

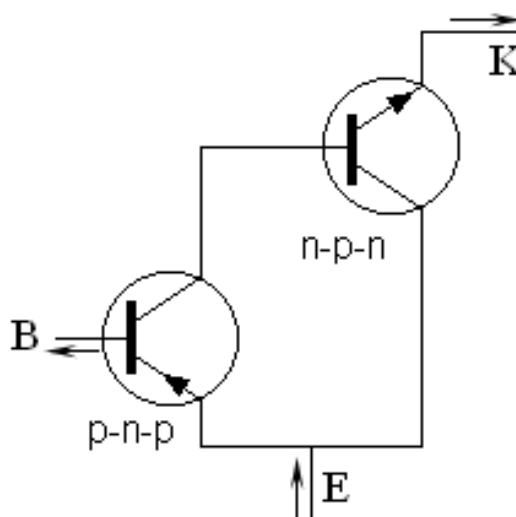
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI

X.R. ABDUKARIMOVA

MIKROELEKTRONIKA

(Uslubiy qo'llanma)



SAMARQAND - 2011

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI

X.R.ABDUKARIMOVA

MIKROELEKTRONIKA

(Uslubiy qo'llanma)

Samarqand davlat universiteti
o'quv-uslubiy kengashi
tomonidan tasdiqlangan

SAMARQAND – 2011

Abdukarimova X.R. Mikroelektronika: Uslubiy qo'llanma.
- Samarqand: Alisher Navoiy nomidagi Samarqand davlat universiteti, 2011. – 56 bet.

Uslubiy qo'llanmada “Elektronika va mikroelektronika” fani bo'yicha namunaviy o'quv dasturiga muvofiq yarim o'tkazgichli integral mikrosxema(IMS)larning turlari, ularni ishlab chiqarishning texnologiyaviy asoslari, bipolyar tranzistorlar asosidagi IMS larning o'ziga xos xususiyatlari yetarli darajada sodda tarzda bayon etilgan.Undan foydalanish uchun “Qattiq jismlar fizikasi”, “Qattiq jism elektronikasi asoslari”dan umumiy ma'lumotga ega bo'lish yetarli.

Mazkur uslubiy qo'llanma BO 50700 – “Elektronika va mikroelektronika” bakalavriat yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, DTS talablari asosida tuzilgan.

Taqrizchilar: TDTU “Elektronika va mikroelektro-
nika”kafedراس dotsenti, f.-m.f.n.

O'.H. Qurbonova.,

SamDU“Qattiq jismlar fizikasi” kafed-
راس dotsenti, f.-m.f.n. Axrorov S.Q.

Kirish

Mikroelektronika – jadal sur'atlar bilan rivojlanayotgan ilmiy – texnikaviy yo'nalish sifatida elektronikaning muhim tarmog'i hisoblanadi. Mikroelektronika integral mikrosxema va ular asosida yasalgan radioelektron qurilmalarni tadqiq qilish, loyihalash va ularni ishlab chiqarishni o'z ichiga oladi. Uning asosiy vazifalarini quyidagi uch turkumga ajratish mumkin:

1. Ilmiy
2. Iqtisodiy
3. Texnikaviy

Birinchi turkumga hisoblash texnikasi, medicina va kosmik tadqiqodlar uchun murakkab kibernetik tizimlar ishlab chiqish muammolarini hal etish vazifalari kiradi. Ikkinchi turkum mehnat, xom ashyo va energiya sarfini kamaytirish vazifalarini o'z ichiga oladi. Mikroelektronikaning texnikaviy vazifalariga esa, elektron qurilmalarning o'lchami, og'irligini kamaytirgan holda, ularning asilligini va xizmat muddatini uzaytirish kiradi.

Mikroelektronika **qattiq jism fizikasi, yarim o'tkazgich asboblari texnologiyasi, sxemotexnika** kabi fan sohalari taraqqiyoti va yutuqlariga asoslanadi. Texnologiya nuqtai nazaridan mikroelektronika - yagona kristallda, ya'ni yarim o'tkazgich taglikda o'zaro bog'liklikda joylashtirilgan aktiv (p-n o'tish, tranzistor) va passiv elementlar (rezistor, kondensator) majmuidan

iborat bo'lgan integral sxemani yaratish bilan bog'liq bo'lgan sohadir. Integral sxema yaratish texnologiyasi namunaning tanlangan sohasiga alohida ishlov berishga asoslangan bo'lib, bunda aralashma kiritish yo'li bilan integral sxemaning u yoki bu elementi hosil qilinadi.

Integral mikrosxema (IMS) – mikroelektronikaning asosiy mahsuloti hisoblanadi. U kuchaytirgich, xotira qurilmasi, signalni uzatish va uni qayta ishlash funksiyalarini bajaradi.

Integral mikrosxemalar yaratish bo'yicha dastlabki tadqiqotlar 1953 yili boshlangan bo'lsada, ularni ishlab chiqarish 1959 yildan boshlandi. 1960 yilda epitaksial - planar tranzistorlar ishlab chiqarila boshlangandan keyin elementlarining soni 100 tagacha bo'lgan IMS lar ishlab chiqarila boshladi. 1966 yildan boshlab 1 ta kristaldagi elementlar soni 1000 tagacha bo'lgan IMS lar, 10000 ta elementga ega bo'lgan katta integral sxemalar (KIS lar) yaratila boshlandi. 1975 yildan esa, elementlar soni 10000 dan ortiq bo'lgan o'ta katta integral sxemalar (O'KIS lar) ishlab chiqarila boshlandi.

Asosiy atama va tushunchalar:

IMS elementi – IMS ning alohida qismi bo'lib, IMS da biror radioelement vazifasini bajaradi va uni IMS tarkibidan alohida mustaqil mahsulot sifatida ajratib bo'lmaydi. Masalan: IMS tarkibidagi tranzistor, rezistor IMS tarkibidagi IMS ning elementi hisoblanadi.

IMS komponenti - IMS ning alohida qismi bo'lib, IMSda biror radioelement vazifasini bajaradi va uni IMS tarkibidan mustaqil

mahsulot sifatida ajratish mumkin. Mikrosxemaning komponentlariga taglikka o'rnatilgan korpussiz diod, tranzistor, maxsus kondensator va induktivlik misol bo'ladi.

IMS ning joylanish zichligi - element va komponentlar sonining mikrosxemaning asosiy hajmiga nisbatiga teng bo'lgan kattalik.

Integral atamasi IMS elementlari va komponentlarining konstruksiyaviy bog'likligi va ularni yaratish jarayonlarining o'zaro bog'likligini ifodalaydi. IMS lardan tarkib topgan radioelektron qurilmada IMS ning o'zi alohida element hisoblanadi.

IMS ning murakkablik darajasi undagi element va komponentlar soni N bilan belgilanadi. $K = \lg N$ ga IMS ning **integrasiya darajasi** deyiladi. Masalan: $K=1$, birinchi darajali integrasiyaga ega bo'lgan IMS 10 tagacha element yoki komponentlardan iborat ekanligini bildiradi. Element va komponentlar soni 500 tadan ortiq ($N \geq 500$) bo'lgan IMS lar KIS lar va $N \geq 10000$ bo'lgan IMS lar O'KIS lar deyiladi.

IMS ning optimal elektr va tarkibiy tuzilmasini yaratish va tadqiq qilish masalalari mikroelektronikaning asosiy qismi hisoblangan **mikrosxemotexnikada** o'rganiladi.

I. YARIM O'TKAZGICHLI INTEGRAL MIKROXEMA (IMS) LAR YARATISHNING TEXNOLOGIYAVIY ASOSLARI

1.1. Integral mikroxemalarning turlari.

Mikroxemalar bajaradigan funksiyasiga ko'ra 2 turga bo'linadi:

1. Raqamli IMS lar.
2. Analogli IMS lar.

Diskret funksiya qonuniyati bilan o'zgaruvchi signallarni qayta ishlash va uzatishga mo'ljallangan IMS lar **raqamli IMS lar** deyiladi. **Analogli IMS** larda esa, signal uzluksiz funksiya ko'rinishida o'zgaradi.

Loyihaviy - texnologiyaviy belgilari, ya'ni yaratish usuliga qarab IMS lar:

1. Yarim o'tkazgichli;
2. Gibrid IMS larga bo'linadi.

Yarim o'tkazgichli IMS larda barcha elementlar va elementlarni ulash yarim o'tkazgich hajmi yoki sirtida amalga oshiriladi. Bunday IMS larda elementlar yarim o'tkazgichning 0,5-10 mkm qalinlikdagi sirtki qatlamida joylashtiriladi va elementlar maxsus izolyasiya sohalari bilan ajratiladi. Yarim o'tkazgichli IMS larda ishlatiladigan aktiv elementning turiga qarab ular 2 asosiy guruhga bo'linadi:

1. Bipolyar tranzistor asosidagi IMS lar.

2. Metall–dielektrik-yarim o'tkazgich (MDYa) tranzistor asosidagi IMS lar.

Bipolyar mikrosxemaning asosiy elementi bo'lib n-p-n tranzistor hisoblanadi. MDYa mikrosxemalarda esa, n-kanalli MDYa tranzistor asosiy aktiv element hisoblanadi.

Gibrid IMS osma komponentlar va qatlamli passiv elementlardan tashkil topgan bo'ladi. Dielektrik taglik - plataga yupqa qatlamli passiv elementlar (rezistor, induktivlik, kondensator) hosil qilinib, aktiv elementlar (korpussiz tranzistor, diod) payvandlab o'rnatiladi. Gibrid IMS hosil qilingan qatlam qalinligiga qarab, **yupqa qatlamli** ($d \leq 1$ mkm) va **qalin qatlamli** ($d > 1$ mkm) IS larga bo'linadi. Gibrid IMS lar nisbatan arzon va oson yasaladi, ammo o'lchamlari katta va yig'ish texnologiyasi murakkabligi sababli yarim o'tkazgichli IMS larga qaraganda kamroq ishlatiladi. Yarim o'tkazgichli IMS lar qator afzalliklarga ega bo'lishi bilan birga ularning o'ziga xos kamchiliklari ham mavjud.

1.2. Yarim o'tkazgichli IMS ning afzalliklari va kamchiliklari.

Yarim o'tkazgichli IMS larning afzalliklari quyidagilardan iborat:

1. Yagona texnologiyaviy siklda bir necha elementni bir yo'la hosil qilish mumkin;

2. Har qaysi elementning asosi hisoblangan kristall bir xil xarakteristikaga ega;
3. Elementlar o'zaro payvandlanmay, balki IMS ni yasash jarayonida o'zaro bog'langanligi sababli IMS lar yuqori asillikka ega;
4. IMS ning o'lchamlari kichik bo'lganligi uchun ular tezkor, ixcham, kam xarajatli asboblari yasash zarur bo'lgan barcha sohalarda ishlatilishi mumkin.

Keltirilgan afzalliklariga qaramay yarim o'tkazgichli IMS lar quyidagi kamchiliklarga ham ega:

1. Yuqori chastotalarda zararli sig'imning hosil bo'lishi IMS xarakteristikalarining buzilishiga olib keladi;
2. IMS ning passiv elementlariga tegishli bo'lgan kattaliklarning harorat koefitsiyenti katta ekanligi;
3. Rezistorning nominal qarshiligi 10 – 50 kOm oraliqda bo'lishi, kondensatorning nominal sig'imi 200 pF dan oshmasligi;
4. IMS da induktivlik g'altagini hosil qilish bir qator qiyinchiliklar bilan bog'lik ekanligi.

Yarim o'tkazgich IMS larda asosiy material sifatida asosan kremniy monokristali ishlatiladi. Sirtini tashqi ta'sirdan muhofazalash hamda elementlarni bir-biridan elektr izolyasiyalash uchun esa, SiO_2 qatlamidan foydalaniladi. Asosiy xom ashyo sifatida Si va SiO_2 tanlanishini quyidagilar bilan asoslash mumkin:

1. Si asosidagi p-n o'tishning teskari toki kichik;

2. Ishchi harorat oralig'i katta;
3. Quvvat sarfi kam.

Shunday bo'lsada, keyingi yillarda turli yarim o'tkazgich birikmalar, masalan, GaAs asosidagi IMS ham ishlab chiqarilmoqda. Bunday IMS larni ishlab chiqarish texnologiyasi yaxshi yo'lga qo'yilmaganligi sababli ularning narxi qimmat bo'lishiga qaramay, GaAs da elektronlar harakatchanligining Si dagiga qaraganda $\sim 5,5$ marta kattaligi bu materialga qiziqish ortib borishiga olib kelmoqda.

1.3. IMS ni loyihalashning asosiy jihatlari.

IMS ni loyihalash jarayonida asosiy elementlarning parametrlari aniqlanib, yuzaga kelishi mumkin bo'lgan zararli sig'im va oquvchanlik toklarining oldini olish choralari ko'rib chiqiladi. IMS loyihalashda bir yo'la bir necha element hosil qilinishi sababli ularning texnologiyaviy parametrlari birgalikda hisobga olinishi kerak, ya'ni ularning geometrik o'lchamlari, diffuziya jarayonlarining harorati, elementlarning kristallda joylashish topologiyasi o'zaro bog'liq holda loyihalanishi lozim.

IMS loyihalashning o'ziga xos jihatlari quyidagilardan iborat:

1. Hozirda IMS lar EHM larda loyihalanadi. Buning afzalligi shundaki, bunda maket-prototip tayyorlash zarurati bo'lmaydi. Deyarli barcha texnologiyaviy jarayonlarni dasturlash imkoniyati mavjud. Boshqacha qilib aytganda, berilgan

xarakteristikalarga ega bo'lgan IMS ni yaratish va uning parametrlarini nazorat qilishni modellashtirish mumkin.

2. IMS da deyarli hamma elementlar o'rnida aktiv elementlar ishlatiladi. Masalan, diod o'rnida bipolyar tranzistorning p-n o'tishlaridan biri ishlatilishi mumkin.

3. IMS loyihalash jarayonida issiqlik turg'unligini, kam quvvat sarfini ta'minlash imkoniyatlari mavjud.

4. Hozirgi kunda IMS lar yaratish, ularning parametrlarini nazorat qilish hamda tarkibiy va elektr sxemalarini modellashtirishning katta dasturiy bazasi yaratilgan bo'lib, bu yanada murakkabroq va mukammalroq IMS lar yaratish imkonini beradi.

I.4. IMS ni yaratish texnologyasining asosiy bosqichlari.

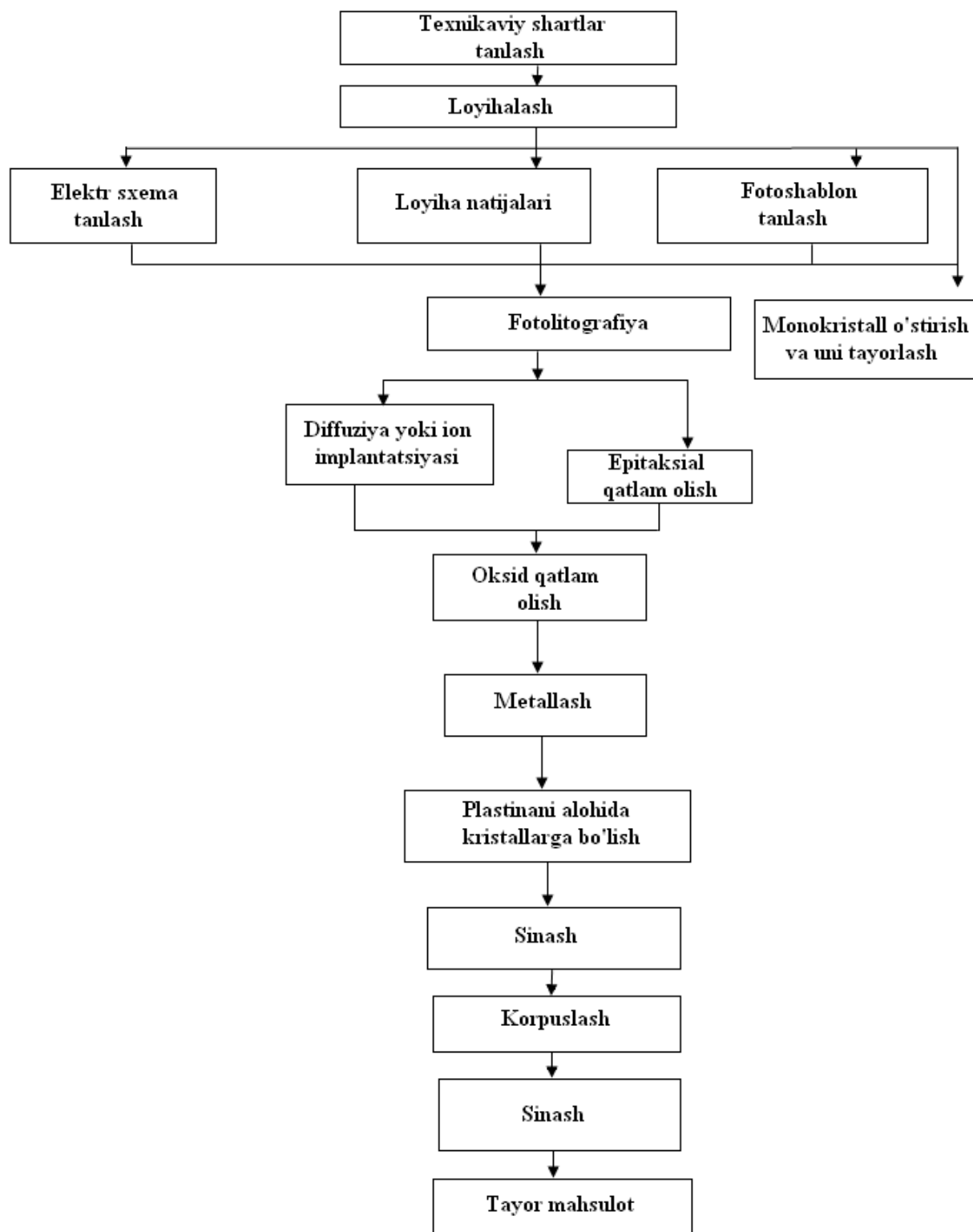
Yarim o'tkazgichli IMS ni ishlab chiqarish loyiha natijalari asosida aniqlangan parametrlarga ega bo'lgan elementlarni yaratishdan iborat bo'lgan quyidagi fizik – kimyoviy jarayonlarni o'z ichiga oladi:

1. Yarim o'tkazgich namunani IMS yasash uchun tayyorlash jarayonlari;
2. Fotolitografiya jarayoni;
3. Diffuziya;
4. Epitaksiya;
5. Termik oksidlash;

6. Ion legirlash;

7. Metallash va boshqa yakunlovchi bosqichlar;

Quyida keltirilgan tizimda IMS ni ishlab chiqarish jarayonlari uni loyihalashdan to ishlatishga yaroqli tayyor mahsulot olishga qadar bo'lgan ketma-ketlikda aks ettirilgan.



1-rasm. IMS ishlab chiqarishning asosiy texnologiyaviy bosqichlari.

1.4.1. Yarim o'tkazgich namunani IMS yasash uchun tayyorlash

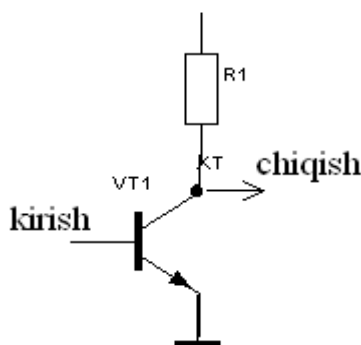
Bu bosqich quyidagi jarayonlarni o'z ichiga oladi:

- a) kremniy monokristallini o'stirish;
- b) uni olmos keskich vositasida disklarga kesish;
- v) korund, volfram karbidi yoki olmos kukuni ko'rinishidagi abraziv yoki ultratovush yordamida namunaga mexanik ishlov berish;
- g) sirka kislotasi yoki azot kislotasida yuvib, sayqallash;
- d) namunaning sayqallangan sirtiga n yoki p – turdagi epitaksial qatlam o'stirish va SiO_2 muhofaza qatlamini hosil qilish.

1.4.2. Fotolitografiya jarayoni.

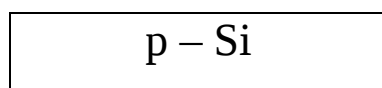
Yarim o'tkazgich plastina sirtiga loyihalangan IMS ni hosil qilish uchun loyiha natijasida olingan fotoshablon–fotonusxa shaklini tushirish uchun fotolitografiya o'tqaziladi.

Quyida fotolitografiya jarayonining bosqichlari n-p-n tranzistor hamda diffuziyaviy rezistordan iborat sxemani yaratish misolida keltirilgan (2-rasm).

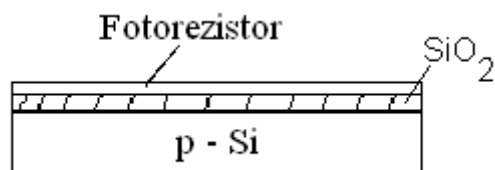


2 – rasm. n – p – n tranzistor va rezistordan iborat sxema.

1. Zarur parametrlarga ega bo'lgan kremniy plastinasini tayyorlash;

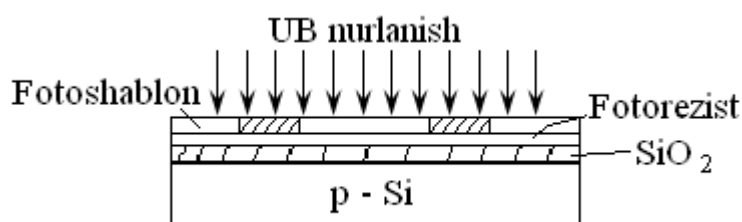


2. Kremniy sirtida SiO_2 va fotorezist qatlamini hosil qilish.



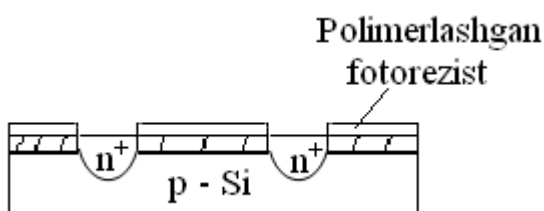
Yorug'lik ta'sirida eruvchanligi o'zgaruvchi kislota va ishqorlar ta'siriga chidamli bo'lgan yorug'likka sezgir moddaga **fotorezist** deyiladi. Fotorezist yordamida namuna sirtida IMS ning topologiyasi – ya'ni elementlarining joylashish o'rni hosil qilinadi.

3. Kremniy plastina sirtiga fotoshablonni joylashtirib ekspozisiya qilish (ultrabinafsha nurlanish bilan ishlov berish).



Fotoshablon – deb, IMS topologiyasining tasviri (nusxasi) tushirilgan shaffof materialdan tayyorlangan yassi plastinaga aytiladi.

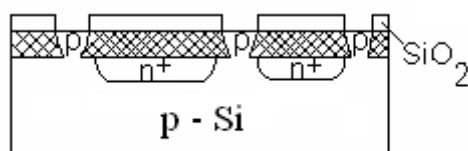
4. Fotorezistorning polimerlashmagan qismi olib tashlanib,



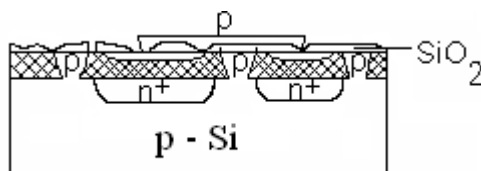
alohida sohalarga «darcha»lar ochish va bu sohada donor aralashma diffuziyasini olib borish. Bu jarayonlar natijasida n^+ soha hosil qilinadi.

5. Yarim o'tkazgich plastina sirtiga n-epitaksial qatlam o'stirilib, uning sirtiga qaytadan oksid va fotorezist qatlami qoplanadi.

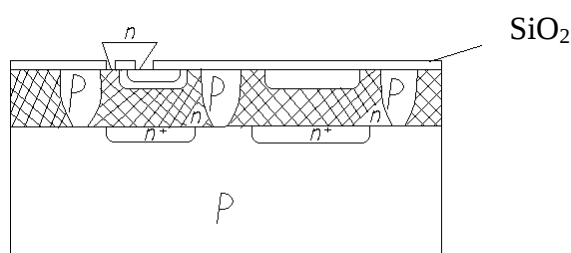
6. 3- va 4- bosqichlar yana bir karra takrorlanadi, faqat bu gal diffuziya natijasida izolyaslovchi p-n o'tish hosil qilinadi.



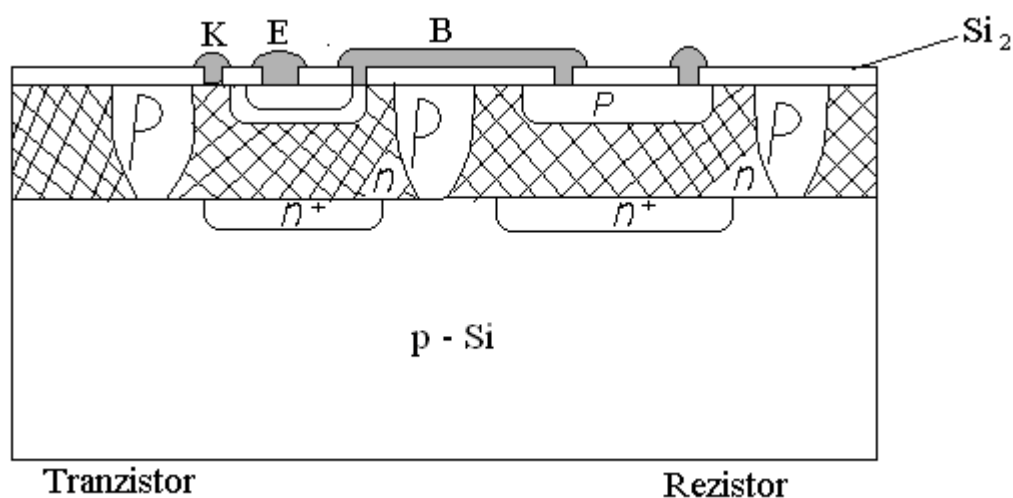
7. Ushbu bosqichda tranzistorning bazasi va epitaksial qatlamga akseptor aralashma kiritilib rezistor sifatida ishlatiladigan soha hosil qilinadi.



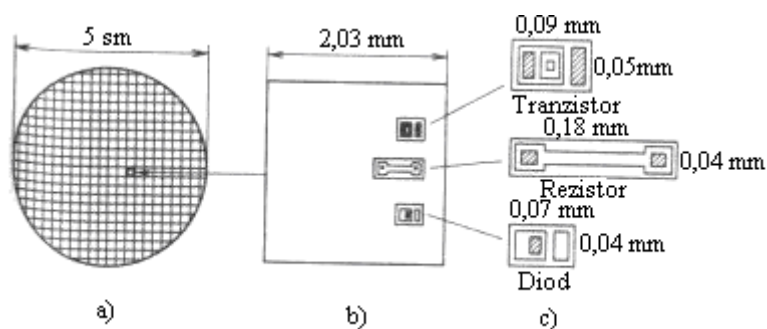
8. Tranzistorning kollektor va emmitter sohalarini hosil qilish va ulardan elektrodlar chiqarish uchun yangi «darcha»lar ochiladi va donor aralashma diffuziyalanadi.



9. Emmiter, baza, kollektor va rezistordan elektrodlar chiqarilib, sxemaga binoan o'zaro ulanadi.



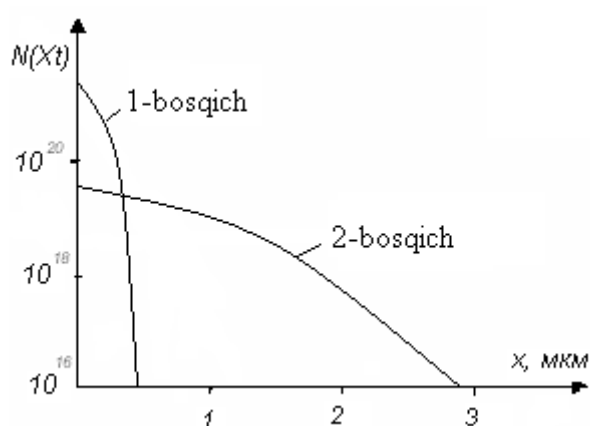
IMS ko'p sonli shunday aktiv va passiv elementlardan tashkil topgan bo'lib, ular diametri 5 sm bo'lgan Si plastinasi sirtida $2 \times 2 \text{ mm}^2$ yuzaga ega bo'lgan kristallarda hosil qilinadi. Elementlarning kristalda joylashuvi va ularning geometrik o'lchamlari to'g'risida quyida keltirilgan rasmdan tasavvurga ega bo'lish mumkin (3- rasm)



3-rasm. Kremniy plastinasi (a), alohida kristall (b) va elementlarning (c) qiyosiy o'lchamlari.

1.4.3. Diffuziya usuli bilan p-n o'tish olish. Diffuziyaviy qatlam chuqurligi va aralashma taqsimotini hisoblash.

Yarim o'tkazgich IMS lar yaratish texnologiyasida alohida sohalar elektr o'tkazuvchanligini o'zgartirish uchun **diffuziya usuli** qo'llaniladi. Odatda kremniyga akseptor aralashma sifatida bor – B, donorli aralashma sifatida margimush – As yoki fosfor-P diffuziyalanadi. Buning uchun yarim o'tkazgich plastina erish haroratidan pastroq haroratgacha maxsus pechlarda qizdiriladi va uning sirtiga gaz yoki suyuq fazadan



4-rasm. Ikki bosqichli diffuziya natijasidagi aralashma taqsimoti

aralashma atomlari bilan ta'sir ettiriladi. Natijada aralashma atomlari yarim o'tkazgich namuna ichkarisiga diffuziyalanadi.

Yarim o'tkazgichga aralashmalar diffuziyasi bir yoki ikki bosqichda olib boriladi. 4- rasmda ikki bosqichli diffuziya holi uchun

aralashmalar taqsimotining ko'rinishi keltirilgan.

Diffuziyaviy qatlam chuqurligi va aralashma taqsimotini hisoblash uchun Fik qonunlarini ifodalovchi tenglamalardan foydalaniladi:

$$\hat{O}(\tilde{o}) = -D \frac{\partial N(x)}{\partial x} \quad (1)$$

(1) ifoda Fikning 1-qonunini ifodalaydi. Unda $F(x)$ -aralashma oqimi, $N(x)$ - aralashma konsentrasiyasi;

$D = D_0 \exp(-\frac{E_a}{kT})$ - diffuziya koeffisienti bo'lib, D_0 - diffuziya doimiysi, E_a - aralashmaning faollashuv (aktivasiya) energiyasi. Harorat oshishi bilan diffuziya koeffisienti D va unga mos ravishda $F(x)$ ham oshib boradi.

Fikning 2-qonuniga ko'ra, birlik hajmda aralashma atomlari sonining o'zgarish tezligi shu hajmga kirayotgan va chiqayotgan aralashma oqimlari farqiga teng:

$$\frac{\partial N(x)}{\partial t} = - \frac{\partial \hat{O}(\tilde{o}, t)}{\partial x} \quad (2)$$

(1) ni (2) ga qo'ysak, Fikning ikkinchi qonuni uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial N(x)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \hat{O}(\tilde{o}, t)}{\partial x^2} \quad (3)$$

Ko'pincha diffuziya ikki bosqichda olib boriladi. Avval yarim o'tkazgich namunaning sirtqi qatlamiga aralashma atomlari kiritib olinib, keyingi bosqichda uning namuna ichiga chuqurroq kirishishiga erishiladi. Dastlabki bosqich diffuziya jarayonida namuna sirtiga aralashma atomlari chegaralanmagan manbadan kiradi. Bunda aralashma konsentrasiyasi bir tekis taqsimlangan keskin p-n o'tish olish mumkin.

(3) ifoda umumiy ko'rinishda quyidagi yechimga ega:

$$N(x, t) = C_1 \int_0^{x/(2L)} \exp \left[- \left(\frac{\xi}{2L} \right)^2 \right] d \left(\frac{\xi}{2L} \right) + C_2 \quad (4)$$

Bu yerda $L=(Dt)^{1/2}$ –diffuziya uzunligi, S_1 va S_2 esa integrallash doimiylari bo'lib, ularni chegaraviy shartlardan topish mumkin.

$x=0$ da istalgan t paytda $N(0,t)=N_0$ ekanligini inobatga olsak, $C_2=N_0=N(0,t)$ - yarim o'tkazgich namuna sirtidagi aralashmaning boshlang'ich konsentrasiyasini bildiradi. $t=0$ da har qanday x -uchun $N(x,0)=0$ ekanligidan S_1 ni topamiz:

$$0 = N_1 \int_0^{\infty} \exp \left[- \left(\frac{\xi}{2L} \right)^2 \right] d \left(\frac{\xi}{2L} \right) + N_0 \quad (5)$$

(5) ifodadagi integral

$$\int_0^{\infty} \exp \left[- \left(\frac{\xi}{2L} \right)^2 \right] d \left(\frac{\xi}{2L} \right) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (6)$$

Shunga ko'ra $C_1 = - 2 N_0 / \sqrt{\pi}$. Shunday qilib,

$$N(x, t) = N_0 \left[1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{x/(2L)} \exp \left[- \left(\frac{\xi}{2L} \right)^2 \right] d \left(\frac{\xi}{2L} \right) \right] \quad (7)$$

(7) ifoda chegaralanmagan manbadan diffuziya jarayonida aralashma konsentrasiyasi taqsimotini ifodalaydi. Bu ifodadagi alohida hisobga olinishi mumkin bo'lgan xatoliklar funksiyasini erf bilan belgilasak,

$$N(x, t) = N_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2L} \right) \right] \quad (8)$$

yoki yana ham soddaroq ko'rinishda

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2L} \right) = N_0 \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2(dt)^{1/2}} \right] \quad (9).$$

Bu yerda erfc - **qo'shimcha xatoliklar funksiyasi** deyiladi va uning qiymatlari ma'lumotnomada keltiriladi.

Diffuziyaning keyingi bosqichida namunaning sirtqi qatlamidagi aralashma yanada chuqurroq kirishadi, ya'ni sirtqi konsentrasiya qayta taqsimlanadi. Bu hol uchun chegaralangan manbadan diffuziya qonuniyatlari o'rinli bo'ladi. Ularni aniqlash uchun chegaraviy shartlardan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$N(x, t) = \frac{\Delta}{(\pi dt)^{1/2}} \exp \left(-\frac{x^2}{4dt} \right) \quad (10)$$

(10) - ifodadagi Δ 1sm^2 ga to'g'ri keluvchi aralashma atomlari sonini bildiradi.

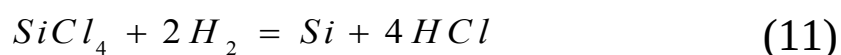
1.4.4. Epitaksial qatlam olish.

Epitaksiya atamasi grekcha «epi» - sirt va «taksiya» - tartibli joylashuv ma'nolarini bildirib, kristallni yo'naltirilgan tartibda o'stirish demakdir.

Epitaksial qatlam deb - yarim o'tkazgich monokristall taglikda o'stirilib, shu taglik tuzilishiga yaqin bo'lgan tuzilishli yupqa kristall qatlamiga aytiladi. Odatda diffuziya yo'li bilan yupqa qatlam olinganda aralashma namuna bo'ylab bir tekis taqsimlanmaydi. Ya'ni doimo konsentrasiya gradiyenti mavjud bo'ladi. Kristall epitaksiya yo'li bilan o'stirilganda esa, sirtga perpendikulyar bo'lgan o'sish yo'nalishida bir tekis legirlangan atom qatlamlarini hosil qilish mumkin. Bu ko'pincha yarim

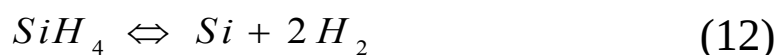
o'tkazgich asbobsozligida va ayniqsa, IS yasashda duch kelinadigan bir-biriga zid bo'lgan talablar bajarilishini ta'minlaydi. Masalan: impulsli diodlarda "teshilish" kuchlanishi katta bo'lishi talab etiladi. Buning uchun solishtirma qarshiligi katta bo'lgan material ishlatish kerak. Bu esa, o'z navbatida diodning qarshiligi yuqori bo'lishiga olib keladi. Epitaksiya texnologiyasining yaratilishi kuchli legirlangan yarim o'tkazgich sirtida aralashma miqdori oz bo'lgan yupqa qatlam olish va uni diod bazasi, tranzistorning kollektori va boshqa tarkibiy element sifatida ishlatish imkonini beradi. Epitaksial qatlam olish texnologiyasi quyidagi ikki turga bo'linadi. Ular gaz fazasidan kremniyning epitaksial qatlamini o'stirishga asoslangan. O'stiriladigan qatlam parametrlari plastina va gaz oqimi harorati bilan belgilanadi.

1-usul 1200 °C da kremniy tetroxlorididan (SiCl_4) vodorod ta'sirida kremniy hosil bo'lishiga asoslangan:



Bunday usulda o'stiriladigan qatlam sirtida sirtiy nuqsonlar deyarli bo'lmaydi.

2-usul 1200 °C da silan (SiH_4 -zaharli gaz) ning bo'linishi natijasida kremniy hosil bo'lishiga asoslangan:



Har ikkala usulda epitaksial qatlam o'stirish jarayonida donor aralashma sifatida fosfin (PH_3) yoki akseptor aralashma sifatida

diboran (B_2H_6) kiritiladi va n yoki r turdagi epitaksial qatlam hosil qilinadi. Bunda aralashma taqsimoti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

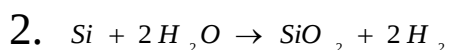
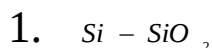
$$N(x, t) = \frac{N_0}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{\sqrt{2(Dt)}} \right] \quad (13)$$

IS yasashda epitaksial texnologiyaning qo'llanilishi IMS larning o'lchami kichik va asilligi yuqori bo'lishini ta'minlaydi.

1.4.5. Oksid qatlam hosil qilish. Termik oksidlash.

Kremniydan epitaksial - planar texnologiya asosida IS yasashning asosiy bosqichlaridan biri namuna sirtida izolyatsiyalovchi oksid qatlam hosil qilish hisoblanadi. Oksid qatlam faqat himoya qatlami bo'libgina qolmay, balki namunaning tanlangan sohasiga aralashmani diffuziyalashda niqob (maska) vazifasini hamda alohida elementlar va metallangan sohalar orasida izolyatsiya vazifasini o'tashi mumkin. Bundan tashqari, SiO_2 qatlami monolit kondensatorlarda dielektrik sifatida, MDYa tranzistor asosidagi IMS larda "zatvor" va taglik orasidagi izolyatsiya qatlami sifatida ham ishlatiladi. IMS yasash texnologiyasida namuna sirtida oksid qatlam hosil qilish uchun oksidlashning katod changlatish, anod oksidlash va termik oksidlash usullaridan foydalaniladi. Quyida eng ko'p qo'llaniladigan termik oksidlash jarayonining qisqacha tavsiloti keltirilgan.

Termik oksidlash toza kislorod atmosferasida yoki kislorod va suv bug'i ta'sirida amalga oshirilishi mumkin. Bunda quyidagi kimyoviy reaksiyalar amalga oshiriladi.



Oksid qatlam hosil bo'lish tezligi haroratga bog'liq bo'lib, uning qalinligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$x = \frac{A}{2} \left[\left(1 + \frac{t + \tau}{A^2 / (4 A * B)} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right], \quad (14)$$

bu yerda $A=2D/K_s$; $B=2DN_0/N_1$ bo'lib, oksidlanish doimiyliklari deyiladi. N_1 – oksidlovchi moddaning zichligi, $\tau=(x_i^2+A \cdot x_i)/B$ - $t=0$ da dastlabki qalinligi x_i ga teng bo'lgan oksid qatlam hosil qilishga ketgan vaqt, K_s esa, oksidlanish tezligini belgilovchi konstanta.

1.4.6. Yarim o'tkazgichga aralashmani ion implantatsiyasi usuli bilan kiritish.

Yarim o'tkazgichga aralashmani yuqori energiyaga ega bo'lgan ionlar ko'rinishida kiritish usuliga **ion implantatsiyasi usuli** deyiladi. Yarim o'tkazgichga aralashmaning bu usulda kiritilishi quyidagi afzalliklar ega:

1. Ion implantatsiyasi xona haroratiga yaqin haroratda olib borilib, yuqori haroratda ishlov berilganda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nuqsonlar va aralashmaning qayta taqsimlanishining oldi olinadi.

2. Yarim o'tkazgichning sirtini niqoblash uchun kremniy oksidi (SiO_2), kremniy nitridi (Si_3N_4) va fotorezistdan foydalanish mumkin, chunki aralashma ionlari bu qatlamlardan qiyin o'tadi.

3. Bu usulda namunaning juda kichik sohasiga ($\leq 1\text{mkm}$) aralashma kiritish hamda uning konsentratsiyasini nazorat qilish aniqligi yuqori.

Yarim o'tkazgichga aralashmani ion implantatsiyasi usulida kiritishning asosiy kamchiligi shundan iboratki, ion implantatsiyasi natijasida taglik materialining kristall tuzilishi o'zgarishi mumkin. Chunki, bu usul bilan legirlanganda kristalda ko'p sonli vakansiya, tugunlararo atom kabi nuqsonlar vujudga keladi.

Ion implantatsiyasi vositasida kiritilgan aralashmaning namuna bo'ylab taqsimoti Gauss funksiyasi bilan aniqlanadi, ya'ni

$$N(x, t) = N_{\max} \exp \left[-\frac{(x - x_{\max})^2}{2 \Delta x^2} \right] \quad (15)$$

Bu yerda $N_{\max}$ - aralashma konsentratsiyasining maksimal qiymati bo'lib, $N_{\max} = 3 \cdot 10^{14} I \cdot t / (A \Delta x^2)$

$x_{\max}$ - ion dastasi yo'nalishida maksimal konsentratsiya koordinatasi;

Δx - o'rtacha kvadratik og'ish;

I - ionlar oqimi hosil qilgan tok;

t- implantatsiya vaqti;

A- ion dastasining ko'ndalang kesimi.

1.4.7. Metallash va boshqa yakuniy jarayonlar.

Metallash jarayoni kristallda joylashgan aktiv sohalar va elementlarni o'zaro elektr payvandlash maqsadida alyuminiy (Al), oltin (Au) yoki nikel (Ni) ning yupqa qatlamini hosil qilishdan iborat. Metallash ikki xil usulda amalga oshiriladi:

1. Fizikaviy
2. Kimyoviy

Metallashning fizikaviy usuli biror manba vositasida metallni bug'lantirishga asoslangan. Masalan, vakuumda metallni elektr isitish yo'li bilan yoki elektron dastasi bilan bombardimon qilib bug'lantirish va katod changlatish fizikaviy usulga kiradi.

Kimyoviy usul esa, turli ta'sir natijasida materiallar orasida kimyoviy reaksiya borishiga asoslangan.

IS yasash jarayoni uni amalda ishlatishga yaroqli holga keltirish uchun korpusga joylashtirib, kontaktlar chiqazish bilan tugallanadi. IS o'rnatiladigan korpus uni turli mexanikaviy, kimyoviy, elektr va radiasiya ta'siridan himoyalab, issiqlikni chetga uzatish, elektron qurilmaga ulanishi qulay bo'lishini ta'minlashi lozim. Alyuminiy (Al) va oltin (Au) simlardan tashqi chiqish kontaktlarini payvandlash termokompressiya yoki ultratovush

vositasida amalga oshiriladi. Korpus, ya'ni IMS joylashtiriladigan maxsus g'ilofning turi IMS ga qo'yiladigan talablardan kelib chiqib tanlanadi.

Tayyor holdagi IMS o'tkazilishi lozim bo'lgan turli sinovlardan keyingina ishlatishga yaroqli hisoblanadi.

I. 5. IMSning passiv elementlari va ularni olish texnologiyasi.

Rezistor, kondensator va induktivlik IMS ning **passiv elementlari** hisoblanadi. ISda monolit (yaxlit), yupqa qatlamli va qalin qatlamli rezistorlar ishlatiladi. **Monolit rezistorlar** tranzistorning baza sohasini hosil qilish jarayonida bir yo'la amalga oshiriladi. Bunda muayyan qarshilikli rezistor olish uchun diffuziya shart-sharoitlarini to'g'ri tanlash zarur bo'ladi.

Yupqa qatlamli rezistor odatda rezistorning kerakli parametrlarini yarim o'tkazgichli texnologiya asosida yaratish mumkin bo'lmagan hollarda ishlatiladi. Yupqa qatlamli rezistor xrom (Cr), tantal (Ta) yoki metallokeramika asosida olinadi. Eng sodda ko'rinishdagi yupqa qatlamli rezistor to'rtburchak shaklidagi yupqa metall qatlamidan iborat bo'lib, uning qarshiligi

$$R_s = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{\rho}{x_i}; \quad (16)$$

kabi aniqlanadi.

Bu yerda ρ - materialning solishtirma karshiligi; $A = L_x X_i$ - rezistor sohasining yuzasi;

l – kvadrat ko'rinishidagi rezistorning tomoni;

x_i - qatlamning qalinligi.

Kondensatorlar ham yasash texnologiyasiga qarab, yaxlit, yupqa qatlamli, qalin qatlamli bo'lishi mumkin. **Yaxlit kondensator** teskari yo'nalishda ulangan p-n o'tishdan iborat bo'lib, bunda n-tur epitaksial qatlam va taglik orasida hosil bo'ladigan zararli sig'im hisobga olinishi kerak. Ma'lumki, p-n o'tishning to'siq (baryer) sig'imi tashqi kuchlanishga bog'liq holda o'zgaradi. Xususan $n \gg p$ bo'lgan keskin p-n o'tish uchun to'siq sig'imi

$$c = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 A}{W} \quad (17)$$

Bu yerda W - p-n o'tish qalinligi bo'lib,

$$W = \left[\frac{2 \varepsilon \cdot \varepsilon_0 (U + U_0)}{q N_d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

N_d - n sohadagi aralashma konsentratsiyasi;

A - p-n o'tishning yuzasi;

U – p-n o'tishga qo'yilgan tashqi kuchlanish;

U_0 - kontakt potentsiallar farqi (odatda Si uchun $U_0 \approx 1$ V).

Yupqa qatlamli kondensatorlarning bir necha turi mavjud bo'lib, ularga MOP kondensator yoki dielektrik bilan ajratilgan metall qatlamlari ko'rinishdagi kondensatorlar kiradi. Bunday kondensator tranzistorning emitter sohasini diffuziyalash jarayonida

paydo bo'lgan past qarshilikli n-turdagi yarim o'tkazgich va alyuminiy qatlami orasida hosil qilinadi.

Kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{\varepsilon_{ok} \varepsilon_0 A}{W} \quad (19)$$

ε_0 - vakuum uchun elektr doimiysi;

ε_{ok} - oksid qatlamning dielektrik singdiruvchanligi;

W – oksid qatlam qalinligi.

1bob bo'yicha o'z - o'zini tekshirish uchun savollar:

1. Mikroelektronikaning ilmiy, iqtisodiy va texnikaviy vazifalariga nimalar kiradi?
2. Integral mikrosxema qanday funksiyalarni bajarishga moljallangan?
3. IMS ning elementi va komponenti deganda, uning qanday qismi tushuniladi?
4. IMS ning interatsiya darajasi nimani bildiradi?
5. IMS lar bajaradigan funksiyaga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?
6. Gibrid IMS deb qanday mikrosxemaga aytiladi?
7. Yarim o'tkazgichli bipolyar IMS ning asosiy aktiv elementi nima?
8. Yarim o'tkazgichli bipolyar IMS ning afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?

9. IMS ning yaratish texnologiyasi qanday bosqichlarni o'z ichiga oladi?
10. Fotolitografiya fotoshablon qanday maqsadda ishlatiladi?
11. Diffuziya usuli bilan p-n o'tish olishda diffuziyaviy qatlam chuqurligi qanday boshqariladi?
12. Epitaksial qatlam deb nimaga aytiladi?
13. IMS lar yasashda oksid qatlam qanday vazifalarni bajaradi?
14. Yarim o'tkazgichga aralashmali ion implantatsiyasi usuli bilan kiritish qanday afzalliklarga ega?
15. IMS ning passiv elementlari qanday texnologiya asosida hosil qilinadi?

II. BIPOLYAR TRANZISTORLAR ASOSIDAGI INTEGRAL SXEMALAR

2. 1. Bipolyar IMS tranzistorlari va diodlarining turlari.

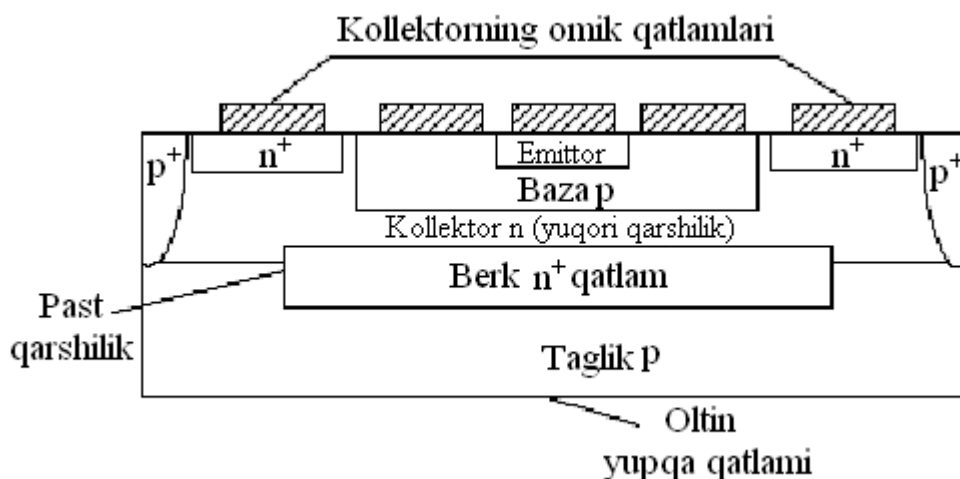
Bipolyar IMS larda tranzistorning quyidagi turlari ishlatiladi:

1. Berk qatlamli n-p-n tranzistor.
2. Gorizontali p-n-p tranzistor.
3. Vertikal p-n-p tranzistor.
4. Tuzilma p-n-p tranzistor.

Fotolitografiya jarayonini tahlil qilish uchun keltirilgan misolda (I.4.2.paragraf) epitaksial-planar texnologiya asosida

olingan n-p-n tranzistorning kollektor sohasi namunaning yuqori qarshilikli n sohasida hosil qilingan va kollektor sohasi taglikdan p-n o'tish vositasida izolyasiyalangan edi. Bunday tranzistorda kollektor asbobning sirtqi qatlamida joylashgan bo'lib, kollektor toki J_k butun n soha bo'ylab o'tishi kerak bo'ladi. Buning natijasida ket-ketma ulangan qo'shimcha qarshilik va qo'shimcha kuchlanish tushuvi vujudga keladi. Bu esa tranzistorni qayta ulash va kuchaytirish parametrlarini yomonlashtiradi. Ketma-ket qarshilikni kamaytirish va uning zararli ta'sirining oldini olish maqsadida, berk qatlamli tranzistordan foydalanish mumkin. Berk qatlamli tranzistor (5-rasm) yasash uchun quyidagi jarayonlar amalga oshiriladi:

1. Selektiv diffuziyani qo'llab n^+ berk qatlam hosil qilinadi.
2. ~ 3 mkm qalinlikda n-Si qatlami o'stiriladi.
3. Unga akseptor aralashma diffuziyalanadi va izolatsiyalovchi p-n o'tishlar hosil qilinadi.
4. Kontakt osti n^+ sohalar olish uchun donor aralashma diffuziyalanadi.
5. Diffuziya yo'li bilan tranzistorning baza va emitter sohasi hosil qilinadi.
6. Yuqorida (1.4.2.paragrafda) ko'rib o'tilgan barcha yakunlovchi jarayonlar amalga oshiriladi .



5-rasm. Berk qatlamli n-p-n tranzistorning tuzilishi

Bipolyar tranzistor qanday zanjirda ishlatilishiga qarab, unga turli talablar qo'yiladi. Masalan: analogli zanjirda ishlovchi bipolyar tranzistorning tokni uzatish koeffitsiyenti va "teshilish" kuchlanishi yuqori bo'lishi kerak. Bu talablarni qondirish uchun bipolyar tranzistorning parametrlari taxminan quyidagicha bo'lishi kerak: epitaksial qatlam qalinligi $\sim 8-12$ mkm, solishtirma qarshiligi esa, $\rho = 1 \div 5 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ sm, baza qalinligi $0.5-1$ mkm gacha.

Mantiqiy zanjirlarda ishlatilganda tranzistorning qayta ulash tezligi yuqori bo'lishi talab etiladi. Buning uchun kollektor - baza o'tishining to'yinish kuchlanishi kichik bo'lishi kerak. Bu talab epitaksial qatlam qalinligi juda yupqa bo'lganda bajariladi. Undan tashqari, izolyatsiya tufayli yuzaga keluvchi zararli sig'imni kamaytirish maqsadida baza va emitter sohasi sirtga yaqin joylashtiriladi.

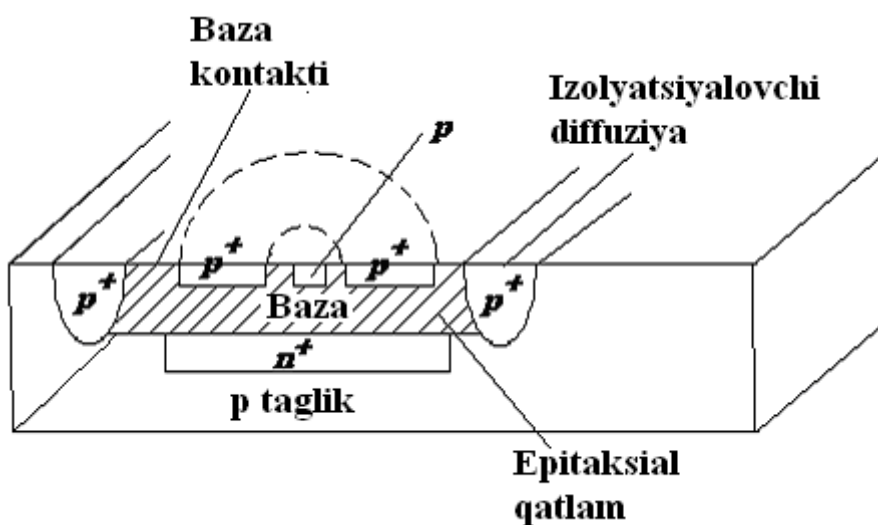
Mantiqiy KIS va O'KISlarda ham integrasiya darajasi yuqori bo'lishi, ham yuqori tezkorlik talab etiladi. Bunday talablar

bajarilishi uchun emitter sohasi yuzasi kichik, baza - emitter o'tishining sig'imi kichik bo'lishi va iloji boricha baza kontaktlarini emitterga yaqin joylashtirish kerak.

Ba'zan IS da p-n-p tranzistorni ham qo'llashga to'g'ri keladi. p-n-p tranzistor ikki turda bo'ladi:

- 1) gorizontaal p-n-p tranzistor;
- 2) vertikal p-n-p tranzistor.

Gorizontaal p-n-p tranzistorda n-p-n tranzistorning baza sohasi (p-diffuziyaviy soha) p-n-p tranzistorning kollektori va emitteri vazifasini bajaradi. Uning bazasi bo'lib esa, n-p-n tranzistorning kollektori sifatida ishlatilgan epitaksial qatlam xizmat qiladi (6-rasm).

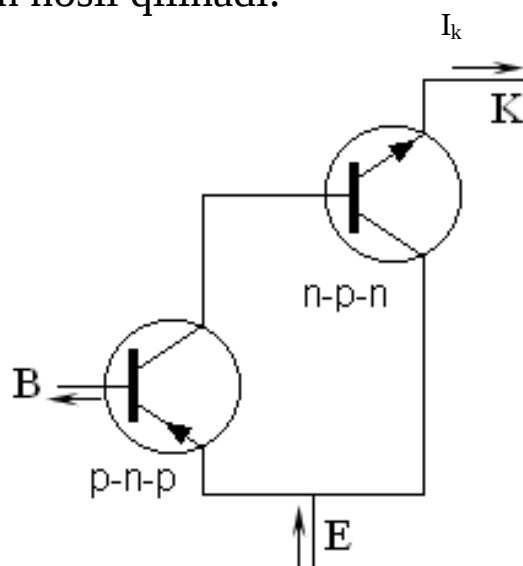


6-rasm. Gorizontaal p-n-p tranzistorning tuzilishi.

Gorizontaal p-n-p tranzistorning asosiy kamchiligi shundan iboratki, bazasi qalin ($6 \div 12$ mkm) bo'lganligi sababli, tokni uzatish koeffitsiyenti kichik, chastota xarakteristiklari past hamda kollektor-baza o'tishining "teshilish" kuchlanishi kichik bo'ladi.

Ba'zan IMS da vertikal p-n-p tranzistor ham ishlatiladi. Bunday tranzistorda p-taglik – kollektor, n-p-n tranzistorning bazasi emitter, epitaksial qatlam esa, baza sifatida ishlatiladi. Vertikal p-n-p tranzistorning tokni uzatish ko'effitsiyenti va «teshilish» kuchlanishi nisbatan katta bo'lishiga qaramay, chastota xarakteristikalarini past.

IMC larda tokni uzatish ko'effitsiyentini oshirish maqsadida tuzilma n-p-n tranzistordan foydalaniladi. Tuzilma p-n-p tranzistor gorizontaal p-n-p tranzistor bilan planar n-p-n tranzistorning quyidagi ko'rinishda ulanishidan hosil qilinadi:



7-rasm. Tuzilma p-n-p tranzistor.

Bunday ulanishda tuzilma p-n-p - tranzistorning tokni uzatish ko'effitsiyenti

$$\beta_T = \frac{I_k}{I_o} \quad (20) \quad \text{bo'lib,}$$

$$\frac{I_k}{1 + \beta_{n-p-n}} = I_{kp-n-p} \quad (21)$$

$$\frac{I_{\bar{o}}}{I_{kp-n-p}} = \frac{1}{\beta_{p-n-p}} \quad (22)$$

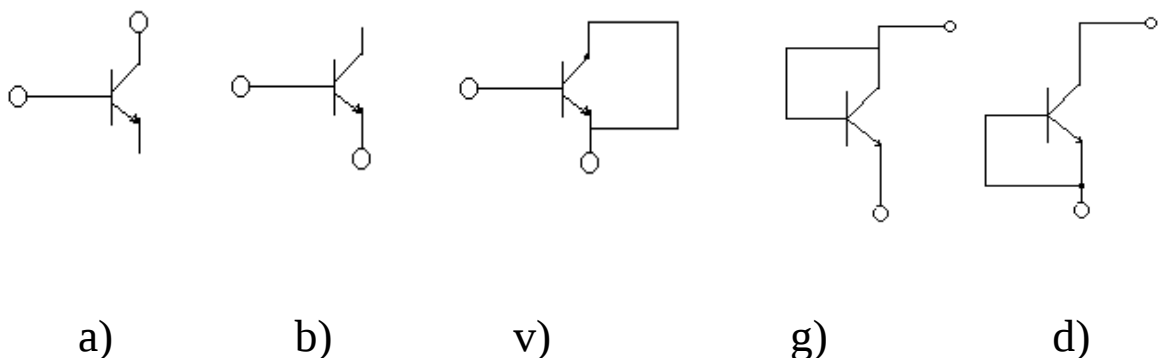
ifodalar o'rinli. (20), (21) va (22)-ifodalarni umumlashtirib, tuzilma p-n-p tranzistorning tokni uzatish ko'effitsiyenti uchun quyidagi ifodani keltirib chiqarish mumkin:

$$\beta_T = \frac{(1 + \beta_{n-p-n}) I_{kp-n-p}}{I_{kp-n-p} / \beta_{p-n-p}} = (1 + \beta_{n-p-n}) \beta_{p-n-p} \quad (23)$$

(23) ifodadan ko'rinib turibdiki, tuzilma p-n-p tranzistorning tokni uzatish ko'effitsiyenti alohida tranzistorlarning tokni uzatish ko'effitsiyentlarining ko'paytmasiga teng, chunki $\beta_{p-n-p} \approx 1$

Tuzilma p-n-p tranzistorning tokni uzatish ko'effitsiyenti yuqori bo'lishiga qaramay, uning o'ziga xos kamchiligi shundan iboratki, ikkita tranzistordan iborat ekanligi sababli, kristalda ko'p joy egallaydi ya'ni IMS ning integrasiya darajasini pasaytiradi. Undan tashqari chastota xarakteristiklari ham yuqori emas.

Odatda IMS da izolyatsiyalovchi element va diod sifatida oddiy n-p-n tranzistorning quyidagi ulanishlaridan biri qo'llaniladi:



8-rasm. n-p-n tranzistorning IMS da diod ko'rinishida ulanishlari.

Albatta 8-rasmda keltirilgan ulanishlardan birini tanlashda diodning talab etilgan parametrlariga («teshilish» kuchlanishi, teskari toki, sig'imi va h.) e'tibor beriladi.

IMS larning tezkorligini va integratsiya darajasini oshirish maqsadida Shottki diodi ishlatiladi. **Shottki diodi** metall-yarim o'tkazgich o'tishidan iborat bo'lib, p-n o'tish asosida yasalgan dioddan shu bilan farq qiladidiki, uning ochilish kuchlanishi juda ham kichik. Oddiy p-n o'tishdan yasalgan diodning ochilish kuchlanishi 0,6 V ga teng. Shottki diodining ochilish kuchlanishi esa 0,3 V ga teng.

IMSlarda Shottki diodining ishlatilishi yana quyidagi afzalliklar bilan bog'liq:

1. IMC n-p-n tranzistorini yasash jarayoniga qo'shimcha bosqich kiritish talab etilmaydi.
2. IMS tranzistorining qayta ulanish vaqti kamayadi.

Shottki diodi yasash uchun yarim o'tkazgich namuna sirtiga alyuminiy yoki platina-nikel qorishmasidan yupqa qatlam hosil qilinadi.

2.2. IMS ning ishiga haroratning ta'siri va uni hisobga olish.

IMS da bir necha mikron masofada bir qancha elementlar joylashtirilgan bo'lib, alohida bir elementda issiqlik ajralishi boshqalarining ishiga ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sirni hisobga olishda

IMS aktiv va passiv elementlarining harorat koeffitsiyenti musbat ekanligini inobatga olish zarur. IMS ishiga harorat ta'sirini aniqlash uchun IS yasashda asosiy xom ashyo hisoblangan kremniy parametrlarining haroratga bog'liqligini o'rganish zarur. Kremniyning asosiy parametrlaridan biri uning o'tkazuvchanligi bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p \quad (24)$$

bu yerda $\sigma_n = e \mu_n n$; $\sigma_p = e \mu_p p$

mos ravishda elektronlar va kovaklar hisobidagi o'tkazuvchanlikni ifodalaydi.

μ_p, μ_n zaryad tashuvchilarning harakatchanligi bo'lib, ularning kristall hajmidagi harakati davomida duch kelishi mumkin bo'lgan to'qnashuvlar bilan aniqlanadi. Harakatchanlikning haroratga bog'liqligi

$$\mu = C T^{-\eta} \quad (25)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu yerda η – material turiga bog'liq bo'lgan doimiy kattalik.

Shu kabi bog'liqliklar asosida IMS ning har qaysi elementi uchun harorat ta'sirini xarakterlaydigan elektrotermik modellar ishlab chiqiladi va o'rganiladi.

a) IMS rezistorining elektrotermik modeli.

IMS rezistorining ishiga haroratning ta'sirini hisobga olishda rezistorning geometrik o'lchamlari va yarim o'tkazgichning

solishtirma o'tkazuvchanligi σ ni bilgan holda rezistorning qarshiligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot S} = \frac{L}{en \mu_n S} \quad (26)$$

L –rezistorning uzunligi, S -ko'ndalang kesim yuzasi. Harorat dT ga o'zgarganda rezistorning qarshiligi

$$R = R_0 (1 + \alpha dt) \quad (27)$$

kabi o'zgarishini bilamiz (α – qarshilikning harorat koeffitsiyenti).

Ayaylik, T_0 haroratda rezistor orqali I_{t0} tok o'tayotgan bo'lsin. Harorat o'zgaras bo'lib, tok iga oshganda kuchlanish $U = R_{t0} i$ ga o'zgaradi.

Harorat ham dT ga oshganda rezistorning ishiga haroratning ta'sirini ifodalovchi quyidagi ifodani hosil qilish mumkin:

$$U = R_{t0} i + R_{t0} I_{t0} \alpha dT \quad (28)$$

Ifodadagi 2-qo'shiluvchi R_{t0} qarshilikka ketma ket ulangan qo'shimcha manba kabi ta'sir etishi ko'rinib turibdi. Qo'shimcha manbaning qutbi tashqi kuchlanish bilan mos tushadi. (28) ifoda IS rezistorining elektrotermik modeli bo'lib, rezistorning ishiga haroratning ta'sirini hisobga olishda ishlatiladi.

b) IMS diodining elektrotermik modeli.

To'g'ri ulangan diodning sodda ko'rinishdagi elektrotermik modeli ketma-ket ulangan qarshilik va kuchlanish manbaidan iborat. Uning analitik ko'rinishi quyidagicha:

$$U = ri + \alpha_D dt \quad (29).$$

bu yerda α_D - p-n o'tishning temperatura koeffitsiyenti bo'lib, kremniyli diodlar uchun $\alpha_D \approx -2 \text{ mB/K}$ ga teng. n – p - n o'tishning qarshiligi va uning qiymati $r = kT_0/eI_{T0}$ kabi aniqlanadi.

p-n o'tishning p va n sohalari qarshiliklari r_1 va r_2 orqali alohida hisobga olinganda, elektrotermik model quyidagi ko'rinishga keladi:

$$U = (r_1 + r_2)i + \frac{kT_0}{eI_0}i + \alpha_D dt + (r_1 + r_2)I_{T_0} \alpha dt \quad (30)$$

v) IMS tranzistorining elektrotermik modeli. n-p-n tranzistorning elektrotermik modelini o'rganish IMSni loyihalashda katta ahamiyatga ega. Chunki tranzistordan nisbatan katta toklar o'tadi. n-p-n tranzistorning elektrotermik modelini Ebers-Moll modeli asosida o'rganiladi. Tranzistorning elektrotermik modelini tuzganda tokni uzatish koeffitsiyenti, emitter va kollektor toklarining haroratga bog'liqligini hisobga olish kerak. Chunki bu kattaliklar ifodalariga kiruvchi zaryad tashuvchilar harakatchanligi μ , diffuziya koeffitsiyenti D va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi - n haroratga mos ravishda o'zgaradi. Tranzistorning eng sodda ko'rinishdagi elektrotermik modelini harorat $T = T_0 + dT$ bo'lganda kollektor va emitter toklari orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$i_k = \alpha_\beta \beta_{T_0} I_{bT_0} dT + \beta_{T_0} i_b + i_{to'y} I_{kbT_0} dT \quad (31)$$

$$i_e = eI_{eT_0} \alpha_D dT / (kT_0), \quad (32)$$

bu yerda α_{β} - tokni uzatish koeffitsiyentining harorat koeffitsiyenti bo'lib, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\alpha_{\beta} = \frac{1}{\beta_{T_0}} \frac{\partial \beta_{T_0}}{\partial T} \quad (32)$$

i_{toy} esa, to'yinish tokining harorat koeffitsiyenti bo'lib,

$$i_{toy} = \frac{1}{I_{kbT_0}} \frac{\partial I_{kbT_0}}{\partial T} \quad (33)$$

ga teng.

2.3. Bipolyar mantiqiy IMS lar

Axborotni qayta ishlash, raqamli aloqa va avtomatik boshqaruv tizimlarining ishlash tamoyili bir necha bazaviy operatsiyalarning takrorlanishi yoki ularning kombinatsiyalariga asoslangan bo'ladi. Buni amalga oshirish uchun "VA", "EMAS", "YOKI" mantiqiy elementlari, shuningdek, triggerlardan foydalaniladi. **Mantiqiy element** (ME) deb eng sodda mantiqiy operatsiyalarni bajaruvchi elektron qurilmaga aytiladi. Mantiqiy elementlar tarkibiy tuzilishi hamda yasash texnologiyasiga qarab farqlanadi. Shu bilan birga ular asosiy parametrlari: qayta ulanish tezligi, signalning kechikish vaqti, ishchi harorat oralig'i, kirishni birlashtirish koeffitsiyenti va chiqishdagi yuklama qobiliyati bilan ham bir-biridan farq qiladi.

Ushbu uslubiy qo'llanmada bipolyar texnologiya asosida yaratilgan mantiqiy elementlarning asosiy turlari qarab chiqilgan.

Bipolyar mantiqiy IMSlar turkumiga diod-tranzistorli mantiqiy element (DTM), tranzistor –tranzistorli mantiqiy element (TTM), integral injeksiyaviy mantiqiy element (I^2M), emitter bog'lanishli mantiqiy element (EBM)larning turli ko'rinishlari kiradi. Ularning o'ziga xos jihatlari quyidagilardan iborat:

1. Signalning kechikish vaqti kichik.
2. Quvvat sarfi kam.
3. Yuklama qobiliyati yuqori.
4. Integrasiya darajasini oshirish imkoniyatlari mavjud.

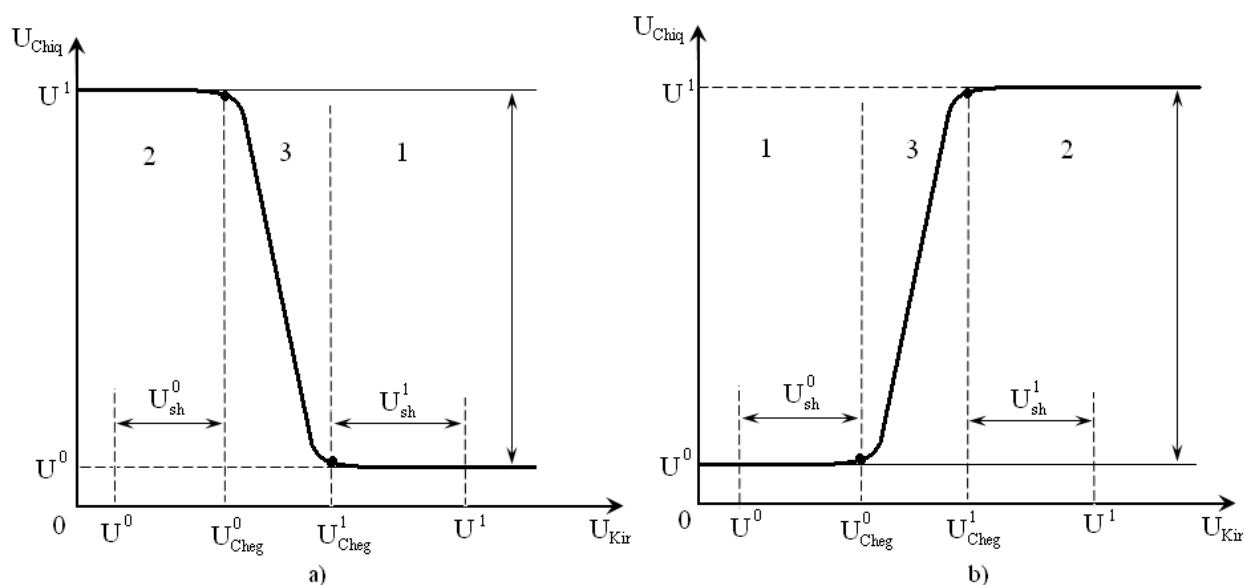
Ishlash tamoyiliga ko'ra MElar statik va dinamik turlarga bo'linadi. Statik MElar statik rejimda ham, dinamik, ya'ni impuls rejimda ham ishlay oladi. Ular zamonaviy mikrosxemalarda keng qo'llaniladi. Dinamik MElar faqat impuls rejimda ishlay oladi.

2.4. Mantiqiy elementlarning asosiy parametrlari va xarakteristikalari.

Mantiqiy elementning asosiy xarakteristikasi uning uzatish xarakteristikasi hisoblanadi. Chiqish kuchlanishining kirishlardan biridagi kuchlanishga bog'liqligiga **uzatish xarakteristikasi** deyiladi. Bunda qolgan kirishlardagi kuchlanish U^0 yoki U^1 qiymatga ega bo'lib, o'zgarmas bo'lishi kerak.

Mantiqiy elementning turiga qarab, uzatish xarakteristikasining ko'rinishi ham turlicha bo'ladi. MElar invertirlovchi va invertirlamaydigan MElarga bo'linadi. Invertirlovchi MEning

chiqishida kirish signaliga nisbatan invers (teskari) signal olinadi. Masalan: «EMAS», «VA-EMAS», «YoKI - EMAS» amallarini bajaruvchi MELar invertirlovchi MELarga kiradi. Invertirlanmaydigan MENing chiqishida kirish signaliga mos (to'g'ri) signal olinadi. Masalan: «VA», «YOKI» MELari invertirlamaydigan MELar hisoblanadi. Quyidagi rasmda invertirlaydigan (a) va invertirlamaydigan (b) MELar uzatish xarakteristikalarining ko'rinishlari keltirilgan.



9-rasm. Invertirlaydigan (a) va invertirlamaydigan (b) MEning uzatish xarakteristikalari.

Uzatish xarakteristikasini uchta sohaga ajratish mumkin: 1-soha $U_{chiq} = U^0$ holatga, 2-soha $U_{chiq} = U^1$ holatga to'g'ri keladi. 3-oraliq sohada esa, MENing holati aniqlanmagan bo'ladi. $\frac{dU_{chiq}}{dU_{kir}} = 1$ bo'lgan nuqtalarga to'g'ri keluvchi U_{kir} ning U^0 va U^1 qiymatlari **qayta ulanish chegaralari** deyiladi.

Mantiqiy 0 va mantiqiy 1 kuchlanishning farqiga **mantiqiy tushuv** deyiladi.0

$$U_M = U^1 - U^0 \quad (34)$$

Mantiqiy elementning shovqinga chidamliligi. Mantiqiy elementning kirishiga U^0 va U^1 dan tashqari shovqin kuchlanishi ham kirishi mumkin. Shovqin kuchlanishi ishorasiga mos ravishda kirish kuchlanishini oshirishi yoki kamaytirishi mumkin. Agar kirishda mantiqiy U^0 bo'lsa, musbat shovqin kuchlanishi uni oshirishi mumkin. Hatto uning qiymati 3- soha ham o'tishi mumkin. Bunda mantiqiy element ishdan chiqadi. Chunki, bu qiymatlar mantiqiy element uchun aniqlanmagan bo'ladi. Xuddi shu kabi manfiy shovqin kuchlanishi kirishdagi mantiqiy signalni kamaytirib yuborishi ham mumkin. Bu holda ham mantiqiy element ishdan chiqadi. Shovqin kuchlanishining ruxsat etilgan maksimal musbat qiymati U_{sh}^0 (kirishda kuchlanish U^0 bo'lganda) va manfiy qiymati U_{sh}^1 (kirishda kuchlanish U^1 bo'lganda) MEning statik shovqinlarga chidamliligini belgilaydi:

$$U_{sh}^0 = U_{cheg}^0 - U^0; \quad U_{sh}^1 = U^1 - U_{cheg}^1 \quad (\text{q. 9-rasm}).$$

MEning shovqinga chidamliligini **shovqinga chidamlilik koeffitsiyenti** bilan ham baholash mumkin:

$$K_{sh}^0 = \frac{U_{sh}^0}{U_M}, \quad K_{sh}^1 = \frac{U_{sh}^1}{U_M},$$

bu erda $U_M = U^1 - U^0$ mantiqiy tushuv (3-soha).MEning shovqinga chidamliligi yuqori bo'lishi uchun U_M katta va 3-soha iloji

boricha tor bo'lishi kerak. Impuls rejimda MEning shovqinga chidamliligi statik rejimdagiga qaraganda kattaroq bo'lishi mumkin. Bu shovqin signalining davomiliyligi va MEning qayta ulashish vaqti orasidagi munosabatga bog'liq bo'ladi.

MEning **kirish xarakteristikasi** deb kirish tokining kirishdagi kuchlanishga bog'liqligi ($I_{kirish} \sim f(U_{kirish})$) ga aytiladi. Bunda qolgan kirishlardagi kuchlanish o'zgarmas bo'lishi kerak. MEning **chiqish xarakteristikasi** deb chiqish kuchlanishining chiqish tokiga bog'liqligi ($I_{shiqish} \sim f(U_{chiqish})$) ga aytiladi. Bunda qolgan chiqishlardagi kuchlanish o'zgarmas bo'lishi kerak.

Mantiqiy elementning **yuklama qobiliyati** - n deb chiqishdagi tarmoqlanish koeffitsiyentiga aytiladi. Boshqacha qilib aytganda, MEning yuklama qobiliyati uning muayyan chiqishiga qo'shimcha ulanishi mumkin bo'lgan xuddi shunday chiqishlar sonini bildiradi. Tarmoqlanish koeffitsiyenti qancha katta bo'lsa, u yoki bu raqamli IMSni yasash uchun zarur bo'ladigan mantiqiy elementlar soni shuncha kam bo'ladi. Biroq n chegaralangan bo'lib, uning oshib ketishi mantiqiy elementning tezkorligi hamda shovqinga chidamliligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Odatda, KIMS larda $n = 4 \div 25$ gacha bo'lgan turli mantiqiy elementlar ishlatiladi.

Kirishni birlashtirish koeffitsiyenti- m deb ME dagi kirishlar soniga aytiladi. Kirishni birlashtirish koeffitsiyenti oshib borishi bilan MEning imkoniyatlari oshadi. Chunki mantiqiy o'zgaruvchilar soni va ular ustida o'tkaziladigan amallar soni ham oshadi. Biroq

bunda mantiqiy elementning tezkorligi kamayadi. Odatda ko'pchilik raqamli mikrosxemalarni yasashda $m = 3 \div 4$ bo'lishi yetarli hisoblanadi.

Mantiqiy elementning **iste'mol quvvati** uning holatiga bog'liq bo'lib quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{yp} = 0,5U_{k.m} (I^0 + I^1)$$

Raqamli qurilmadagi mantiqiy elementlar sonini bilgan holda, qurilmaning quvvat sarfini aniqlash mumkin:

$$P = P_{o'r} N .$$

P ni kamaytirish mantiqiy elementning tezkorligi va shovqinga chidamliligi pasayishiga olib keladi. Eng kam quvvat sarfi bilan ishlaydigan mantiqiy elementlar MDP(metall-dielektrik-yarim o'tkazgich) tranzistorlar asosida yasaladi.

Manfiy elementning tezkorligi signal tarqalishining **kechikish vaqti** bilan aniqlanadi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$t_{kech} = 0,5(t_{kech}^{0;1} + t_{kech}^{1;0})$$

$t_{kech}^{0;1}$ chiqishda U^0 , ya'ni mantiqiy nol mantiqiy bir U^1 ga o'tish vaqtini, $t_{kech}^{1;0}$ esa, chiqishda U^1 ning U^0 ga o'tish vaqtini bildiradi.

t_{kech} ni kamaytirish uchun manba tokini oshirish kerak, lekin bunda quvvat sarfi oshadi. Shunday kilib t_{kech} qancha kam bo'lsa, P shuncha katta bo'ladi va aksincha, P katta bo'lsa, t_{kech} katta bo'ladi.

Shu sababli qulaylik uchun mantiqiy elementning **qayta ulanish ishi** degan parametr kiritiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

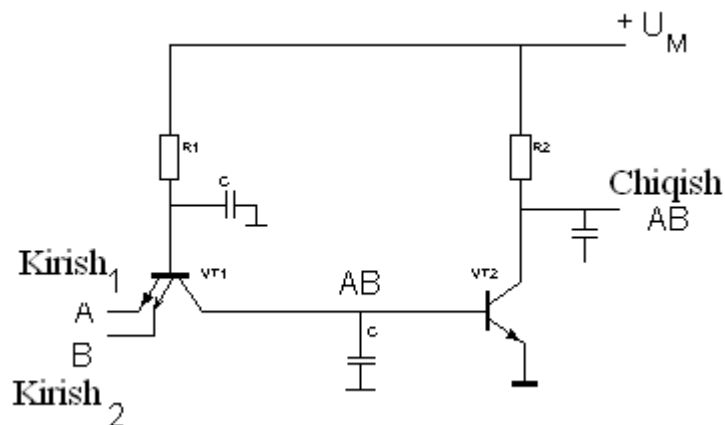
$$A_{q.u} = t_{kech} P_{o'r}$$

Bu kattalik qancha kichik bo'lsa, bunday ME texnologiya jihatidan eng sifatli hisoblanadi. O'rtacha integratsiya darajasiga ega bo'lgan ME larning qayta ulanish ishi taxminan $A_{q.u} = 1 \div 10 \text{ n j}$, KIS va O'KISlar uchun esa, $A_{q.u} = 0,01 \div 1 \text{ n j}$ ga teng.

Odatda maxsus ME larning parametrlarini yaxshilash maqsadida ular kremniyli MDYa (metal – dielektrik – yarim o'tkazgich) tranzistorlar asosida yoki galliy arsenididan MEP (metall-yarim o'tkazgich o'tishi bilan boshqariladigan maydon tranzistorlari) texnologiyala asosida yasaladi.

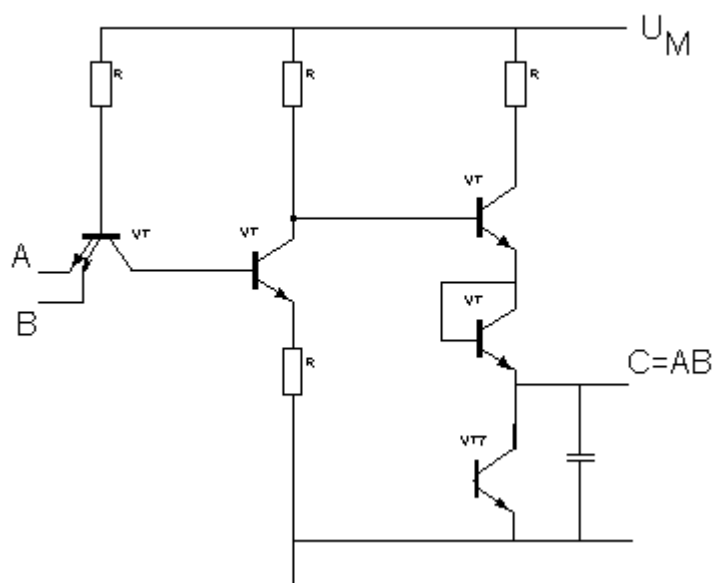
2.5. Mantiqiy elementlarning asosiy turlari

Tranzistor-tranzistorli mantiqiy element (TTM) ni boshqa turdagi MElardan farqlovchi jihatidan shundan iboratki, uning kirish zanjirida ko'p emitterli tranzistor ulangan bo'ladi. Eng sodda ko'rinishdagi TTM ning prinsipial sxemasi 10-rasmda keltirilgan. Ko'p emitterli tranzistorning baza zanjiriga R_1 qarshilik, chiqishdagi invertor vazifasini bajaruvchi T_2 tranzistorning kollektor zanjiriga esa, R_2 qarshilik ulangan. Ko'p emitterli tranzistor T_1 kirishlardagi A va B mantiqiy o'zgaruvchilar ustida mantiqiy ko'paytirish ya'ni, "VA" amalini bajaradi. MEning chiqishida T_2 tranzistor vositasida "VA-EMAS" funksiyasi amalga oshiriladi.



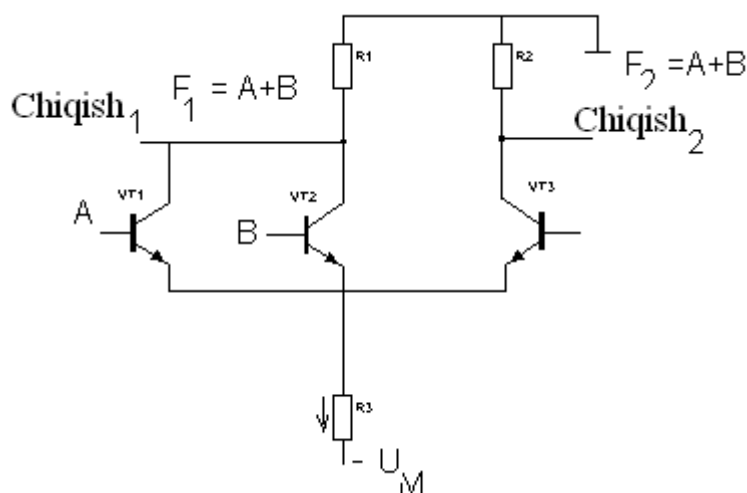
10-rasm. Tranzistor – tranzistorli MEning prinsipial sxemasi.

Odatda TTME lar KIS larda ishlatiladi. Ko'pchilik hollarda TTM ning shovqinga chidamliligi, yuklama qobiliyati va tezkorligini yaxshilash maqsadida murakkab invertor ishlatiladi. Murakkab invertorli TTM ning prinsipial sxemasi 11-rasmda keltirilgan. Bu holda ham kirishdagi T1 tranzistor va R_1 qarshilik "VA" amalini amalga oshirishda ishtirok etadi. Qolgan rezistorlar va tranzistorlar murakkab invertorni tashkil etadi. Murakkab invertorli TTMLar odatda kichik va o'rtacha integratsiya darajasidagi IMSlarda ishlatiladi, chunki murakkab invertor ishlatilganda tranzistorlar soni ko'p bo'lganligi uchun ME kristalda katta sathni egallaydi, shu bilan birga quvvat sarfi oshadi. TTMElarning tezkorligini oshirish maqsadida Shottki diodi asosidagi tranzistorlardan foydalaniladi. Masalan: 11-rasmdagi murakkab invertorli TTME da T_4 , T_5 dan tashqari barcha tranzistorlar Shotki diodli tranzistor bilan almashtiriladi. Buning natijasida TTMEning tezkorligini 1-2ns gacha, quvvat sarfini esa $10 \div 20 \text{ mvt}$ ga yetkazish mumkin.



11-rasm . Murakkab invertorli tranzistor – tranzistorli MEning prinsipial sxemasi.

Emitter bog'lanishli ME (EBME)ning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, unda tok qayta ulagichi ishlatiladi. Sodda ko'rinishdagi EBMEning prinsipial sxemasi 12-rasmda keltirilgan.

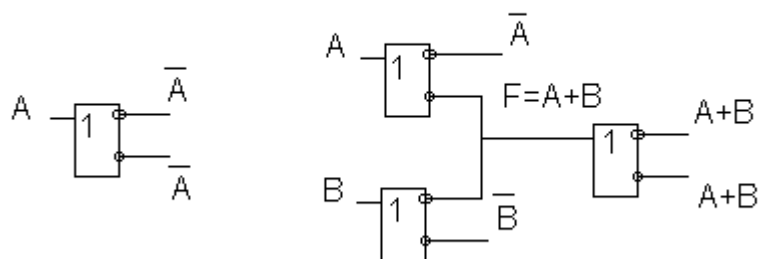


12-rasm . Emitter bog'lanishli MEning prinsipial sxemasi.

ME ning tarkibiga kiruvchi tranzistorlar bir nuqtada ya'ni, emitterda birlashtirilganligi sababli bunday elementlar emitter bog'lanishli ME lar deb ataladi. ME ning 1-chiqishida kirish o'zgaruvchilari ustida «YOKI-EMAS» ($F_1 = A+B$), 2-chiqishida esa, «YOKI» ($F_2 = A+B$) amali bajariladi. EBME dagi tok qayta

ulagichining tranzistorlari aktiv rejimda ishlaydi. Ularning to'yinish rejimida ishlamasligi EBME larning tezkorligi TTME larnikidan yuqoriroq bo'lishini ta'minlaydi. EBME larning quyi signalli, emitter takrorlagichli va boshqa turlari mavjud bo'lib, ular quyi va o'rta integratsiya darajasidagi o'ta tezkor raqamli mikrosxemalarda ishlatiladi. Istemol quvvatining $P_{o,r} = 10-20$ mvt qiymatlarida EBME larda signalning kechikish vaqti uchun $t_{kech} = 0.5-1$ ns qiymatga erishish mumkin. EBME larda mantiqiy tushuv kichik (0.3-0.5v) bo'ladi. Shuning uchun ularning shovqinda chidamliligi past. Yuklama qobiliyati $n = 4 \div 5$ ga teng. EBME larning tezkorligini oshirish uchun $p-n$ o'tishlar to'siq (bar'yer) sig'imlarini, o'tkazgichlarning zararli sig'imini, baza qarshiligini va boshqa qarshiliklarini kamaytirish kerak.

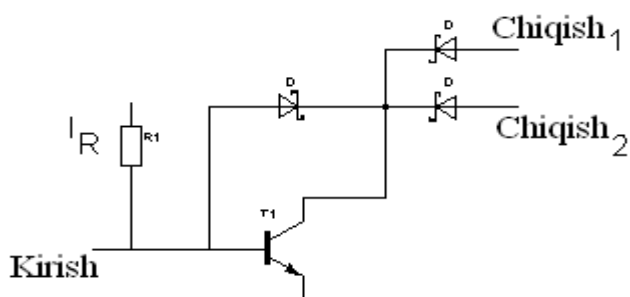
Integral injeksiyaviy (I^2 ME) (yoki injeksiyaviy ta'minotli) - maxsus KIS lar uchun ishlab chiqilgan bo'lib, ularda elektr iste'moli injektordan muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyalanishi vositasida amalga oshiriladi. Injektor vazifasini maxsus $p-n$ o'tish o'taydi. Shuning uchun ular ba'zan injeksiyaviy ta'minotli ME ham deyiladi. Integral injeksiyaviy mantiqiy elementlarda $n-p-n$, $p-n-p$ turdagi murakkab ko'p kollektorli tranzistorlar ishlatiladi. Shu sababli bunday ME larning ishlash tamoyilini ekvivalent sxema vositasida tahlil qilish qulay. I^2 ME ulanishiga qarab turli mantiqiy funksiyalarni amalga oshirishi mumkin:



13-rasm. Turli ulanishdagi integral injeksiyaviy ME larning ekvivalent sxemalari.

I^2 ME lar bipolyar tranzistorlar asosidagi boshqa ME lardan ixchamligi va quvvat sarfining kamligi bilan ajralib turadi. Lekin shu bilan birga ularning tezkorligi va shovqinga chidamliligi past. Shuning uchun ular odatda yuqori tezkorlik talab etilmaydigan raqamli KIS va O’KIS larda qo’llaniladi.

Shotki tranzistorli ME (ShTM) lar ham I^2 ME lar kabi bir kirishli va o’zaro izolyatsiyalangan bir necha chiqishli invertor vazifasini bajaradi. Bunday turdagi ME larda tezkorlikni oshirish va qayta ulanish ishi qiymatini kamaytirish maqsadida shotki diodlari va shotki tranzistorlaridan foydalaniladi. 14-rasmda ShTME ining ekvivalent sxemasi keltirilgan.



14-rasm. Shottki tranzistorli ME larning ekvivalent sxemasi.

ShTME larning asosiy kamchiligi yasash texnologiyasining murakkabligi bilan bog'liq, chunki ularda to'g'ri kuchlanishlarining qiymati turlicha bo'lgan ikki turdagi diodlar ishatiladi.

Xulosa o'rnida shuni qayd etish lozimki, yarim o'tkazgichli integral mikroshemalarni loyihalashda duch kelinadigan muammolar ichida hal qilinishi qiyin bo'lgan asosiy masala shundan iboratki, alohida yarim o'tkazgich qatlamda yaratilishi kerak bo'lgan turli elementlarning loyiha – texnologiyaviy jihatdan o'zaro mutanosibligini ta'minlash zarur bo'ladi. Ana shu nuqtai nazardan bipolyar hamda MDYa texnologiya asosidagi elementlarni bitta kristalda shakllantirishning iloji yo'q. Chunki, masalan, bipolyar tranzistorni yasashda boshqa, MDYa tranzistorlarni yasashda esa, boshqa texnologiyaviy jarayonlarni amalga oshirish talab etiladi. Bundan tashqari, yarim o'tkazgich taglik materialining elektrofizikaviy parametrlari bir yo'la har ikkala texnologiya asosidagi elementlar uchun qoniqarli bo'lmasligi mumkin.

Ushbu uslubiy qo'llanmada bipolyar tranzistorlar asosidagi IMS lar to'g'risida qisqacha ma'lumot berildi.

II bob bo'yicha o'z - o'zini tekshirish uchun savollar:

1. Bipolyar IMS larda tranzistorning qanday turlari ishlatiladi?
2. Berk qatlamli tranzistor qanday maqsadda ishlatiladi?
3. IMS larda ishlatiladigan $p-n-p$ tranzistorlar qanday turlarga bo'linadi?
4. IMS larda tuzilma $p-n-p$ tranzistor qanday hosil qilinadi?

5. Tuzilma $p-n-p$ tranzistorning asosiy afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?
6. Bipolyar IMS ning diodi sifatida qanday element ishlatiladi?
7. Shottki diodi nima va IMS larda u qanday maqsadlarda ishlatiladi?
8. IMS ning ishiga haroratning ta'siri qanday hisobga olinadi?
9. IMS diodining elektrotermik modeli nimadan iborat?
10. Mantiqiy element nima va uning qanday turlari mavjud?
11. Mantiqiy elementlarning asosiy parametrlari va xarakteristikalariga nimalar kiradi?
12. Tranzistor-tranzistorli mantiqiy element qanday maqsadlarda ishlatiladi?
13. Emitter bog'lanishli mantiqiy elementning o'ziga xos jihatlari nimalardan iborat?
14. Interl injeksiyaviy mantiqiy element qanday IS larda qo'llaniladi?
15. Nima uchun IMS lar yaratish texnologiyasida bipolyar va MDYa tranzistorlarni yasash birgalikda amalga oshirilmaydi?

Uslubiy qo'llanmani yaratishda foydalanilgan va mavzularni mustahkamlash uchun tavsiya etilayotgan adabiyotlar ro'yxati

1. Rosado L. Fizicheskaya elektronika i mikroelektronika, Moskva, "Vishaya shkola" 1991.- 342s.
2. Stepanenko.I.P. , Osnovi mikroelektroniki, Moskva, "Radio i svyaz" 1980.- 423s.
3. Yefimov.I.E. , Kozir I.Y., Gorbunov Y.I , Mikroelektronika. Moskva, "Vishaya shkola" 1987.-464s.
4. Zi S.M. Fizika poluprovodnikovix priborov. 1,2 kn.Moskva, Mir,1994.-450s.
5. Pasinkov V.V., Chirkin L.K. Poluprovodnikovie pribori. Moskva, "Vishaya shkola" 1990.-378s.
6. Avayev N.A., Naumov Yu.E., Frolkin V.,T. Osnovi mikroelektroniki. Moskva, "Radio i svyaz" 1991. -288s.
7. Valiyev K., Mikroelektronika: dostijeniya i puti razvitiya. Moskva, Nayka,1986- 142 s.
8. Sugano T., Ikoma T., Takensi E.Vvedenie v mikroelektroniku. Moskva, Mir,1988.-320s.
9. Parfyonov O. D. Texnologiya mikrosxem. Moskva, "Vishaya shkola" 1982.-288s.
10. Abdukarimova X.R. Materiali i elementi elektronnoy texniki. Teksti leksiy. SamGU.,200—
- 11.Abdukarimova X.R. Elektronika i mikroelektronika.1-chast., Teksti leksiy. SamGU.,200—
- 12.Abdukarimova X.R. Elektron texnikasi materiallari va elementlari. Multimediali elektron qo'llanma. SamDU.200 y.
- 13.[http:// www.ziyo.net](http://www.ziyo.net).

M U N D A R I J A

Kirish.....	
1-BOB.YARIM O'TKAZGICHLI INTEGRAL MIKRO-SXEMA (IMS) LAR YARATISHNING TEXNOLOGIYA-VIY ASOSLARI.....	
1.1. Integral mikrosxemalarning turlari.....	
1.2.Yarim o'tkazgichli IMS ning afzalliklari va kamchiliklari	
1.3.IMS ni loyihalashning asosiy jihatlari... ..	
1.4. IMS ni yaratish texnologiyasining asosiy bosqichlari.....	
1.4.1Yarim o'tkazgich namunani IMS yasash uchun tayyorlash	
1.4.2. Fotolitografiya jarayoni.....	
1.4.3.Diffuziya usuli bilan p-n o'tish olish. Diffuziyaviy qatlam chuqurligi va aralashma taqsimotini hisoblash	
1.4.4.Epitaksial qatlam olish.....	
1.4.5.Oksid qatlam hosil qilish. Termik oksidlash.....	
I bob bo'yicha o'z - o'zini tekshirish uchun savollar	
II-BOB. BIPOLYAR TRANZISTORLAR ASOSIDAGI INTEGRAL SXEMALAR.....	
2.1. Bipolyar IMS tranzistorlari va diodlarining turlari.....	
2.2. IMS ning ishiga haroratning ta'siri va uni hisobga olish.	
2.3. Bipolyar mantiqiy IMS lar.....	
2.4. Mantiqiy elementlarning asosiy parametrlari va xarakteristikalar.....	
2.5. Mantiqiy elementlarning asosiy turlari.....	
II bob bo'yicha o'z - o'zini tekshirish uchun savollar	
Foydalanilgan va mavzularni mustahkamlash uchun tavsiya etilayotgan adabiyotlar ro'yxati.....	