

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ZAHIRIDDIN MUHAMMAD BOBUR NOMIDAGI
ANDIJON DAVLAT UNVERSITETI

Fizika kafedrası

Qo'lyozma huquqida

Qo'shaqov Dilmurod

**MDYA STRUKTURALAR ASOSIY PARAMETRLARINI
C-V XARAKTERISTIKA ORQALI ANIQLASH**

5140200-Fizika
ta'lim yo'nalishi bo'yicha bakalavr akademik
darajasini olish uchun yozilgan

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar:
prof. I.N.Karimov

Andijon-2015 yil

MUNDARIJA:

Kirish.....	3
I. MDYA STRUKTURALAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR.....	6
1.1. MDYa strukturalarning tarkibiy tuzilishi.....	6
1.2. Yarimo'tkazgich - dielektrik chegarasidagi sirt xolatlari.....	14
1.3. Yupqa dielektrik qatlamlar olish texnologiyalari.....	18
II. MDYA STRUKTURALARNI TADQIQ ETISH.....	27
2.1. MDYa strukturalarning volt – amper xarakteristikasi.....	27
2.2. MDYa strukturalarning C-V (volt-farad) xarakteristikasi.....	33
2.3. C-V xarakteristikalaridan MDYa strukturalarning xususiyatlarini aniqlash usullari.....	35
2.4. MDYa strukturalarning amaliy qo'llanilishi.....	43
XULOSA.....	47
Foydalanilgan adabiyotlar royxati.....	48
Ilovalar.....	50

KIRISH

Jamiyatning eng oliy boyligi bo'lgan xalq abadiy qadriyatlarni, qudratli salohiyatni o'zida jamlagan. Bu salohiyatni yuzaga chiqarish jamiyatimizni rivojlantirish va taraqqiy ettirishning juda kuchli omili bo'lib xizmat qiladi. Inson salohiyati eng faol, eng bunyodkor omil bo'lib, u mamlakatning islohotlar va tub o'zgarishlar yo'lidan tinimsiz ilgarilab borishini ta'minlab beradi. [1,2]

Mamlakatni jadal rivojlantirish borasidagi dasturiy vazifalarni amalga oshirishda fanni va ilmiy infrastrukturani rivojlantirish g'oyat muxim ahamiyatga ega. [3]

Bugungi kunda mikroelektronika texnika va texnologik jarayonlar jadal rivojlanishi turli xil elektron asboblarni yaratish va ularni fizik xususiyatlarini o'rganish muxim ahamiyat kasb etmoqda. Bunday asboblari, tuzilmalar, qurilmalar, yarimo'tkazgichli moddalar asosida tayyorlanmoqda. Qattiq jismlarning asosiy turlari bo'lmish metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklar asosida turli tuzilmalar olinib, ular fan va texnikaning turli sohalarida keng qo'llanilmoqda. Xususan MDYa tipidagi tuzilmalar sanoatda, qishloq xo'jaligida, transportda elektronikada, mikroelektronikada va elektrotexnikada, aloqada, informatika, maishiy xizmat sohasida va jamiyat faoliyatining boshqa barcha javxalarida turli-tuman muhim vazifalarni bajarmoqda. [4,5]

Mamlakatimizdagi fanlar akademiyasi qoshidagi fizika institutlari va elektronika sanoati korxonalari xamkorlikda yarimo'tkazgichli asboblari va MDYa tuzilmalar tayyorlashda, ular ustida ilmiy tadqiqotlar olib borishda katta yutuqlarga erishmoqda. Bunda yosh kadrlarning bilimi, saviyasi, kuchi va iqtidoriga tayaniladi. [4]

Aytib o'tilgan muloxazalardan ko'rinadiki yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblari tayyorlash texnologiyasi asoslarini o'rganish shu kunning dolzarb masalalaridan biridir.

Mavzuning dolzarbligi. Yarimo'tkazgichlardan tayyorlanayotgan asboblarning turi va qo'llanilish soxalarining kengayishi ularni tayyorlash

texnologik jarayonlarini o'rganishni talab qiladi. MDYa tipidagi tuzilmalarni olishda bajariladigan xar bir texnologik jarayon orqali fizik xodisalarni taxlil qilish mumkin. Texnologik usullarning yangilanib borishi, bu turdagi asboblarni takomillashishiga olib keladi. MDYa strukturalarda kechayotgan fizik xodisalar tafsifini ularning VAXsi va VFXlari yordamida aniqlash mumkin.

Bitiruv malakaviy ishining ob'ekti yarimo'tkazgichli asboblarni tayyorlashda planar texnologiyalarning rolini oshishi va maydon effektiga asoslangan yangi tipdagi asboblarning yaratilishidir.

BMI ning predmeti esa, yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblarni fizikasini nazariy va amaliy masalalari, bu soxadagi ilmiy izlanishlar va texnologik jarayonlarning rivojlanishi xisoblanadi.

BMI ni maqsad va vazifalari MDYa strukturalar haqida umumiy ma'lumotlar yig'ish, adabiyotlar, davriy va internet ma'lumotlarining tahlili va ulardan foydalanib MDYa strukturalarning tarkibiy tuzilishi hamda yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasidagi sirt xolatlarini elektrofizik xossalari haqida umumiy tasavvurga ega bo'lish, MDYa strukturalarning tayyorlash texnologiyalarini o'rganishda yarimo'tkazgich materiallariga qo'yilgan talablar va shunday materiallar olish uchun bajariladigan texnologik jarayonlar bilan tanishish, yarimo'tkazgichlarga kirishmalar kiritishning mavjud texnologik usullarini o'rganish, yuqori dielektrik qatlamlar olishning planar texnologiyadagi usullari va ularning afzalliklari hamda kamchiliklari haqida ma'lumotlar olish, MDYa strukturalarni tatqiq etib ularning volt-amper xarakteristikasi va volt-farad xarakteristikasi natijalari asosida MDYa strukturalarning xususiyatlarini aniqlash usullarini o'rganish va MDYa strukturalarning amaliy qo'llanilish soxalari xaqidagi ma'lumotlarini umumlashtirishdan iborat.

BMI ning xajmi va mazmuni. Bitiruv malakaviy ishi Kirish, 3 ta bob, 9 ta paragraf, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. BMI jami 79 sahifadan iborat bo'lib 25ta rasm grafik, 2ta jadval va 69 ta sahifasi asosiy matn xamda 10ta sahifasi qo'shimcha ilovalardan iborat. BMI ning mundarijasiga ko'ra, 1 bobda MDYa strukturalarning tarkibiy tuzilishi, yarimo'tkazgich dielektrik

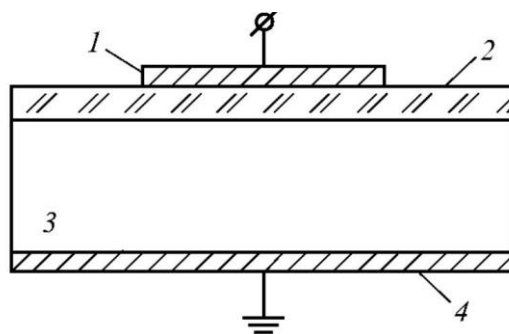
chegasidagi sirt xolatlari haqida umumiy ma'lumotlar berildi. 2da MDYa strukturalarning tayyorlash texnologiyalarini o'rganishda yarimo'tkazgich materiallariga qo'yilgan talablar, yarimo'tkazgichga kirishmalar kiritish va yarimo'tkazgichning planar qismida dielektrik qatlamlar hosil qilishning texnologik usullari haqida bayon qilindi. 3da MDYa strukturalarni tadqiq etish usullari, ya'ni VAX si va VFX laridan foydalanib MDYa strukturalarning xususiyatlarini aniqlash usullari, shuningdek MDYa strukturalarning amaliy qo'llanilish sohalari to'g'risida ma'lumotlar keltirildi.

I. MDYA STRUKTURALAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. MDYa strukturalarning tarkibiy tuzilishi

Metal-dielektrik-yarimo'tkazgich tuzilmalarning xususiyatlarini o'rganishga bo'lgan qiziqishning ortishiga asosiy sabab, planar texnologiyalarning va maydon effektiga asoslangan yangi tipdagi yarimo'tkazgichli asboblarning yaratilishi bo'ldi. MDYa-tuzilmalar bu turdagi qurilmalarda kechayotgan elektrofizik jarayonlarni o'rganishga va taxlil qilishga imkon beradi. [6,7]

MDYa-tuzilmalar planar tomonidan dielektrik bilan qoplangan, taglik deb nomlanuvchi, monokristall yarimo'tkazgich plastinasidan iborat. Dielektrikga biriktirilgan, metall elektrod zatvor deb nomlanadi, dielektrikning o'zi esa zatvorosti deb ataladi. Yarimo'tkazgichli plastinaning teskari, noplanar, tomoniga omik kontakt deb nomlanuvchi metall elektrod yopishtiriladi. MDYa-tuzilmalarda dielektriklar o'rniga ko'p xollarda oksidlar qo'llanilganligi uchun MDYa o'rniga MOYa-tuzilmalar termini ishlatiladi. Shunday qilib, 1.1-rasmda keltirilgan, MDYa-tuzilma zatvor, zatvorosti dielektrigi, yarimo'tkazgichli taglik va omik kontaktdan iborat.



1.1-rasm. MDYa-strukturalarning tuzilishi

1-zatvor, 2-zatvorosti dielektrigi, 3-yarimo'tkazgichli taglik, 4-omik kontakt

MDYa-tuzilmalarning muvozanat xolatidagi zonalar energetik diagrammasini ko'rib chiqamiz. Zonalar energetik diagrammalarining tuzilishi qoidasiga asosan, tashqi kuchlanish bo'lmaganda:

- a) vakuum uzluksiz bo'lishi;
- b) dielektrik va yarimo'tkazgichning elektronlar nisbati barcha nuqtalarda teng bo'lishi;

v) Fermi sathi bir xil bo'lishi shart.

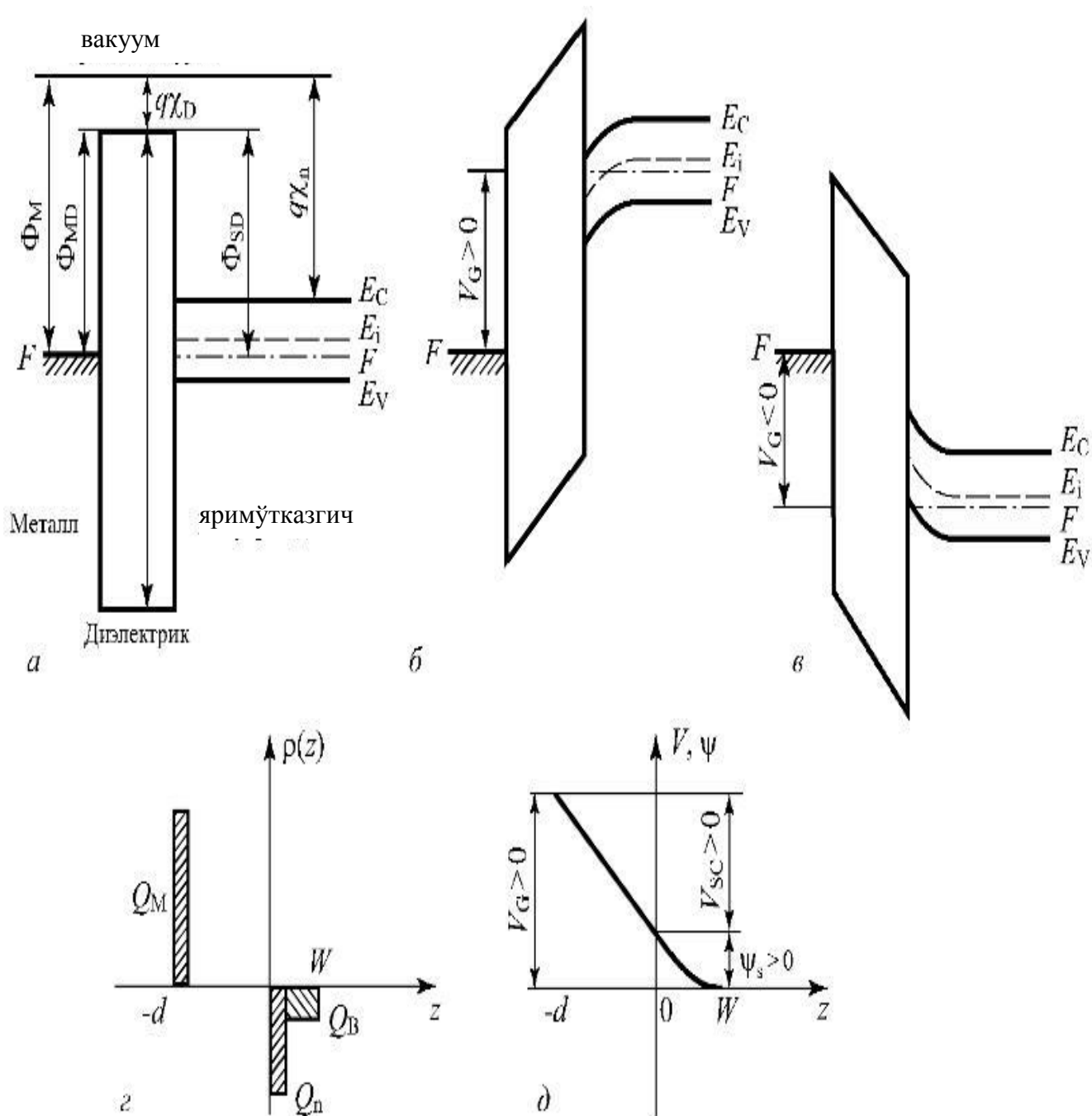
1.2.-rasmda ideal MDYa-tuzilmaning zonalar diagrammasi keltirilgan. Ideal MDYa-tuzilma deganda biz shunday matall-dielektrik-yarimo'tkazgich sistemasini tushunamizki unda:

- yarimo'tkazgich-dielektrik sirtida xech qanday sirtiy xolatlar mavjud emas,
- zatvor metalidagi va yarimo'tkazgichli taglikning termodinamik chiqish ishlari o'zaro teng,
- zatvorosti dielektrigida zaryadlangan markazlar mavjud emas,
- zatvorosti dielektrigining qarshiligi cheksiz katta, shuning uchun zatvordagi xar qanday kuchlanishda ham undagi tok nolga teng.

1.2-rasmda ideal MDYa-tuzilmasining zatvor kuchlanishi V_G ning turli ishorolari uchun zonalar diagrammasi keltirilgan. [8]

Idealga yaqin, MDYa-tuzilmalar kremniyda kremniy ikki oksidini termik o'stirishning "xlorli" texnologiyasini qo'llash orqali olinadi. Aytib o'tish lozimki n-Si da zatvor sifatida alyuminiy ishlatiladi, p-Si da esa oltin ishlatiladi.[12]

Yuqorida sanab o'tilgan xususiyatlarining birortasi bajarilmasa bunday MDYa-tuzilmalar real MDYa-tuzilmalar deyiladi. Quyida ularning xususiyatlarini ko'rib chiqsak.



1.2.-rasm. p-tip yarimo'tkazgichli ideal MDYa-tuzilmasining zonalar diagrammasi:

a) $V_G=0$; б) $V_G > 0$; в) $V_G < 0$; г) $V_G > 0$ bo'lgan xolat uchun MDYa-tuzilmadagi zaryadlar taqsimoti; д) qo'yilgan kuchlanish V_G ning dielektrik va yarimo'tkazgich o'rtasidagi taqsimoti.

Elektroneytrallik tenglamasi

MDYa-tuzilma zatvor kuchlanishi V_G va sirtiy potentsial Ψ_s orasidagi bog'lanishni batafsilroq ko'rib chiqamiz. MDYa-tuzilmadagi V_G kuchlanish yarimo'tkazgich va dielektrik o'rtasida taqsimlanadi, yarimo'tkazgichdagi kuchlanish tushuvi sirtiy potentsial Ψ_s ga teng.

Shunday qilib,

$$V_G = V_{ox} + \Psi_s. \quad (1.1)$$

1.2-rasmdagi energetik diagrammalar taxlili shuni ko'rsatadiki, sirtiy potentsial Ψ_s ning ishorasi, zatvor kuchlanishi V_G ning ishorasi bilan bir xil. Haqiqatdan ham, ideal MDYa-tuzilmalar zatvoriga qo'yilgan musbat kuchlanish n- va p-tip yarimo'tkazgichlarda zonalarni pastga egadi, bu esa sirtiy potentsialning musbat qiymatiga mos keladi. Manfiy V_G kuchlanish yarimo'tkazgich sirtidagi sathlarni yuqoriga bukadi, bu esa sirtiy potentsial Ψ_s ning manfiy qiymatiga mos keladi.

Elektroneytrallik shartidan kelib chiqadiki, metall elektroddagi zaryad Q_M sirtiy zaryad soxasi (SZS) dagi zaryad Q_{sc} , yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasidagi sirtiy xolatlar zaryadi Q_{ss} va dielektrikka sirt chegarasi yaqinida joylashtirilgan zaryad Q_{ox} larning yig'indisiga teng.

$$-Q_M = Q_{sc} + Q_{ss} + Q_{ox}. \quad (1.2.)$$

Dielektrikning geometrik sig'imi tarifiga asosan C_{ox} ,

$$C_{ox} = \frac{Q_M}{V_{ox}}, \quad (1.3.)$$

bundan

$$V_{ox} = \frac{Q_M}{C_{ox}} = -\frac{Q_{sc}}{C_{ox}} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}}. \quad (1.4.)$$

Metall va yarimo'tkazgich o'rtasida termodinamik chiqish ishlari o'rtasida farq $\Delta\varphi_{ms}$ mavjudligini xisobga olsak:

$$V_G = \Delta\varphi_{ms} + \Psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_{ox}} - \frac{Q_{ss}}{C_{ox}} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}}. \quad (1.5.)$$

Yuqoridagi ifodadan ko'rinadiki, agar $V_G > 0$ bo'lsa u xolda $\Psi_s > 0$, $Q_{sc} < 0$, $Q_{ss} < 0$, ya'ni dielektrikdagi kuchlanish tushuvi $V_{ox} > 0$. $V_G < 0$ bo'lganda ham ishoralar o'zgarmaydi. Negaki,

$$Q_{ss} = -qN_{ss}(\Psi_s - \varphi_0), \quad (1.6.)$$

ko'rinishda bo'ladi.

(1.6) ni (1.5) ga qo'yib:

$$V_G = \Delta\varphi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}}\varphi_0 + \Psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_{ox}} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}}\Psi_s. \quad (1.7.)$$

ga ega bo'lamiz.

Yangi belgilash kiritamiz-yassi sathlar kuchlanishi V_{FB} (Flat Band).

Yassi sath kuchlanishi V_{FB} deb, yarimo'tkazgichdagi sirtiy potentsialning qiymati nolga teng bo'lgandagi, real MDYa-tuzilma zatvoridagi kuchlanishga aytiladi:

$$V_{FB} \equiv V_G(\Psi_s = 0). \quad (1.8)$$

(1.8) va (1.7) dan:

$$V_{FB} = \Delta\varphi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}}\varphi_0. \quad (1.9)$$

Shunday qilib zatvor kuchlanishi V_G va sirtiy potentsial Ψ_s o'rtasidagi bog'lanish (1.9) ni xisobga olinganda quyidagi ko'rinishdagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$V_G = V_{FB} + \Psi_s + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}}\Psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_{ox}}. \quad (1.10.)$$

Sirtiy potentsial o'zgarishining turli soxalari uchun (1.10) ifodani chuqurroq taxlil qilamiz.

To'yinish ($\Psi_s < 0$)

SZS zaryadi Q_{sc} ning ifodasini (1.1) ga qo'yib va yuqoridagi ifodadan:

$$V_G - V_{FB} = \Psi_s \left(1 + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} \right) - \frac{2\varepsilon_s \varepsilon_0 kT}{qL_D C_{ox}} e^{-\frac{\beta\Psi_s}{2}}. \quad (1.11.)$$

$\Psi_s (|\beta\Psi| > 1)$ ning katta qiymatlarida, $Q_{sc} \gg Q_{ss}$ bo'lganda (1.11) munosabatdan quyidagini olamiz:

$$V_G - V_{FB} \approx -\frac{\varepsilon_s \varepsilon_0 kT}{C_{ox} q L_D} e^{-\frac{\beta \Psi_s}{2}}. \quad (1.12)$$

Bundan

$$\Psi_s = \frac{-2kT}{q} \ln \left[(V_G - V_{FB}) \frac{q L_D C_{ox}}{\varepsilon_s \varepsilon_0 kT} \right]$$

$$Q_{sc} = Q_p \approx -C_{ox} (V_G - V_{FB}). \quad (1.13)$$

(1.12.) va (1.13.) dan ko'rinib turibdiki sitr kovaklar bilan boyiganda, sirtiy potentsial Ψ_s zatvor kuchlanishi V_G bilan logarifmik bog'langan, SZS zaryadi Q_{sc} esa V_G bilan chiziqli bog'langan.

Siyraklashish(kambag'allashish) va kuchsiz inversiya ($0 < \Psi_s < 2\varphi_0$)

Bu xolda SZS zaryadi Q_{sc} asosan ionlashgan aktseptorlar Q_B larga bog'liq.

Q_B ning ifodasini $\Psi_s = \varphi_0$ oraliqda qatorlarga yoyamiz:

$$Q_B = Q_{B(\Psi_s = \varphi_0)} + \frac{\partial Q_B}{\partial \Psi_s} (\Psi_s - \varphi_0) = Q_B^* + C_B^* (\Psi_s - \varphi_0) \quad (1.14)$$

Bu yerda Q_B^*, C_B^* - $\Psi_s = \varphi_0$ bo'lgandagi SZS ionlashgan aktseptorlar zaryadi va sig'imi. Q_B ning ifodasini (1.10) ga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$V_G - V_{FB} = n \Psi_s, \quad (1.15)$$

bunda

$$n = 1 + \frac{q N_{ss}}{C_{ox}} + \frac{C_B^*}{C_{ox}}. \quad (1.16)$$

(1.15) dan ko'rinib turibdiki, siyraklashish(kambag'allashish) soxasida va kuchsiz inversiyada sirtiy potentsial V_G bilan chiziqli bog'langan. Og'ish burchagi tangensi

$$\tan \alpha = \frac{dV_G}{d\Psi_s} = n \quad (1.17)$$

sirtiy xolatlar zichligi N_{ss} , zatvorosti dielektrigining qalinligi d_{ox} va yario'tkazgichli taglikning legirlanish darajasi N_A bilan aniqlanadi.

Kuchli inversiya ($\Psi_s > 2\varphi_0$)

SZS dagi zaryad Q_{sc} manfiy, u ionlashgan aktseptorlar zaryadi Q_B va inversion qatlamdagi elektronlar zaryadi Q_n lardan iborat. Q_n ning qiymatini xisobga olsak:

$$V_G = \Delta\varphi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} - \frac{qN_{ss}}{C_{ox}}\varphi_0 - \frac{Q_B}{C_{ox}} + 2\varphi_0 - \Delta\psi_s + \frac{\varepsilon_0\varepsilon_s kT}{qL_D C_{ox}} e^{\frac{\beta\Delta\psi_s}{2}}, \quad (1.18.)$$

bunda $\Delta\psi_s = \psi_s - 2\varphi_0$.

Muvozanat xolatida sirtiy potentsial ψ_s chegaraviy qiymati $2\varphi_0$ ga teng bo'lgan xolati uchun zatvor kuchlanishi V_G ning chegaraviy qiymati V_T ni kiritamiz.

$$V_T \equiv V_{G(\psi_s=2\varphi_0)}. \quad (1.19.)$$

(18.) va (19.) dan

$$V_T = \Delta\varphi_{ms} + 2\varphi_0 - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} 2\varphi_0 - \frac{Q_B}{C_{ox}}, \quad (1.20.)$$

yoki V_{FB} ni xisobga olib

$$V_T = V_{FB} + 2\varphi_0 - \frac{Q_B}{C_{ox}} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} 2\varphi_0. \quad (1.21.)$$

Ifodadan ko'rinib turibdiki agar kuchlanishning chegaraviy qiymati V_T ni yassi sathlar kuchlanishi V_{FB} dan boshlab xisoblasak, u xolda u, ionlashgan aktseptorlar va sirtiy xolatlardagi zaryad xisobiga, yarimo'tkazgichdagi kuchlanish tushuvi $2\varphi_0$ va zatvorosti dielektrigidagi kuchlanish tushuvlaridan iborat bo'ladi. ψ_s ning yuqori

$$\text{qiymatlari uchun } \beta\Delta\psi_s > 1 \text{ bo'lganda: } V_G - V_T \approx \frac{\varepsilon_s\varepsilon_0 kT}{C_{ox} q L_D} e^{\frac{\beta\Delta\psi_s}{2}}. \quad (1.22.)$$

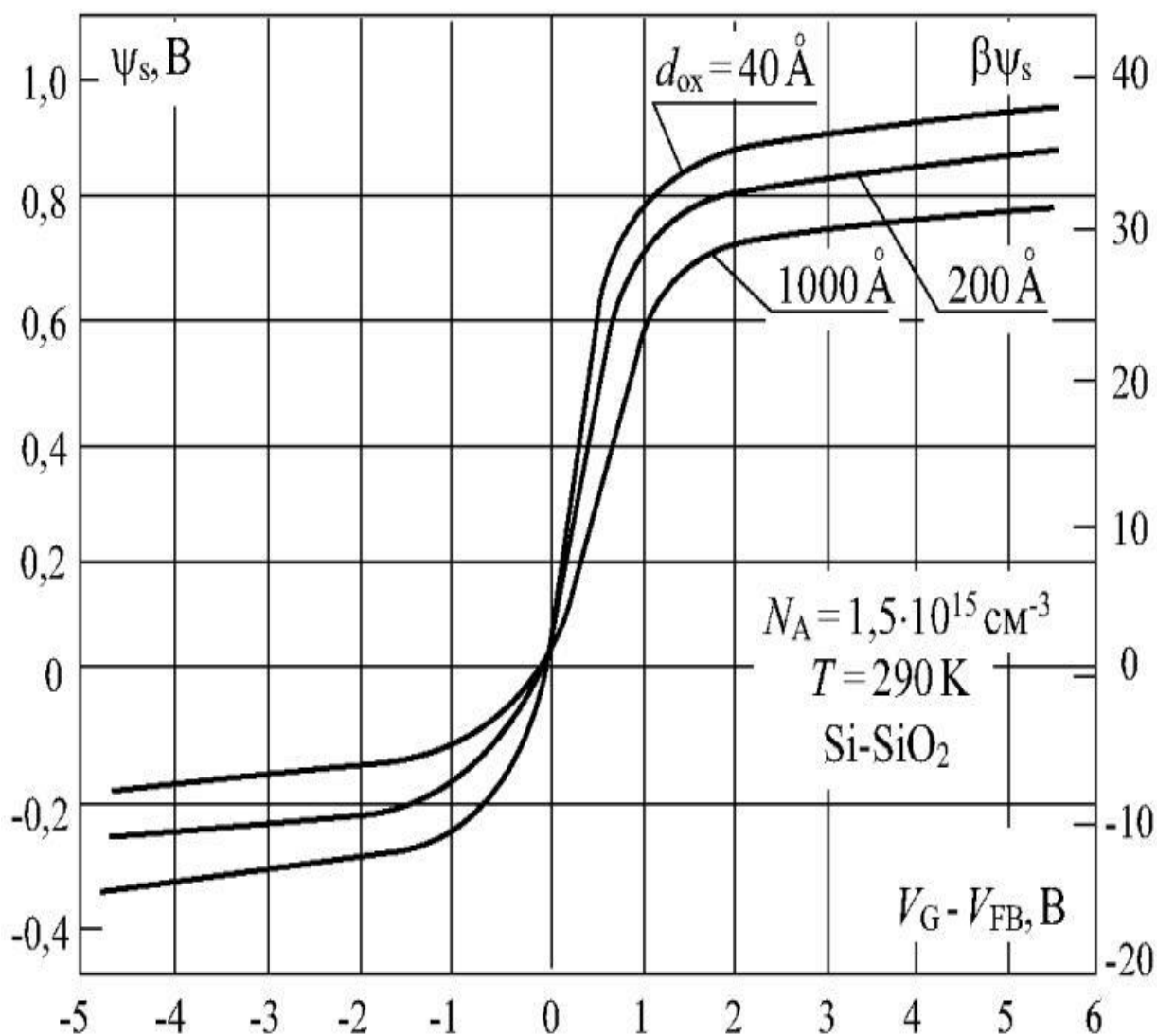
Bundan

$$\psi_s = 2\varphi_0 = \frac{2kT}{q} \ln(V_G - V_T) \frac{qL_D C_{ox}}{\varepsilon_s \varepsilon_0 kT}, \quad (1.23.)$$

$$Q_{sc} \approx Q_n \approx -C_{ox} (V_G - V_T). \quad (1.24.)$$

Yuqoridagi ifodalardan ko'rinib turibdiki, xuddi boyish soxasidagi kabi, kuchli inversiya soxasida ham sirtiy potentsial V_G ga logarifmik bog'langan, inversion qatlamdagi elektronlar zaryadi Q_n esa V_G chiziqli bog'langan.

1.3.-rasmda sirtiy potentsial ψ_s ning zatvor kuchlanishi V_G ga bog'lanish grafigi keltirilgan. Grafik zatvorosti dielektrigining turli d_{ox} qalinliklari uchun keltirilgan.



1.3.-rasm. (1.10) ifodaga asosan zatvorosti dielektrigi qalinligi turlicha bo'lgan kremniyli MDYa-tuzilmasining sirtiy potentsiali ψ_s ning zatvor kuchlanishi V_G ga bog'lanishi.

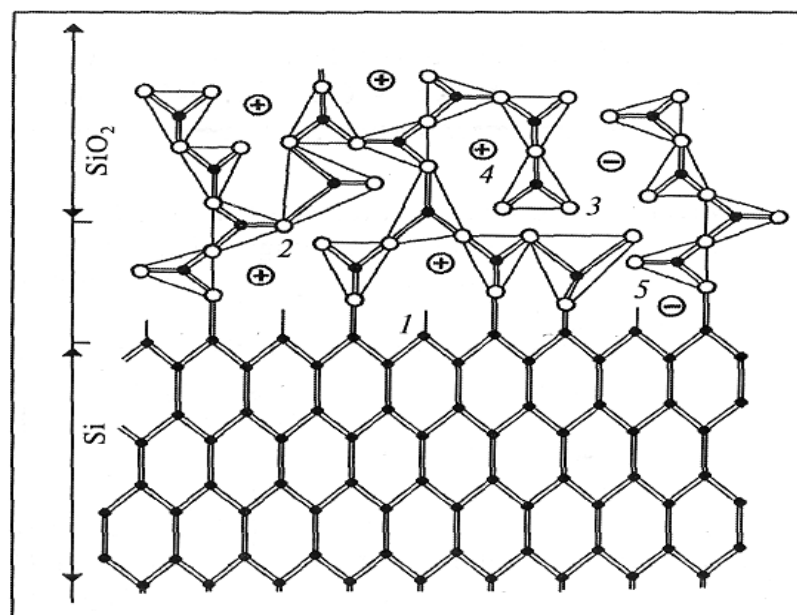
1.2. Yarimo'tkazgich - dielektrik chegarasidagi sirt xolatlar

Real sharoitda har qanday kristall kesilsa yoki sindirilsa, uning sirtida hosil bo'ladigan atomlarning to'yinmagan aloqalari yoki boshqa turdagi nuqsonlar shu sharoit uchun termodinamik jihatdan muvozanat holatini egallashga intiladi.

Bu jarayon avvalo kristall atomlarining o'zaro ta'sirlashuvi tufayli bo'lsa, asosan, atrof-muhitdagi atom va molekulalarni biriktirib olish orqali sodir bo'ladi. Tajribalardan ma'lumki, juda qisqa (10^{-6} s) vaqt davomida jarayon 10^{-5} mm simob ustuni bosimidagi vakuumda kechayotgan bo'lsa ham 3—5 qatlamli oksid pardalari hosil bo'ladi. Oddiy sharoitda, ya'ni ochiq havoda kristallarni kerakli o'lchamlarda qirqish jarayonlarida esa bu oksid qatlami $50\text{--}100 \text{ \AA}$ larni tashkil etadi. Natijada biz kristall sirti deb ta'riflayotgan yuza, aslida shu modda oksididan iborat bo'ladi. Shuning uchun modda xususiyatlarini o'rganayotganda ularning oksid parda hosil qilish xossalarini e'tiborga olish lozim.

Ko'p hollarda bunday qatlamlardan modda sirtini himoyalovchi vosita sifatida, planar texnologiyalarda esa mikroelementlar orasidagi to'siq sifatida foydalaniladi.[17]

Demak, yarimo'tkazgichli moddalarni elektrofizik xossalarini o'rganishda, ulardan turli xil elektron asboblari tayyorlashda bu qatlam xususiyatlarini, xususan, bunday yarimo'tkazgich—oksid chegarasidagi jarayonlarni bilish va ularni e'tiborga olish zarur ekan (1.4-rasm). Barcha oksidlar elektr o'tkazuvchanligiga ko'ra dielektrik bo'lgani uchun bunday tizimlar yarimo'tkazgich-dielektrik tipidagi tuzilma deb ataladi. Bu tuzilmaning xossasini o'rganish uchun unga metall kontaktlar qilinishi tufayli tuzilma metall-dielektrik-yarimo'tkazgich (MDYa) ko'rinishiga ega bo'ladi. Bu tuzilmada dielektrik (ya'ni oksid) qatlami elektr maydoni, temperatura, radiatsiyalar ta'siriga sezgir, yarimo'tkazgichli qatlam xossalari esa nisbatan kamroq o'zgaradi.



1.4.-rasm. Ikki o'lchamli tekislikda oksidlovchi qatlam strukturasi:

1— tugallanmagan bog'lanish; 2 — ko'priksimon kislorod; 3 — ko'priksiz kislorod; 4, 5 — harakatchan musbat va manfiy ionlar.

Bunday tuzilmada tok tashuvchilarning harakati asosan yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasining xossalariga bog'liq bo'ladi.

Yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasidagi sirt holatlarining paydo bo'lishiga kristall sirtidagi kislorod atomlarining diffuziyalanishi tufayli erishiladi.[9]

Bu sohadagi sirt holatlari toza atomar sirtidagi holatlardan ancha kam ($\sim 10^{13} \text{ sm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$) va ularning energetik holatlari yarimo'tkazgichning taqiqlangan sohasida joylashgan. Bu holatlarga xos bo'lgan umumiy bir xususiyat — ularning butun taqiqlangan sohada energiyasi bo'yicha kvaziuzluksiz holdagi taqsimotidir. Ular taqiqlangan sohani ma'lum energetik oraliqda bir tekisda taqsimlanib, soha chegaralarida monoton ravishda ortib boradi.

Chegara sohasidagi bunday holatlarning paydo bo'lish mexanizmi va ularning mikroskopik tuzilishi haqida aniq bir fizik-kimyoviy

tushunchalar haligacha mavjud emas. Shunday bo'lsada, to'plangan ilmiy-amaliy ma'lumotlar asosida ular haqida umumiy tasavur hosil qilish mumkin.

Misol uchun kremniy-dioksid kremniy rusumidagi tuzilmani ko'rsatadigan bo'lsa, kremniy sirtida SiO_2 dielektrik qatlamni hosil qilish asosan $800-1200^\circ \text{C}$ da kremniyni kislorod oqimi ostida qizdirish orqali hosil qilinadi. SiO_2 qatlamning o'sishi $\text{Si} - \text{O} \rightarrow \text{SiO}_2$ kimyoviy reaksiya orqali boradi va uning tezligi temperatura va kislorod zichligi orqali boshqariladi. Bunday diffuziya jarayonlari tufayli Si va SiO_2 qatlamlari orasida $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiO}_n\text{-Si}$ tipidagi o'tish qatlami vujudga kelishiga olib keladi ($n=2-0$). Bunday o'tish qatlamining tekislikdagi ko'rinishi berilgan. Bunday ko'rinishga o'tish sohasidagi kremniy atomlarining buzilgan valent bog'lanishlari, ya'ni elektronlari uzilib, bo'sh qolgan holatlar musbat zaryadlar manbai bo'lib xizmat qiladi. Bunday markazlarni kremniy kristalida va SiO_2 qatlamida mavjud bo'lgan metall atomlari bilan o'zaro ta'sirlashuvi ularni qayta taqsimlanishiga olib keladi. Ayrim atomlar SiO_2 qatlam hajmiga kirib qolib, undagi elektr neytrallikni buzadi, boshqalari kremniy kristali ichida diffuziylanadi. Bunday taqsimotni belgilovchi omil segregatsiya koeffitsiyenti (η) hisoblanadi, ya'ni atomlarning Si va SiO_2 dagi diffuziya koeffitsiyentlari nisbati $\eta = \frac{D_{\text{Si}}}{D_{\text{SiO}_2}}$. (1.25). Agar $\eta < 1$ bo'lsa, SiO_2 qatlam aralashma atomni itaruvchi bo'ladi va Si ni chegaraga yaqin qismida bunday atomlar soni ko'proq bo'ladi, $\eta > 1$ bo'lsa — aksincha.

Bunday jarayonlar tufayli o'tish sohasida musbat va manfiy zaryadlangan metall ionlari, Si—O birikmalarining buzilgan aloqalari kabi tarkibiy buzilishlar vujudga keladi.

Yana SiO_2 bog'lanish aniq bir shaklga ega emasligi, Si—O bog'lanish uzunligi $1,56 \text{ \AA}$ dan $1,66 \text{ \AA}$ gacha, O—O bog'lanishlari $2,5 \text{ \AA}$ dan $2,7 \text{ \AA}$ gacha o'zgarib turishini e'tiborga olsak, o'tish sohasini aniq shaklini tasavur qilish qiyinligi ma'lum bo'ladi. Bulardan tashqari, SiO_2 qatlami hajmida quyidagi turdagi nuqsonlar ham bor:

$\equiv \text{Si}$ — uch valentli Si — donor;

$\equiv \text{Si} - \text{O}$ bog'lanmagan O — amfoter markaz;

$V_0 \equiv \text{Si} \dots \text{O}$ kislorod vakansiyasi — ikkilanma donor;

$V_{\text{si}} \equiv$ kremniy atomi vakansiyasi — donor;

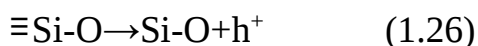
O_1 — tugunlararo kislorod — donor;

Si_1 — tugunlararo kremniy atomi — ikkilanma donor;

$O_2, V_0, \text{Si-H}, \text{Si: OH}, \text{M-O}$ va boshqa komplekslar.

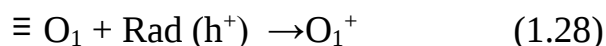
Kremniyda esa $V, V\text{-P}, O_1, Si_1, O_s, M, \text{M-O}, \text{O-O}$ kabi nuqsonlar mavjuddir. Bunday nuqsonlarning mavjudligi va tashqi ta'sirlar tufayli ularning o'zaro ta'sirlashuvlari dielektrik-yarimo'tkazgich chegarasidagi sirt holatlariga ham ta'sir etadi. Mana shunday fizik-kimyoviy jarayonlar natijasida musbat va manfiy zaryadli markazlar paydo bo'ladi.

$\equiv \text{Si-O}$ bog'lanmali komplekslari erkin elektronlarni tutib olib, bo'sh o'rin — kovaklar hosil qiladi:

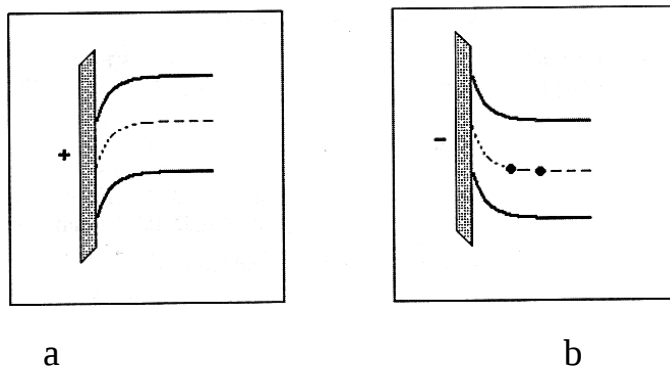


Bu esa oksid qatlamida manfiy, chegara sohasida esa musbat zaryadlar hosil bo'lishiga olib keladi. Si-SiO_2 strukturalar nurlantirilganda chegaraviy sohada $\equiv \text{Si-OH} + \text{Rad} \rightarrow \equiv \text{Si} + \text{OH}^+$, (1.27.)

oksid qatlamda esa $\equiv \text{Si} + \text{Rad} (h^+) \rightarrow \text{Si} + e^-$,



reaksiyalar tufayli gidroksil, kislorod, kremniy ionlari, erkin elektronlar kabi zaryadlar hosil bo'ladi va ular sirt holatlar tabiatini belgilaydi. Agar MDYa tuzilmasi tashqi elektr maydonga kiritilsa Si-SiO_2 chegarasida yarimo'tkazgich tomonida elektronlar to'planishi (boyitilishi) yoki kamayishi kuzatiladi.[9]



1.5-rasm. n-tip Si sohasidagi energetik diagrammani ko'rinishi a- MDYa ning metall kontaktga musbat kuchlanish qo'yilganda, b- metall kontaktga manfiy kuchlanish qo'yilganda

Elektronlarni ko'payishidan kamayishiga o'tish chegarasida, ya'ni inversiya chegarasidagi tashqi kuchlanish kattaligi tekis soha kuchlanishi deyiladi. Si—SiO₂ chegarasidagi sirt holatlarini o'rganishning asosiy usullaridan biri MDYa turidagi tuzilmalarni volt-farada, ya'ni C—V xususiyatlarini o'rganishdir. Bu usul MDYa strukturalarning C—V xususiyatlarini o'lchab, ularni nazariy hisoblangan xossalari bilan solishtirishdan iborat. Bunday o'lchovlar asosida chegaraviy sohadagi sirt holatlarining $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ gacha bo'lgan miqdorlarni aniqlash mumkin.

1.3. Yupqa dielektrik qatlamlar olish texnologiyalari

MDYa strukturalarni tayyorlashda yupqa dielektrik qatlamlarining roli juda katta. Elektr maydoniga, temperaturaga, radiatsiyalar ta'siriga juda sezgir bo'lgan yarimo'tkazgich qatlamlarining elektrofizik xossalarini o'zgarishidan saqlash maqsadida yupqa dielektrik qatlamlari ya'ni yupqa oksid qatlamlari bilan himoya qilinadi. Oksidlarning elektr o'tkazuvchanligi yomonligi sababli dielektriklar hisoblanadi. Bunday dielektrik qatlamlarga bir nechta talablar qo'yiladi. Bular :

- Boshlang'ich taglik sirtiga difuziyalanuvchi elementlarning (bor, surma, arseniy va boshqalar) kirishini to'la himoyalash;
- Vaqt davomiyligida kimyoviy barqarorlik va turg'unlik;
- Bir jinslilik, nuqsonsizlik;
- Yuqori solishtirma qarshilik va elektr mustaxkamlik;
- Yuqori mexanik mustaxkamlik kabilardir;

Bunday talablarga to'la javob beradigan modda bo'lmasada lekin ayrim

talablarni qanoatlantiradigan moddalar uchraydi. [11]

Yupqa dielektrik qatlamlar olishning planar texnologiyada quyidagi usullaridan foydalaniladi. Bular :

- 1.Kremniyni termik oksidlash;
- 2.Pirolitik o'tkazish usuli;
- 3.Anodli oksidlash usuli;
- 4.Past temperaturali ion plazma yordamida oksidlash;

Ko'rsatilgan usullar yordamida yupqa dielektrik qatlamlar olishni ko'rib chiqsak.

1. Kremniyni termik oksidlash.

Boshlang'ich kremniy taglikni ustida oksidlovchi muhitni qizdirish natijasida himoyaviy dielektrik SiO_2 pardasini hosil qilinadi. Bu usul qalinligi va tuzilishi bo'yicha tekis hamda yuqori himoyaviy va dielektrik xossaga ega bo'lgan sifatli niqoblovchi parda olish imkoniyatini beradi.

1a.) Kremniy sirtida yuqori tozalikdagi himoyaviy dielektrik parda olish uchun *suv bug'ida oksidlash usulidan* foydalaniladi. Bug' miqdori reaksiya tezligining chegaralanmagan holda yuqori temperaturada suv bug'i va kremniy reaksiyalari yuz beradi. Suv bug'i portsial bosimini saqlash uchun kremniy plastinkalar sirtida suvni qizdirilib turiladi. Oksid pardasining shakllanishi kremniy sirtiga oksid qatlam orqali suvning diffuzion ko'chishi hisobiga bo'ladi. Albatta oksid qatlami o'sish tezligi taglikning yo'nalishiga elektr o'tkazuvchanlik turiga va taglikdagi kirishmalar zichligiga bog'liq. Oksid qatlamning oksidlanish reaksiya jarayoni natijasida kremniyda vodorodni paydo bo'lishi va uning ichki tomon diffuziyasi kremniy – oksid qatlamiga ta'sir ko'rsatadi hamda gidrooksidlar paydo bo'ladi.

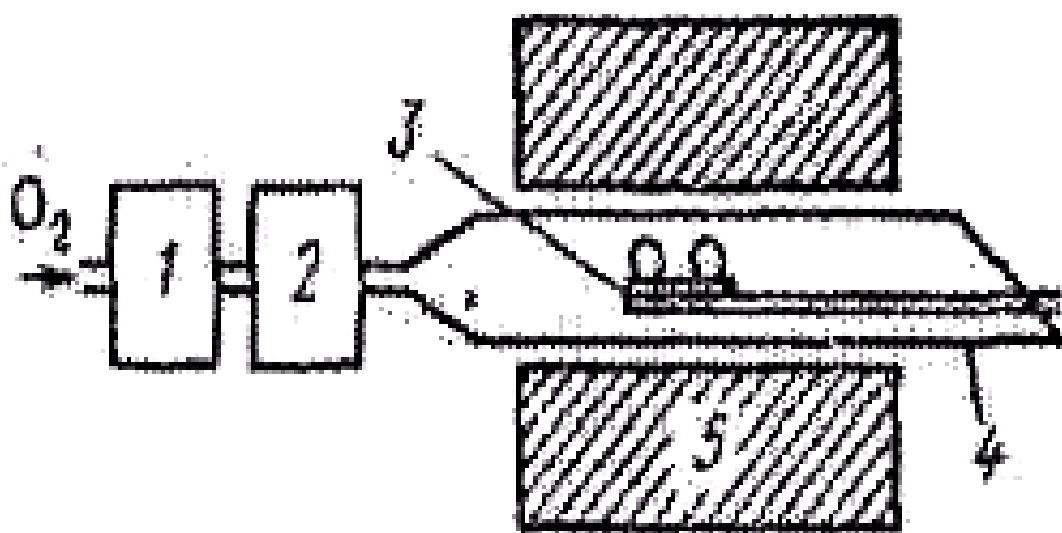
Oksidlanish jarayoni 1100°S dan yuqorida oksid qatlamining x qalinligi parabolik qonun $x^2 = bt$ bo'yicha, past temperaturada esa $x^2 + b_1x = b_2t$ qonun bo'yicha o'sadi. Oksidlanish temperaturasi qancha kichik bo'lsa oksid qatlam o'sish qonuni chizilikka shuncha yaqin bo'ladi. Bu xol $500-800^\circ\text{S}$ da, yuqori bosimli suv bug'i atmosferasida oksidlanishda kuzatiladi.

1b.) Yuqori temperaturada kremniyni termik oksidlash quruq kislorodli

muhitda amalga oshiriladi. Bunda hosil bo'ladigan parda yuqori sifatli niqob (dielektrik) xossasiga ega bo'ladi. Kremniy oksid chegarasida bog'langan zaryadlar kam bo'lishini ta'minlaydi.

Atmosfera bosimida oksidlash jarayonining temperaturasi 850°S - 1200°S oralig'ida bo'ladi. Oksidlashni ancha past temperaturalarda ham olib borish mumkin. Biroq bu holda oksid o'sishi sust bo'ladi. Past temperaturalarda kislorod bosimini oshirish oksidlanish jarayonini tezlashtirish imkonini beradi.

Bu usulga tegishli qurilma sxemasi quyidagi rasmda tasvirlangan.



1.6- rasm. Quruq kislorodda oksidlash uchun qurilma sxemasi;

1- Quritgich ; 2- Filtr ; 3- Plastinka ushlagich ; 4- Kvarts reaktor; 5- qarshilik pechkasi

Qurilma kirishma diffuziyasi jarayonini o'tkazish uchun qo'llaniladigan qarshilik pechkasi (5) dan iborat. Ishchi zonada temperatura 900 - 1200°S oralig'ida o'zgartirilishi mumkin. Biroq temperatura aniqligi $\pm 1^{\circ}\text{S}$ sathda ushlab turiladi. Pechkaning ichki kanaliga reaktor (4) o'rnatiladi, ushlagich (3) ga plastinkalar o'rnatilib, reaktorga joylashtiriladi. Reaktorni tashqi reaksion muhitdan ajratish uchun shlif bilan qoplanadi. Reaktorga kislorod manbai (bug'lantirgich bilan ta'minlangan suyuq kislorodli Dyuar idish) dan uzutuvchi magistral, quritgich (1) va filtr (2) orqali quruq kislorod kiritiladi. Gaz oqimini tezligi soatiga bir-necha 10

litrni tashkil etadi. Uzatuvchi magistralga jo'rak ulangan bo'lib, kislorod sarfini boshqaradi va ratometr uning sarfini o'lchash uchun ulanadi. Kislorodda kremniyning termik oksidlanishi natijasida parda hosil bo'lishi quyidagi reaksiya bo'yicha ifodalanadi: $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ (2.11)

Reaksiya natijasida kremniyda Si – SiO o'tish sohasi vujudga keladi. Kremniyning sirtiy xajmida ma'lum bir qalinlikdagi SiO₂ li yupqa dielektrik qatlam olinadi. Oksid o'sish tezligini temperaturaga va parda qalinligiga bog'liqligini turli bosqichlarda nazorat qilish mumkin. Oksidlanish tezligi past temperaturalarda, asosan kremniy-oksidi chegara qismidagi kimyoviy reaksiya kinetikasi bilan aniqlanadi.

Yarimo'tkazgichli asboblarda va IMS lar ishlab chiqarishda kremniyni oksidlashning ikki va uch bosqichli usullaridan keng foydalaniladi. Bu usullar yuqorida ko'rilgan usullarning umumlashgan ko'rinishidir. Bunda oksidlovchi sifatida quruq kislorod, nam kislorod yoki suv bug'i va yana quruq kisloroddan ketma-ket foydalanishga asoslanilgan. Termik o'stirilgan pardalarning chegara qalinligi 1-1,5 mkm dan oshmaydi. Planar texnologiyada amaliy maqsadlar uchun oksidli himoya pardalarning qalinligi 0,2-0,8 mkm. da bo'lishi kifoya. [11,12,14]

2. Kremniy oksid pardalarini prolitik o'tkazish usuli .

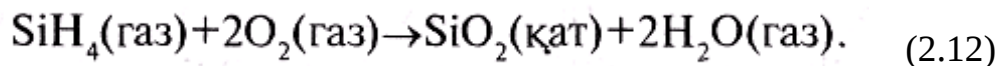
Bu usul kremniy oksid pardasini har qanday materialdan tayyorlangan taglikka o'tkazishi mumkin. Uning zaruriy afzalligi shundaki bu jarayon ancha past temperaturalarda amalga oshiriladi.

2a.) Tetraetoksisilanning termik parchalanishi. Bu jarayonda reaksiya mahsulotlari to'g'ridan-to'g'ri taglik sirtiga yoki alohida kameraga beriladi. Tetraetoksisilanning Si(OC₂H₅)₄ parchalanish reaksiyasi 700-750°C temperaturalarda ro'y beradi. Reaksiya natijasida kremniy to'rt oksidi, kremniy oksidi, uglerod oksidi va gaz ko'rinishidagi organik radikallar ajralib chiqadi. Bu reaksiyada kislorod manbai bo'lib tetraetoksisilan o'zi xizmat qiladi.

Agar tetraetoksisilanni parchalanishi taglik bilan bitta kamerada o'tkazilsa, unda taglik temperaturasi piroliz temperaturasi bilan bir xil bo'ladi. Agar parchalanish reaksiyasi bir kamerada, taglik boshqa kamerada bo'lsa, unda taglik

temperaturasi piroliz temperaturasiga nisbatan ancha kichik bo'ladi.

2b.) *Silanning kislorod bilan oksidlanishi.* Bu usulda kremniy to'rt oksid hosil bo'lishida reaksiya o'tishi uchun tashqi qizdirishning zarurati yo'q, biroq yuqori sifatli kremniy oksidi pardasini olish uchun jarayon 150°S-300°S da olib boriladi:



Bu jarayonlarni o'tkazish uchun boshlangich moddalar bo'lib monosilan SiH_4 , argon yoki azot (gaz-tashuvchi) va kislorod aralashmasidan foydalaniladi. Kuchli inert gaz bilan aralashtirilgan silan (3-10%) keng oraliq temperaturada kremniy to'rt oksidni o'tirish tezligi 10-50 nm/ min.ga erishish mumkin.

Kisloroddan tashqari oksidlovchi sifatida kislorodi mavjud birikmalar N_2 O, CO_2 , N_2O lardan foydalanish ham mumkin.

Yuqoridagi usulda olingan SiO_2 parda plastinka sirti bo'ylab qalinligi bo'yicha tekis, kimyoviy tarkibi barqaror va diffuziya jarayonini o'tkazishda yaxshi niqob (dielektrik) xossaga ega bo'ladi. Bu usulda olingan SiO_2 parda asosiy xususiyatlaridan biri ularda yedirish tezligining ancha yuqoriligidir. [14]

3. Anodli oksidlash usuli.

Kremniyni anodli oksidlash usulining ikki xili mavjud: suyuq elektro-litda kremniy sirtini oksidlash va gaz plazmada oksidlash. Birinchi hol uchun jarayon elektrolitik anodlash, ikkinchisi uchun gazli anodlash deyiladi.

3a). *Elektrolitik anodlash.* Anod oksidlanish asosan o'zgarmas tok rejimida o'tkaziladi. Bu rejimni amalga oshirish uchun kerakli sharoitni yaratish kerak. Bunda parda qalinligi o'sishi bilan oksidga qo'yilgan kuchlanish U ortib boradi. Agar oksidda E maydon bir jinsli bo'lsa, unda

$$\frac{dV}{dt} = E \frac{dx}{dt} = \frac{JEM}{aF\rho} \quad (2.13)$$

bo'ladi. Bunda J — chegara qismida ion tok zichligi; M — oksidning gramm-mollardagi miqdori; ρ — uning zichligi; aF — bir gramm-mol oksid hosil qilish uchun kerakli elektr miqdori; $F=9,65 \text{ Kl/mol}$ -Faradey soni.

Elektrolitlar sifatida odatda suv miqdori oz bo'lgan organik eritmalardan

foydalaniladi va undan tashqari oliy spirt yoki glitserindan ham foydalanish mumkin. Elektrolit o'tkazuvchanligini boshqarish uchun HNO_3 , H_2PO_4 , NaOH , NaNO_3 , va boshqalarni kiritish mumkin. Bu birikmalarning anionlari oksidlovchi rolida elektroki-myoviy jarayonlarda qatnashadi.

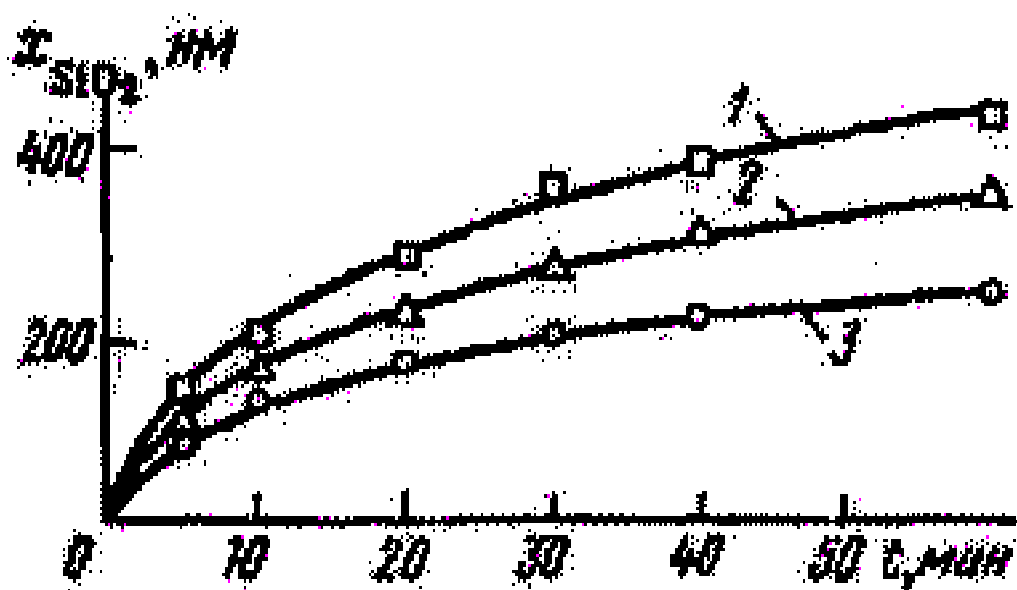
3b.) *Kremniyni gazli anodlash.* Bu usul elektrolitik anodlashga o'xshaydi, farqi shuki, bunda elektrolit o'rniga gazdan foydalaniladi. Gazli anodlash qalin oksid pardalar olish uchun qo'llaniladi. Yuqori chastotali maydon bilan qo'zg'atilgan kislorod plazma, manfiy zaryadlangan kislorod ionlari manbai vazifasini bajaradi. Plazmadagi kislorod ionlari kremniy plastinkalar bilan ta'sirlashadi. Oksidning o'sishi anod oksidlash o'tkazish rejimiga, ya'ni ishchi kameraning bosimiga, temperaturaga va plazma zichligiga bog'liq.

4. *Past temperaturali ion - plazma yordamida oksidlash usuli .*

Bu usul hatto uy temperaturasida yuqori tezlikda pardalar olish imkonini beradi. Bu jarayon yaxshi boshkariladi. Oksid o'sish tezligini oksid orqali yarimo'tkazgich atomlari yoki oksidlovchi agent zarrachalar diffuziyasi yoki dreyfi belgilaydi. Past temperaturalarda diffuziya tezligining ortishi o'suvchi qatlamda diffuziyanuvchi zarrachalar kontsentratsiyasi gradiyenti o'sishi xisobiga; yarimo'tkazgich sirt qismi-oksidi va oksid-tashqi muhit orasidagi tezlashtiruvchi maydon o'sishi bilan dreyf tezlikning ortishi hisobiga bo'ladi. Bu ikki omil kislorod tarkibli plazmada oksidning o'sish mexanizmiga ta'sir qiladi.

Kislorod plazmada oksidlanish 50—200 Pa bosimda olib boriladi. Razryadni qo'zg'atish yuqori chastotali maydon (2,5 GGts.gacha) bilan amalga oshirilib, razryadda quvvat 200 dan to 1000 Vt gacha o'zgarishi mumkin. Qurilma uzluksiz nazoratda bo'lib, chiqindilar hajmdan chiqarilib turiladi. Reaktsion chiqindilarni hajmdan uzluksiz chiqarishni pretsi-zion jo'mrak-yig'uvchi yordamida nazorat qilinib, kislorod oqimida plazma dinamik rejimda ushlab turiladi. Plazmaning o'rtacha parametri quyidagilar: Elektron temperatura $5 \cdot 10^4$ K, taglikka nisbatan anod potentsial +35 V, plazma zichligi $\sim 10^{13}$ el/sm³, ionlanish darajasi (5-6) $\cdot 10^{-2}\%$. Kremniy plastinka yerga ulangan katodga nisbatan musbat potentsial (+50÷400V) ostida turadi. Kremniyning oksidlanishida oksidning o'sish tezligi 8-

18 nm/min da bo'ladi.

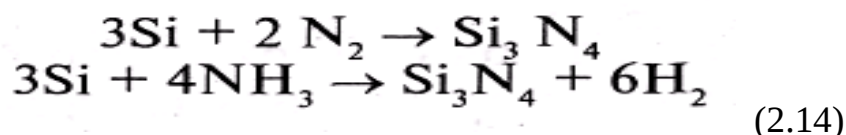


1.7-rasm. O'ta yuqori chastotali qo'zg'atilgan $N=600$ Vt, $r=20$ Pa da taglikning turli potentsialli $1>2>3$ da kislorod plazmada kremniyning oksidlanishi

Kremniyni nitrit qoplamalarini hosil qilish va aralash qoplamalar. SiO_2 himoya qatlamlarini ba'zi xollarda qo'llash mumkin bo'lmay qoladi. Bunday xollarda kremniy nitridi Si_3N_4 va oksid kombinatsiyasidan foydalaniladi.

Kremniy nitridi ancha yuqori kimyoviy issiq barqarorlikka, elektr chidamiylikka, dielektrik singdiruvchanlikka va yaxshi niqoblash xossasiga ega. $Si_3N_4-SiO_2$ tizimda keng sonli kimyoviy birikmalar — kremniy oksinitridlar hosil qilish mumkin. Uning keng tarqalgan kremniy oksinitridlaridan biri Si_2ON_2 .

Kremniy nitridi qatlamini kremniy sirtida vujudga keltirish mumkin. Buning uchun azot yoki uning aktiv birikmalari bilan kremniy sirti nitridlaniladi. Sirtni to'g'ridan-to'g'ri nitridlash quyidagi reaksiyalar bo'yicha boradi:



Birinchi reaksiyaga asosan, kremniy nitridi pardasini ochiq nay usulida olish mumkin. Ishchi kameraga kremniy plastinkalari joylashtiriladi va u orqali azot oqimi o'tkaziladi. Temperatura $1200^\circ S$ va azot oqim tezligi $300 \text{ sm}^2/\text{min}$ da kremniy plastinka sirtida kremniy nitridi pardasi hosil bo'ladi. Ikkinchi- reaksiyaga

asosan, kimyoviy reaksiya bo'lishi uchun temperatura yanada yuqoriroq bo'lishi kerak. Bu usul texnologiyada kam qo'llaniladi. [11,13,14]

Yupqa dielektrik qatlamlarning sifatini nazorat qilish.

MDYa strukturalarning yupqa dielektrik qatlamlari asosan kremniy to'rt oksidi va kremniy nitrididan iborat bo'ladi. Umuman, yupqa dielektrik qatlamlar tayyorlashda ularning sifat ko'rsatkichlarini nazorat qilib boriladi, bular:

- 1) parda qalinligi;
- 2) qatlamlardagi qalinlik bo'yicha ochiq tirqishlar;
- 3) kremniy-kremniy dioksidi (yoki kremniy nitridi) chegara qismidagi nuqsonlar miqdori.

Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida dielektrik parda qalinligi mikrotortish, interferometr va ellipsometr usullarida aniqlaniladi.

Mikrotortish usuli namuna taglikka dielektrik pardani qoplamasdan oldin va qoplangandan so'ng mikrotortishga asoslangan. Rang (interferentsiya) usulida ximoyaviy parda – taglik sirtiga tushuvchi oq nurni to'ldiruvchi interferentsiyaga asoslangan. Oq yorug'likning ma'lum bir qismi so'ndiruvchi interferentsiyada qatnashib, pardaning sirti bir rangda ko'rinadi. Rang usulida parda qalinligini aniqlashda nisbiy xatolik 10% dan oshmaydi. Ellipsometrik usulda SiO_2 va Si_3N_4 – pardalarning qalinligini o'lchash chizig'i bo'yicha qutblangan nurning ximoyaviy parda sirtidan qaytishiga asoslangan. Ma'lum burchak ostida tushgan nur qaytishida elliptik qutblangan to'lqin xosil bo'ladi. Qatlamdagi ochiq tirqishlar ya'ni g'ovoklarni aniqlashda bir necha usullardan foydalaniladi. Misni elektrolitik o'tkazish usulida kremniy dioksidi sirtida vujudga keltirilgan plastinka mis ionli elektrolitga joylashtiriladi. Unga manfiy potentsial beriladi. Elektroliz jarayonida mis ionlari plastinkadagi g'ovoklar bor joylarga o'tiradi. Bu joylarning miqdoriga qarab parda sifati to'g'risida xulosa chiqariladi.

Diffuzion legirlash usulida diffuziya jarayonini o'tkazilgandan so'ng pardaning qayerida g'ovoklar bo'lsa o'sha yerdan diffuziya boradi, ya'ni maxalliy p-n o'tishlar xosil bo'ladi. Keyin kimyoviy parda taglikdan ketkaziladi va maxalliy p-n o'tishlar pardalardagi g'ovoklar miqdori to'g'risida ma'lumot olish imkonini beradi. [11]

Elektrografik usulida xam pardalardagi g'ovoklar nazorat qilinadi. Gidroxinonning 3% - 4% li eritmasidan qo'llangan foto qog'ozlar plastinkalar sirtiga joylashtiriladi. Foto qog'ozli plastinkaga ikkita metall disk – elektrod disk qisib, ular orqali tok o'tkazaladi. Bu toklar ta'sirida foto qog'ozda g'ovoklar tasviri xosil bo'ladi. Pardadagi nuqsonlar miqdori va o'lchami mikroskop yordamida aniqlanadi. Dielektrik-yarimo'tkazgich chegarasi xolati, undagi zaryad tashuvchilar zichligi, sirt potentsiali, dielektrikdagi qo'zg'almas zaryadlar sirt xolatlari zichligi, qo'zg'almas zaryadlar turg'unligi, sirt xolatlarining relaksatsiya vaqti bilan baxolanadi. Bu parametrlar MDYa strukturalarning sig'im-kuchlanish xarakteristikalaridan aniqlaniladi.

II. MDYA STRUKTURALARNI TADQIQ ETISH

2.1. MDYa strukturalarning volt – amper xarakteristikasi

MDYa-tranzistorning kuchli va kuchsiz inversiya sohasidagi VAXi.

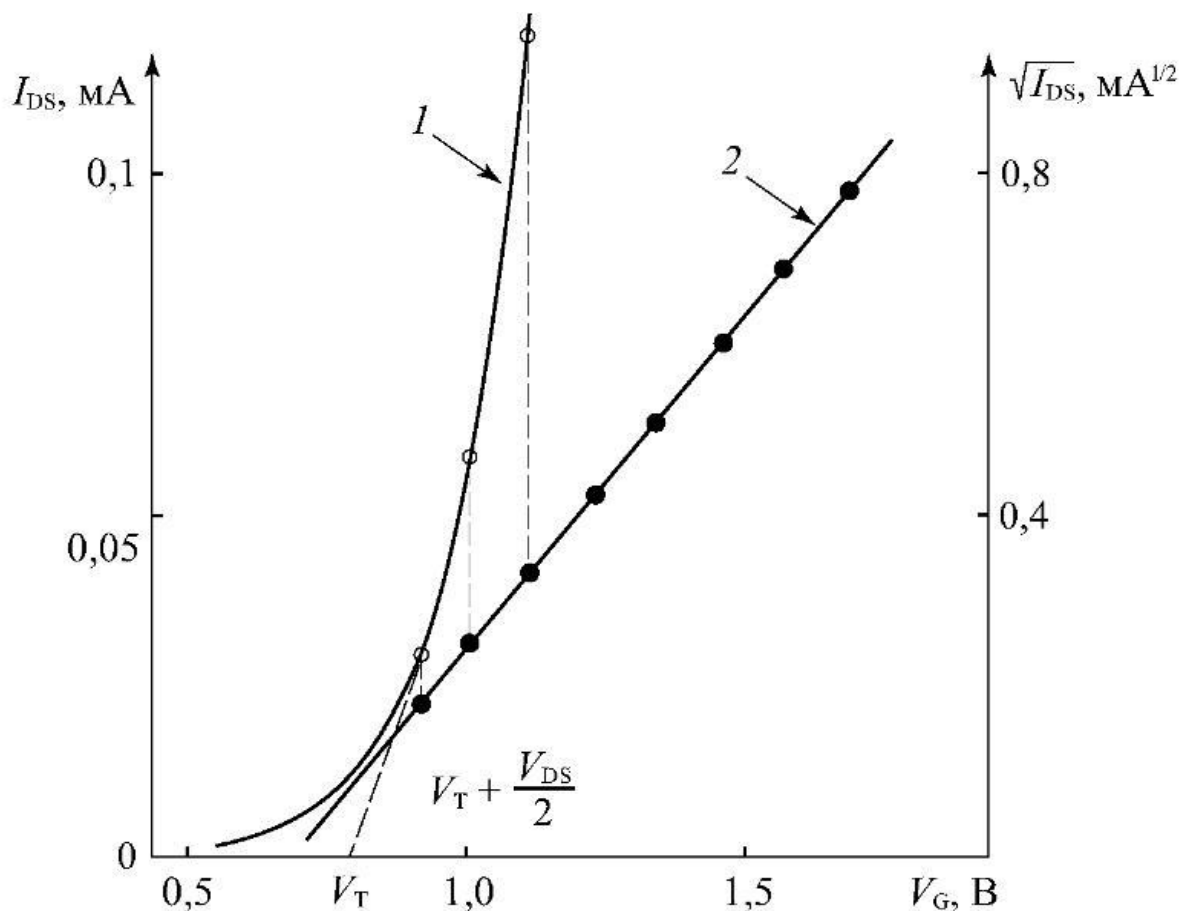
Kuchli inversiya sohasida

$$\int_0^L I_{DS} dy = -W \mu_n Q_n (\psi_{s0}) \int_0^{V_{DS}} d\varphi_c . \quad (2.1)$$

Kuchli inversiya sohasida, uzluksizlik tenglamasining o'ng tarafida ohirgi had asosiy o'rin egallashini xisobga olgan holda integrallashdan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_{DS} = \frac{W}{L} \mu_n C_{ox} (V_G - V_T) V_{DS} . \quad (2.2)$$

Shuni ta'kidlab o'tish lozimki, kuchli inversiya sohasida MDYa tranzistorining VAXi (2.1) rasmdagi kabi shaklga ega bo'ladi. [16]



2.1-rasm. kuchli inversiya sohasida MDYa tranzistorining VAXi

Qirqilgan kanal soxasida stok toki I_{DS} ning zatvordagi kuchlanish V_G ga bog'lanish grafigi 1- egri chiziq; stok toki ildizi $\sqrt{I_{DS}}$ ning zatvor kuchlanishiga bog'liqligi 2- egri chiziq

Kuchsiz inversiya soxasida

$$\int_0^L I_{DS} dy = -W \mu_n C_B \frac{kT}{q} \exp(\beta(\psi_{s0} - 2\varphi_0)) \int_0^{V_{DS}} \exp(\beta \frac{m}{n} \varphi_c) d\varphi_c. \quad (2.3)$$

Ushbu ifodani integrallagandan so'ng va bu xolda uzluksizlik tenglamasining qiymatini

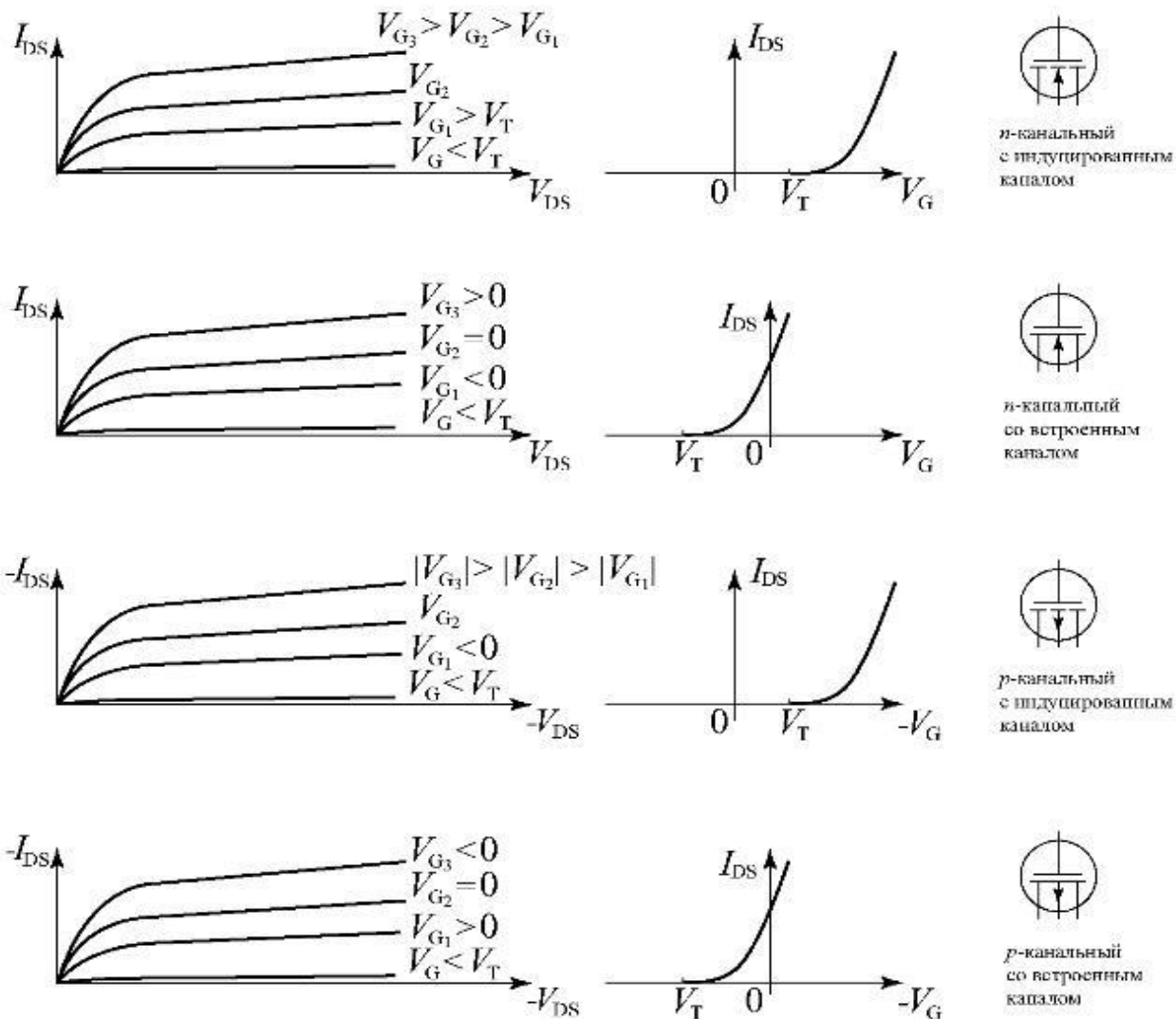
$$V_{GS} - V = n(\psi_{s0} - 2\varphi_0), \quad (3.4)$$

ni xisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_{DS} = \frac{W}{L} \mu_n C_B \frac{n}{m} \left(\frac{kT}{q} \right)^2 \exp\left(\frac{\beta(V_{GS} - V_T)}{n} \right) (1 - \exp(\beta \frac{m}{n} V_{DS})). \quad (2.5)$$

(3.5) ifoda MDYa tranzistorning kuchsiz inversiya sohasidagi VAXsi xisoblanadi.

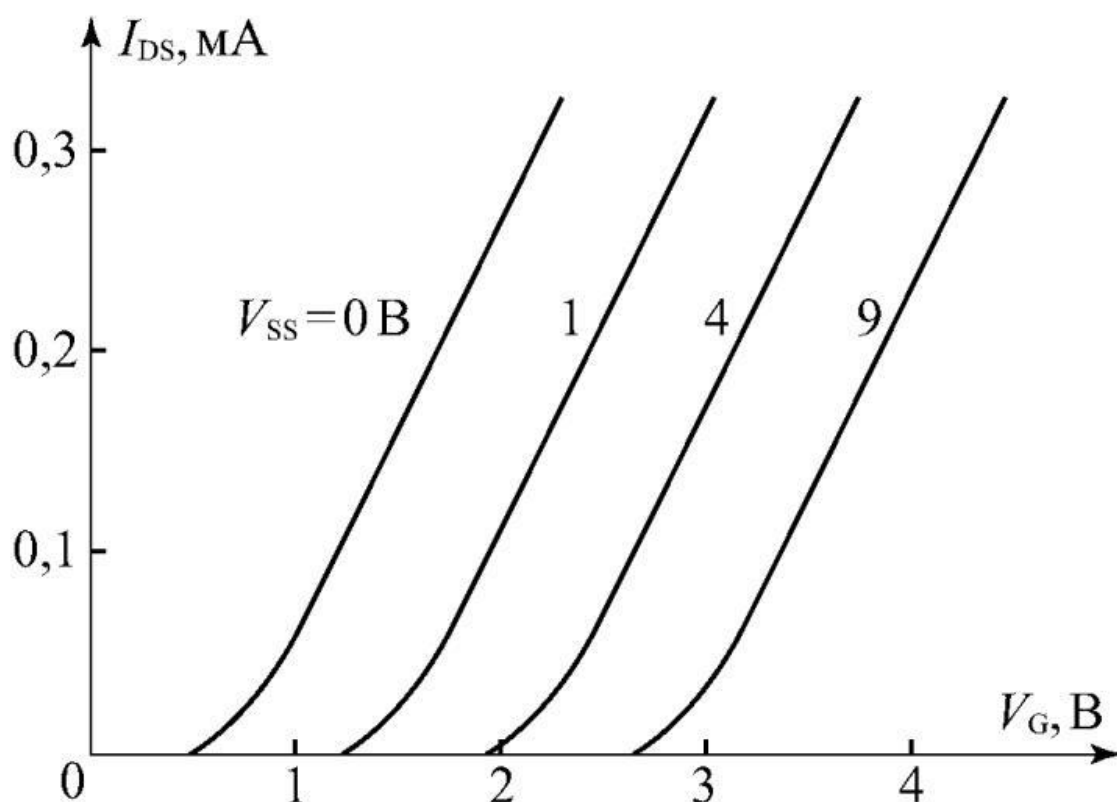
3.2 va 3.3 rasmlarda tranzistorning ushbu sohadagi o'tkazish va o'tish xarakteristikalarini keltirilgan. [8,15,16,18]



2.2-rasm

Induksirlangan va joylangan n-kanalli va p-kanalli

MDYa-tranzistorlarining VAX



2.3-rasm

Kanal-taglik siljish kuchlanishi V_{SS} ning tranzistorning o'tish xarakteristikalariga ta'siri

Shunisi e'tiborliki, kuchsiz inversiya sohasida stok toki I_{DS} ning zatvor kuchlanishi V_{GS} ga bog'lanishi eksponentsial ko'rinishda va bu eksponentsial bog'lanish uzoq tartibda saqlanib qoladi. Stok toki stok kuchlanishiga deyarli bog'liq bo'lmaydi, istok-stok kuchlanishi V_{DS} voltning ulushlaricha qiymatlarida to'yinish qiymatiga erishadi. Eslatib o'tish lozimki, zaif ushlashda ($N_{ss} \rightarrow 0$) kanal toki diffuzion tabiatga ega. MDYa tranzistor zatvor kuchlanishi V_{GS} ning chegaraviy qiymati V_T dan yuqori qiymatlarida va stok kuchlanishi V_{DS} —otsechka kuchlanishi V_{DS}^* dan katta kiymatlarda ishlaganda ya'ni to'yinish tokida, vaziyat ancha murakkablashadi. Otsechka toki kuchli inversiyadan kuchsiz inversiya sohasiga o'tishga mos keladi. Otsechka nuqtasining chap tomonida, istok tomonda kanal kuchli inversiya sohasida bo'ladi, kanaldagi tok dreyf toki, erkin elektronlar

zaryadi kanal bo'ylab o'zgarmas. Otsechka nuqtasidan o'ngda, stokda kanal kuchsiz inversiya soxasida, kanaldagi tok diffuzion tabiatga ega, erkin elektronlar zaryadi inversion kanal bo'ylab chiziqli o'zgaradi. 3.1 rasmdan ko'rinib turibdiki, kuchli inversiyadan kuchsiz inversiyaga o'tish sohasi $\psi_s = \varphi_c$ bog'lanishda o'ta egilgan egri chiziq bilan ifodalanadi, bu esa kanal tokining diffuzion va dreyf tashkil etuvchilari o'rtasidagi munosabatning o'zgarishini bildiradi. Shunday qilib otsechka sohasida istok yaqinidagi kanal toki asosan dreyf tabiatga ega, otsechka sohasida stokka yaqinlashishi bilan tokning diffuzion tashkil etuvchisi ortib boradi.

Fermi inversion kvazisathidagi tokning taqsimoti φ_c , uning gradiyenti $\frac{d\varphi_c}{dy}$ va erkin tashuvchilar zaryadi $Q_n(y)$ ni aniqlaymiz. Buning uchun kanaldagi to'la tok ifodasidan foydalanamiz (3.6)

$$I_{\text{np}} = -W\mu_n Q_n \frac{d\psi_s}{dy}. \quad (2.6)$$

Haraktchanlik μ_n inversion kanal bo'ylab o'zgarmas deb xisoblaymiz. Tokning uzluksizlik shartidan

$$Q_n(\psi_s, \varphi_c) \frac{d\varphi_c}{dy} = \text{const} \quad (2.7)$$

Aytib o'tish lozimki istok-stok kuchlanishi V_{DS} ning katta qiymatlarida $\mu_n = \text{const}$ shart bajarilmasligi mumkin. Haraktchanlik μ_n ning kanaldagi holatga bog'lanishi uning erkin tashuvchilar kontsentratsiyasiga bog'liqligi bilan tushuntirilishi mumkin. Shuning uchun bundan buyon, $\mu_n = \text{const}$ bo'lganda istok stok kuchlanishi V_{DS} ni kichik deb xisoblaymiz.

Kuchsiz va kuchli inversiya soxalari uchun mos ravishda quyidagilarni olamiz:

$$Q_n = Q_{n0} e^{\frac{m}{n}\varphi_c}; \quad (2.8)$$

$$Q_n = Q_{n0}; \quad (2.9)$$

bu yerda Q_{n0} – kanaldagi elektronlarning $\varphi_s = 0$ bo'lgandagi qiymati.

(2.7), (2.8) va (2.9) ifodalarni quyidagi chegaraviy shartlar bilan integrallaymiz:

$$y=0, y=L, \varphi_s=V_{DS}, \varphi_s=0. \quad (2.10)$$

Kanal uzunligi L ni legirlovchi kirishma kontsentratsiyasining stok va istok yaqinidagi o'zgarish soxasidan ko'p marta katta deb xisoblaymiz.

Fermi kvazisathining kuchsiz inversiya sohasidagi, kanal bo'ylab taqsimoti uchun ifodaga ega bo'lamiz:

$$\varphi_c = \frac{kT}{q} \frac{n}{m} \ln \left[1 - \frac{y}{L} \left(1 - e^{-\beta \frac{m}{n} V_{DS}} \right) \right]. \quad (2.11)$$

Kvazisathning gradiyenti uchun (6.96) ni differentsiallab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{d\varphi_c}{dy} = \frac{kT}{q} \frac{n}{m} \frac{1}{L} \left[1 - \frac{y}{L} \left(1 - e^{-\beta \frac{m}{n} V_{DS}} \right) \right]. \quad (2.12)$$

Inversion kanal bo'ylab (3.7) ko'paytma o'zgarmas qolganligi uchun, erkin elektronlar zaryadi Q_n kanal bo'ylab chiziqli kamayib boradi:

$$Q_n = Q_{n0} \left[1 - \frac{y}{L} \left(1 - e^{-\beta \frac{m}{n} V_{DS}} \right) \right] \quad (2.13)$$

Kuchli inversiya sohasi uchun (2.7), (2.9) va (2.10) ifodalarni xisobga olinganda quyidagi shaklga keladi:

$$\varphi_c = \frac{y}{L} V_{DS}; \quad \frac{d\varphi_c}{dy} = \frac{V_{DS}}{L}; \quad Q_n = const. \quad (2.14)$$

Kuchli inversiya soxasida Fermi kvazisathi φ_s kanal bo'ylab chiziqli o'zgaradi, elektronlarning umumiy zaryadi kanalning har bir nuqtasida o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi.

2.2. MDYa strukturalarning C-V (volt-farad) xarakteristikasi

Metall-dielektrik-yarimo'tkazgich strukturalarning xususiyatlarini o'rganishning keng tarqalgan usullaridan biri, MDYa tuzilmasi sig'imi S_{mdya} ning zatvor kuchlanishi V_G ga bog'lanishini taxlil qilish asosida o'rganish, volt-farad xarakteristikalari (VFX) yoki C-V usuldir. Bu usuldan foydalanish uchun MDYa-strukturalarning sig'im nazariyasi bilan tanishib chiqamiz. Bundan so'ng MDYa-tuzilmasining sig'imini xech qanday indeksiz S xarfi bilan belgilaymiz. Sig'imning ta'rifiga ko'ra,

$$C = \frac{\partial Q_M}{\partial V_G} \quad (2.15)$$

Zatvordagi zaryad miqdori Q_M uchun

$$C_{ox} = \frac{Q_M}{V_{ox}} \quad (2.16)$$

ifodadan va dielektrikdagi kuchlanish tushuvi V_{ox} uchun

$$V_G = V_{ox} + \Psi_s \quad (2.17)$$

(Ψ_s -sirti kuchlanish) dan foydalanib quyidagini olamiz:

$$C = C_{ox} \left(1 - \frac{\partial \Psi_s}{\partial V_G} \right). \quad (2.18)$$

Shunday qilib, MDYa-tuzilmasining sig'imi S ning kuchlanishga bog'lanishi, 2.2-rasmda keltirilgan, $\Psi_s(V_G)$ bog'lanish bilan aniqlanadi. Shuni aytish mumkinki, kuchli inversiya va boyish soxasida S sig'im V_G ga kuchsiz bog'langan bo'lib, V_G ning katta qiymatlarida to'yinadi. Siyraklashish (yoki kambag'allashish) soxasida va kuchsiz inversiyada sig'im deyarli o'zgarmas qiymatga ega. Sig'imning kuchlanishga bog'lanishining umumiy ko'rinishi yaqqol ko'zga tashlanuvchi minimumga ega egri chiziq ko'rinishida bo'ladi.

$$\frac{\partial V_G}{\partial \Psi_s} = 1 + \frac{C_{ss}}{C_{ox}} + \frac{C_{sc}}{C_{ox}}, \quad (2.19)$$

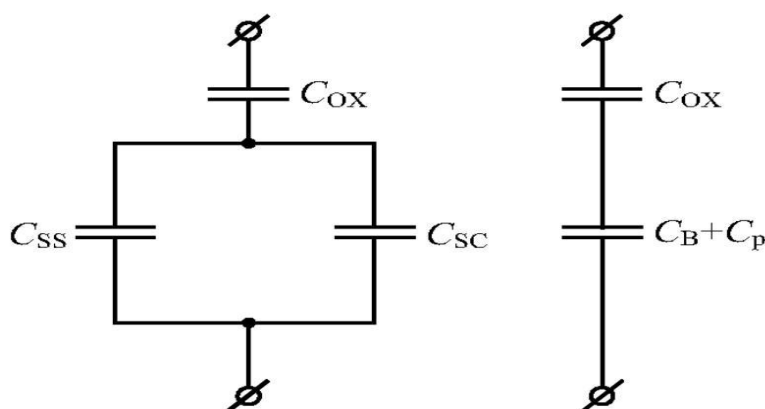
(bu yerda C_{ss} , C_{sc} -mos ravishda sirtiy xolatlar va sirtiy zaryad soxasi (SZS) sig'implari) quyidagi ko'rinishga keladi.

$$C = C_{ox} \left(1 - \frac{C_{ox}}{C_{ox} + C_{sc} + C_{ss}} \right) \quad (2.20)$$

yoki

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_{sc} + C_{ss}}. \quad (2.21)$$

Bu yerda (3.21) ifoda MDYa-strukturalarning ekvivalent sxemasini, S_{ox} ga ketma-ket ulangan o'zaro parallel SZS sig'imi S_{sc} va sirtiy xolatlar sig'imi S_{ss} . 3.4-rasmda MDYa-strukturalar sig'imining ekvivalent sxemasi keltirilgan. Aytib o'tish kerakki ushbu sxemani MDYa-strukturalari tuzilishi xaqidagi umumiy tasavvurlardan kelib chiqqan xolda chizish mumkin.

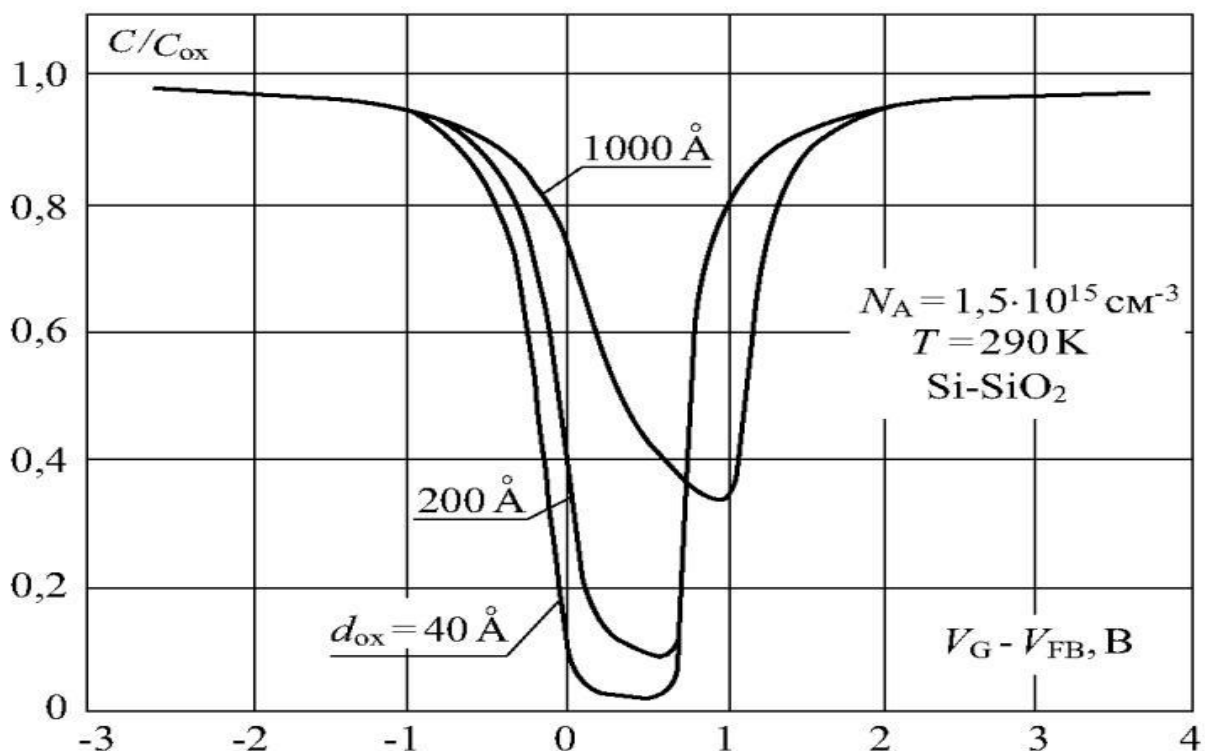


2.4-rasm. MDYa-tuzilmasining eng sodda ekvivalent sxemas

2.5-rasmda dielektrigining qalinligi turlicha bo'lgan ideal MDYatuzilmaning

$$V_G = V_{FB} + \Psi_s + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} \Psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_{ox}}. \quad (2.10.) \quad \text{tenglama asosida xisoblangan C-V}$$

xarakteristikalar keltirilgan. [8.18]



2.5-rasm. Zatvorosti dielektrigining qalinligi har-xil bo'lgan r-tip kremniyli ideal MDYa-tuzilmasining muvozanat xolatidagi C-V xarakteristikalari.

2.3. C-V xarakteristikalaridan MDYa strukturalarning xususiyatlarini aniqlash usullari.

Volt-farad xarakteristikalarining taxlili MDYa-strukturalarning parametrlari to'g'risida keng ma'lumot olishga imkon beradi: yarimo'tkazgich taglikning o'tkazuvchanlik turi haqida (n- yoki r-tip); legirlovchi kirishma konsentratsiyasi va uning yarimo'tkazgich sirtoldi soxasidagi taksimoti; MDYa-tuzilma dielektrigiga joylangan zaryad kattaligi va ishorasi; yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasidagi sirtiy xolatlar zichligi kabi kattaliklarni aniqlash mumkin.

Yarimo 'tkazgich taglikning o 'tkazuvchanlik tipini aniqlash

Yarimo'tkazgichli taglikning o'tkazuvchanlik tipini aniqlash uchun yuqori chastotali volt-farad xarakteristikalaridan foydalanamiz.

3.4-rasmda keltirilgan, ekvivalent sxemaga va yuqori chastotali C-V grafingning shakliga asosan, asosiy tashuvchilar bilan to'yinishda MDYa-

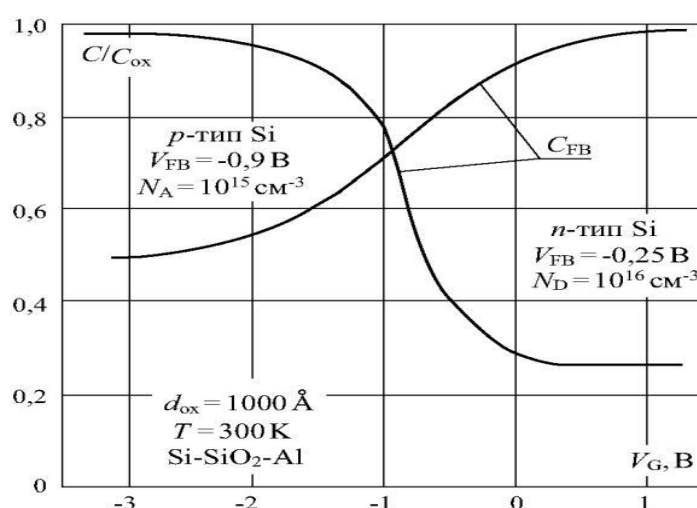
tuzilmaning sig'imi maksimal qiymatga ega va dielektrik sig'imi bilan aniqlanadi. Inversiyada esa MDYa-tuzilmaning sig'imi minimal qiymatga ega. Shunday qilib, agar sig'imning C-V egrichizig'i maksimumi, minimumiga qaraganda, yuqoriroq musbat kuchlanishlar sohasida yotsa taglik n-tip yarimo'tkazgichdan tayorlangan, bordiyu agar C-V egri chiziq maksimumi musbat kuchlanishlar sohasida yotsa, u xolda taglik r-tip yarimo'tkazgichdan yasalgan. 3.6-rasmda n- va r-tip tagliklarning yuqori chastotali VFX lari keltirilgan.[8,15]

Zatvorosti dielektrigining qalinligini aniqlash

Avvalroq ko'rsatilganidek, to'yinishda MDYa-tuzilma sig'imi faqatgina dielektrikning geometrik sig'imi bilangina aniqlanadi:

$$C = C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}\epsilon}{d_{ox}}, \quad (2.22)$$

Bu yerda ϵ_{ox} -oksidning nisbiy dielektrik kirituvchanligi.



2.6-rasm. n- va r-tip yarimo'tkazgichdan tayorlangan
MDYa-strukturalarning VFX lari.

Yuqoridagi ifodadan :

$$d_{ox} = \frac{\epsilon\epsilon_{ox}}{C_{ox}}, \quad (2.23)$$

Eslatib o'tamiz, S_{ox} -zatvorosti dielektrigining solishtirma sig'imi, ya'ni yuza birligiga to'g'ri keluvchi sig'im. (3.23) ga tajribada olingan natijalrni qo'yishdan oldin, sig'imning tajribada olingan qiymatini MDYa-tuzilmasining yuzasi S ga

bo'lib chiqamiz. 3.6 rasmdan ko'rinib to'ribdiki, zatvordagi kuchlanish $V_G - V_{FB} \approx (2 \div 3)$ V bo'lganda deyarli barcha MDYa-tuzilmalar uchun to'la sig'im S dielektrik sig'imidan faqat 2-3% farq qiladi. Faqatgina o'ta yupqa oksid qatlamli $d < 100 \text{ \AA}$ tuzilmalardagina bu farq 10% gacha yetishi mumkin.

Legirlovchi kirishmaning kotsentratsiyasini aniqlash

Legirlovchi kirishmalarning kotsentratsiyasini aniqlash uchun MDYa-tuzilmalar yuqori chastotali C-V xarakteristikalarining quyidagi xususiyatlaridan foydalanamiz: inversiya soxasida ularning sig'imi o'zining minimal qiymati $S_{\min}$ ga erishadi va u ionlashgan donorlar soxasi sig'imi S_V va dielektrikning sig'imi S_{ox} bilan aniqlanadi. Bu xolda

$$\frac{1}{C_{\min}} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_B}. \quad (2.24)$$

Oksidning sig'imi S_{ox} uchun (3.22) ifodani qo'llab quyidagiga ega bo'lamiz:

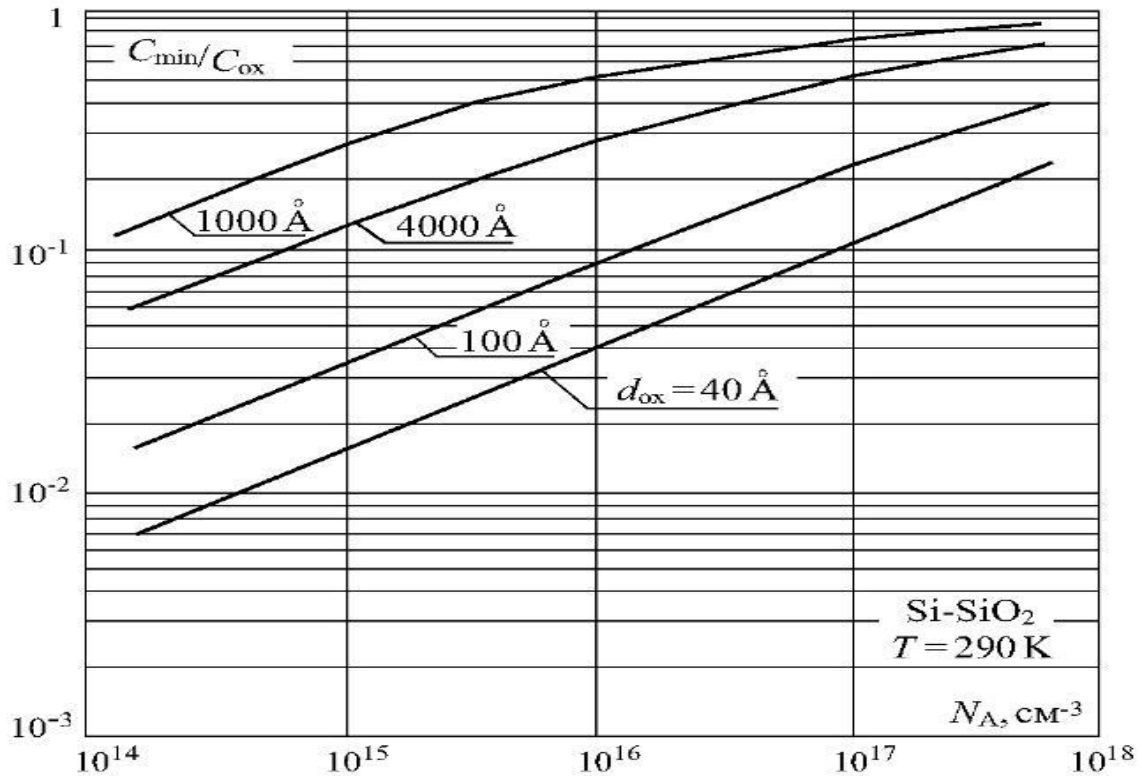
$$C_{\min} = \frac{\varepsilon_{ox} \varepsilon_0}{d_{ox} + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{ox}} W}. \quad (2.25)$$

Ushbu ifoda SZS sig'imi ifodasi bilan birgalikda, kotsentratsiya ifodasini beradi:

$$N_A = \frac{2 \left(2\varphi_0 - \frac{kT}{q} \right)}{\varepsilon_s \varepsilon_0 q} \left(\frac{\frac{C_{ox}}{C_{\min}} - 1}{\frac{C_{ox}}{C_{\min}}} \right)^{-2}. \quad (2.26)$$

2.7-rasmda o'rtachalashtirilgan sig'im $C_{\min}/C_{ox}$ ning Si-SiO₂ sistemasi uchun qalinlik d_{ox} ga bog'lanish nomogrammasi keltirilgan. Parametr sifatida legirlovchi kirishma kotsentratsiyasi N_A olingan. 3.7-rasmdan ko'rinib turibdiki, dielektrikning qalinligi qancha kichik va legirlovchi kirishma kotsentratsiyasi kichik bo'lsa, sig'imning VFX dagi minimaldan maksimalgacha o'zgarishi

shuncha keskin bo'ladi.



2.7-rasm. Legirlovchi kirishmalarining kontsentratsiyasi turlicha bo'lgan MDYa-strukturalardagi, sig'imning o'rtachalashtirilgan qiymati $C_{\min}/C_{\text{ox}}$ ning, yuqori chastotali VAX minimumida, zatvorosti dielektrigining qalinligi d_{ox} ga bog'lanishi.

Joylangan zaryad ishorasi va kattaligini o'lchash

MDYa-tuzilma dielektrigiga joylangan zaryad kattaligi va ishorasini aniqlash uchun odatda yuqori chastotali VFX usulidan foydalaniladi. Buning uchun, zatvorosti dielektrigi d_{ox} ni, legirlovchi kirishma kontsentratsiyasi N_A ni va zatvor metalining chiqish ishini bilgan holda, MDYa-tuzilmalar yassi sohalar sig'imi C_{FB} va yassi sohalar kuchlanishi $V_{\text{FB}} = \Delta\varphi_{\text{ms}}$ ifodalariga asosan hisoblanadi.

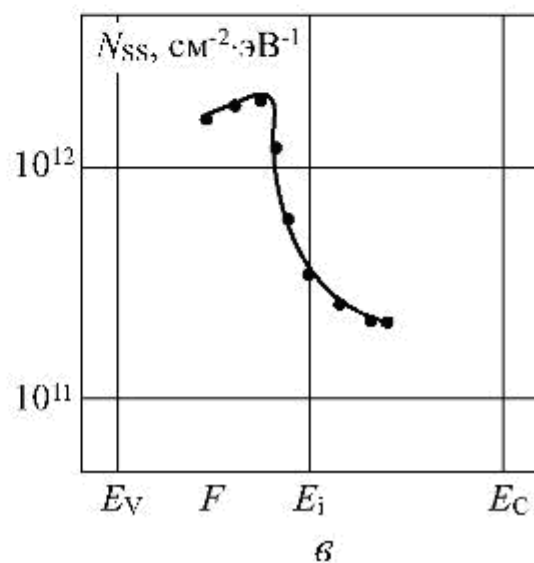
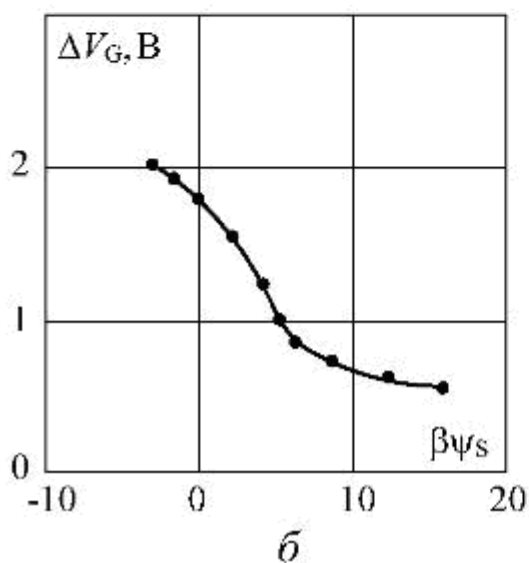
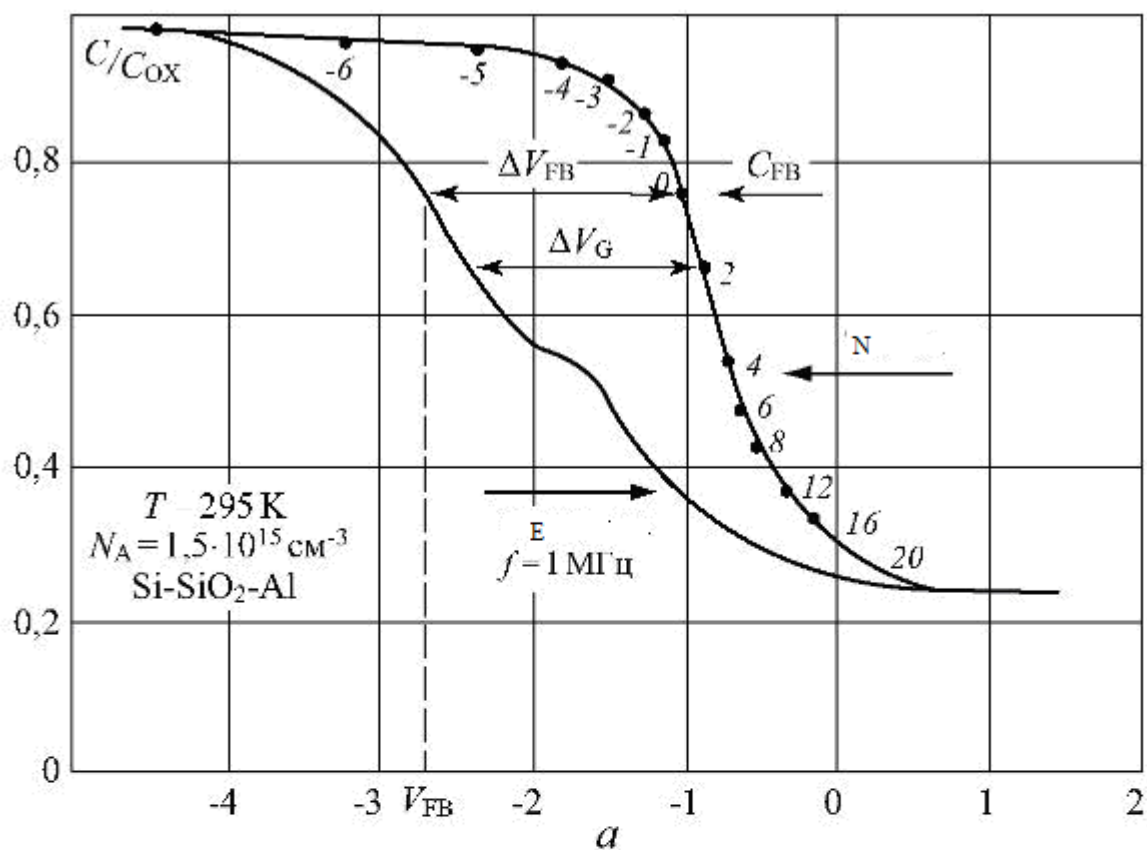
$$V_{\text{FB}_{\text{yeni}}} - V_{\text{FB}_{\text{old}}} = -\frac{Q_{\text{ox}}}{C_{\text{ox}}} + \frac{qN_{\text{ss}}}{C_{\text{ox}}} \varphi_0. \quad (2.27)$$

Agar $Q_{\text{ox}}, Q_{\text{ss}} > 0$, bo'lsa u xolda $V_{\text{FB}}(\text{eksp.}) > V_{\text{FB}}(\text{naz.})$, va aksincha, agar $Q_{\text{ox}}, Q_{\text{ss}} < 0$, bo'lsa $V_{\text{FB}}(\text{eksp.}) < V_{\text{FB}}(\text{naz.})$ bo'ladi.

Shunday qilib, yassi sathlardagi zaryad miqdori va ishorasi (3.27) ifoda orqali aniqlanadi. Sirtiy holatlardagi zaryadni ajratib olish uchun, uning sirtiy holatlarda ushlab qolingani asosiy zaryad tashuvchilar bilan aniqlanishidan (r -tip, $Q_{ss}(\varphi_s = 0) > 0$ va $Q_{ss}(\varphi_s = 0) < 0$) foydalanamiz. N_{ss} ning qiymatini bilgan holda sirtiy holatlar zaryadi Q_{ss} ni xisoblash mumkin va dielektrikda joylangan zaryad miqdori Q_{ox} ni aniqlash mumkin. [15,17]

Yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasida sirtiy xolatlar zichligini aniqlash VFX usullari yarimo'tkazgich-dielektrik chegarasida yarimo'tkazgich taqiqlangan sohasidagi sirtiy holatlar kattaligi va taqsimot funktsiyalarini aniqlashning bir necha usullarini qo'llashga imkon beradi. Quyida bu usullar bilan batavsilroq tanishib chiqamiz.

Differentsial usul, yoki Terman usuli, real MDYa-tuzilmaning tajribada aniqlangan yuqori chastotali sig'imini, xuddi shunday oksid qatlam qalinligi va legirlovchi kirishma kontsentratsiyasiga ega bo'lgan ideal MDYa-tuzilmasining nazariy xisoblangan sig'imi bilan solishtirishga asoslangan. Quyida (2.9 a-rasm) solishtirish uchun nazariy xisoblangan va tajribada aniqlangan C-V egri chiziqlar keltirilgan.



2.8-rasm. Sirtiy holatlar zichligini differentsial usulda xisoblash:

- $\text{Si-SiO}_2\text{-Al}$ MDYa-tuzilmasi uchun VFX ning nazariy va amaliy aniqlangan qiymatlari;
- kuchlanish siljishi ΔV_G ning sirtiy potentsial ψ_s ga bog'lanish grafigi;
- sirtiy holatlar zichligining yarimo'tkazgich taqiqlangan soxasidagi energiya E ga bog'lanishi.

Sig'im yuqori chastotali bo'lgani uchun, u faqat sirtiy potentsial ψ_s ning qiymati bilan aniqlanadi. Nazariy va amaliy aniqlangan C-V egri chiziqlarining zatvor kuchlanishi V_G ning, bir xil sig'imga (va demakki sirtiy potentsial ψ_s ning ayni bir qiymatiga) mos keluvchi qiymatlarini solishtirib quyidagiga ega bulamiz:

$$\Delta V_G = V_{G0} - V_{Gi} = V_{FB} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} \psi_s. \quad (2.28)$$

Bu ifodani grafik differentsiallashtirish orqali quyidagiga ega bo'lamiz:

$$N_{ss} = \frac{\epsilon_{ox} \epsilon_o}{qd_{ox}} \frac{d(V_{G0} - V_{Gi})}{d\psi_s}. \quad (2.29)$$

Yuqoridagi ifodalarning tahliliga asoslangan usul keng tarqalgan bo'lib, murakkab xisob kitoblarni talab qilmaydi. Bu usulning kamchiliklari haqida gapirganda, sirtiy holatlar zichligi N_{ss} ning energiya yega bog'lanishi taqiqlangan zonaning faqat bitta yarmida, Fermi sathi yaqinida olinadi. 3.8-b rasmda $\Delta V_G(\psi_s)$ bog'lanish grafigi keltirilgan, 3.8-v rasmda esa yarimo'tkazgich taqiqlangan zonasidagi sirtiy holatlar zichligining energiyaga bog'lanish grafigi keltirilgan. [8,15,17,18]

Integral usul, yoki Berglund usuli, muvozanat holatidagi past chastotali volt-farad xarakteristikalarining tahliliga asoslangan. Muvozanat holatidagi past chastotali C-V egri chiziqlar uchun

$$C = C_{ox} \left(1 - \frac{d\psi_s}{dV_G} \right) \quad (2.30)$$

munosabat o'rinli bo'ladi va $\frac{d\psi_s}{dV_G} = 1 - \frac{C}{C_{ox}}. \quad (2.31)$

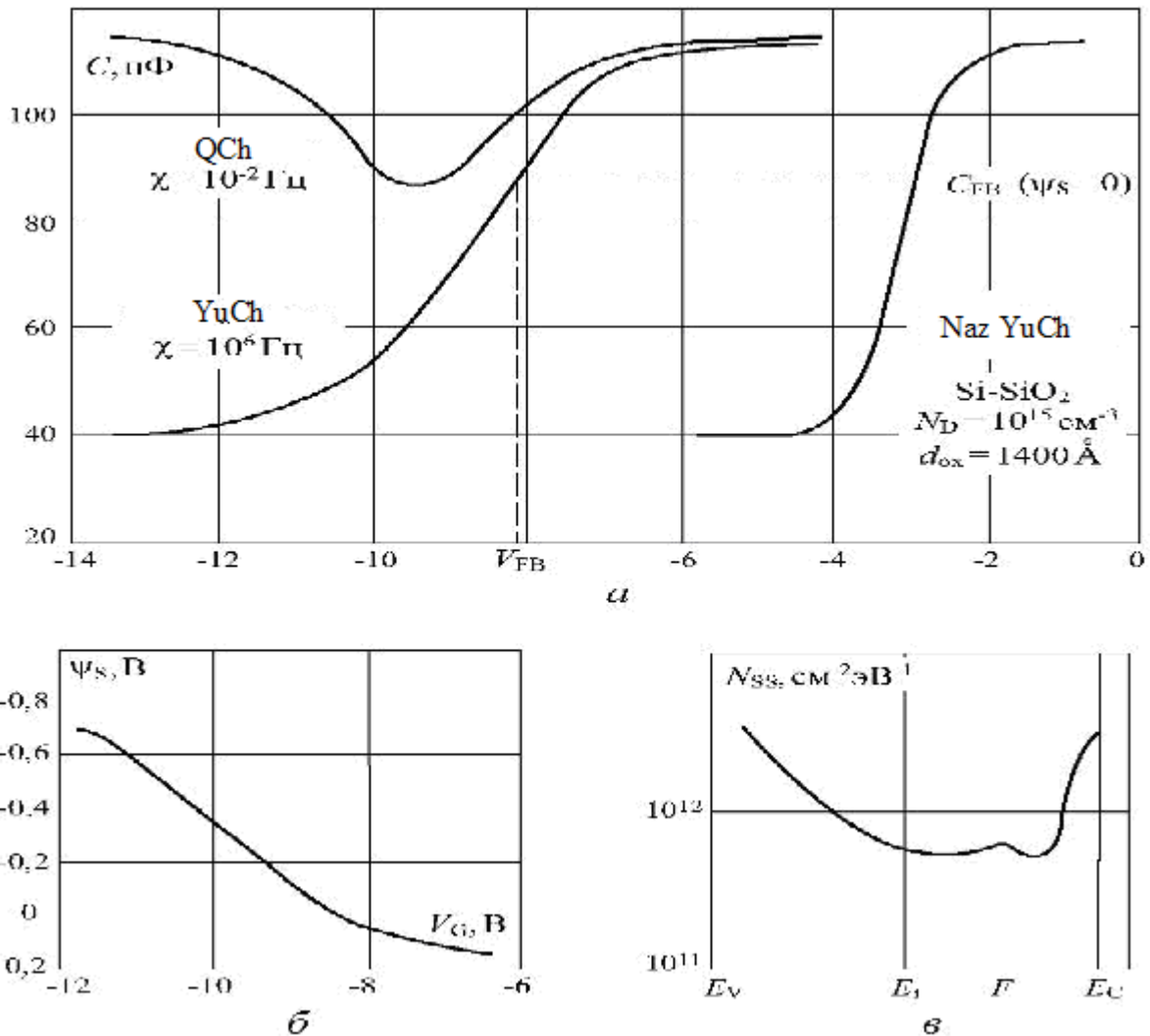
(2.31) munosabatni $\psi_s = \psi_{si}$, $V_G = V_{Gi}$ chegaraviy shartlar bilan integrallab,

quyidagiga ega bo'lamiz: $\psi_s - \psi_{si} = \int_{V_{Gi}}^{V_G} \left(1 - \frac{C}{C_{ox}} \right) dV_G. \quad (2.32)$

$S(V_G)$ bog'lanish tajribada olinganligini hisobga olsak, (3.32) ifodani integrallash bilan sirtiy potentsial va zatvor kuchlanishi V_G orasidagi bog'lanishni olish mumkin. ψ_{s1} va V_{G1} qiymatlarini ixtiyoriy tanlash mumkin. Odatda ψ_{s1} ning qiymatini nolga teng deb olinadi va mos ravishda V_{G1} - yassi zonalar kuchlanishi

V_{FB} ni qiymatiga teng bo'ladi. Bu qiymatlar yuqori chastotali C-V egri chiziqlardan olinadi.

$$N_{ss} = \frac{\varepsilon_{ox} \varepsilon_0}{qd_{ox}} \left[\frac{\frac{C}{C_{ox}}}{1 - \frac{C}{C_{ox}}} - \frac{C_{sc}}{C_{ox}} \right]. \quad (2.33)$$



2.9-rasm. ShZ ni integral usul bilan xisoblash:

a) Si-SiO₂-Al MDYa-tuzilmasining tajribadagi muvozanatliy VFX si; b) sirtiy potentsial ψ_s ning kuchlanish V_G ga bog'lanishi; v) yarimo'tkazgich taqiqlangan zonasidagi ShZ ning ye energiyaga bog'lanishi.

Ushbu ifoda sirtiy holatlar zichligining kattaligi va taqiqlangan zonadagi o'zgarish qonuniyatini aniqlashga imkon beradi. (3.32) munosabatdan ko'rinish

turibdiki $(1-S/S_{ox})$ funktsiyani sonli integrallash muvozanatliy C-V egri chiziq ustidagi yuzani beradi. Sig'im sirtiy potentsialning deyarli bir hil qiymatlarida to'yinishi $S \rightarrow S_{ox}$ ni hisobga olsak, turli SXZ ga ega bo'lgan egri chiziqlarda C-V egri chiziq ostidagi yuza teng bo'ladi. 3.9-rasmda muvozanatliy C-V egri chiziqlarni hisoblash bosqichlari va grafiklari keltirilgan.

Temperaturaviy usul, yoki Grey-Braun usuli, MDYa-tuzilma yassi zonalar kuchlanishi V_{FB} ning temperatura T ning o'zgarishiga bog'lanishini tahliliga asoslangan. Yarimo'tkazgich temperaturasi o'zgarishi bilan Fermi sathining hajmiy joylashuvi o'zgaradi.

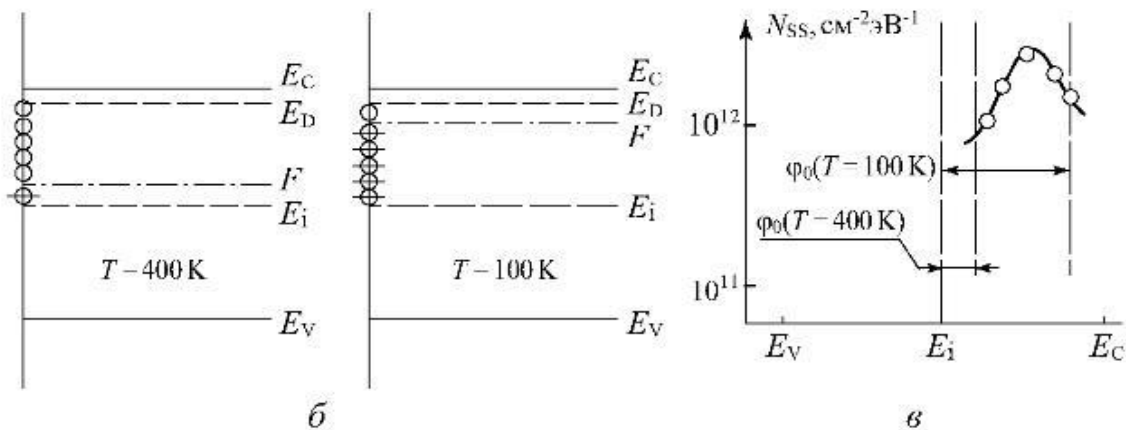
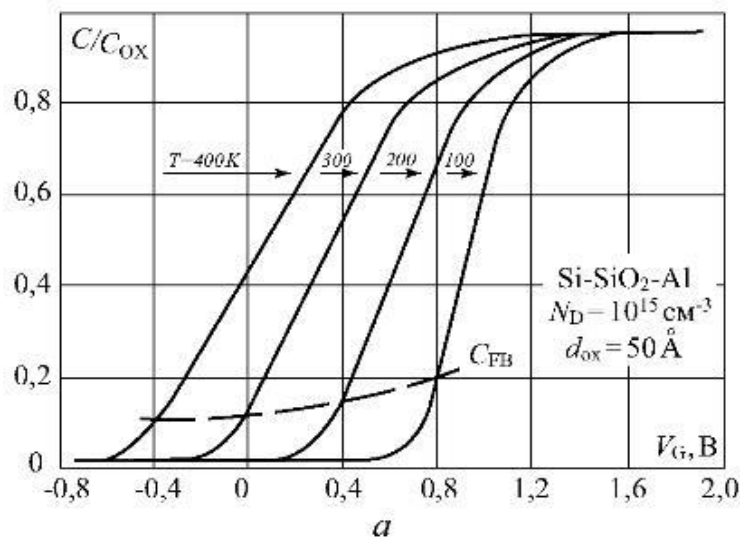
$\varphi_0(T)$, va demakki $\varphi_0(E)$ ning, kirishmani to'la ionlashish sohasidagi qonuniyati quyidagicha ifodalaniladi.

$$V_{FB}(T_1) - V_{FB}(T_2) = \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} [\varphi_0(T_1) - \varphi_0(T_2)]. \quad (23.34)$$

(2.34) ifodani grafik differentsiallash orqali N_{ss} ifodasini olish mumkin bo'ladi:

$$N_{ss} = \frac{\varepsilon_{ox}\varepsilon_0}{qd_{ox}} \frac{d(\Delta V_{FB})}{d(\Delta \varphi_0)}. \quad (2.35)$$

Temperaturaviy usulning asosiy ustunligi shundan iboratki, bu usul bilan sirtiy holatlar zichligi N_{ss} ning taqiqlangan zona chetlari yaqinidagi qiymatlarini xisoblash mumkin. Usulning asosiy kamchiliklariga, katta temperaturalar intervalida $T=(77 \div 400)K$ o'lchashlar o'tkazish zaruriyati va yuqori chastota kriteriyalariga, katta temperaturalar intervalida amal qilish shartlarini kiritish mumkin. 3.10-rasmda tajribada olingan C-V egri chiziqlar, ularning temperatura bilan o'zgarishi va xisoblashlar natijalari keltirilgan.



2.10-rasm. Sirtiyl holatlar zichligining temperaturaviy usul bilan hisoblash:

- a) Si-SiO₂-Al MDYa-strukturalarning tajribada aniqlangan turli temperaturalardagi yuqori chastotali VFX; b) yassi zonalar kuchlanishining o'zgarishi ΔV_{FB} va Fermi sathi ϕ_0 ning yarimo'tkazgich hajmidagi joylashuvining temperaturaga bog'liqligi; v) yarimo'tkazgich taqiqlangan zonasidagi SXZ N_{ss} ning energiya E a bog'lanishi.

2.4. MDYa strukturalarning amaliy qo'llanilishi

Izolyatsiyalangan (yakkalangan) zatvorli MDYa maydoniy tranzistorlar.

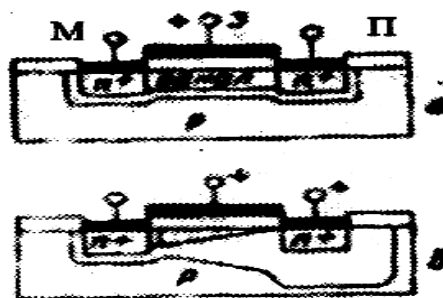
Bunday tranzistor MDYa tuzilishga ega va ikkita n^+ - p yoki p^+ -n o'tishlardan iborat, keyingilari megal elektrodning dielektrikka nisbatan diametral qarama - qarshi tomonlarda joylashgan. Bunda yaxlit qoralangan qatlamlar metall

elektrodlarni, tikka chiziqlangan qatlamlar dielektrikni, oq qatlamlar yarimo'tkazgichni tasvirlaydi.

Agar dielektrik sifatida yarimo'tkazgich oksidi qo'llansa u holda tranzistorni MOYa – tranzistori deyiladn. MDYa tuzilmali tranzistor 3.11- rasmda tasvirlangan.

n^+ -p o'tishlardan biri M manba, ikkinchisi P paynov vazifasini bajaradi (3.2,a-rasm).

Metal elektrodli D dielektrik qatlamini 3 zatvor deyiladi. Manba bnlan paynovni dielektrik—yarimo'tkazgich chegarasi yaqinida joylashgan tok o'tkazuvchi inversion qatlam (rasmda n- kanal) tutashtiradi. Bu kanalning (inversion qatlamning) zatvor elektrodiga muayyan ishorali va kattalikli kuchlanish berish yo'li bilan xosil qilinadi.



2.11-Rasm MDYa tranzistor a- $V_{zm} < 0$; b- $V_{zm} > 0$

Biz qarayotgan holda (r-tur yarimo'tkazgich) zatvoriga, taglikka nisbatan, musbat potentsial berish zarur. Bu yarimo'tkazgichning dielektrikka yondashgan sirtiy qatlamiga elektronlar oqib kelishini va zatvordagi kuchlanish muayyan qiymatga ega bo'lganda mazkur qatlamning o'tkazuvchanligi n tur bo'lib qolishini paydo qiladi. [4,19]

Ko'pincha MDYa tranzistorlar kremniy asosida tayyorlanadi, bunda zatvor dielektrigi sifatida SiO_2 oksiddan foydalaniladi, shuning uchun bu asboblarni MOYa-tranzistorlar deyiladi. Zatvor elektrod ostidagi oksid qatlami odatda 0,15-0,2 mkm chamasida, kanalining uzunligi 10 mkm dan kam bo'lishi mumkin.

Xotira elementlari

MOYa-tranzistorning suzuvchi zatvorida yoki zatvor ostidagi dielektrikda ushlangan zaryadni uzoq vaqt davomida saqlab tura oladgan xillarini energiyaga bog'liqmas xotira elementlari deyiladi.

Bunday asboblarda n turli kremniy taglikka SiO_2 ning yupqa qatlami o'tkaziladi, keyin unga metal elektrod o'tkaziladi. Uni tashqi elektroddan yana shunday dielektrikning qalin qatlami bilan ajratiladi.

Zatvorga SiO_2 qatlamida katta kuchlanganlik (E_g) hosil qiluvchi katta musbat kuchlanish berilganda taglikdan suzuvchi zatvorga sezilarli elektronlar toki oqadi. SiO_2 ning yupqa qatlami orqali tok zichligi (j_1) ikkinchi qatlam (kalin) dielektrik qatlami orqali tok zichligidan (j_2) katta bo'ladi. Oqibatda suzuvchi zatvorda elektronlar jamg'ariladi, birinchi dielektrikdagi maydon kuchlanganligini kamaytiradi. Kuchlanishning t_{zm} vaqtida (axborot yozuvchi impulsi davomiyligida) suzuvchi zatvorda

$$Q(t_{3M}) = \int_0^{t_{3M}} [j_1(E_{g1}) - j_2(E_{g2})] dt \quad (2.36)$$

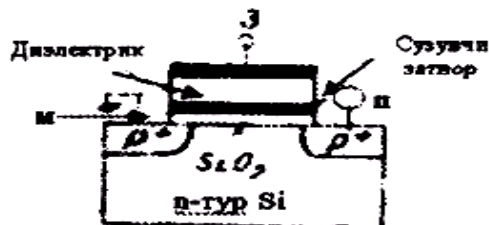
Zaryad to'planadi, u kanalning otsechka (kesish) kuchlanishini ΔV qadar oshiradi. Haqiqiy asboblarda otsechka (kesish) kuchlanishini 1V siljitish uchun 10^{-7} s dan ko'p bo'lmagan vaqt zarur.

Kuchlanish uzib tashlanganida suzuvchi zatvordagi jamg'arilgan zaryad uzoq vaqt saqlanishi mumkin. Oddiy xotira elementlarida zaryad saqlanish vaqti t_x 125°S da 100 yildan ortiq, 170°S da esa 8000 soatni tashkil qiladi. Ko'rinadiki, temperatura ko'tarilganda t_x kamayadi, chunki bunda dielektrikning solishtirma o'tkazuvchanligi ortadi.

Axborotni o'chirish, yoki suzuvchi zatvordagi zaryadni yo'q qilish qarama qarshi qutbli kuchlanish impulsi berish usuli bilan amalga oshiriladi.

Xotira elementi sifatida MNOYa tranzistorlar ham qo'llaniladi, unda metal bilan oksid orasida Si_3N_4 kremniy nitridi (N) qatlami hosil qilinadi. Kremniy nitridi o'rnida alyuminiy, titan yoki «tantal oksidlari pardasi qo'llaniladi. Bu tranzistorlarda zatvorga musbat kuchlanish berilganda SiO_2 qatlamidagi tok yarimo'tkazgichdagi elektronlarning SiO_2 ni o'tkazuvchanlik zonasiga

tunnellanishi oqibatida vujudga keladi. Si_3N_4 pardasidagi J tokning ye_{g2} ga bog'lanishi Pul-Frenkel effektiga mos keladi. Bu asboblarda SiO_2 qatlami orqali o'tgan elektronlar kremniy nitridi Si_3N_4 dagi chuqur sathli holatlarga (tuzoqlarga) tutiladi bular saqlanadigan zaryadlar bo'ladi.



2.12-rasm. Xotira elementi

Xotira elementlarining ikkala xili uchun ham axborotni yozishi va o'chirish kuchlanishlari 10-80 V tartibida bo'ladi. Zatvorga berilgan impuls amplitudasi qancha katga bo'lsa, axborotni yozish va o'chirish vaqti shuncha kichik bo'ladi, bunda tok zichligi bir necha A/sm^2 chamasida bo'ladi. MOYa-tranzistorlarda vaqt o'tishi bilan xarakteristikalar o'zgarishi siljishi kuzatiladi. Bu salbiy hodisa SiO_2 oksid qatlamida ishqoriy elementlar, masalan, natriyning harakatchan musbat ionlari mavjudligi bilan bog'liq. Tranzistor zatvorga musbat kuchlanish berilganda bu ionlar dielektrik maydon ta'sirida dielektrik yarimo'tkazgich chegarasiga tomon ko'chib, r-tur yarimo'tkazgichdagi inversion qatlamda elektronlar zichligini oshiradi. Bu holda bir qator parametrlar- V_{nmt} , J_n va G_n lar, kanalni yopadigan kuchlanish o'zgaradi. Bu hodisaning oldini olish choralarinn ishlab chiqishga to'g'ri keladi.[4,17,18]

Hozirgi vaqtda p-n o'tishli (ayniqsa GaAs asosidagi) tranzistorlar yuqori takroriylik sxemalarda kam shovqinli kuchaytirgichlar, generatorlar va tezkor mantiqiy (logik) elementlar sifatida keng qo'llanilmoqda. MOYa-tranzistor o'ta katta integral sxemalarda asosiy element bo'lib xizmat qiladi. Bularga mikroprotsesslar va xotirlovchi (eslab qoluvchi) qurilmalar kiradi. Bunday tranzistorlarning fan va texnikada qo'llanilishini yangi sohalari paydo bo'lmoqda.

XULOSA

1. Bitiruv malakaviy ishida MDYa-strukturalar haqidagi dastlabki umumiy ma'lumotlar yordamida MDYa-strukturalarning qanday tuzilganligi, unda zaryadlar taqsimoti va yarimo'tkazgich –dielektrik chegarasidagi sirt xolatlarining elektrofizik xossalari o'rganildi.
2. MDYa-strukturalarning tayyorlash texnologiyasida yarimo'tkazgich materiallarining sifatiga qo'yilgan talablarga javob beradigan materiallar olishda mexanik, kimyoviy va elektrokimyoviy ishlov berish jarayonlarining o'tkazilish bosqichlari o'rganildi.
3. MDYa-strukturalar olishda yarimo'tkazgich taglikning tipi n yoki p tur yarimo'tkazgich olish uchun planar texnologiyada kirishmalar kiritishning qotishma usuli, epitaksiya usuli, diffuziya usuli va ionlar kiritish usullaridan foydalanib, MDYa-strukturalarning asosi bo'lgan yarimo'tkazgich taglikni tayyorlash texnologiyalarini o'rganildi.
4. MDYa strukturalarni tayyorlash texnologiyasining muxim bosqichi yupqa dielektrik qatlamlar olish xisoblanadi, planar texnologiyada yupqa dielektrik qatlamlar sifatida yupqa oksid qatlamlar qo'llaniladi, yupqa oksid qatlamlar olishning texnologik usullaridan kremniyni termik oksidlash, pirolitik o'tkazish usuli, anodli oksidlash usuli, past temperaturali ion plazma yordamida oksidlash usullari bayon qilinib ularning afzalliklari va kamchiliklari taxlil qilindi.
5. MDYa-strukturalarning elektrofizik xususiyatlarini o'rganishda ularning VAXsi va VFXlaridan olingan natijalar muxim ahamiyatga ega bo'lib, ular haqidagi ma'lumotlarni taxlil qilishga va ularni umumlashtirishga yordam beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati

1. И.А.Каримов “Ўзбекистон XXI аср бўсағасида: хавфсизликка тахдид,барқарорлик шартлари ва тараққиёт кафолатлари” Т: ”Ўзбекистон”, 1997 й
2. И.А.Каримов“Бизнингбош мақсадимиз-жамиятни демократлаштириш ва янгилаш, мамлакатни модернизация ва ислох этишдир” Т: ”Ўзбекистон” 2005 й
3. И.А. Каримов “Ўзбек халқи хеч қачон хеч кимга қарам бўлмайди” Т: “Ўзбекистон” 2005 й
4. А.Тешабоев ва бошқалар “Яримўтказгичли асбоблар физикаси” Андижон : “Хаёт”2002 й
5. А.Тешабоев, С Зайнобиддинов, Ш.Эрматов. “ Қаттиқ жисм физикаси” Т: “Молия” 2001 й
6. Э.Расулов, У Бегимкулов “Квант физиаси” (2- қисм) Т: “Фан ва технология” 2009 й
7. С.Зайнобидддинов, А.Тешабоев “Яримўтказгичлар физикаси” Т: “Ўқитувчи” 1999 й.
8. В.А.Гуртов “Твердотельная электроника ” М: 2005 г
9. А.Тешабоев ва бошқалар “Яримўтказгичлар сирти физикаси” Т: “Илм-Зиё” 2010 й
- 10.Н.Турдиев “Радиоэлектроника асослари” Т: “Ўқитувчи” 1992 й
- 11.А.Тешабоев, С Зайнобиддинов, Э.А.Мусаев “Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси” Т : “ЎАЖБНТ” Маркази, 2005 й
- 12.Б.И. Болтакс “Диффузия в полупроводниках” М: “Физматгиз” 1961г
- 13.И.Г.Пичугин, Ю.М. Таиров “Технология полупроводниковых приборов” М: “Высшая школа ” 1984 г
- 14.Ю.М.Таиров, В.Ф. Цветков “Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов” М: “Высшая школа ” 1990 г

15. С.Зайнобиддинов, Х.Акромов “Яримўтказгичлар параметрларини аниқлаш усуллари” Т: “Ўзбекистон” 2001 й
16. В.М.Колешко, Т.Д. Каплон “С-V методы измерения параметров МОП структуры” М : “Электроника” 1977 г
17. С.Зи “Физика полупроводниковых приборов” М: “Мир” 1984 г
18. Nicollian E.H. “MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology” New York : Wiley 1982 y
19. Р.Коболд “Теория и применение полевых транзисторов”
Л : “Энергия” 1975 г
- 20 С.И. Власов, О.О. Маматкаримов “МДЯ-тузилмаларининг кўрсаткичларини сиғимий усуллар билан аниқлаш” Т: “Университет” 1997 й

МДП-транзистор как элемент памяти

Рассмотрим RC-цепочку, состоящую из последовательно соединенных нагрузочного сопротивления $R_H \approx 1 \text{ МОм}$ и полевого транзистора с изолированным затвором, приведенную на рисунке 6.28а, б. Если в такой схеме МДП-транзистор открыт, сопротивление его канала составляет десятки или сотни Ом, все напряжение питания падает на нагрузочном сопротивлении R_H и выходное напряжение $U_{вых}$ близко к нулю.

Если МДП-транзистор при таком соединении закрыт, сопротивление между областями истока и стока велико (сопротивление p-n перехода при обратном включении), все напряжение питания падает на транзисторе и выходное напряжение $U_{вых}$ близко к напряжению питания $U_{пит}$. Как видно из приведенного примера, на основе системы резистор – МДП-транзистор легко реализуется элементарная логическая ячейка с двумя значениями: ноль и единица. Реализовать такую схему можно несколькими вариантами. В одном из них выбирается МДП-транзистор со встроенным каналом и при напряжении на затворе, равном нулю, реализуется случай, соответствующий приведенному на рисунке 6.28а.

Рис. 6.28. Схема, поясняющая работу n-канального МДП-транзистора в качестве элемента запоминающего устройства

а) открытое состояние; б) закрытое состояние

После подачи на затвор напряжения V_G транзистор закрывается и реализуется условие, показанное на рисунке 6.28б. В другом варианте выбирается МДП-транзистор с индуцированным каналом и при напряжении на затворе V_G , равном нулю, транзистор закрыт и реализуется случай, приведенный на рисунке 6.28б. При подаче на затвор обедняющего напряжения транзистор открывается и реализуется случай, соответствующий приведенному на рисунке 6.28а.

Одним из недостатков приведенной элементарной ячейки информации является необходимость подведения на все время хранения информации напряжения к затворному электроду. При отключении напряжения питания записанная информация теряется. Этого недостатка можно было бы избежать, если в качестве МДП-транзистора использовать такой транзистор, у которого регулируемым образом можно было бы менять пороговое напряжение V_T . Тогда при положительном пороговом напряжении $V_T > 0$ (n-канальный транзистор) МДП-транзистор закрыт и реализуется случай, соответствующий приведенному на рисунке 6.28б. При отрицательном пороговом напряжении

$V_T < 0$ МДП-транзистор открыт и реализуется случай, соответствующий приведенному на рисунке 6.28а.

На рисунке 6.29 показано изменение вольт-амперной характеристики n-канального МДП-транзистора при перезаписи информационного заряда в подзатворном диэлектрике. Состояние 1 соответствует исходному, состояние 2 соответствует закрытому состоянию транзистора при отсутствии питания ($V_G = 0$), когда в диэлектрик записан отрицательный заряд. Состояние 3 соответствует открытому состоянию транзистора при отсутствии питания ($V_G = 0$), когда в диэлектрик записан положительный заряд.

Рис. 6.29. Изменение ВАХ n-канального МДП-транзистора в режиме плавного канала при перезаписи информационного заряда в подзатворном диэлектрике

1. Исходная ВАХ, $V_T = 0,6 \text{ В}$. Заряд в диэлектрике отсутствует;
2. Состояние «закрыто», $V_T = 2,6 \text{ В}$. В диэлектрик записан отрицательный заряд;
3. Состояние «открыто», $V_T = -3,2 \text{ В}$. В диэлектрик записан положительный заряд

Величина порогового напряжения V_T определяется уравнением (6.76).

Как видно из этого уравнения, для изменения величины порогового напряжения V_T необходимо:

- а) изменить легирование подложки NA (для изменения объемного поло

жения уровня Ферми ϕ_0 , разности работ выхода ϕ_{ms} , заряда акцепторов в области обеднения QV);

б) изменить плотность поверхностных состояний N_{ss} ;

в) изменить встроенный в диэлектрик заряд Q_{ox} ;

г) изменить напряжение смещения канал-подложка VSS (для изменения заряда акцепторов QV в слое обеднения). Поскольку информацию в ячейку необходимо перезаписывать многократно, случаи а) и б) для этого оказываются непригодными. Случай г) не подходит вследствие того, что при отключении напряжения информация не сохраняется. Таким образом, для реализации энергонезависимого репрограммируемого полупроводникового запоминающего устройства (РПЗУ) необходим МДП-транзистор, в котором обратимым образом было бы возможно изменять пороговое напряжение VT за счет изменения встроенного в диэлектрик заряда Q_{ox} .

6.14.1. МНОП-транзистор Наиболее распространенными РПЗУ, в которых реализован принцип изменения порогового напряжения VT за счет изменения заряда в подзатворном диэлектрике Q_{ox} , являются РПЗУ на основе полевых транзисторов со структурой металл – нитрид – окисел – полупроводник (МНОП-транзисторы) и на основе полевых транзисторов с плавающим затвором.

На рисунке 6.30а, б приведена схема, показывающая основные конструктивные элементы МНОП ПТ и МОП ПТ с плавающим затвором.

В МНОП ПТ в качестве подзатворного диэлектрика используется двух-слойное покрытие. В качестве первого диэлектрика используется туннельно прозрачный слой ($d_{ox} < 50 \text{ \AA}$) двуокиси кремния. В качестве второго диэлектрика используется толстый ($d \approx 1000 \text{ \AA}$) слой нитрида кремния. Нитрид кремния Si_3N_4 имеет глубокие ловушки в запрещенной зоне и значение диэлектрической постоянной

$\epsilon_{\text{Si}_3\text{N}_4}$ в два раза более высокое, чем диэлектрическая постоянная двуокиси кремния SiO_2 . Ширина запрещенной зоны нитрида Si_3N_4 меньше, чем ширина запрещенной зоны окисла SiO_2 .

Рис. 6.30. Топология полупроводниковых запоминающих устройств:

а) МНОП-транзистор; б) МОП ПТ с плавающим затвором

На рисунке 6.31а приведена зонная диаграмма МНОП-транзистора. Рассмотрим основные физические процессы, протекающие в МНОП-транзисторе при работе в режиме запоминающего устройства. При подаче импульса положительного напряжения $+V_{GS}$ на затвор вследствие разницы в величинах диэлектрических постоянных окисла и нитрида в окисле возникает сильное электрическое поле. Это поле вызывает, как показано на рисунке 6.31б, туннельную инжекцию электронов из полупроводника через окисел в нитрид.

Инжектированные электроны захватываются на глубине уровня ловушек в запрещенной зоне нитрида кремния, обуславливая отрицательный по знаку встроенный в диэлектрик заряд. После снятия напряжения с затвора инжектированный заряд длительное время хранится на ловушечных центрах, что соответствует существованию встроенного инверсионного канала. При подаче импульса отрицательного напряжения $-V_{GS}$ на затвор происходит туннелирование электронов с ловушек в нитриде кремния в зону проводимости полупроводника, как показано на рисунке 6.31в. При снятии напряжения с затвора зонная диаграмма МНОП-структуры снова имеет вид, как на рисунке 6.31а, и инверсионный канал исчезает.

Оценим величину инжектированного заряда, необходимую для переключения МНОП-транзистора.

Рис. 6.31. Зонная диаграмма МНОП-транзистора:

а) напряжение на затворе равно нулю, ловушки не заполнены;

б) запись информационного заряда;

в) стирание информационного заряда

Считая, что захват идет в энергетический интервал 1 эВ в запрещенной зоне нитрида и в слой толщиной 100 Å, получаем, что энергетическая плотность объемных ловушек N_t в нитриде должна быть порядка $2 \cdot 10^{18}$

6.14.2. МОП ПТ с плавающим затвором

Полевой транзистор с плавающим затвором по принципу работы похож на МНОП-транзистор. Только в транзисторах с плавающим затвором инжектированный заряд хранится на плавающем затворе, находящемся между первым и вторым подзатворными диэлектрическими слоями. Схема, поясняющая устройство МОП ПТ с плавающим затвором, приведена на рисунке

6.32а, б, в.

В качестве материала для плавающего затвора используется поликристаллический кремний, легированный фосфором.

Рис. 6.32. Зонная диаграмма МОП ПТ с плавающим затвором:

а) напряжение на затворе V_{GS} равно нулю, плавающий затвор не заряжен; б) процесс записи

информационного заряда импульсом напряжения $+V_{GS}$; в) МОП ПТ при нулевом напряжении

на затворе в режиме хранения информационного заряда

На рисунке 6.32а приведена зонная диаграмма такого транзистора. Рисунок 6.32б поясняет механизм записи информационного заряда путем туннельной инжекции из полупроводника на плавающий затвор. На рисунке

6.32в приведена зонная диаграмма МОП ПТ с плавающим затвором после записи заряда и снятия напряжения с затвора. Возможно частичное растекание наполненного информационного заряда из-за туннелирования электронов с плавающего затвора обратно в полупроводник.

Рассмотрим основные соотношения, определяющие характер накопления инжектированного заряда на плавающем затворе полевого транзистора. Величина заряда $Q_{ox}(t)$ равна:

$$\int_0^t I(t) dt = Q_{ox}(t) \quad (6.101)$$

где $I(t)$ – величина инжекционного тока в момент времени t .

Как видно из зонной диаграммы на рисунке 6.32, инжекция носителей из полупроводника через первый слой окисла на плавающий затвор осуществляется путем прямого туннелирования через трапецеидальный барьер. Величина туннельного тока $I(t)$ описывается соотношением:

Уравнение (6.102) напоминает выражение для туннельного тока Фаулера – Нордгейма из твердого тела в вакуум через треугольный барьер. Постоянные величины A и B , входящие в (6.102), зависят от типа полупроводника и высоты потенциальных барьеров на границе.

Накапливаемый на плавающем затворе инжектированный заряд $Q(t)$ будет вызывать уменьшение напряженности электрического поля E_{ox} в первом диэлектрике. Величина электрического поля E_{ox} , обуславливающая туннелирование, равна:

Первое слагаемое в соотношении (6.103) дает значение электрического поля E_{ox} за счет приложенного напряжения к затвору V_G , второе слагаемое за счет накопления инжекционного заряда. В случае, если в качестве второго диэлектрика в МОП ПТ с плавающим затвором используется двуокись кремния, в (6.103) величины диэлектрических постоянных необходимо выбрать одинаковыми.

Из уравнений (6.101 – 6.103) следует, что при малых временах t наполненный заряд $Q(t)$ мал и линейно возрастает со временем t , поскольку поле в окисле E_{ox} и

туннельный ток $I(t)$ постоянны. При больших временах наступает насыщение наполнения инжектированного заряда $Q(\tau)$. Соотношения

(6.101 – 6.103) позволяют на основе расчета выбрать наиболее оптимальные режимы записи и стирания информационного заряда.

На базе МДП транзистора с плавающим затвором, который позволяет хранить электроны, реализованы устройства flash-памяти. Операция программирования (заряд плавающего затвора) проводится лавинной инжекцией электронов из стоковой области канала МДП транзистора. Если заряд плавающего затвора у однобитного МДП транзистора меньше 5 000 электронов, то это означает, что ячейка хранит логическую «1», а если заряд больше 30 000 электронов, то — «0». Заряд ячейки вызывает изменение порогового напряжения транзистора, и при операции чтения измеряется величина этого порогового напряжения, а по нему определяется количество заряда на плавающем затворе.

После выполнения операции стирания или программирования каждой ячейки этого массива стерты ячейки (логическая «1») имели порог 3,1 В, в то время как запрограммированные ячейки (логический «0») имели пороговое напряжение более 5 В. Пионером разработки методов размещения заряда и считывания являлась компания Intel, которая разработала впервые тестовый 32 Мб чип по данной технологии. Во время разработки решались три основные задачи:

1) Контролируемая инжекция заряда: программирование ячейки flash-памяти должно очень хорошо контролироваться (что требует детального изучения физики программирования). Это значит, что во время программирования нужно подводить к ячейке ток на строго определенное время.

2) Контролируемое считывание инжектированного заряда: операция чтения MLC-памяти - аналого-цифровое преобразование заряда, сохраненного в ячейке, в цифровые данные 3) Надежное сохранение заряда на плавающем затворе: для сохранения заряда на долгое время ставилась цель сделать его утечку меньше одного электрона за день.

Первый тестовый промышленный чип был выпущен компанией Intel в 1994 году, и показал возможность сохранения нескольких бит информации в одной ячейке памяти. Типичные параметры однобитовой flash-памяти Intel:

напряжение питания 2,7 – 3,6 В, время считывания 120 нс, время записи 11,3 мс, время стирания 0,55 с, рабочая температура От -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, количество циклов перезаписи не менее 100 000. Флэш-диск может иметь объем до 2 Гб памяти. Популярным устройством, реализующимся на основе flash-памяти является USB-флэш-память – новый тип флэш-накопителей, получивший распространение в последние годы. USB-память представляет из себя накопитель с USB-разъемом, внутри которого размещаются одна или две микросхемы флэш-памяти и USB-контроллер.

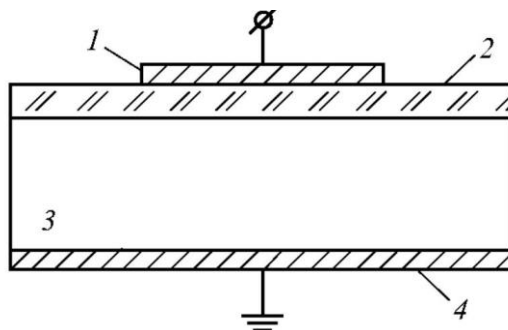
ДОКЛАД

Бугунги кунда микроэлектроника техника ва технологик жараёнлар жадал ривожланиши турли хил электрон асбобларни яратиш ва уларни физик хусусиятларини ўрганиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Хусусан МДЯ типдаги тузилмалар саноатда, қишлоқ хўжалигида, транспортда электроникада, микроэлектроникада ва электротехникада, алоқада, информатика, маиший хизмат соҳасида ва жамият фаолиятининг бошқа барча жавҳарларида турли-туман муҳим вазифаларни бажариши, бу каби асбобларнинг тайёрлаш технологияси асосларини ўрганишни долзарб масалаларидан бирига айлантирмоқда. Технологик усулларнинг янгиланиб бориши, бу турдаги асбобларни такомиллаштишига олиб келмоқда.

1-расмда Металл-диэлектрик-яримўтказгич тузилмаларнинг таркибий тузилиши келтирилган бўлиб, 1-затвор, 2-затворости диэлектриги, 3-яримўтказгичли таглик, 4-омик контактлардан иборат.

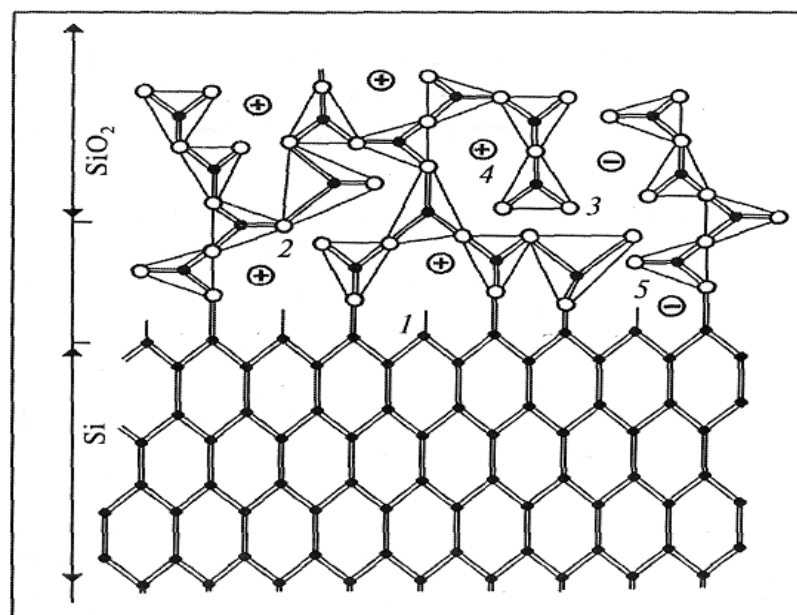
Кўп ҳолларда юпқа диэлектрик қатламлардан модда сиртини ҳимояловчи восита сифатида, планар технологияларда эса микроэлементлар орасидаги тўсиқ сифатида фойдаланилади. Яримўтказгичли моддаларни электрофизик хоссаларини ўрганишда, улардан турли хил электрон асбоблар тайёрлашда бу қатлам хусусиятларини, хусусан, бундай яримўтказгич—оксид чегарасидаги жараёнларни билиш ва уларни эътиборга олиш зарур.

Кўплаб оксидлар электр ўтказувчанлигига кўра диэлектрик бўлгани учун бундай тизимлар яримўтказгич-диэлектрик типдаги тузилма деб аталади. Кейинги расмда Икки ўлчамли текисликда оксидловчи қатлам структураси келтирилган. Унда 1— тугалланмаган боғланиш; 2 — кўприксимон кислород; 3 — кўприксиз кислород; 4, 5 — ҳаракатчан мусбат ва манфий ионлар.



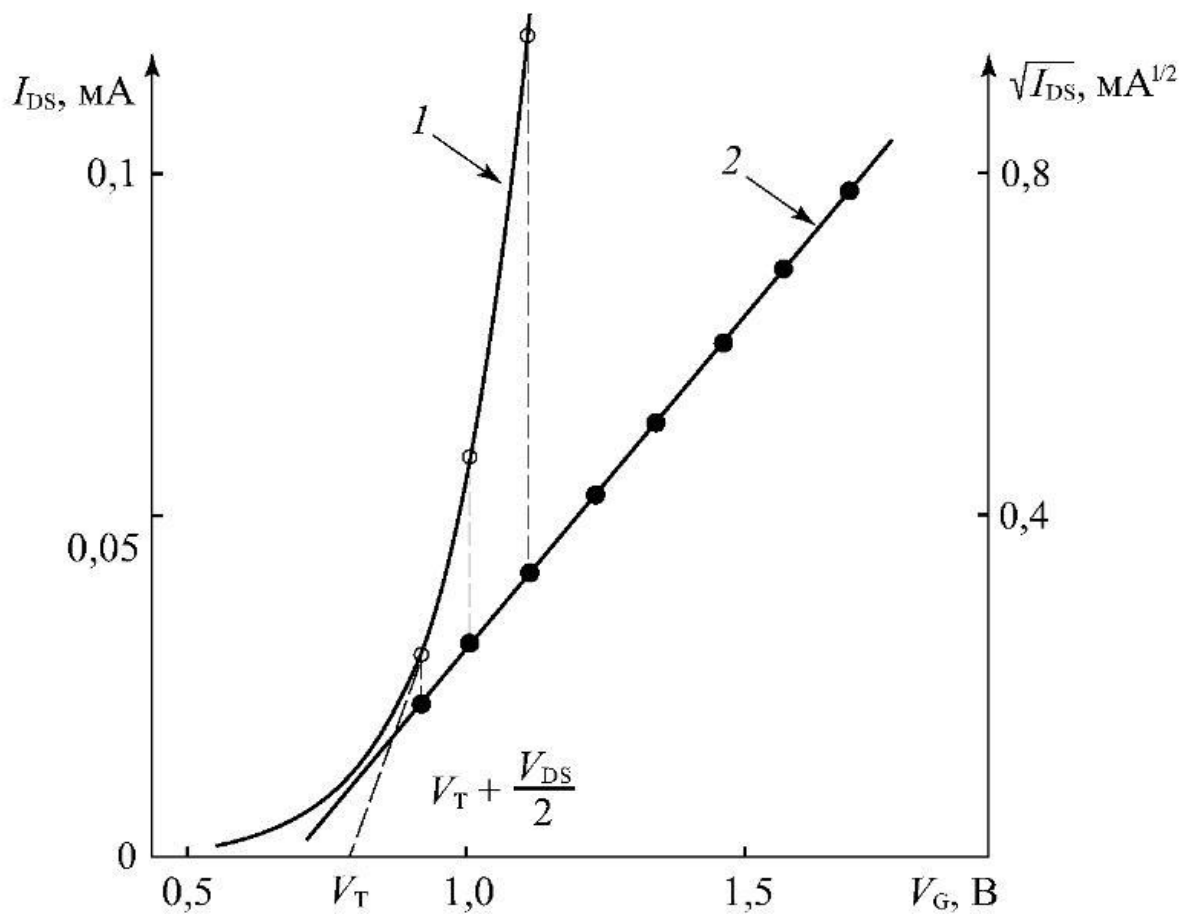
1.1-rasm. MDYa-strukturalarning tuzilishi

1-zatvor, 2-zatvorosti dielektrigi, 3-yarimo'tkazgichli taglik, 4-omik kontakt

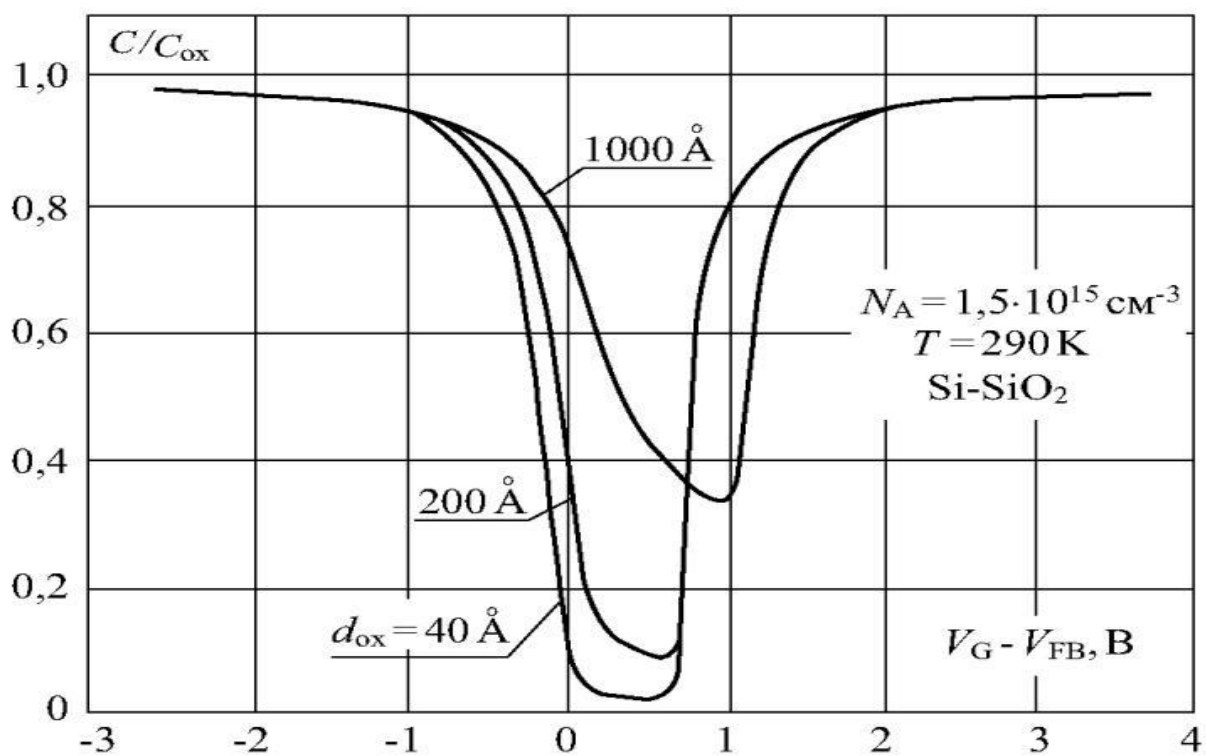


1.4.-rasm. Ikki o'lchamli tekislikda oksidlovchi qatlam strukturasi:

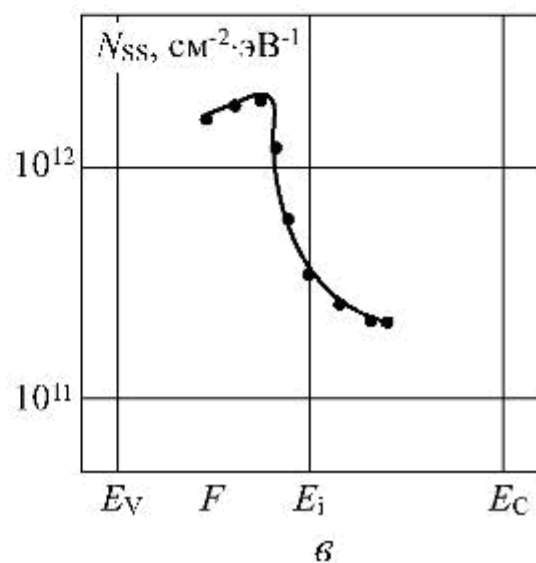
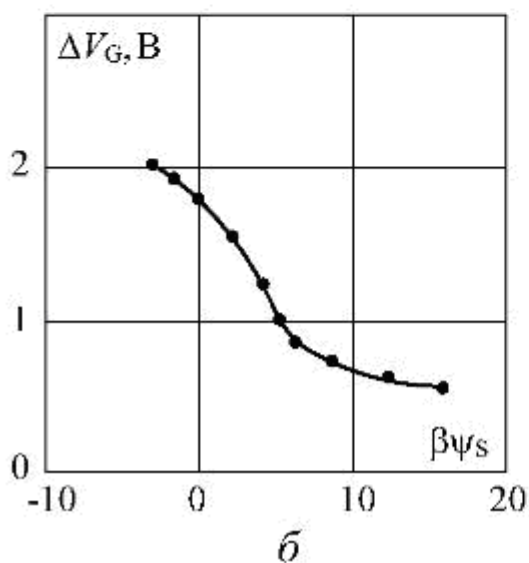
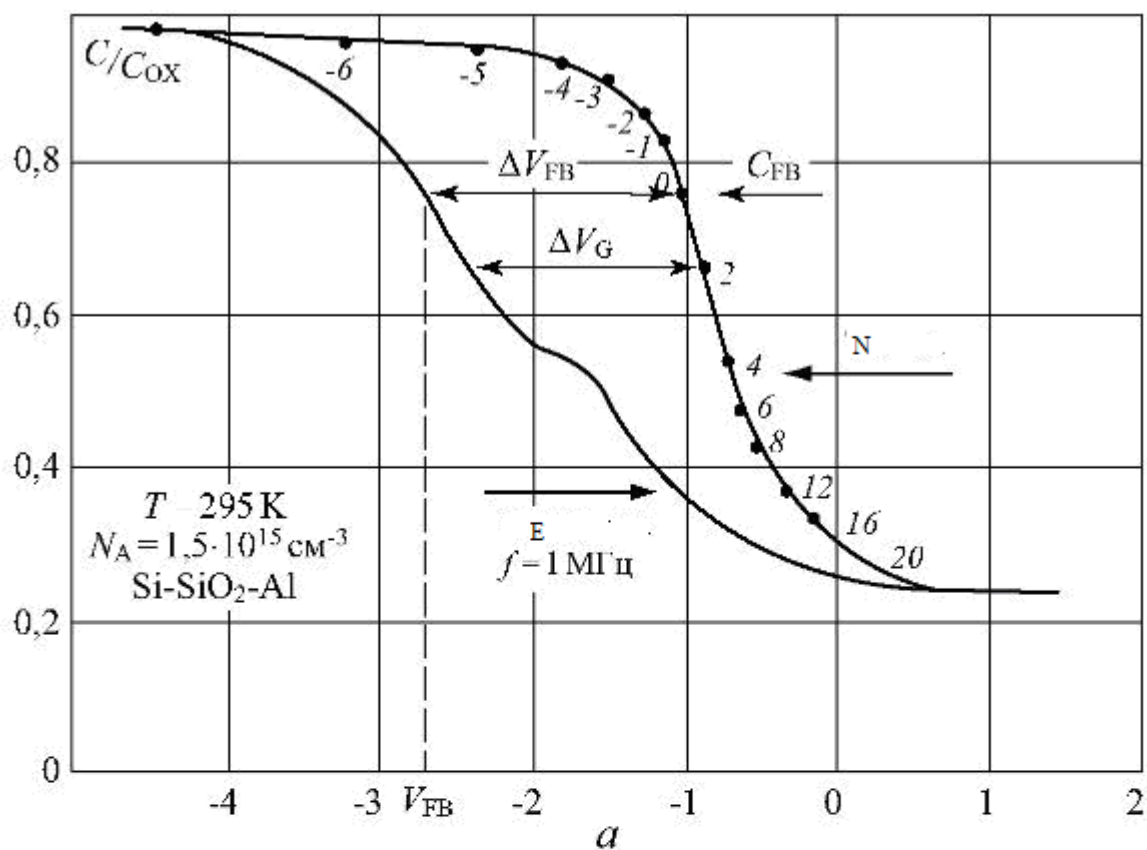
1— tugallanmagan bog'lanish; 2 — ko'priksimon kislorod; 3 — ko'priksiz kislorod; 4, 5 — harakatchan musbat va manfiy ionlar.



2.1-rasm. kuchli inversiya sohasida MDYa tranzistorining VAXi

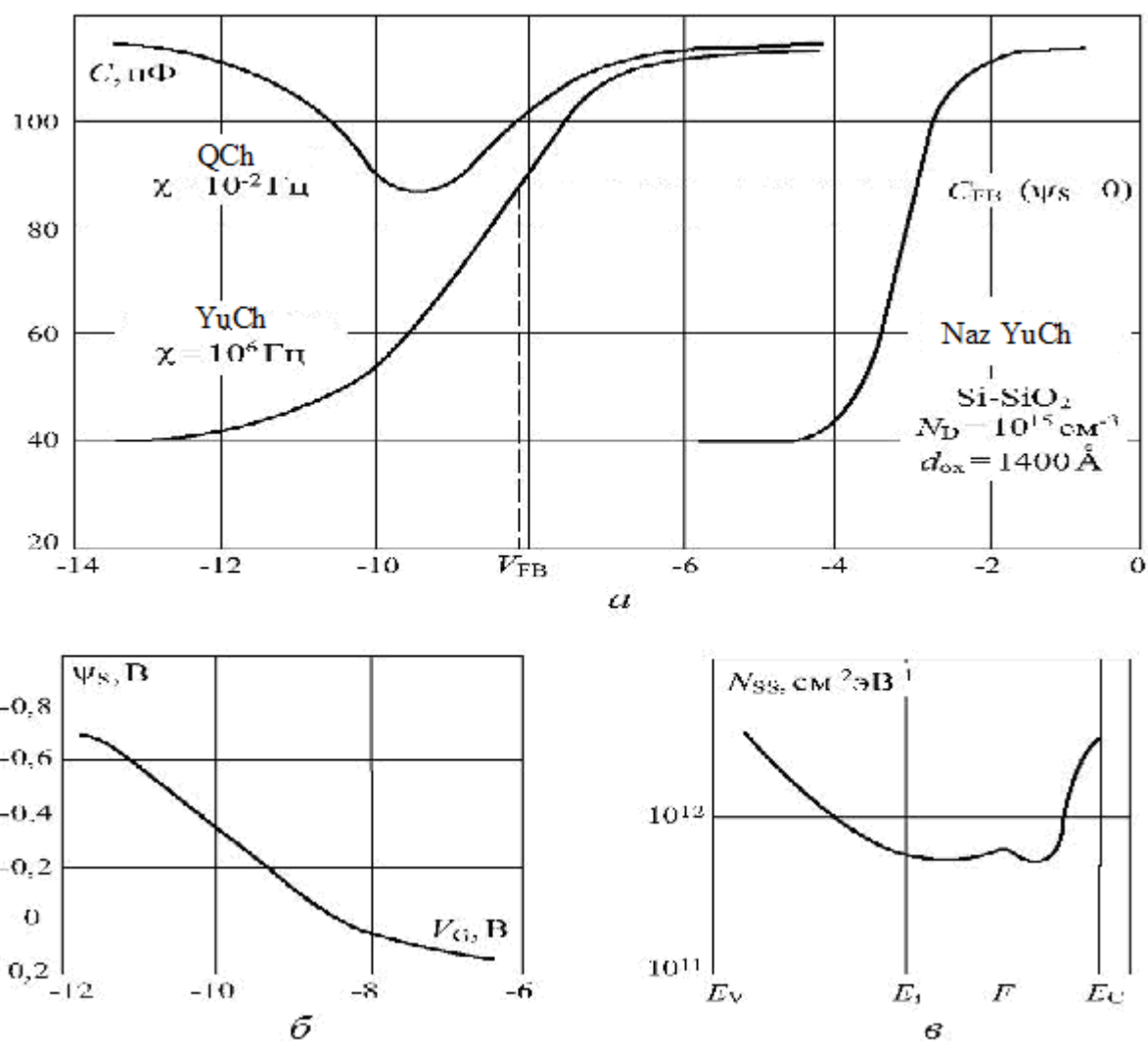


2.5-rasm. Zatvorosti dielektrigining qalinligi har-xil bo'lgan r-tip kremniyli ideal MDYa-tuzilmasining muvozanat xolatidagi C-V xarakteristikalari.



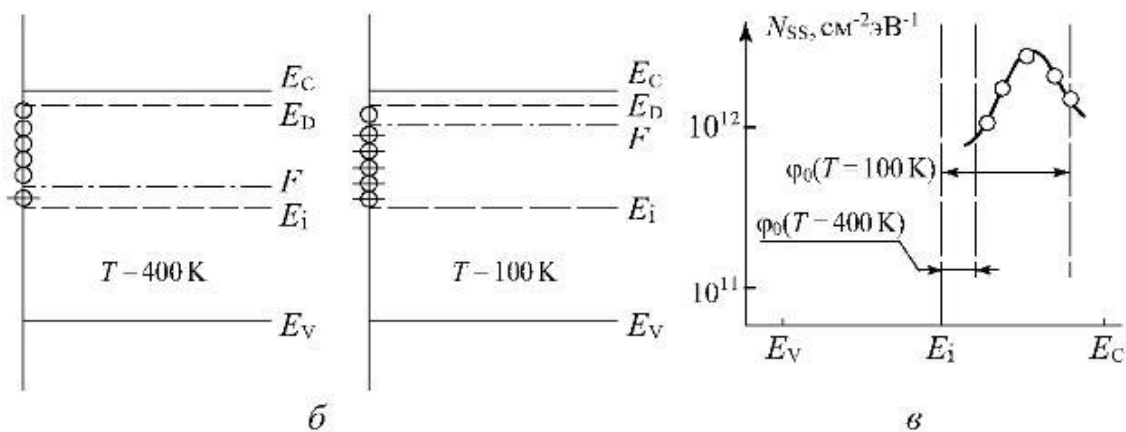
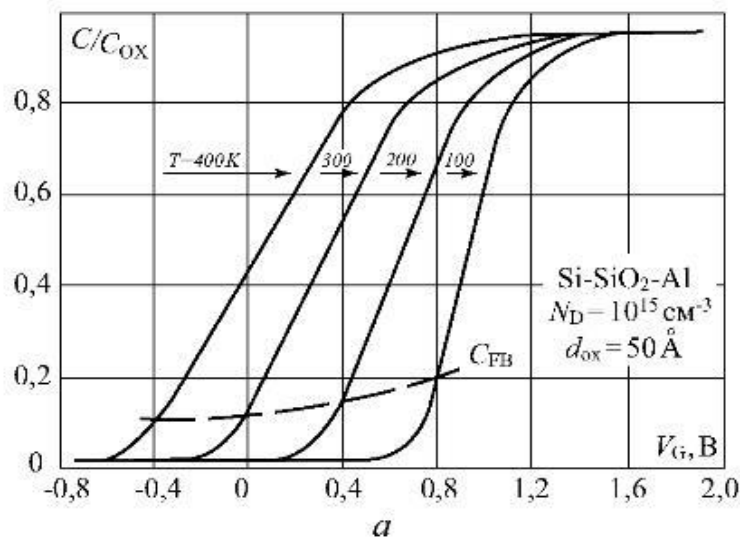
2.8-rasm. Sirtiyl holatlar zichligini differentsial usulda xisoblash:

- $\text{Si-SiO}_2\text{-Al}$ MDYa-tuzilmasi uchun VFX ning nazariy va amaliy aniqlangan qiymatlari;
- kuchlanish siljishi ΔV_G ning sirtiyl potentsial ψ_s ga bog'lanish grafigi;
- sirtiyl holatlar zichligining yarimo'tkazgich taqiqlangan soxasidagi energiya E ga bog'lanishi.



2.9-rasm. SHZ ni integral usul bilan xisoblash:

- a) Si-SiO₂-Al MDYa-tuzilmasining tajribadagi muvozanatliy VFX si; b) sirtiy potentsial ψ_s ning kuchlanish V_G ga bog'lanishi; v) yarimo'tkazgich taqiqlangan zonasidagi ShZ ning E energiyaga bog'lanishi.



2.10-rasm. Sirtiyl holatlar zichligining temperaturaviy usul bilan hisoblash:

- a) Si-SiO₂-Al MDYa-strukturalarning tajribada aniqlangan turli temperaturalaridagi yuqori chastotali VFX; b) yassi zonalar kuchlanishining o'zgarishi ΔV_{FB} va Fermi sathi ϕ_0 ning yarimo'tkazgich hajmidagi joylashuvining temperaturaga bog'liqligi; v) yarimo'tkazgich taqiqlangan zonasidagi TZZ N_{ss} ning energiya E ga bog'lanishi.