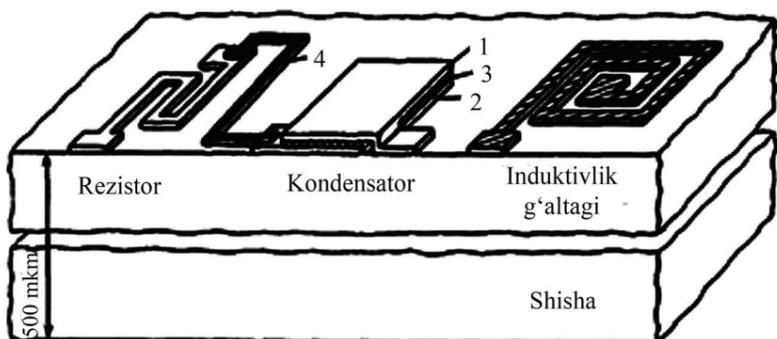
«Tranzistor» (ingliz tilida - transfer resistor) so'zi bilan kichik kashf etilishi bilan boshlandi. Uchinchi bosqich 1948-yilidj. Bardin, V. Brattayn va V. Shoklilar lampalar, rezistorlar, kondensatorlar, transformatorlar kiradi. Ikkinchi bosqich elektronika apparatlarini elementlariga - elektron esa televidenie orgali tasvirlarni ham uzatishga imkon yaratdi. Elektron lampalari radio orgali tovush, musiqaga, keyinchalik imkoniyati yuzaga keldi. Elektron lampalari yordamida kuchaytirish hisobiga telefon orgali suhbatlarni uzqoq masofalarga uzatish Kuchsiz signallarni elektron lampalari yordamida kuchaytirish signallarni detektirlash, hatto kuchaytirishi mumkin edi. de Forest vakuum triod ixtiro qildi. Bu elektron lampaga nafaqat Li va Elstel (1905-y.) fotoelement yaratishdi. Shundan keyin Li vakuum diod konstruksiyasini yaratdi. Xuddi shu paytda Getel A. Fleming (1905-y.), elektr to'liqlarini o'rganayotgan paytda - triod lampasining yaratilishi bilan boshlandi. Ikkinchi bosqich 20-asr bo'larida birinchi aktiv elektron asbob elektromexanik qurilmalardan iborat edi. Bu davrdagi aloqa qurilmalari passiv elementlardan: simlar, induktivlik g'altaklari, magnitlar, rezistorlar, kondensatorlar, qilinishi bilan boshlandi. Elektronika o'z rivojlanishi jarayonida to'rt bosqichni bosib o'tdi: Birinchi bosqich 19-asr oxirida simsiz telegraf - radio ixtiro ishlab-chiqish va tatbiq qilishni o'z ichiga oladi. Elektronika - bu elektronikaning ilm-fan va texnika bilan uzviy bog'langan qismi bo'lib, integral sxemalarni o'rganish, shlab-chiqish va tatbiq qilishni o'z ichiga oladi.

**5.1. Umumiy ma'lumotlar**  
**5-BOB. INTEGRAL MIKROXSHEMALAR**



5.2-rasm. Yarimo'tkazgichli IS elementlarining strukturasi.

Pardali IS - elementlari dielektrik taglik sirtiga o'tkazilgan turli xil turdagi parda ko'rinishida tayyorlangan mikrosxemadir (5.3-rasm) pardalarning o'tkazish usuli va u bilan bog'liq bo'lgan parda qalinligiga ko'ra pardali ISlar - yupqa pardali IS (parda qalinligi 1-2 mkm gacha) va qalin pardali ISlarga (parda qalinligi 10-20 mkm gacha va undan yuqori) ajratiladi.



5.3-rasm. Pardali IS elementlarining strukturasi: 1-yuqori qoplama. 2-pastki qoplama; 3-dielektrik; 4-bo'lovchi metall yo'lakcha

- 8. Fototranzistorning ishlash tamoyilini tushuntirng.
- 9. Fototranzistor qanday tavsiflariga ega?
- 10. Fototransistor deb nimaga aytiladi?
- 11. Fototransistor qanday tuzilishga ega?
- 12. Fototransistorning ishlash tamoyilini tushuntirng.
- 13. Fototransistor qanday tavsiflariga ega?
- 14. Fotodiod, fototranzistor va fototransistorning qo'llanish sohalarni ayting.

$$I_b = 0; R_{yu} = 0; \text{ bo'lganda } S_{\text{dif}} = \frac{\Delta I_k}{\Delta \Phi} \quad (4.7)$$

Fototranzistor sezgirligi lyumenga yuz milli Amperni tashkil qiladi. Fototranzistorlar muhim parametri - fototok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti  $K_f$  bo'lib, u erkin bazali yoritilgan fototranzistor kollektor tokini, huddi shu yorug'lik oqimi kattaligida emitter uzilgandagi kollektor  $p-n$  o'tish fototokiga nisbati orqali aniqlanadi:

$$\Phi = \text{const bo'lganda } K_f = \frac{I_k}{I_f}$$

$K_f$  kuchaytirish koeffitsientini quyidagi tenglama bo'yicha aniqlash mumkin:

$$K_f = 1 + \beta = 1 + h_{21e} \quad (4.8)$$

$K_f$  o'n va yuzlarni tashkil qiladi.

Fototranzistorning asosiy tavsifi - volt-ampere yorug'lik tavsifidir.

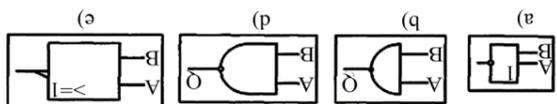
Fototranzistor volt-ampere tavsifi - yorug'lik oqimi o'zgarmas bo'lganda kollektor tokini kollektor va emitter orasidagi kuchlanishga bog'liqligidir (4.6-b rasm):

$$\Phi = \text{const bo'lganda } I_k = f(U_{ke})$$

Fototranzistor volt-ampere tavsifi ko'rinishi bo'yicha oddiy bipolar tranzistorning chiqish tavsifiga o'xshash bo'ladi. Biroq xar bir tavsif olinayotgan o'zgarmas kattalik baza toki emas, balki yorug'lik oqimi bo'ladi. Fotodiodning volt-ampere tavsifidan u tok o'qining o'lchami bo'yicha farq qiladi (fototranzistor toki ancha katta bo'ladi) va barcha tavsiflar koordinata boshidan boshalanadi, ya'ni  $U_{ke}=0$  da  $I_k=0$ . Yorug'lik oqimi qanchalik katta bo'lsa, tavsifi shunchalik yuqorida joylashadi. Fototranzistor yorug'lik tavsifi chiziqli bo'ladi va tashqi ta'minot manbasi bilan ishlaydigan fotodiod tavsifi kabi ko'rinishga ega bo'ladi

**ISlarning sinflanishi.** IS turti sabablariga ko'ra sinflanishi mumkin. Ulardan biri tayyorlash usuli va olinadigan struktura bo'yicha integral sxemalar ikki turga ajratiladi: yarimo'tkazgichli va pardali. Yarimo'tkazgichli IS –elementlari yarimo'tkazgichli taglikning sirt oldi qatlamida tayyorlangan mikrosxemadir (5.2 - rasm). Mazkur IS zamonaviy mikroelektronikaning asosini tashkil qiladi.

5.1-rasm. YOKI-YO'Q turidagi integral mantiqiy elementning shartli belgilanishi: a –SSSR-Rossiya; b –Germaniya (eski) DIN4070 old; d –AQSH, us-ASA; e –Germaniya (yangi) ADIN40700new IEEE Std91



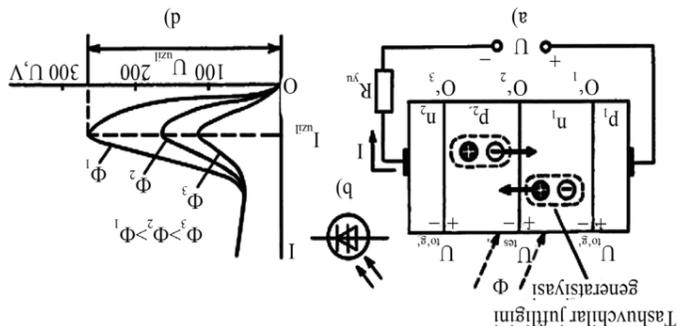
1975-g. O'ta katta ISlar yaratildi. Mikroelektronikaning birinchi mahsulotlari – integral mikrosxemalar 60-yillar so'ngida paydo bo'ldi. Integral mikrosxemalar radio elektron apparatlarida elementlararo ulanishlarni ta'minlash bilan birgalikda, ularning kichik o'lchamlari, kam energiya ta'minoti, massa va material hajmini ta'minlaydilar. Ko'p sonli chiqishlar va qobliqlarning yo'qligi radio elektron apparatlarining hajmi va massasini kichaytiradi. Integral sxema (IS) taglikda bita texnologik siklda tayyorlangan ko'p miqdordagi o'zaro bog'langan komponentlarning (tranzistorlar, diodlar, kondensatorlar, rezistorlar) jamlanishi bo'lib, axborotni o'zgartirish ustida ma'lum bir vazifani bajaradi. IS tarkibiga kiruvchi hamda undan alohida mahsulot sifatida ajratib bo'lmaydigan komponentlarning IS elementlari yoki integral elementlar deb ataladi. ISlarni ishlab chiqaruvchi davlatlarning standartlariga bog'liq ravishda ISlarining shartli belgilanishi 5.1-rasmida ko'rsatilgan.

qarshilikli emitter sohasini yuqori qarshilikli kollektor sohasi bilan muvofiqlashtiruvchi asbob atalgan. Tranzistor elektron lampaning barcha funksiyalarini bajarishga qodir. Tranzistor yaratilishi bilan, uning almashlab ulagich vazifasini bajara olish xossasi, kichik o'lchamlari va yuqori ishonchlilikka ko'ra bir necha ming elektr radioelementlardan (ERE) tashkil topgan murakkab elektron qurilma va tizimlarni yaratish imkoniyati tug'ildi. To'rtinchi bosqich integral mikrosxemalar (IMS) asosida qurilma va tizimlar yaratish bilan boshlandi va mikroelektronika davri deb ataladi. Shu o'rinda Yao'lar va ISlar sohasida yaratilgan muhim ixtirolarni sanab o'tish mumkin.

- 1947-y. Nuqtali tranzistor yaratildi.
- 1950-y. Monokristall germaniy olindi.
- 1951-y. Sanoat bipolar tranzistorlar ishlab chiqara boshlandi.
- 1952-y. Monokristall kremniy olindi.
- 1955 y. Sanoat kremniyli bipolar tranzistorlar ishlab chiqara boshlandi.
- 1956-y. Diffuzion tranzistor ixtiro qilindi.
- 1958-y. Planar tranzistor ixtiro qilindi .
- 1959-y. Sanoat miqyosida ISlar ishlab chiqarila boshlandi .
- 1960-y. Epitaksial tranzistorlar, MOYa –tranzistor va Shotki diodlari kashf qilindi.
- Kichik hajmdagi ISlar chiqarila boshlandi
- 1962-y. MOYa texnologiyasi bilan raqamli ISlar ishlab chiqarila boshlandi.
- 1963-y. KMOYa texnologiyasi bilan ISlar ishlab chiqarila boshlandi .
- 1964-y. MOYa texnologiyasi bilan chiziqli ISlar ishlab chiqarila boshlandi.
- 1966-y. O'rta hajmdagi ISlar chiqarila boshlandi
- 1968-y. MOYa – texnologiyasi bilan xotira qurilmalari ishlab chiqarila boshlandi.
- 1969-y. Katta hajmdagi ISlar paydo bo'ldi.
- 1971-y. Mikroprotessorlar yaratildi.

Fototiristor oddiy yarimo'tkazgichli tiristor kabi  $p-n-p-n$  struktura va uchta  $p-n$ -o'tishga ega bo'lib, uning chekki  $O_1$  va  $O_2$  o'tishi yo'nalishda ulangan bo'lsa, markaziy

4.7-rasm. Fototiristor: a –struktura va ulanish sxemasi; b –shartli grafik belgilanish: d –volt-ampere tavsifi.



Spektral tavsif material va kiritishmalar bog'liq bo'ladi hamda spektrning ko'rinadigan va infraqizil qismini qoplaydi. Bipolar fototranzistorning chegaraviy chastotasi  $10^5$  Hz ni tashkil qiladi. Fototranzistor baza zanjiri ulangan holda ishlatilgan sxemalarda (4.5-d rasm), erkin bazali sxemadagi kabi jarayonlar yuz beradi. Baza zanjiri mavjud bo'lganda baza tokini o'zgartirish yo'li bilan kollektor tokini qo'shimcha boshqarish imkoniyati paydo bo'ladi va fototranzistorlarning ishlatilish sohasi kengaytiriladi. Bipolar fototranzistorlardan tashqari  $p-n$  o'tish bilan boshqariladigan maydonli fototranzistorlar ishlab chiqilgan. Ular yuqori sezgirlikka ega (bir lyumelga bir necha amper), katta quvvatda ishlaydi, chegaraviy chastota  $10^7-10^8$  Hz gacha boradi. Fototranzistorlar turti sohalarda ishlatiladi. Shu jumladan mikroelektronikada yorug'lik qabul qilgichlari sifatida ishlatiladi. Fototiristor – ikkita chiqishli to'rt qatlamli struktura ega bo'lgan fotoelektron asboddir (4.7-a rasm). Uning shartli grafik belgilanishi 4.7-b rasmida ko'rsatilgan.

$O_2$  o'tishi teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi. Fototiristorda kuchlanish kattaligi shunday tanlanadiki, yorug' oqimi mavjud bo'lmaganda u berk bo'ladi. Oddiy tiristorlardan farqli ravishda fototiristorning ulanish kuchlanishi boshqarish tokiga emas, balki yorug'lik oqimiga bog'liq bo'ladi. Fototranzistor shunday tayyorlanganki, yorug'lik ichki  $p_2$  va  $n_1$  qatlamiga tushadi va u yerda foton energiyasining hisobiga elektron–kovak juftligini hosil Kollektor  $O_2$  o'tishga qo'yilgan teskari kuchlanish ta'sirida kovaklar  $n_1$  sohadan  $p_2$  sohaga o'tsa, elektronlar esa  $p_2$  sohadan  $n_1$  sohaga o'tadi.

Bunda mazkur o'tish orqali tok oshadi. Natijada tashqi zanjirdagi  $I$  tok oshadi. Tokning ma'lum bir kattaligida fototiristor ulanadi. Yorug'lik  $\Phi$  oqimi qanchalik katta bo'lsa, fototiristor ulanadigan  $U_{ul}$  kuchlanish shunchalik kichik bo'ladi.

Fototiristorning volt-ampere tavsifi oddiy tiristorning volt-ampere tavsifiga o'xshash bo'ladi (4.7-b rasm). Biroq ularning har biri yorug'lik oqimining ma'lum bir o'zgarish qiymatiga mos keladi:

$$\Phi = \text{const bo'lganda } I = f(U)$$

Yopiq holatdan ochiq holatga o'tishda fototiristor qarshiligi yuz megaOmdan 0,1 Omgacha kamayadi. Bu juda tez yuz beradi. Fototiristor yorug'lik signallari yordamida katta quvvatli elektr zanjirlarning kommutatsiyasida ishlatiladi. Fototranzistorlar optoelektronikada ishlatiladi.

**NAZORAT SAVOLLARI**

1. Fotodiod deb nimaga aytiladi?
2. Fotodiod qanday tuzilishga ega?
3. Fotodiodning ishlash tamoyilini tushuntiring.
4. Fotodiodning fotogalvanik rejimida ishlashini tushuntiring.
5. Fotodiod qanday tavsiflarga ega?
6. Fototranzistor deb nimaga aytiladi?
7. Fototranzistor qanday tuzilishga ega?

ISlarning uchunchi o'ziga xos tomoni faol elementlarni passiv elementlarga qaraganda arziroq bo'lishi. Bu esa diskret tranzistor texnikasiga qaraganda arziroq bo'lishi. Bu esa diskret tranzistor faol komponentlar, ayniqsa tranzistorlar qimmatdir. Shuning

ko'rsatgichlar yaxshilanadi. va boshqalar) yomonlashuvi bilan yuz bermaydi. Aksincha bu qaraganda asosiy ko'rsatgichlarning birini (ishonchlilik, tannarx asbobning funksional murakkabligini oshirish elementlar asboblariga mumkin ISlarning ikkinchi muhim o'ziga xos tomoni mazkur integral sxema bajaradi: u kuchaytirgich, saqlash qurilmasi bo'lishi Mikroelektronikada esa ko'rsatilgan funksiyani bita asbob – boshqa komponentlardan mos keluvchi sxemani yig'ish kerak. o'lmaydi. Buning uchun bir nechta tranzistorlar, rezistorlar va tranzistor signali kuchaytirishni yoki axborotni saqlashni ta'minlay komponentlar yordamida amalga oshiradi. Masalan, alohida Elementar elektron asboblar bunday funksiyani faqat boshqa ravishda yakunlangan, ko'pincha murakkab funksiyani bajaradi. ISlarning – birinchi asosiy o'ziga xos xususiyati mustaqil sifatidagi o'ziga xos xususiyatlari quyidagidan iborat:

kontakti yuzalari bilan ulanadi. Integral sxemalarning elektron asbob qismini yuzasiga yopishtiriladi va elementlarning mos keluvchi Yupqa pardali GISdagi osma elementlar, sxemaning pardali bilan aniqlanadi.

qatlarning konfigurasiyasi (tasviri) qalin pardali GIS kabi tarafdin o'tkazuvchi, rezistiv va dielektrik qatlam hosil qilinadi. Har bir xususiyatlari o'zgartiriladi. Shunday yo'l bilan navbatma-navbat tarkibi o'zgartiriladi va bu bilan navbatdagi pardaning elektrofizik asoslanadi. Navbatdagi parda o'stirilgandan keyin gazning kimyoviy pardali texnologiya – parda taglikka gaz fazadan o'tqazilishiga katroq bo'lgan texnologiya bo'yicha tayyorlanadi. Klassik yupqa Yupqa pardali GISlar, qalin pardali GISlarga qaraganda murak-k chiqishlarini kontakti yuzalar bilan bog'lanadi.

Shundan keyin og'ma komponentlar yopishtiriladi va ularning qatlarning pastasi tushishi kerak bo'lgan joylarda darcha bo'ladi.

Hozirgi kungacha o'tkazilgan pardalarning hech bir kombinatsiyasi tranzistor turdagi faol elementlarni olishga imkon bermaganligi uchun pardali IS faqat passiv elementlarni o'z ichiga oladi (rezistor, kondensator va boshqalar). Shuning uchun pardali IS bajaradigan vazifalar cheklangandir. Bunday cheklanishlarni yengish uchun pardali IS faol komponentlar bilan (alohida tranzistor yoki IS) to'ldiriladi. Ular taglikda joylashtiriladi va pardali elementlar bilan bog'lanadi. Bunday IS ni gibrid integral sxema deb ataladi. Gibrid IS (yoki GIS) – umumiy dielektrik taglikda joylashgan pardali passiv elementlar va aktiv komponentlarning kombinatsiyasidan tashkil topgan mikrosxemadir. Gibrid IS tarkibiga kiruvchi diskret komponentalar osma deb ataladi. Aralash ISning yana bir turini o'rin olishli deb ataladi.

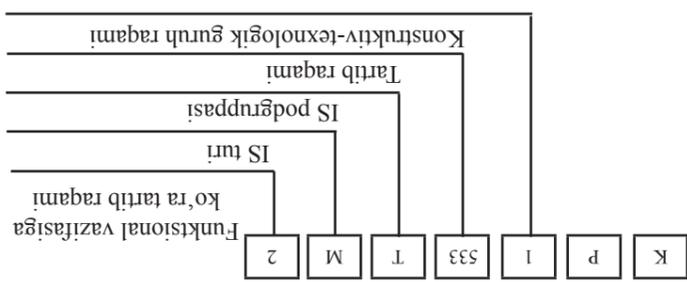
O'rin olishli IS – faol elementlari yarimo'tkazgichli kristallning sirtoldi qatlamida tayyorlangan (yarimo'tkazgichli IS kabi) bo'lsa, passiv elementlar mazkur kristallda dastlab izolatsiya qilingan sirtida parda ko'rinishida (pardali IS kabi) tayyorlangan mikrosxemadir.

O'rin olishli IS lar qarshiliklar va sig'imlarning yuqori nominali va yuqori turg'unligi zarur bo'lganda foydali bo'ladi. Bunday talablarni yarimo'tkazgichga qaraganda pardali elementlarda ta'minlash osondir. Barcha turdagi ISlarda elementlar orasidagi bog'lanishlar taglik sirtiga, bog'lanuvchi elementlarning kerakli joyiga yupqa metall yo'lakchalarni changlatish yoki o'tqazish yo'li bilan amalga oshiriladi.

**Yarimo'tkazgichli IS.** Hozirgi kunda yarimo'tkazgichli ISlarning quyidagi turlari mavjuddir: bipolar, MOYa (metall-oksidi-yarimo'tkazgich) va BIMYOYa. Oxirgisi oldingi ikkitasining ijobiy sifatlarini kombinatsiyasidan tashkil topadi.

Yarimo'tkazgichli IS texnologiyasi yarimo'tkazgichli plastinani galma galdan donor va akseptor kirishmalar bilan legirlashga asoslanadi. Natijada sirt ostida turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa qatlam va qatlam chegaralarida  $p-n$ -o'tish hosil bo'ladi. Alohida qatlamlar rezistor sifatida ishlatilsa,  $p-n$ -o'tishlar diod va tranzistor strukturalarida ishlatiladi.

5.5-rasm. Rossiyada ishlab chiqarilgan integral sxemalarning sharti belgilanishi.



(5.5 - rasm).

Sharti belgilanish tizimining asosida harf raqamli kod yotadi

### Sharti belgilanishlar

Boshqacha aytganda, go'shni elementlarning parametrlari o'zaro bog'langan. Bu bog'liqlik harorat o'zgariganda ham saqlanadi: go'shni elementlar parametrlarining harorat ko'effitsiyentlari bir xildir. Qo'shni elementlarning parametrlari orasidagi bog'liqlik ayrim ISlarni loyihalashda parametrlar farqi va harorat o'zgarishining ta'sirini kamaytirish maqsadida ishlatiladi.

fارق qilishning ehtimolligi kichik. Demak, go'shni elementlarning parametrlarini masofalarda materialning elektro-fizik xususiyatlarining farq qilish biridan mkm o'lganadigan masofada joylashganidir. Bunday ISlarning to'rtinchi o'ziga xos tomoni go'shni elementlar bir kondensatorlarning miqdori minimumga kechirilgan ISdir.

passiv elementlar ega bo'ladi. Demak, optimal IS – bu rezistor va elementlar – tranzistorlar va diodlar ega bo'lsa, maksimal yuzaga ko'proq joylashtirish maqsadga muvofiqdir. Eng kichik yuzaga faol Shuning uchun kristallga minimal yuzaga ega bo'lgan elementlarni o'zgaradi: ular element emas, balki kristall baholanadi. komponentlar sonini kamaytirish kerakdir. Bu holat ISlarda uchun bir xil sharoitlarda sxemani optimallashtirish uchun faol

- B – 0 dan +70 °C gacha;
- C – 55 dan +125 °C gacha;
- D – 25 dan +70 °C gacha;
- E – 25 dan +85 °C gacha;
- F – 40 dan +85 °C gacha;
- G – 55 dan +85 °C gacha.

To'rtinchi element – seriya raqamini belgilovchi to'rtta raqam.

Bundan tashqari, raqamlardan keyin asosiy turning ko'rinishlarini belgilash uchun harf yozilishi mumkin. Qobiq turi bir yoki ikkita harf bilan belgilanishi mumkin.

Qobiq variantini belgilovchi ikki harfida (seriya raqamidan keyin) birinchi harf konstruksiyani bildiradi:

- C – silindrik qobiq;
- D – chiqish simlari ikki qatorda parallel joylashgan;
- E – chiqish simlari ikki qatorda joylashgan katta quvvatli (tashqi issiqlik olib ketishga ega);
- F – chiqish simlari ikki tomonlama joylashgan yassi;
- G – chiqish simlari to'rt tomonlama joylashgan yassi;
- K – TO-3 turdagi qobiq;
- M – ko'p qatorli (to'rt qatordan ko'p);
- Q – chiqish simlari parallel to'rt qatorda joylashgan;
- R – chiqish simlari to'rt qatorda joylashgan katta quvvatli (tashqi issiqlik olib ketishga ega);
- S – chiqish simlari bir qatorda joylashgan;
- T – chiqish simlari uch qatorda joylashgan.
- Ikkinchi harf qobiq materialini ko'rsatadi;
- G – shisha keramika;
- M – metall;
- P – plastmassa;
- H – hokazo.

Bir harfli qobiqlarning belgilanishi quyidagicha:

- C – silindrik;
- D – keramik;
- F – yassi;

- A – harorat diapazoni me'yorlanmagan;
- Uchinchi element – ishchi harorat diapazonini yoki boshqa muhim tavsifni belgilovchi harf;
- HB – 4000 A seriyadagi komplementar MOYA-sxemalar;
- HC – 4500 B seriyadagi komplementar MOYA-sxemalar.
- GM – kam quvvatli Shotki diodiga ega bo'lgan TTM-sxemalar;
- GJ – tezkor TTM-sxemalar;
- GF – standart TTM-sxemalar;
- GD – MOYA-sxemalar;
- GA – kam quvvatli TTM-sxemalar;
- FX – EBM-seriya;
- FQ – DTM-sxemalar;
- FL – standart TTM-sxemalar;
- FD – MOYA-sxemalar;
- element – sxemateknologik xususiyatni yorituvchi harfdir.
- Raqamli mikrosxema o'lasi (seriyasi) uchun birinchi va ikkinchi mikrosxemalarni bildiruvchi H harfi kirmaydi.
- harf bo'lib, maxsus mo'ljallanganlikka ega emas. Bunga gibrid ikkinchi element – tayyorlovchi firma tomonidan tanlanadigan
  - U – analog-raqamli;
  - T – analog;
  - S – raqamli;
- Birinchi element – signalning o'zgartirishini yorituvchi harf:
- Yakka mikrosxemalar uchun belgilanish quyidagicha bo'ladi: raqami keladi (masalan, F4H121).
- Kod uchta harfdan tashkil topgan bo'lib, undan keyin seriya firmalarda keng tarqalgan.
- Germaniya va boshqa) integral sxemalarni ishlab chiqaruvchi Yevropa davlatlarida (Angliya, Italiya, Ispaniya, Shvetsiya, Fransiya, PRO ELEKTRON integral mikrosxemalarning belgilanishi mavjud emas.
- Xorijda ishlab chiqarilgan integral sxemalarning yagona tizimi 6 – chiqish simisiz kontaktli yuza (kristall).

Birinchi element – raqam, konstruktiv-texnologik tayyorlash bo'yicha integral mikrosxemalarning guruhini belgilaydi: 1, 5, 6, 7 – yarimo'tkazgichli IMS; 2, 4, 8 – gibrid; 3 – boshqa (pardali, vakuumli, keramik).

Ikkinchi element – ikkita yoki uchta raqam (01 dan 99 yoki 001 dan 999 gacha) mazkur IMS seriyasida ishlab chiqarishning tartib raqamini ko'rsatadi. Birinchi va ikkinchi element mikrosxemaning seriyasini hosil qiladi.

Uchinchi element – mikrosxemaning ko'rinishi va funksional guruh ostini belgilovchi ikkita harf. To'rtinchi element – seriyadagi mikrosxemaning ishlab chiqarish tartib raqamini belgilovchi raqam.

Belgilanishda mikrosxema parametrlarining farqlanishiga ruxsat berilganligini aniqlovchi qo'shimcha belgilar kiritilishi mumkin.

Belgilanishning birinchi elementidan oldin quyidagi harflar turushi mumkin:

- K – keng qo'llanishli apparatlar uchun;
- E – eksport uchun (chiqish qadami 2,54 va 1,27 mm);
- R – ikkinchi turdagi plastmassali qobiq;
- M – ikkinchi turdagi keramik, metall yoki shisha keramikali qobiq;
- Ye – ikkinchi turdagi metall polimer qobiq;
- A – to'rtinchi turdagi plastmassali qobiq;
- I – to'rtinchi turdagi shisha keramikali qobiq;
- N – kristall tashuvchi.

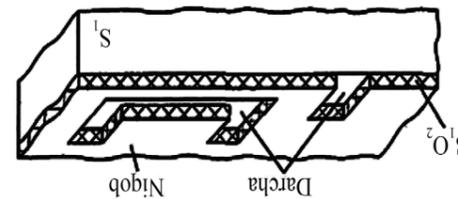
Qobiqsiz integral mikrosxemalar uchun seriya raqamidan oldin B harf qo'shiladi hamda undan keyin yoki qo'shimcha harfli belgilanishdan keyin defis (chiziqcha) orqali konstruktiv tayyorlanish turini tavsiflovchi raqam ko'rsatiladi:

- 1 – egiluvchan chiqish simiga ega;
- 2 – tasmali chiqish simiga ega;
- 3 – qattiq chiqish simiga ega;
- 4 – umumiy plastinada (ajratilmagan);
- 5 – yo'nalishni yo'qotmagan holda bo'lingan (pardaga yopishtirilgan);

Yarimo'tkazgichli ISlarning tarkibiy qismlarni (elementlarni) qisqacha tavsiflaymiz. Bipolar ISlarning asosiy elementlari  $n-p-n$ -tranzistoridir: uni tayyorlashga butun texnologik sikl yo'naltiriladi. Boshqa barcha elementlar, imkon qadar qo'shimcha texnologik operatsiyalariz mazkur tranzistor bilan bir vaqtda tayyorlanishi kerak. MDYA ISlarning asosiy elementlari MDYA-tranzistoridir. Boshqa elementlarni tayyorlash bazaviy tranzistor asosida quriladi. Bipolar IS elementlarni, kristall orqali o'zaro ta'sirlashmasligi uchun bir birtidan izolatsiya qilinishi lozim.

MOYA IS elementlarni bir birtidan maxsus izolatsiya qilish zarur emas, chunki qo'shni MOYA-tranzistorlar orasida o'zaro ta'sirlashuv mavjud bo'lmaydi. Bu esa MOYA ISlarning bipolarga qaraganda asosiy afzalligidir. Yarimo'tkazgichli ISlarning o'ziga xos tomoni ularning elementlari orasida induktivlik g'altagi, shuningdek

5.4-rasm. Mahalliy legirish uchun darchaga ega bo'lgan oksid.



Plastinani mahalliy legirishga, ya'ni yetarlicha katta masofa bilan ajratilgan alohida soha to'g'ri keladi. Mahalliy legirish maxsus tirgishli niqob yordamida amalga oshiriladi. Kirishma atomlar mazkur tirgish orqali plastinaning kerakli sohalarga kiradi. Yarimo'tkazgichli ISlarni tayyorlashda niqob vazifasini kremniy plastinasining sirtini qoplovchi  $SiO_2$  kremniy ikki oksidi pardasi bajaradi. Mazkur pardada maxsus usullar bilan turli shakldagi tirgishlar yoki oddiygina qilib kerakli tasvir hosil qilinadi (5.4-rasm). Niqoblardagi, xususan oksid pardadagi tirgishlar darcha deb ataladi.

transformator yo'qdir. Bu holat hozirgi kungacha qattiq jismning elektr magnit induksiyaga ekvivalent bo'lgan biron bir fizik hodisalarning ishlatish imkoni bo'lmaganligi bilan tushuntiriladi. Shuning uchun ISlarni ishlab chiqishda kerakli funksiyani induktivlik ishlatmagan holda amalga oshirishga harakat qilinadi. Agarda induktivlik g'altagi yoki transformatorlar juda zarur bo'lsa, ularni osma komponentlar ko'rinishida tayyorlashga to'g'ri keladi. Zamonaviy yarimo'tkazgichli ISlarda kristall o'lchamlari  $20 \cdot 20 \text{ mm}^2$  atrofida bo'ladi. Kristall yuzasi qanchalik katta bo'lsa, unga murakkabroq, ko'p elementli ISlarni ko'proq joylashtirish mumkin. Kristall yuzasining bir xil qiymatlarida elementlar miqdorini, ularning o'lchamlari va orasidagi masofani kamaytirgan holda oshirish mumkin. ISlarning funksional murakkabligi integratsiya darajasi, ya'ni kristalldagi elementlar soni bilan tavsiflanadi. Maksimal integratsiya darajasi kristallda  $10^6$  elementni tashkil qiladi.

Integratsiya darajasini miqdoriy baholash uchun shartli  $k = \lg N$  koeffitsiyent ishlatiladi. Uning qiymatiga bog'liq ravishda integral sxemalar turlicha nomlanadi:

- $k \leq 2$  ( $N \leq 100$ ) – integral sxema (IS);
- $2 \leq k \leq 3$  ( $N \leq 1000$ ) – o'rtacha integratsiya darajali integral sxema (O'IS);
- $3 \leq k \leq 5$  ( $N \leq 10^5$ ) – katta integral sxema (KIS);
- $k > 5$  ( $N > 10^5$ ) – o'ta katta integral sxema (O'KIS).

**Gibrid IS.** Pardali, demakki gibrid IS tayyorlash texnologiyasiga bog'liq ravishda qalin va yupqa pardaliga ajratiladi.

Qalin pardali GISlarni tayyorlash oddiydir. Dielektrik plastina – taglikka turli tarkibdagi pasta suritiladi. O'tkazuvchi pastalar elementlar orasidagi bog'lanishni, kondensator qoplamalari va qobiq oyoqchalariga chiqish simini ta'minlaydi; rezistiv pasta – rezistorni olishni; dielektrik pasta – kondensator qoplamalari orasida izolatsiya va tayyor GIS sirtining umumiy himoyasini ta'minlaydi. Har bir qatlam o'zining konfiguratsiyasiga va tasviriga ega bo'lishi kerak. Shuning uchun har bir qatlamni tayyorlashda pastani o'zining niqobi–trafaretini orqali suritiladi. Niqobda mazkur

olmasa ham bo'ladi.

Bu yerda  $N$  – kirishmalar konsentratsiyasi (diffuzion baza va emitter qatlamlari uchun sirt konsentratsiyasi);  $d$  – qatlam chuqurligi;  $p$  – materialning solishtirma qarshiligi;  $R_s$  – qatlamning solishtirma qarshiligi

5.2. Gibril va yarimo'tkazgichli integral mikro sxemalarining passiv va aktiv elementlarini tayyorlash texnologiyasi

Bipolar ISlarning asosini  $n-p-n$ -tranzistorlar tashkil qilganligi uchun ularni batafsil ko'rib chiqamiz. Bunda izolatitsiya (ajratuvchi) nidiiffuziya usuli bilan amalga oshirilgan deb hisoblaymiz.

**Kirishmalarining taqsimoti.** Berkitilgan  $n^+$ -qatlamli integral tranzistor qatlamlaridagi kirishmalarining taqsimoti 5.6 - rasmda ko'rsatilgan.

Baza qatlamida akseptorlarning samarali konsentratsiyasining taqsimoti bir tekis bo'lmashligiga ahamiyat berish kerak. Bunga mos ravishda kovaklarning taqsimoti ham bir tekisda bo'lmaydi. Maksimum nuqtadan o'ngda kovaklar konsentratsiyasining gradyenti manfiy va ichki maydon (injeksiyalangan elektrolar nisbatan) tezlashitiruvchi bo'ladi. Bu esa barcha dreyf tranzistorlarga xosdir.

Bir qatlamdan chiqadigan konsentratsiya gradyenti musbat va maydon sekiniylashtiruvchi bo'ladi. Sekiniylashtiruvchi o'tishning natijaviy vaqtini ma'lum bir qiymatga oshishiga olib keladi.

Bu yerda  $N$  – kirishmalar konsentratsiyasi (diffuzion baza va emitter qatlamlari uchun sirt konsentratsiyasi);  $d$  – qatlam chuqurligi;  $p$  – materialning solishtirma qarshiligi;  $R_s$  – qatlamning solishtirma qarshiligi

adres signaling boshlanishi va ISning chiqishida yozilgan axborotni paydo bo'lish orasidagi vaqt oraliq:

- Kuchlanishning kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_u$  – ISning chiqish kuchlanishini kirish kuchlanishiga nisbat;
- Tokning kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_I$  – ISning chiqish tokini kirish tokiga nisbat.
- Quvvatning kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  – ISning chiqish quvvatini kirish quvvatiga nisbat.

5.2 -jadval

### Integral n-p-n-tranzistor parametrlari

Parametr	Nominal	Farqlanish d, %
Kuchaytirish koeffitsiyenti B	100-200	±30
Chegaraviy chastota $f_{T_p}$ , MHz	200-500	±20
Kollektor sig'imi $C_k$ , pF	0,3-0,5	±10
Teshilish kuchlanishi $U_{kb}$ , V	40-50	±30
Teshilish kuchlanishi $U_{eb}$ , V	7-8	±5

Emitter o'tishining teshilish kuchlanishi kollektornikidan 5–7 marta kichikligi 5.2 - jadvaldan ko'rinib turubdi. Barcha dreyf tranzistorlarga xos bo'lgan shunday xususiyat emitter o'tishi kollektor o'tishiga qaraganda past omli qatlamda hosil qilinishi bilan bog'langandir. Tranzistor umumiy emitter bo'yicha ulanganda kollektor o'tishning teshilish kuchlanishi,  $U_B = U_M \sqrt{1 - \alpha}$  ifodaga muvofiq kamayadi. Agarda baza yetarli darajada yupqa ( $w < 1$  mkm) bo'lsa, u holda teshilish, tutashish effekti tufayli yuz bersa,  $U_w = (qN_b/2\epsilon_0\epsilon)w_0^2$  teshilish kuchlanishi munosabat bilan ifodalanadi.

**Parazit parametrlar.** Ajratuvchi diffuziya usuli bo'yicha tayyorlangan integral  $n-p-n$ -tranzistorning soddalashtirilgan strukturasi 5.8-a rasmda ko'rsatilgan. Integral tranzistorning o'ziga xosligi uning strukturasi (taglikni hisobga olganda) to'rt qatlamdan iboratligidir: ishchi emitter va kollektor o'tishlaridan tashqari uchinchi (parazit) kollektor  $n$ -qatlam va  $p$ -tur taglik orasidagi o'tish mavjud. Berkitilgan  $n^+$ -qatlamning mavjudligi (5.8-a rasmda ko'rsatilmagan) strukturaga jiddiy o'zgarishlar kiritmaydi.

▪ Axborotni yozish vaqt  $t_{yoz}$  – berilgan sathlarda o'lanuvchi orasidagi vaqt oraliq;

rejmida o'lanuvchi ISning adres va o'qilgan signal frontlari

▪ Axborotni o'qish vaqt  $t_{oq}$  – berilgan sathlarda berilgan berilgan parametrlar bilan saqlaguncha bo'lgan vaqt;

– ISni ta'minot manbasidan uzilgan vaqtdan yozilgan axborotni

▪ Ta'minot kuchlanishi uzilgan axborotni saqlash vaqt  $t_{sas}$  kuchlanishidan mantiqiy bir kuchlanishiga o'tish vaqt;

qiymatlarida ISning chiqishidagi kuchlanishni mantiqiy nol

– 0,1 va 0,9 sathlarda o'changan yoki kuchlanishning berilgan

▪ Mantiqiy nol holatdan mantiqiy bir holatga o'tish vaqt  $t_{0,1}$  kuchlanishidan mantiqiy nol kuchlanishiga o'tish vaqt;

qiymatlarida ISning chiqishidagi kuchlanishni mantiqiy bir

– 0,1 va 0,9 sathlarda o'changan yoki kuchlanishning berilgan

▪ Mantiqiy bir holatdan mantiqiy nol holatga o'tish vaqt  $t_{1,0}$  kuchlanishidan mantiqiy nol kuchlanishiga o'tish vaqt;

0,9 sathni oxiriga yetguncha o'zgarishiga ketgan vaqt oraliq;

▪ Chiqish kuchlanishining o'rnatilish vaqt  $t_{or}$  – IS chiqish kuchlanishini o'rnatilgan qiymatning dastlab 0,1 sathiga yetgandan 0,1 sathga yetgandan toki 0,9 sathga yetguncha o'zgarishiga ketgan vaqt oraliq;

▪ Chiqish kuchlanishining o'sib borish vaqt  $t_{os}$  – integral orasidagi vaqt oraliq;

tokning berilgan sathda o'changan kirish va chiqish frontlari

▪ Impulsning ushlanish vaqt  $t_{ush}$  – ISning kuchlanish yoki chegaraviy chastotalar orasidagi chastota diapazoni;

▪ O'tkazish yo'lga  $f_0$  – o'tkazish yo'lga  $f_0$  va pastki ga kamayishi yuz beruvchi chastotaning eng katta qiymati;

▪ O'tkazish yo'lga  $f_{yuz}$  – ISning chastotasining yuqori chegarasi  $f_{yuz}$  – ISning kuchaytirish koeffitsiyenti berilgan chastotadagi qiymatdan 3 dB yuz beruvchi chastotaning eng kichik qiymati;

▪ O'tkazish yo'lga  $f_p$  – berilgan ISning kuchaytirish koeffitsiyentini 3 dB ga kamayishi tokning qiymati;

- L – tasmali kristall ushlagich;
- P – DIP plastmassali;
- Q – chiqish simlari to'rt qatorda joylashgan;
- T – mitti plastmassali;
- U – qobiqsiz IS.

### Integral sxemalarning asosiy parametrlari

Har xil turdagi mikrosxemalarni taqqoslashda uzib ulanishdagi ushlanishni quvvatga nisbati kabi parametridan foydalaniladi. Bu kattalik qanchalik kichik bo'lsa, integral sxemaning sifati shunalik yuqori bo'ladi. Bu parametr qanchalik kichik bo'lsa, integral sxema chiqish yuklamasiga shunchalik sezgir bo'ladi.

Integral sxemalarning asosiy parametrlariga quyidagilar kiradi:

- Maksimal kirish kuchlanishi  $U_{kir, max}$  – chiqish kuchlanishi berilgan qiymatga mosligini ta'minlovchi integral sxemaning kirishidagi kuchlanishning eng katta qiymati;
- Minimal kirish kuchlanishi  $U_{kir, min}$  – chiqish kuchlanishi berilgan qiymatga mosligini ta'minlovchi integral sxemaning kirishidagi kuchlanishning eng kichik qiymati;
- Siljish kuchlanishi  $U_{sil}$  – chiqishdagi kuchlanishning qiymati nol bo'lishiga olib keladigan integral sxema kirishidagi o'zgarish tok kuchlanishining qiymati;
- Maksimal chiqish kuchlanishi  $U_{chiq, max}$  – IS parametrlarining o'zgarishi berilgan qiymatga mosligini ta'minlovchi chiqish kuchlanishning eng katta qiymati;
- Minimal chiqish kuchlanishi  $U_{chiq, min}$  – IS parametrlarining o'zgarishi berilgan qiymatga mosligini ta'minlovchi chiqish kuchlanishning eng kichik qiymati;
- Muvozanat chiqish kuchlanishi  $U_{chiq, muv}$  – chiqishlar orasidagi kuchlanish nol bo'lganda umumiy chiqishga nisbatan ISning har bir chiqishidagi o'zgarish tok kuchlanishining qiymati;
- Ishlash kuchlanishi  $U_{ish}$  – ISni bir turg'un holatdan boshqasiga o'tishi yuz berishini ta'minlovchi kirishdagi o'zgarish tok kuchlanishining qiymati;



quyidagicha (5.10-d rasm). Birinchidan, har bir qo'shni emitter (5.10-b rasm). KETning yagona struktura sifatidagi o'ziga xosligi ulangan alohida tranzistorning jamlamasi sifatida qarash mumkin bo'lishi mumkin. Birinchi qarashda KET bazalari va kollektorlari sinfning asosini tashkil qiladi. Emitterlar soni 5-8 va undan ko'p TTM sxemasi deb nomlanuvchi raqamli ISlarning keng tarqalgan (KET) struktura 5-a rasmda ko'rsatilgan. Bunday tranzistorlar Ularidan muhimlarini ko'rib chiqayiz.

**Ko'p emitterli tranzistorlar.** Ko'p emitterli tranzistorning farayonida  $n-p-n$ -tranzistorlarning ayrim ko'rinishlari paydo bo'ldi.  $n-p-n$ -tranzistorlarning turlari. Mikroelektronikaning rivojlanish So'ngra yig'ish operatsiyalari bajariladi.

17 Aluminiumni kremniyga qisman kiritish uchun termik ishlov berish.

16 Fotorezist niqob orqali aluminiumni yemirish, fotorezistni olib tashlash (5.9-f rasm).

15 6-fotolitografiya: metall yo'lakchalar uchun fotorezistda darcha hosil qilish;

14 Platinaga aluminiumni umumiy purkash (5.9 - e rasm).

13 5-fotolitografiya: omik kontakt uchun oksidda darcha hosil qilish

12 4-diffuziya ( $n^+$ -qatlami hosil qilish, 5.9-d rasm); diffuzant - fosfor. Ayrim hollarda bu diffuziya ikki bosqichlidir.

11 4-fotolitografiya: emitter diffuziyasi va kollektorga omik kontaktlar uchun oksidda darcha hosil qilish.

10 3-diffuziya (bazaviy  $p$ -qatlami hosil qilish, 5.9-b rasm); diffuzant - bor. Ikki bosqichli diffuziya (kiritish va haydash).

9 3-fotolitografiya: bazaviy diffuziya uchun oksid darcha hosil qilish.

8 2-diffuziya (ajratuvchi  $p$ -qatlam va mos ravishda epitaksial qatlamlarda izolatsiyalangan  $n$ -cho'taklarni hosil qilish); diffuzant - bor.

7 2-fotolitografiya: ajratuvchi diffuziya uchun oksidda darcha hosil qilish;

6-fotolitografiya: metall yo'lakchalar uchun fotorezistda darcha hosil qilish

5-fotolitografiya: omik kontakt uchun oksidda darcha hosil qilish

4-fotolitografiya: emitter diffuziyasi va kollektorga omik kontaktlar uchun oksidda darcha hosil qilish.

3-fotolitografiya: bazaviy diffuziya uchun oksid darcha hosil qilish.

2-diffuziya (ajratuvchi  $p$ -qatlam va mos ravishda epitaksial qatlamlarda izolatsiyalangan  $n$ -cho'taklarni hosil qilish); diffuzant - bor.

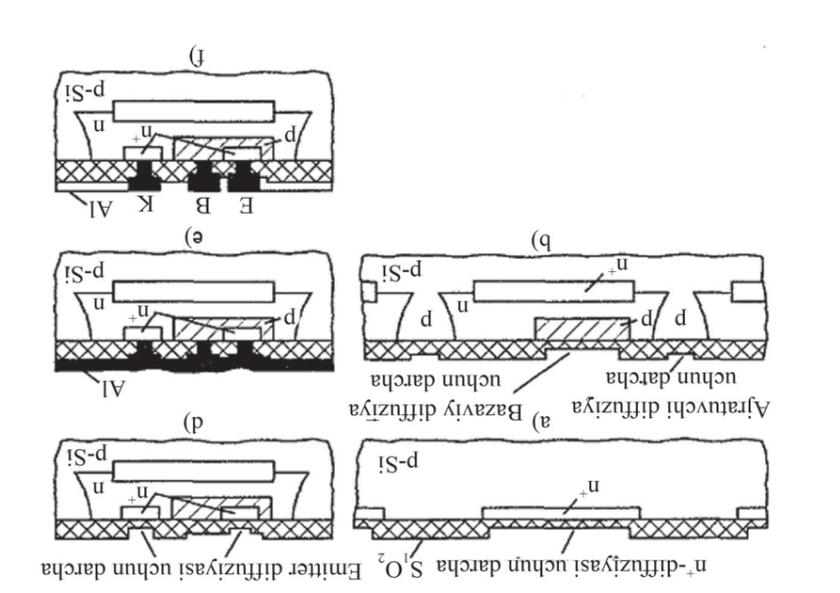
1-fotolitografiya: ajratuvchi diffuziya uchun oksidda darcha hosil qilish.

0-fotolitografiya: metall yo'lakchalar uchun fotorezistda darcha hosil qilish.

5.9-rasm. Ajratuvchi diffuziya usuli bilan berkitilgan  $n^+$ -qatlami hosil qilish.

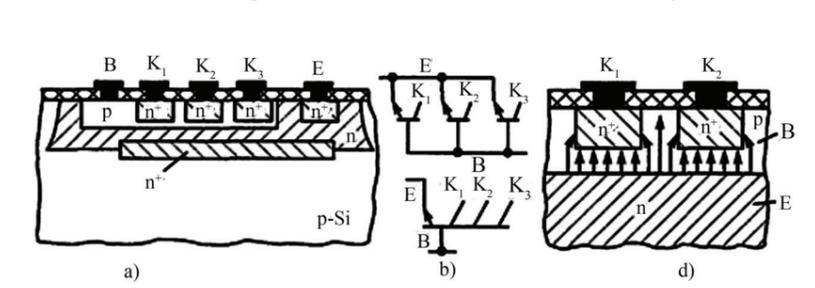
1)Plastinkani to'liq oksidlash;  
2)1-fotolitografiya: berkitilgan  $n^+$ -qatlam uchun oksidda darcha hosil qilish;  
3)1-diffuziya (berkitilgan  $n^+$ -qatlami hosil qilish, 5.9-a rasm);  
4)Barcha yuzadan oksidni yemirish;  
5)Epitaksial  $n$ -qatlami o'stirish (bunda berkitilgan  $n^+$ -qatlam ham taglikka, ham epitaksial qatlamlarga diffuziyalanadi);  
6)Umumiy oksidlash.

5.9-rasm. Ajratuvchi diffuziya usuli bilan berkitilgan  $n^+$ -qatlami hosil qilish. 1-fotolitografiya: berkitilgan  $n^+$ -qatlam uchun oksidda darcha hosil qilish. 2-diffuziya (berkitilgan  $n^+$ -qatlami hosil qilish, 5.9-a rasm); 3-diffuzant - margimush yoki surma; 4)Barcha yuzadan oksidni yemirish; 5)Epitaksial  $n$ -qatlami o'stirish (bunda berkitilgan  $n^+$ -qatlam ham taglikka, ham epitaksial qatlamlarga diffuziyalanadi); 6)Umumiy oksidlash.



5.9-rasm. Ajratuvchi diffuziya usuli bilan berkitilgan  $n^+$ -qatlami hosil qilish.

Ko'chish koeffitsiyentiga kelsak, uni oshirish uchun  $n^+$ -kollektorlarni bazaning sust sohasining yuzasini kamaytirgan holda bir biriga yaqin joylashtirish kerak. Bu ikkita yo'l albatta konstruktiv-texnologik omillar bilan cheklangandir. Shunday bo'lsa, kollektorning nisbatan ajratgan holda joylashuvi barcha kollektorlar uchun uzatish koeffitsiyentini  $\alpha=0,8-0,9$  yoki kuchaytirish koeffitsiyentini  $B=4-10$  qiymatlarda olish imkoni beradi. Bu esa kollektor soni 3-5 dan oshmagan  $I^2M$  sxemalarni ishlashi uchun yetarlidir.



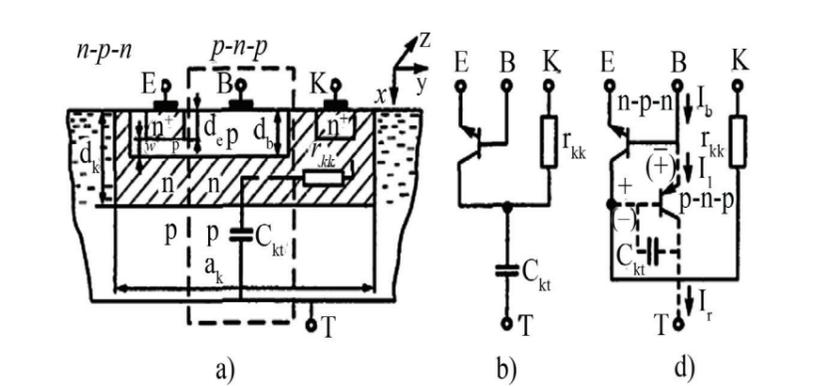
5.11-rasm. Ko'p kollektorli tranzistor: a-strukturasi; b-sxema ko'rinishidagi modeli; d-injeksiyalangan zaryad tashuvchilarning harakatlanish.

Injeksiyalangan zaryad tashuvchilarning bazada harakatlanish trayektoriyasi 5.11-d rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, zaryad tashuvchilar shunday harakatlanadiki, ularning kollektorga keluvchi ulushi kollektor yuzasini emitter yuzasiga nisbati bo'yicha hisoblashlarda olish mumkin bo'lgan qiymatdan katta bo'lishiga olib keladi.

Aynan shunga bog'liq ravishda haqiqiy  $B$  koeffitsiyenti yuqorida keltirilgan katta qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Shuning uchun  $\alpha$  va  $B$  koeffitsiyentlarni hisoblashlarda geometrik emas, balki samarador yuzasini ishlatish kerak.

Zaryad tashuvchilarning o'rtacha trayektoriya uzunligi  $w$  faol baza qalinligidan oshishi 5.11-d rasmdan ko'rinib turibdi.

Shuning uchun o'rtacha diffuziya vaqti, KET va alohida



5.8-rasm. Integral  $n-p-n$ -tranzistor: a-parazit  $p-n-p$ -tranzistor ko'rsatilgan soddalashtirilgan struktura; b-soddalashtirilgan; d-to'liq model.

IS tagligini (agarda u  $p$ -tur o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa) manfiy potensialning o'ziga ulanadi. Shuning uchun kollektor - taglik o'tishdagi kuchlanish har doim teskari yoki nolga yaqin bo'ladi. Natijada mazkur o'tishni 5.8 - a rasmda ko'rsatilgan to'siq sig'imi  $C_{KT}$  bilan almashtirish mumkin.

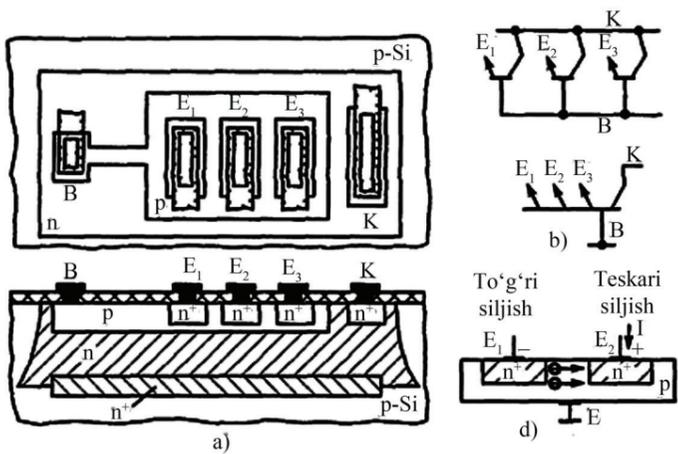
$C_{KT}$  sig'im kollektor qatlamning gorizontall qarshiligi  $r_{kk}$  bilan kollektorning faol sohasiga ulangan RC-zanjirni hosil qiladi. U holda integral  $n-p-n$ -tranzistorning ekvivalent sxemasi 5.8-b rasmda ko'rsatilgan ko'rinishga ega bo'ladi.

Kollektorni shuntlovchi  $r_{kk}-C_{KT}$  zanjir integral  $n-p-n$ -tranzistorning asosiy o'ziga xos tomonidir. Bu zanjir tabiiyki, uning tezkorligini yomonlashtiradi va chegaraviy chastota va ulanish vaqtini cheklaydi. Kichik signalli UB ekvivalent sxemasini  $r_{kk}C_{KT}$  zanjir bilan to'ldirib,  $r_b$  qarshilikni hisobga olmagan holda,  $C_{KT}$  sig'im  $C_K$  sig'im bilan  $r_{kk}$  qarshilik esa  $R_K$  qarshilik bilan qo'shiladi degan xulosaga kelamiz. Mos ravishda ekvivalent o'zgarmas vaqt quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\tau_{\alpha bn} = \tau_{\alpha} + (C_K + C_{KT})(r_{kk} + R_K) \quad (5.1)$$

Yuqori injeksiya ko'effitsiyentini ta'minlaydi. Bunda emitter bo'ladigan yuqori legirlangan  $n^+$ -qatlami muvofiqdir. Bunda emitter bo'ladigan yuqori legirlangan  $n^+$ -qatlami bazaga yaqin joylashishi yoki u bilan tutashishi maqsadga kamaytirishga harakat qilingan. Mazkur holatda berkitilgan  $n^+$ -teskari. Unda  $n$ -qatlami  $n^+$ -qatlami uzatish ko'effitsiyentini iboratdir. Tabiiyki, bu muammo KETda yechilgan muammoga har bir  $n^+$ -kollektor normal tok uzatish ko'effitsiyentini oshirishdan KKTni ishlab chiqarishdagi asosiy muammo umumiy  $n$ -emitterdan KKTning ekvivalent sxemasi 5.11-b rasmda ko'rsatilgan.  $n^+$ -qatlami  $n^+$ -kollektor normal tok uzatish ko'effitsiyentini oshirishdan KKTni ishlab chiqarishdagi asosiy muammo umumiy  $n$ -emitterdan KKTning ekvivalent sxemasi 5.11-b rasmda ko'rsatilgan.  $n^+$ -qatlami  $n^+$ -kollektor normal tok uzatish ko'effitsiyentini oshirishdan KKTni ishlab chiqarishdagi asosiy muammo umumiy  $n$ -emitterdan KKTning ekvivalent sxemasi 5.11-b rasmda ko'rsatilgan.

juftliklari, ularni ajratuvchi bazaning  $p$ -qatlami bilan gorizantal (ba'zida bo'ylama)  $n^+-p-n^+$  turdagi tranzistorni hosil qiladi.



5.10-rasm. Ko'p emitterli tranzistor: a-topologiya va strukturasi; b-sxema ko'rinishidagi modeli; d-qo'shni emitterlar orasidagi o'zaro ta'sirlashuv.

Agarda emitterlardan birida to'g'ri kuchlanish, boshqasida teskari kuchlanish bo'lsa, u holda birinchisi elektronlarni injeksiyalaydi. Ikkinchisi esa emitterning yon yuzasi tomonidan injeksiyalangan va emitterlar orasidagi masofani rekombinatsiyasiz bosib o'tgan elektronlarni yig'adi. Bunday tranzistor effekti KET uchun parazit hisoblanadi: berk bo'lishi kerak bo'lgan teskari siljigan o'tishda tok oqib o'tadi. Gorizantal tranzistor effektini yo'qotish uchun emitterlar orasidagi masofa baza qatlamida tashuvchilarning diffuzion uzunligidan oshishi kerak. Agarda tranzistor oltin bilan legirlangan bo'lsa, u holda diffuzion uzunlik 2-3 mkm dan oshmaydi va 10-15 mkm dagi masofa yetarli hisoblanadi.

Ikkinchidan, KET tok uzatishning invers ko'effitsiyenti iloji boricha kichik bo'lishi kerak, aks holda emitter teskari kuchlanish,

Bunday tranzistorning strukturasi 5.8-a rasmda shtix chiziq bilan birga parazit  $p-n-p$ -tranzistor sifatida tasvirlash mumkin. Bazaning sust sohasi, uning ostidagi kollektor va taglik sohalarini qiluvchilari deyarli bir xil bo'ladi va  $0,5-1,5 pF$  atrofida yotadi.

250 pF/mm<sup>2</sup> ni tashkil qiladi.  $C_{KT}$  sig'imining barcha uchta tashkil qiymati  $C_{K0} = 100 pF/mm^2$  tashkil qilisa, yon qismi uchun  $C_{K0} = 150$  ko'rsatilgan). Tub qismi uchun solishtirma sig'imning tipik (mazkur konsentratziya 5.8-a rasmda quyiq shtix chiziq bilan konsentratziya o'tish tubidan yuza yo'nalishi tomon oshib boradi) tratsiyasi o'tish tubidan yuza yo'nalishi tomon oshib boradi. Bunga sabab ajratuvchi qatlamlardagi akseptorlarning konsentratziya o'tish tubidan yuza yo'nalishi tomon oshib boradi.

qismiga qaraganda kattadir. (5.8-a rasm). Yon qismlarning solishtirma sig'imi, tub qismini, balki uning yon (vertikal) qismini hisobga olish kerak.

$C_{KT}$  sig'imi hisoblashda kollektor-taglik o'tishning nafaqat Odatda,  $C_{KT} = (2-3)C_K$  bo'ladi. qatlamlardagi kiritishmalar konsentratziyasiga bog'liq bo'ladi. keluvchi o'tish yuzalarning nisbatiga va taglik hamda kollektor  $C_{KT}$  va  $C_K$  sig'imi orasidagi nisbat birinchi navbatda mos bir tartibga kichik bo'ladi va taglikning ta'siri sezilarli bo'ladi.

mayjud bo'lganda  $r_{kk} = 10 \Omega$  bo'ladi. U holda o'zgarmas vaqt  $t_r$  mavjud bo'lgan tranzistor uchun o'rinishdir. Berkitilgan qatlami Yuqorida ishlatilgan  $r_{kk} = 100 \Omega$  mavjud bo'lgan  $n^+$ -qatlami kamayadi.

bo'lganda ekvivalent o'zgarmas vaqt o'shsa, chegaraviy chastota  $f_c$ ,  $C_K$  parametrlarni hisobga olinganda va tashqi qarshilik  $R_k$  mavjud Bunga mos keluvchi chegaraviy chastota  $f_c = 1 / (2\pi r_{kk}) \approx 800$  MHz. Masalan,  $C_{KT} = 2 pF$  va  $r_{kk} = 100 \Omega$  bo'lsa,  $t_r = 0,2$  ns ni olamiz.

$$t_r = C_{KT} r_{kk} \quad (5.2)$$

o'zgarmas vaqtga teng bo'ladi: cheklaydi. Bunday holatda ekvivalent o'zgarmas vaqt  $t_{abn}$  taglikning  $R_k = 0$  bo'lgan ideal sharoitda integral tranzistorning tezkorligini Ifoda (5.1) dan  $C_{KT}$  va  $r_{kk}$  parazit parametrlar  $\tau_a = 0$ ,  $C_K = 0$  va

bilan ajratilgan bo'lsa, ishchi  $n-p-n$ -tranzistorning parazit tranzistor bilan o'zaro ta'sirlashuvini tavsiflovchi ekvivalent sxema 5.8-d rasmda ko'rsatilgan.

Agarda  $n-p-n$ -tranzistor normal faol rejimda ( $U_{kb} > 0$ ) ishlasa, u holda parazit tranzistor uzilish rejimda bo'ladi ( $U_{eb} < 0$ , qovussiz ishora). Mazkur holatda parazit tranzistorning kollektor o'tishi  $C_{KT}$  sig'im bilan tasvirlangan (5.8-b rasm). Agarda  $n-p-n$ -tranzistor invers rejimda yoki ikki tomonlama injeksiya rejimida ( $U_{eb} < 0$ ) ishlasa, u holda parazit  $p-n-p$ -tranzistor faol rejimda bo'ladi ( $U_{eb} > 0$ , qovusdagi ishora). Bunda taglikka  $I_T = \alpha_{p-n-p} I_1$  tok keladi. Bunda  $I_1$  - baza tokining qismi (5.8-d rasm).

Baza tokini taglikka sirqishi ikki tomonlama injeksiya rejimida tranzistor parametrlarini yomonlashtiradi. Shuning uchun bunday rejimda ishlashga mo'ljallangan tranzistor oltin bilan legirlanadi. Oltin atomlari kremniyda tutqich vazifasini bajaradi, ya'ni zaryad tashuvchilarning yashash vaqtining kamayishiga olib keladi. Mos ravishda  $\alpha_{p-n-p}$  ko'effitsiyent 0,1 qiymatgacha kamayadi va taglikka tokning sirqishini hisobga olmasa ham bo'ladi.

Dielektrik bilan izolatsiya qilinganda parazit  $p-n-p$ -tranzistor mavjud bo'lmaydi.

Biroq  $C_{KT}$  sig'im saqlanib qoladi. U esa  $p-n$  o'tish bilan izolatsiya qilinganga qaraganda kichik bo'ladi. Agarda dielektrik kremniy ikki oksidi bo'lsa, u holda 1 mkm qalinlikdagi solishtirma sig'im 35 pF/mm<sup>2</sup> ni tashkil qildi.

**Texnologik sikl.** IS ishlab chiqaruvchilarga sanoat korxonalarini mexanik va kimyoviy ishlov berilgan tayyor kremniy plastinkalarini yetkazib beradi.

Shuning uchun texnologik siklni boshida sirtini silliqilgan, yupqa tabiiy oksid qatlami bilan qoplangan  $p$ -turdagi kremniy plastinkasi mavjud deb hisoblaymiz.

Mazkur plastinka guruhli usul bilan 5.9-rasmda ko'rsatilgan strukturali tranzistorni tayyorlash kerak. Operatsiyalar ketma-ketligi quyidagicha bo'ladi (bu yerda plastinkalarning tozalash va fotorezistni surish va yo'qotish tushurilgan).

Maydonli tranzistor uchun mo'ljallangan  $n$ -cho'ntakda berkitilgan  $n$ -qatlam o'rtiga berkitilgan  $p$ -qatlam hosil qilinadi. Bu qatlamning vazifasi kanalning kamaytirish va shu bilan birga uzish kuchlanishini kamaytirishdir. Berkitilgan  $p$ -qatlamni hosil qilish qo'shimcha texnologik operatsiya bilan bog'langandir. Berkitilgan  $p$ -qatlam epitaksial qatlamga chuquroq kirish uchun akseptor diffuziyasi sifatida diffuziya koefitsienti katta bo'lgan elementlar ishlatiladi (bor yoki galliy). Taglikka, ya'ni  $p$ -qatlamga o'zgaras (maksimal manfiy) potensial beriladi. Shuning uchun ular boshqaruvchi funksiyani bajarishmaydi.

5.14-b rasmda ko'rsatilgan strukturada oddiy  $n-p-n$  tranzistor strukturasi bilan mos tushadi. Kanal vazifasini  $n$  va  $n$ -qatlam orasida joylashgan bazaviy  $p$ -qatlam bajaradi. Agarda maydonli tranzistor va bipolar tranzistorni birgalikda tayyorlashda qo'shimcha texnologik jarayon ishlatilmasa, kanalning kengligi  $n-p-n$  tranzistor bazasining kengligiga teng bo'ladi (0,5-1 mkm).

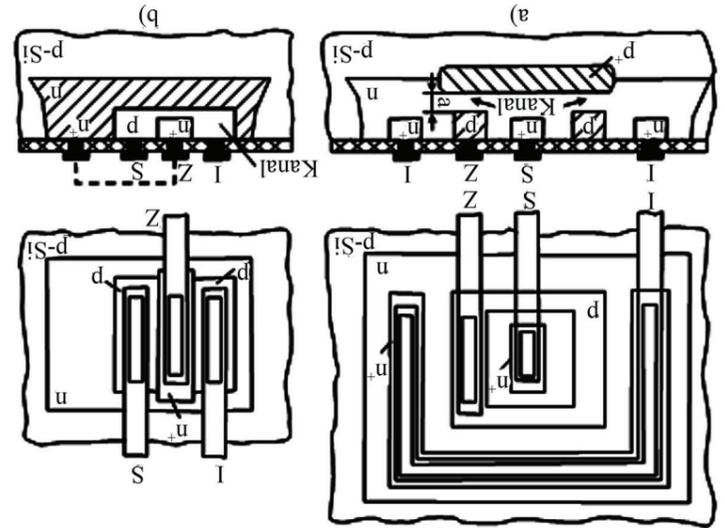
Kanalning bunday kichik qalinligida maydonli tranzistor parametrlarida katta farqlanish va kichik teshilish kuchlanishiga ega bo'ladi. Shu maydonli tranzistorning  $p$ -qatlamini bazaviy  $p$ -qatlamdan alohida amalga oshirgan holda texnologik siklini murakkablashitirish maqsadga muvofiqdir. Bu bilan esa kanalning qalinligi 1-2 mkm dan kichik bo'lmaydi.

Buning uchun bazaviy diffuziyadan oldin maydonli tranzistorning  $p$ -qatlam diffuziyasi o'tkaziladi. Baza diffuziyasi vaqtida esa maydonli tranzistorning  $p$ -qatlamni qo'shimcha tarzda kengayadi va uning chuqurligi baza qatlamidan bir necha marta katta bo'ladi. Istok va stok sohalari faqat kanal orqali bog'lanishi uchun  $n$ -qatlamni  $p$ -qatlamga qaraganda kengroq qilinadi.

Natijada  $n$ -qatlam epitaksial  $n$ -qatlam tutashtadi va ular birgalikda "yuqori" va "pastki" zatorni hosil qiladi. 5.14-b rasmda "yuqori" va "pastki" zator orasidagi kontakt uzluqli chiziq qismida "yuqori" va "pastki" zator orasidagi kontakt uzluqli chiziq bilan ko'rsatilgan  $p$  turdagi taglik maksimal manfiy potensialga ulanadi. Ummun o'lganda MDVA va bipolar tranzistorlarning birgalikda bitta kristallida yagona texnologik siklida

5.14-a rasmda ko'rsatilgan strukturada zator  $p$ -qatlamni baza diffuziyasi bosqichida hosil qilinadi, istok va stok sohalarga omik kontaktini ta'minlovchi  $n$ -qatlam emitter diffuziyasi bosqichida hosil qilinadi. Bunda zatorning  $p$ -qatlamni stokni har tomondan o'radi. Shu sababli istok va stok orasidagi tok faqat boshqaruvchi kanal orqali o'tadi.

5.14-rasmda (a) va (b) integral maydonli tranzistor.



Bunga sabab ko'chik teshilish va to'g'ri siljishda harorat sezgirli har xil ishoraga ega bo'lishti.

**Maydonli tranzistor.** Yuqorida ko'rilgan maydonli tranzistorlar bipolar IS ning umumiy texnologiyasiga mos tushadi. Shuning uchun bipolar tranzistor bilan birgalikda bitta kristallida tayyorlanadi. Izolatsiya qilingan cho'ntakda joylashgan maydonli tranzistorning strukturasi 5.14 - rasmda ko'rsatilgan.

fotolitografiya imkoniyatlari, yon diffuziya, shuningdek ruxsat etilgan farqlanish (10-20%) bilan cheklangandir.

Ifoda (5.3)ga  $R_s=200$  Om va  $a/b=100$  qiymatlarni qo'yib, qarshilikning maksimal qiymatini  $R_{maks}=20$  kOm olamiz.

Bu qiymatni yo'lakli emas, balki zigzagsimon (ilon izi ko'rinishidagi) shakldagi DR ishlatgan holda 2-3 marta oshirish mumkin (5.16-b rasm). Bu holatda qarshilik umumiy ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$R = R_s \left( \frac{\sum ai}{b} + n + 1,3 \right) \quad (5.4)$$

Bunda  $n$ -tugunlar soni (5.16-b rasmda  $n=2$ ), qo'shiluvchi 1,3 esa omik kontakt sohasida DR bir jinsli bo'lmashligini hisobga oladi.

Tugunlar miqdori DR ga ajratilgan yuzaga bilan cheklangan bo'ladi. Odatda,  $n \leq 3$  bo'ladi, aks holda resistor yuzasi butun kristall yuzasining 15-20% qismini tashkil qilishi mumkin.  $n=3$  dagi maksimal qarshilik 50-60 kOm ni tashkil qiladi.

Baza qatlam asosida tayyorlangan DR qarshiligining harorat koefitsienti,  $R_s$  qiymatiga bog'liq ravishda 0,15 - 30% ni tashkil qiladi. Bitta kristallida joylashgan rezistorning qarshiligi bir tomonga o'zgaradi.

Agarda qarshiliklarning kerakli nominali 50-60 kOm dan oshsa, pinch - rezistorlarni ishlatish mumkin. Pinch - resistor strukturasi 5.17-rasmda ko'rsatilgan.

Sodda DR qaraganda pinch-rezistorlar kichik kesim yuzasiga va katta solishtirma qarshiligiga ega bo'ladi (tubli, ya'ni  $p$ -qatlamning kuchsiz legirlangan qismi ishlatiladi). Shuning uchun pinch - rezistorlarda qatlamning solishtirma qarshiligi qalinlikka bog'liq ravishda 2-5 kOm ni tashkil qiladi.  $R_s$  ning bunday qiymatlarida maksimal qarshilik sodda yo'lakli shaklda ham 200-300 kOm ni tashkil qiladi.

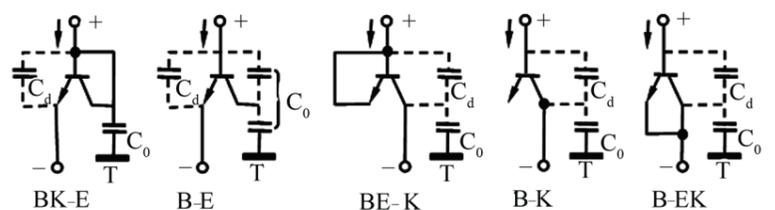
tranzistorlarga qaraganda ancha kichik bo'ladi. O'tish vaqtlari orasidagi farq yanada kattadir.

Bunga sabab KKTda baza maydoni injeksiyalangan zaryad tashuvchilar uchun tezlashtiruvchi emas, balki sekinlashtiruvchidir. O'tish vaqti  $\tau_{ot}$  5-10 ns dan kichik bo'lmagan vaqtni tashkil qilsa, bunga mos keluvchi chegaraviy chastota  $f_T$  - 20-50 MHz dan oshmaydi. Boshqa tomondan esa  $n^+$ -kollektor yuzasi kichik bo'lganligi sababli KKTdagi kollektor  $C_K$  sig'imi KET va alohida tranzistorlarga qaraganda kichik bo'ladi.

**Integral diodlar**

Diod sifatida izolatsiya qilingan cho'ntakda joylashgan 2 ta  $p-n$  o'tishlardan birini emitter yoki kollektorni ishlatish mumkin. Shuningdek, ularning kombinatsiyasini ishlatish mumkin. Shuning bilan integral diod mohiyati bo'yicha integral tranzistorning diodli ulanishidir. 5.12-rasmda tranzistorning diodli ulanishining 5 xil varianti ko'rsatilgan. 5.3-jadvalda mazkur variantlarning parametrlari keltirilgan.

Ular bilan quyidagi belgilanish qabul qilingan chiziqqacha anod belgilangan, chiziqdan keyin katod; agarda ikkita qatlam ulangan bo'lsa, ularning belgilanishi qo'shib yoziladi. 5.3-jadvaldan variantlar ham statik, ham dinamik parametrlar bo'yicha farqlanishi ko'rinib turibdi.



5.12-rasm. Integral diodlar (tranzistorlarning diodli ulanishi).



yo'l bilan boshqariladigan kondensator, ya'ni o'zgaruvchan sig'imi o'zgarishini ta'minlaydigan kondensator sifatida, balki sig'imi elektr qiyamati o'zgartirish imkoniyati mavjudligidir. Demak, DK natijada DKning o'ziga xos tomoni  $E$  siljishini o'zgartirgan holda sig'imning bunda  $Y_c = \omega C(E)$ .

$$I_m = Y_c U_m \quad (5.8)$$

bilan aniqlanadi: oddiy kondensator kabi mazkur sig'imning reaktiv o'zgaruvchanligi qiyamatga teng bo'ladi. Tokning o'zgaruvchan tashkil qiluvchisi sezilarli o'zgaradi. Mos ravishda DK sig'imi o'zgarish va  $C(E)$  holatda  $U$  kuchlanish  $E + U_m$  dan  $E - U_m$  gacha bo'lgan oralqida ko'rinishga ega bo'ladi. Bunda  $E = \text{const}$  va  $U_m > E$ . Bunday

$$U = E + U_m \sin \omega t \quad (5.7)$$

Masalan, DKdagi to'liq teskari kuchlanish oshuvchi o'zgarish mavjud bo'lganda yaxshi bajaradi. talab qilinadi. Bunday vazirani DK o'zgaruvchan signal amplitudasidan imkoniyatiga ega bo'lgan o'zgarish sig'imi chiziqi kondensatorlar o'tkazish va signallarining o'zgarish tashkil qiluvchisini o'tkazmaslik Bitoq ko'pincha o'zgaruvchan signallarni buzagan holda qismlarda DK nohiziqi foydali hisoblanadi.

kuchaytirgichlar, chastota ko'paytirgich va boshqalarda. Bunday apparatlarining maxsus qismlarida qo'llaniladi: parametrik tavsifi  $C(U)$  nohiziqi kondensator radio texnik esa, DKni nohiziqi kondensatorligini anglatadi, ya'ni volt-farad

$$C = \sqrt{\frac{0,5 \epsilon_0 \epsilon q N}{\Delta \phi_0 + |U|}} \quad \text{bog'liq bo'ladi. Bu}$$

DKni normal ishlashi uchun zarur bo'lgan shart  $p-n$ -o'tishning teskari siljishidir. Ko'rinib turibdiki, DKda kuchlanish juda aniq qutubga ega bo'lishi kerak.

xos tomoni unda parazit sig'imning mavjudligidir. BK o'tish ishlatilganda - bu kollektor qatlami va taglik orasidagi to'siq sig'imidir.  $C_{par} = C_{KT}$

Parazit sig'imning mavjud bo'lishi DK orqali yuklamaga kuchlanishni to'liq bo'lmagan holda uzatishga olib keladi.

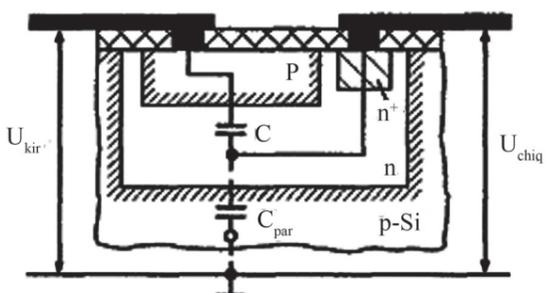
5.21 - rasmdagi ekvivalent sxemadan DK parazit sig'im bilan birgalikda kuchlanishning sig'imli bo'lgichini hosil qilishi ko'rinib turubdi. Shuning uchun chiqishga  $U_{kir}$  kirish kuchlanishining bir qismi to'g'ri keladi:

$$U_{chiq} = U_{kir} \frac{X_{par}}{X_{par} + X_C}$$

bunda  $X_{par}$  va  $X_C$  - parazit  $C_{par}$  va ishchi  $C$  sig'imlarning reaktiv qarshiliklari.  $X_{par} = 1/\omega C_{par}$  va  $X_C = 1/\omega C$  larni qo'ygan holda kuchlanishning uzatish koeffitsiyentini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$U_{chiq} / U_{kir} = C / (C + C_{par}) \quad (5.11)$$

Uzatish koeffitsiyenti,  $C_{par} < C$  tengsizlik bajarilganida birga yaqin qiymatga ega bo'ladi. Ammo ikkala kondensatorlarning yuzalari (ishchi va parazit) deyarli bir xildir (5.21 - rasm).



5.21-rasm. Diffuzion kondensator orqali o'zgaruvchan kuchlanishni uzatishda parazit sig'imning o'rni.

Kondensator turi	$C_0$ / $\text{PF/mm}^2$	$C_{maks}$ / $\text{PF}$	$d, \%$	S.HK, %/S	$U_{test}, \text{V}$	$Q(1 \text{ MHz})$
BK o'tish	150	300	$\pm 20$	-0,1	50	50-100
BE o'tish	1000	1200	$\pm 20$	-0,1	7	1-20
MOYa-struktura	300	500	$\pm 20$	0,02	20	200

Integral kondensatorning parametrlari

5.4 - jadval

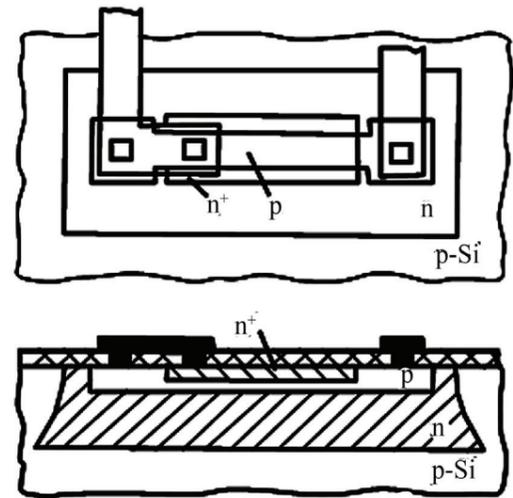
kuchlanishi va asilligi kollektor o'tishi ishlatilgan variantdan qoladi. katta qiyamatga ega bo'lishidir. Mazkur variantning teshilish o'tishdan foydalanilganidagi asosiy afzalilik maksimal sig'imning kuchlanishi  $U_{test}$  va  $Q$  asilligi 5.4 - jadvalda keltirilgan. Emitter texnologik farqi  $d$ , sig'imning harorat koeffitsiyenti S.HK, teshilish DK ning asosiy parametrlari, shu jumladan nominalning u katta solishtirma sig'imga ega bo'lishi bilan tushuntiriladi.

holat emitter o'tishi kichik omli qatlamda hosil qilinganligi uchun maksimal sig'imning qiyamati 5-7 marta oshirish mumkin. Bu Kollektorni emas, balki emitter  $p-n$ -o'tishini ishlatgan holda  $\text{mm}^2$  bo'lsa, u holda  $C_{maks} = 50-300 \text{ PF}$ .

bunda  $S_{kr}$  - kristall yuzasi. Agarda  $S_{kr} = 2-9 \text{ mm}^2$  va  $C_0 = 150 \text{ PF/mm}^2$

$$C_{maks} = (0,2-0,25) C_0 (ab) = C_0 S_{kr} \quad (5.6)$$

jamii sig'imni quyidagi kattalik bilan cheklash kerak bo'ladi: kristall yuzasining 20-25% dan oshmasligi uchun kondensatorning IS tarkibiga kiruvchi barcha kondensatorlarning umumiy yuzasi kristall o'lchamlariga yaqinroq qiyamatlariga egadir.  $\approx 0,8 \text{ mm}$  bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, kondensator o'lchamlari Masalan,  $C_0 = 150 \text{ PF/mm}^2$  va  $C_0 = 100 \text{ PF/mm}^2$  bo'lsa, u holda



5.17-rasm Pinch-resistor.

Pinch - rezistorning xususiyatlari quyidagilardir:  $p$  - qatlam qalinligining o'zgarishini kuchli ta'siri tufayli nominalning katta farqlanishi (50% gacha),  $p$ -qatlam tub qismining legirlash darajasi kichikligi sababli qarshilikning harorat koeffitsiyentini kattaligi (0,3-0,5%/c) 1-1,5V dan katta kuchlanishlarda volt-amper tavsifining nohiziqi mavjuddir.

Oxirgi o'ziga xoslik pinchrezistor va maydonli tranzistor strukturasi orasidagi o'xshashlikdan kelib chiqadi. Pinch-rezistorning VAT maydonli tranzistorning zatvoriga nol kuchlanish qo'yilgandagi VAT bilan mos tushadi. Pinch-rezistorlarida  $n^+$  va  $p$  qatlamlar o'zaro metallash bilan bog'langandir. Pinch rezistorlarning teshilish kuchlanishi bilan aniqlanadi.

Qarshilikning kerakli nominali 100 va undan kichik qiymatlarni tashkil qilsa, DR tayyorlashda baza qatlamidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'lmaydi.

uchun ular diffuzion kondensator (DK) deb ataladi. gatlamlardan hech bo'lmasa bittasi diffuzion bo'ladi. Shuning teskari siljigan  $p-n$ -o'tish bajaradi. Bunday kondensatorlarda, Bipolar yarimo'tkazgichli ISlarda kondensator vazifasini Yarimo'tkazgichli kondensatorlar

bilan amalga oshiriladi. tor diffuzion  $p$  - qatlam hosil qilinish, unga omik kontakt oddiy yo'l uchun bazaviy diffuziya bosqichida rezistiv qatlam chetlari bo'ylab uchun ularga omik kontakti amalga oshirish qiyin bo'ladi. Shuning Implantatsiya qilingan gatlarning qalinligi kichik bo'lganligi dan oshmaydi.

va 3-5% oralig'ida yotadi. Qarshilikning farqlanishi esa  $I(5-10)\%$  Qarshilikning harorat ko'rsatkichi DR qaraganda kichik bo'ladi. Qarshiliklarning nominali 100 kOm ni tashkil qilishi mumkin. qarshilikdagi gatlarni olishga imkon beradi.

Bu ikki omil 10-20 kOm gacha bo'lgan katta solishtirma kichik konsentratsiyadagi kiritishmalarni olishni ta'minlaydi. gitali. Bundan tashqari ionli implantatsiya gatlarni istalgan chuqurlikdan ancha kichik bo'ladi va u 0.2-0.3 mkm ni tashkil bitov implantatsiyalangan  $p$  - qatlam chuqurligi baza gatlarning Ionli legirangan rezistorning strukturasi DR(5.18-rasm)kabidir, balki kiritishmalarni mahalliy ionli legirash yo'li bilan olinadi. borilmogda. Ular DR farqli o'laroq diffuzion yo'li bilan emas, So'ngi yillarda ionli legirangan rezistorlardan keng foydalanib

**Ionli legirangan rezistorlar**

bo'lgan DR ni olish mumkindir.  $R_s=5-15$  Om qiymatlarida harorat ko'rsatkichi 0,01-0,02 %/c kichik omli emitter qatlam ishlatiladi. Bu qatlamga xos bo'lgan Kichik nominaldagi qarshilikka ega bo'lgan DR olish uchun nuqtai nazardan amalga oshirish qiyindir. ununligidan kichik bo'lishi kerak bo'ladi. Buni esa konstruktiv Bunga sabab, (5.3) ifodaga muvofiq rezistor kengligi uning

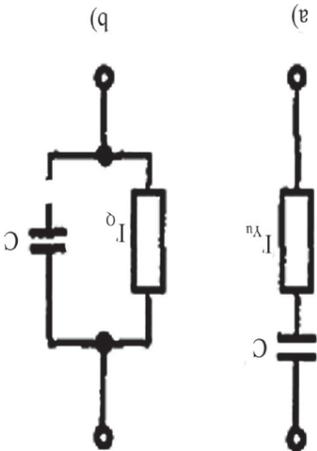
**Ekvivalent sxema.** IS elementi sifatida DKning o'ziga diapazonida ideal hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan misollardan DK 500 Hz-500 kHz chastota (5.20-rasm) yo'qotishlar qarshiligini hisobga olmasa ham bo'ladi. diapazonida DK ideal sig'im bo'ladi, ya'ni ekvivalent sxemalarda Ikkala  $Q_{yu}$  va  $Q_p$  asillikning qiymati 100-200 dan oshadigan chastota teng bo'lgandagi  $Q_p$  qiymati 50-100 ni tashkil qiladi.

chastotali asillik, yuzaga bog'liq bo'lmaydi. Chastota 500 Hz ga o'tish yuzasiga teskari proporsionaldir.  $\omega C_p$  ko'paytma va past  $r_p$  qarshilik, o'tishning teskari toki bilan aniqlanganligi uchun u bunda  $r_p$  - past chastotalarda yo'qotilish (sirqish) qarshiligini.

$$(5.10) \quad Q_p = \frac{1/r_p}{\omega C_p} = \omega C_p r_p$$

**fizik modeli**

5.20-rasm. YuCh(a) va QCh (b) dagi diffuzion kondensatorning



shuntlaydi (5.20-b rasm). Shuning uchun past chastotalarda asillik kondensatorning reaktiv o'tkazuvchanligini faoldagiga nisbati orqali aniqlanadi:

kondensatori sifatida ham ishlatilishi mumkin.

Bunday kondensatorlar radiotexnikada tebranuvchi konturlarni rostlash uchun zarur bo'ladi. Sig'imni elektr rostlash, odatdagi mexanik usulga qaraganda qulayroqdir. Biroq elektr rostlash oralig'i cheklangandir: E siljishni 1 dan 10 V gacha o'zgartirgan holda DK sig'imini 2-2,5 marta o'zgartirish mumkin.

**Asillik.** Barcha kondensatorlar, shu jumladan DKning asosiy parametrlaridan biri yuqori chastotali asillik  $Q_{yu}$  hisoblanadi. U sig'im toki oqib o'tganda quvvat yo'qotilishini tavsiflaydi va kondensatorning reaktiv qarshiligini faolga nisbati orqali aniqlanadi:

$$(5.9) \quad Q = \frac{X_C}{r_{yu}} = \frac{1}{\omega C r_{yu}}$$

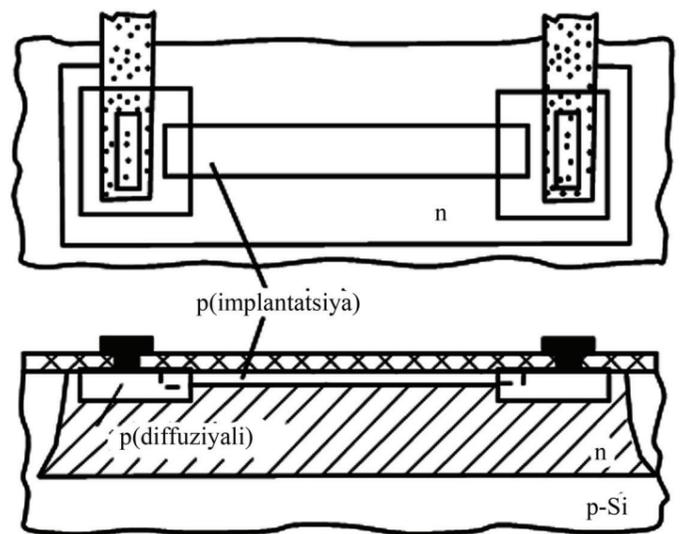
bunda  $r_{yu}$  - yuqori chastotalardagi yo'qotishlar qarshiligi (5.20-a rasm). Reaktivga qaraganda faol quvvat qanchalik kam bo'lsa, asillik shunchalik katta bo'ladi.  $C = 100$  pF,  $r_{yu} = 20$  Om. Masalan,

va  $f=1$ MHz bo'lsa,  $Q_{yu} \approx 75$  bo'ladi. Ideal kondensatorida  $r_{yu} = 0$  va  $Q_{yu} = \infty$ .

DKdagi asosiy yo'qotishlar manbasi  $p-n$ -o'tish tarkibiga kiruvchi pastki qatlamning gorizontall qarshiligidir. BK o'tish uchun bu kollektor qatlamining qarshiligi bo'lsa (5.19 - rasm), BE o'tish uchun baza qatlamining qarshiligidir.

Berkitilgan  $n^+$ -qatlam mavjud bo'lganda BK o'tish uchun  $Q_{yu}$  qarshiligi kollektor o'tishi ishlatilganiga qaraganda ancha kichik bo'ladi (5.4 - jadval).

Ifoda (5.9) dan asillik chastota kamayishi bilan oshadi, lekin yetarli darajada past chastotalarda o'rinli bo'ladi, yuqori chastotalarda hisobga olmasa ham mumkin bo'lgan boshqa turdagi yo'qotilishlar sezilarli bo'ladi. Gap,  $p-n$ -o'tishning teskari toki tufayli yuzaga kelgan  $r_p$  yo'qotilishlar qarshiligi, ya'ni sirqish qarshiligi to'g'risida ketmoqda. Bu qarshilik DK sig'imini



5.18-rasm. Ionli legirangan rezistor.

**Diffuzion kondensator.** Kollektor-baza o'tishi ishlatiladigan DK strukturasi 5.19 - rasmda ko'rsatilgan. Bunday kondensatorning sig'imi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$(5.5, a) \quad C = C_{01}(ab) + C_{02}2(a+b)d$$

bunda  $C_{01}$  va  $C_{02}$  -  $p-n$ -o'tishning tub va yon qismlarining solishtirma sig'imi. Ifodaning (5.5, a) o'ng qismidagi tashkil qiluvchilar nisbati,  $a$  va  $b$  parametrlarning nisbatiga bog'liq bo'ladi, ya'ni DK konfiguratsiyasiga o'xshashdir. Optimal konfiguratsiya kvadrat ( $a = b$ ) hisoblanadi: bunda sig'imning yon tomon tashkil qiluvchisi tub qismidan 10 marta kichik bo'ladi. Yon tashkil qiluvchisini hisobga olmagan holda va  $a = b$  deb, quyidagini olamiz:

$$(5.5, b) \quad C = C_{01}(ab) = C_{01}a^2$$

1. Qurbonova O.H., Zikrillayev N.F., Rahmonov B.R., Xonoboev A.A. "Radiomateriallar va radiokomponentlar" Toshkent, 2009.
2. M.S. Yunusov, S.I. Vlasov, D.E. Nazirov, D.O. Tolirov, "Elektron Asbolar", T. O'zMU, 2003.
3. S.Z. Zaynobiddinov, A.T. Teshaboev «Qattiq jismlar fizikasi», Toshkent, 2000.
4. A.A. Shuka «Elektronika». Sankt-Peterburg 2005.
5. Baxodirxopov M. K., Ortigov I. B. "Малый энциклопедический справочник по полупроводниковым материалам", 2006.
6. Y.O. Fedoseyeva, G.P. Fedoseyeva "Основы электроники и микроэлектроники" Moskva 1990.

#### Foydalanilgan adabiyotlar

1. ISlarning qanday sinflari mavjud?
2. Yarimo'tkazgichli IS qanday xususiyatlariga ega?
3. Gibrad ISlar to'g'risida tushuncha bering.
4. IS va gibrad ISlar qanday shartli belgilanishlariga ega?
5. Integral sxemalarning asosiy parametrlarini tushuntiring.
6. Gibrad va yarimo'tkazgichli integral mikroshemalar qanday tuzilishiga ega?
7. Yarimo'tkazgich ISlarning elementlarini tayyorlash texnologiyasini tushuntiring.
8. ISlar qanday asosiy parametrlariga ega?
9. n-p-n-tranzistorlarning qanday turlari mavjud?
10. Ko'p emitterli va kollektorli tranzistorlar qanday xususiyatlariga ega?
11. MDYA-tranzistorlar asosiy parametrlarini tushuntiring.
12. Diffuzion va tonli legirlangan rezistorlar qanday xususiyatlariga ega?
13. Yarimo'tkazgichli kondensatorlarning qanday tavsiflari mavjud?
14. Diffuzion va MOYA-kondensator qanday tavsiflariga ega?

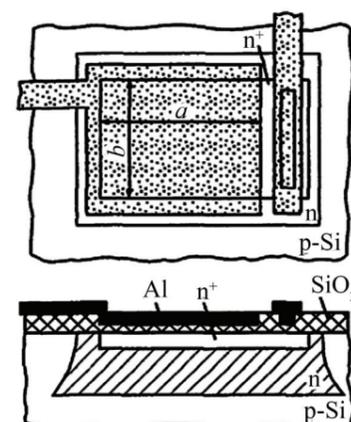
#### NAZORAT SAVOLLARI

Yuqorida keltirilgan usullar hamda radioelektron qurilmalarini elektromagnit va elektrostatik zo'rqlashlardan himoya qilish tadbirlari amalga oshirish kerak bo'ladi.

Bundan tashqari, parazit  $C_{KT}$  kondensatorning yuzasi, ishchi kondensator yuzasidan bir oz kattadir. Shuning uchun  $C_{par}$  va  $C$  sig'img'lar bir biridan BK va KT o'tishlarning solishtirma sig'img'larining farqi va mazkur o'tishlardagi kuchlanishlar tufayli farqlanadi. Hisob kitoblar ISlarning real strukturalarida  $C_{par}$  parazit sig'imni  $(0,15-0,2)C$  dan kichik qilib tayyorlashning imkoni yo'qligini ko'rsatadi. Mos ravishda uzatish koeffitsiyenti  $0,8-0,9$  dan oshmaydi. Xuddi shunday xulosalar va ekvivalent sxemalar BE o'tishni ishlatuvchi DKlar uchun o'rindir. Keyingi vaqtlarda xotira elementlarida jamlovchi kondensator sifatida

U-ariqcha asosidagi struktura keng qo'llanilmoqda. Bunday kondensatorlarning ishlatilishi strukturaning vertikal integrallashiga ekvivalentdir, ya'ni zaryadning jamlanish sohasi kristall sirtida emas, balki hajmida joylashadi. Bu esa integratsiya darajasining keskin oshirishga imkon beradi.

**MOYA-kondensator.** DKdan mutlaqo farq qiluvchi integral kondensator MOYA-kondensatoridir. Uning tipik strukturasi 5.22-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda emitter  $n^+$  qatlam ustida qo'shimcha texnologik jarayon yordamida yupqa ( $0,08-0,12$  mm) oksid qatlami o'stirilgan.



5.22-rasm. Dielektrik MDYA-kondensator.

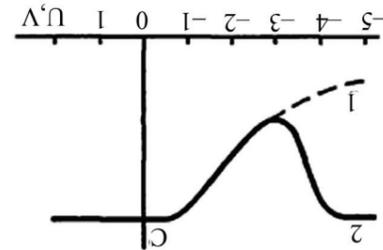
Nashruiyot litsenziyasi AI 200, 28. 08 2011.y  
Bosishga ruxsat etildi 12.07. 2013-y Bichimi 60x84 1/16.  
Times New Roman garnitarasi . Ofset qo'zi .Ofset usulida chop etildi.  
Hajmi 13,0 b.t. Adadi 243 musxa. Buyurtma № 51.

«NOSHIR» O'zbekiston–Germaniya qo'shma korxonasi  
nashriyoti 100115, Toshkent sh., Langar ko'chasi, 78.

«NOSHIR» O'zbekiston–Germaniya qo'shma korxonasi bosmaxonasida  
chop etildi. 100115, Toshkent sh., Langar ko'chasi, 78.

5.23 - rasmida ko'rsatilgan kondensatorlarda metall qoplamalarda noi va musbat kuchlanish mavjud bo'lganda sirt oldi sohasi elektronlar bilan boyigan bo'ladi, ya'ni kambag'allashgan qatlam mavjud bo'lmaydi. Mos ravishda kondensator sig'imi dielektrik bilan aniqlanadi va maksimal qiymatga ega bo'ladi.

5.23-rasm. MOYA-kondensatorning volt - farada tavsifi: 1-invers qatlam hosil bo'lgandagi; 2-invers qatlam hosil bo'lgandagi.



Keyinchalik metall bog'lanishlar amalga oshirilayotganda mazkur qatlamga kondensatorning yuqori qatlami sirtida aluminiy o'tkaziladi. Pastki qoplama sirtida emitter  $n^+$ -qatlami xizmat qiladi. MOYA-kondensatorning solishtirma sig'imi  $C = \epsilon_0 \epsilon / d$  formula bilan ifodalarnadi va, odatda,  $350 \text{ pF/mm}^2$  atrofida bo'ladi. MOYA-kondensatorning asosiy parametrlari 5.4 - jadvalda ko'rsatilgan.

DKga qaraganda MOYA-kondensatorning asosiy arza'lligi, u odatdagi kondensatorga o'xshab, kuchlanishning istalgan qutbida ishlaydi. Biroq MOYA-kondensator DK kabi nochiqiziqdir. Uning volt-farada tavsifi 5.23 - rasmida ko'rsatilgan.

Uning sig'imi va yarimo'tkazgichning sirt oldi sohasida hosil bo'ladigan ulangan sig'imlardan tashkil topganligi bilan izohlanadi: dielektrik u bilan aniqlanadi va maksimal qiymatga ega bo'ladi. Manfiy kuchlanishlarda sekina-kambag'allashgan qatlam hosil bo'ladi. Uning chuqurligi kuchlanish o'sishi bilan oshib bors, mos ravishda sig'imi kamayadi.

### Mikrosxemalarda elektron qurilmalarni konstruktorglash masalalari

ISlarni ishlab-chiqarish texnologiyalarida va ularni qurilmalarda ishlatishda elektromagnit muvofiqlik katta ahamiyatga ega bo'ladi. Radioelektron apparaturani elektrostatik razryaddan himoyalash uchun ISlar texnologiyalarida zond usuli, dinamik kondensator va optik usullar qo'llaniladi.

ISlarni ishlatish paytida impulsli zo'riqishlar elektron qurilmalari-ni ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. 1965-yilda Mur tomonidan kashf qilingan qonunga ko'ra mikrochiplarda ishlatiladigan  $\text{Y}\text{a}\text{O}$  komponentlarining soni har ikki yilda ikki barobarga oshadi. Bu an'ana ko'p yillardan beri saqlanib kelmoqda. Agar avvallari TTM-mantiqli ISlarda bir kvadrat millimetrda 10–20 element joylashgan va iste'mol manbai 5 V ni tashkil etgan bo'lsa, hozirgi paytda ommabop ISlarda KMOYA texnologiyasi bilan yasalgan ISlar bir kvadrat millimetrda 100 ta va undan ortiq tranzistorlar joylashishi mumkin.

Ularning iste'mol kuchlanishlari 1,2 V gacha kamaytirilgan. Silikon-sapfir texnologiyasida tranzistorlar soni bir kvadrat millimetrda 500 tagacha yetish mumkin. Tabiiyki mikroelektronikada integratsiya darajasi oshib borishi bilan komponentlarning impuls zo'riqishlariga barqarorligi kamayib boradi. Bunga sabab izolatsiya qatlamlarining kichiklashishi va iste'mol kuchlanishlarining kamayishidir.

Muharrir X. Po'latxo'jayev  
Rassom Sh. Odilov  
Sahifalovchi Z. Shukurxo'jayev  
Musahhah S. Safayeva

Kasb-hunar kollejlari uchun darslik

## ELEKTRONIKA ELEMENT BAZASI VA MIKROELEKTRONIKA

O'g'lioy Hasanovna Qurbonova  
Bahrom Rahmonovich Rahmonov  
Bahromjon Abdugahhorovich Abdurahmonov

## MUNDARIJA

### 1-BO'LB.

#### KIRISH. "ELEKTRONIKA ELEMENT BAZASI VA MIKROELEKTRONIKA" FANINING QISQACHA MAZMUNI

### 2-BO'LB. YARIM O'TKAZGICHLI ASBOBLAR

- 2.1. Yarimo'tkazgichlarning asosiy xossalari.....8  
2.2. Yarimo'tkazgichli rezistorlar.....23  
2.3. Yarimo'tkazgich diodlar.  
Yarimo'tkazgichli diodlarning tuzilishi, ishlash tamoyili,  
tasnifi vashartli grafik belgilanishi.....31  
2.4. Tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlarni ishlatish sohalari, tasnifi  
vashartli belgilanishi.....50

### 3 - BOB. ELEKTRON LAMPALAR

- 3.1. Diodli, triodli lampalar.....112  
3.2. Tetrodli, pentodli lampalar.....126

### 4 - BO'LB. OPTOELEKTRONIKA

- 4.1. Fotodiodlar, fotorezistorlar.....139  
4.2. Fototranzistor va fototiristor.....149

### 5-BO'LB. INTEGRAL MIKROXEMALAR

- 5.1 Umumiy ma'lumotlar.....157  
5.2. Gibril va yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar Yarimo'tkazgich integral sxemalarning passiv va aktiv elementlarini tayyorlash texnologiyasi.....173

Foydalanilgan adabiyotlar.....205