

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIV VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

XOLBOYEV A.M.

YARIMO'TKAZGICHLI ASBOBLAR FIZIKASI

TOSHKENT 2004

Xolboyev A. M. Yarimo'tkazgichli asboblار fizikasi o'quv qo'llanmasi.

Toshkent davlat texnika universiteti

Toshkent, 2004. 104 b.

Ushbu qo'llanmada yarimo'tkazgichli asboblار haqida nazariy va amaliy tushunchalar keltirilgan, ularning tuzilishi va ishlash jarayoni, ulash sxemalari, texnik xarakteristikalari va tajribada tekshirish usullari keltirilgan. Qo'llanma lotin shriftida yozilgan ilk risolalardan bo'lib, mazkur shriftida o'quvchi texnika oliy o'quv yurti talabalari uchun yarim o'tkazgichli asboblار fizik asoslarini o'rganishda zaruriy manbalardan biri bo'lib xizmat qiladi. Mazkur qo'llanma texnika oliy o'quv yurtlarining barcha muhandislik mutaxassisliklari, bakalavr va magistr lari, aspirant lari hamda shu sohada ishlovchi o'qituvchilar uchun mo'ljallangan.

104 bet, 69 ta rasm va grafiklar, hamda 7 ta adabiyotlardan iborat.

Taqrizchilar: fizika-matematika fanlari doktori,

professor Zikriilayev N.F.,

texnika fanlari nomzodi, dotsent Akbarov G.A.,

fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent Norqulov N.

Annotatsiya

Ushbu qo'llanmada yarimo'tkazgich materiallarining elektr va optik xususiyatlari, hamda ular asosida yasalgan qurilmalarga oid qisqa fizik va texnik tushunchalar keltirilgan. Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligining zonalar nazariyasi, xususiy va aralashmali o'tkazuvchanlik, n-p o'tishning sodir bo'lishi tushuntirib o'tilgan.

Qo'llanmada yarimo'tkazgich va yarimo'tkazgichli asboblarga doir ba'zi laboratoriya ishlari va ularni bajarish usullari keltirilgan hamda nazorat savollari tuzilgan. Ishda o'rganiladigan yarimo'tkazgich asboblarning asosiy xarakteristikalarining ko'rinishi, ularni qanday qurish yo'llari ko'rsatilgan.

Mazkur qo'llanma texnika oliy o'quv yurtlari energetika, elektronika va avtomatika, informatsion texnologiyalar, mexanika va boshqa bir qancha mutaxassisliklar bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar, magistrlar, aspirantlar foydalanishi uchun mo'ljallangan.

Kirish

Yarimo'tkazgich materiallari asosida tayyorlangan asboblarning hozirgi zamon taraqqiyotining barcha jabhalarida keng ko'lamda qo'llanilmoqda. Bunga sabab ularning vakuumli elektron asboblarga nisbatan benihoya afzallik tomonlarining ko'pligidir. Bular, o'lchamlarining kichikligi, engilligi, ishlash vaqtining cheklanmaganligi, iqtisodiy tejamilligi, arzonligi, soddaligi va mexanik jihatdan mustahkamligi (harakatlanuvchi qismlar yo'qligi) urilish, titrash va boshqalardan muhofaza qilish talab qilinmasligi va h.k. kabi muhim qulayliklaridir.

Yarimo'tkazgichli asboblarning sifati ular tayyorlanadigan materiallarning xossalari bilan aniqlanadi. Yarimo'tkazgichlar fani va texnikasining hozirgi zamon yutuqlariga fiziklar, ximiklar texnologlar, elektrotexniklar va radioelektron-texniklarning birgalikdagi ko'p yillik mehnatlari evaziga erishildi.

Yarimo'tkazgichlarning xossalarini o'rganishni birinchilar qatorida M.Faradey 1837 yilda temperatura oshishi bilan kumush sulfidning elektr qarshiligi kamayishini, V.Smit esa 1873 yilda yorug'lik ta'sirida selen elektr qarshiligining kamayishini aniqladi. 1874 yilda F.Braun metal va oltingugurt aralashtirilgan metallar tutashtirilganda o'zgaruvchan elektr toklarini to'g'rilash xossasiga ega bo'lishlarini aniqladi. 1826 yilda esa V. Adams va G. Deylar ta'qiqlovchi qattamlı fotoelement tayyorladilar. Shunday qilib yarimo'tkazgich materiallar va ulardan to'g'rilagichlar sifatida foydalanishlarga birinchi qadamlar qo'yilgan edi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlardan foydalanish va ularni ishlab chiqara boshlashga L. Grendalning 1927- 29 yillarda mis oksidi asosida yaratilgan to'g'rilagich asbobi ma'lum bir ma'noda sabab bo'ldi. 1930 yilda A.F. Ioffe yarimo'tkazgichlar asosida termogeneratorlar tayyorlash g'oyasini surdi. Demak, yarimo'tkazgichli asboblarning ishlab chiqarilishi 1930 yillardan boshlandi. 1948-49 yillarda J. Bardin, V. Bratgeyn va V. Shoklilar yarimo'tkazgichli tranzistorlar yaratdilar. Bu esa yarimo'tkazgichlar elektronikasida olamshumul voqea bo'ldi. 1950

yillarda esa yarimo'tkazgichlar nazariyasiga fundamental asos solindi.

Keyingi yillarda har xil turdagi yarimo'tkazgichli asboblarda tez sur'atlar bilan ishlab chiqarila boshlandi. Diodlar, har xil quvvatli tranzistorlar, kremniy va germaniydan tayyorlangan katta quvvatli diodlar, fotodiodlar, fototranzistorlar, quyosh batareyalari, tunnel diodlari va boshqalar ishlab chiqarildi. 1960 yillardan esa yarimo'tkazgich asboblarda asosida elektron hisoblash mashinalari (EHM) ning yangi avlodlari ishlab chiqarila boshlandi.

1960 yilda Kong va Atalla birinchi funksional metall- oksid-yarimo'tkazgichli (MOP) tranzistorlari haqida yozishdi. Tashqaridan oddiy bo'lib ko'ringan va texnologiyasi uncha qiyin emasdek tuyulgan bu qurilmalar integral sxema (IS) larning asosini tashkil etib, keyinchalik EHMlarning vujudga kelishiga sabab bo'ldi. MOP tranzistori ishlab chiqarishning murakkabligini tushunish uchun hozirgi fan va texnika yutuqlaridan foydalanib, ishlab chiqarilayotgan integral sxemalarning atigi 10 foizi sanoatda foydalanishga yaroqli, qolgan qismi esa u yoki bu sabablarga ko'ra yaroqsiz bo'layotganini aytib o'tish kifoya. Yarimo'tkazgich asboblarning hali istiqboli kengdir.

Shuning uchun yarimo'tkazgichli qurilmalarning asosiy fizik xususiyatlarini o'rganishning ba'zi bo'limlarini ko'p sonli o'quvchi va talabalarga taqdim etishni mazkur qo'llanmaning asosiy maqsadi qilib olindi.

I - bob. Yarimo'tkazgich kristallarida fizik hodisalar

I.I. Kristallarda zonalar nazariyasi asoslari

Tugunlarida atom yadrolari joylashgan kristal panjara uchun bu panjaraning holatini aniqlovchi to'liq funksiyasi Φ , hamma elektronlarning koordinatalari, r_i va hamma yadrolarning koordinatalari R_i dan bog'liq, yani :

$$\Phi = \Phi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3 \dots \vec{r}_i; \vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{R}_3, \dots \vec{R}_j) \quad (1.1)$$

(1.1)ni hisobga olgan holda kristal panjara uchun Shryondenger tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\sum \frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 \Phi + \sum_j \frac{\hbar^2}{2M} \nabla_j^2 \Phi + (E - V) \Phi = 0 \quad (1.2)$$

bu yerda: m - elektronning massasi; M - yadroning massasi; E - sistemaning to'liq energiyasi; V - hamma elektron va yadrolarning o'zaro ta'sir potensial energiyasi; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; h - Plank doimiysi.

O'zgaruvchilar soni ko'p bo'lganligi uchun (1.2) tenglamani umumiy holda yechib bo'lmaydi. Shuning uchun ham zonalar nazariyasida (1.2) tenglamani soddalashtirish maqsadida bir qator taxminlar qo'llaniladi. Bu birinchi navbatda adiabatik taxmin bo'lib, u r_i va R_j o'zgaruvchilarni ikkiga ajratishga va (1.2) tenglamani ikkita tenglamaga (biri faqat elektronlarga, boshqasi faqat yadrolarga munosib) ajratish imkonini yaratadi. Adiabatik taxminda barcha elektronlar muvozanat vaziyatida bo'lgan yadro maydonida harakatlanadi deb hisoblanadi. Bu taxmin asosida Shryodeger tenglamasini har biri bitta elektronga taalluqli bo'lgan tenglamalar yig'indisiga keltirish mumkin. Masalani bunday soddalashtirishga bir elektronli taxmin deb ataladi.

Taxminlar asosida (1.2) tenglamani qattiq jismni har bir elektron uchun quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 + V(\vec{r}_i) \right] \Psi(\vec{r}_i) = E_i \Psi(\vec{r}_i) \quad (1.3)$$

bu yerda, $\Psi(\vec{r}_i)$ - elektronning to'liq funksiyasi; E_i -

elektronning to'liq energiyasi: $U(\vec{r}_i)$ - elektronning potensial energiyasi.

Kristalning davriy tuzilishga ega ekanligini e'tiborga olib, kristaldagi elektronning potensial energiyasi $U(\vec{r}_i)$ ham davriy xarakterga ega degan xulosaga kelish mumkin. $U(\vec{r}_i)$ funksiyaning davriyligini e'tiborga olib Blox. (1.3)ni quyidagi funktsiya ko'rinishida ifodaladi:

$$-\Psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = V_{\vec{R}}(\vec{r}) \exp(i\vec{R}\vec{r}) \quad (1.4)$$

$V_{\vec{R}}(\vec{r})$ kristal panjaraning uch o'lehamli davriyligiga ega bo'lgan funktsiyasi. $\vec{R}$ vektorining moduli (1.5)ga ega bo'lgan to'liq vektor hisoblanadi.

$$|\vec{R}| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad (1.5)$$

(1.4) tenglamadagi $V_{\vec{R}}(\vec{r})$ funksiyaning davriylik shartidan kelib chiqadi, kristal panjara to'liq vektor $\vec{R}$, panjara doimiysi a va kristaldagi atomlar miqdori $N=N_x N_y N_z$ lar dan bog'liq bo'lgan diskret qiymatlar qabul qiladi:

$$k_x = \frac{2\pi}{aN_x} n; k_y = \frac{2\pi}{aN_y} n; k_z = \frac{2\pi}{aN_z} n \quad (1.6)$$

bu yerda $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ butun qiymatlar qabul qiladi.

Agar elektronlarning to'liq funktsiyasi kristal panjara doimiysi a ga teng masofada joylashgan qo'shni atomlar bilan qoplanayotgan bo'lsa, unda (1.4)ga to'g'ri keluvchi elektronlar energiyasi $E(\vec{k})$ ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$E(\vec{k}) = E_a + C_a + 2A_a [\cos k_x a + \cos k_y a + \cos k_z a], \quad (1.7)$$

bu yerda, E_a - izolyatsiyalangan atomdagi elektronning to'liq energiyasi; C_a - elektronning kristal atomiga kiritilgandagi olgan qo'shimcha kulon o'zaro ta'sir energiyasi; A_a - qo'shni atomlarning o'zaro ta'sir paytida almashgan energiyasini hisobga oluvchi

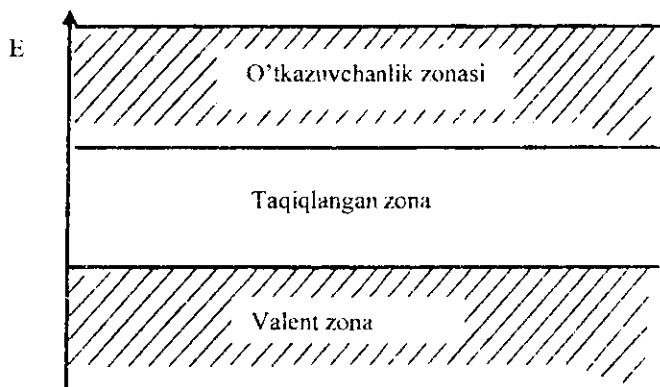
almashuv integrali.

Ruxsat etilgan energetik zonalar tuzilishini (1.7) ifodadan foydalanib tushuntirish mumkin.

(1.6). tenglamani to'lqin vektori k ning quyidagi (1.8) oralqlarida yechish, uning ruxsat etilgan zonada N ta qiymat qabul qila olishini ko'rsatadi.

$$-\pi \leq k_x a \leq \pi; -\pi \leq k_y a \leq \pi; -\pi \leq k_z a \leq \pi. \quad (1.8)$$

Elektron, o'tkazuvchanlik jarayonida qatnashishi uchun elektr maydon hisobidan qo'shimcha energiya olib, yuqori energiyali sathga o'tishi kerak. Agar hamma energetik sathlar elektronlar bilan to'la bo'lsa, bunday o'tishning imkoniyati yo'q. Shunday qilib, kristali qattiq jism absolyut nol temperaturada yuqoriroq energetik sathlarning qisman yoki butunlay to'laligiga qarab, o'zini metal yoki dielektrik sifatida namoyon qiladi.



1.1- rasm. Kristallarda zonalar tuzilishi.

Dielektrik holida atomlar valent elektronlari holatidan yuzaga kelgan yuqori to'ldirilgan zona, valent zona deb ataladi. Keyingi absolyut nol temperaturada bo'sh bo'lgan energiyaning ruxsat etilgan qiymatlari zonasi, o'tkazuvchanlik zonasi (yoki erkin zona) deyiladi.

Valent zona. o'tkazuvchanlik zonasidan, elektronlar uchun

ta'qiqlangan energiyaning ma'lum qiymatli kengligi bilan ajralib turadi, bu ta'qiqlangan zona deyiladi (I.1- rasm).

Absolyut noldan yuqori temperaturalarda valent zonadagi elektronlarning bir qismi issiqlikdan uyg'onishi natijasida valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish uchun yetarli bo'lgan energiyaga ega bo'ladi (I.1- rasm). Natijada o'tkazuvchanlik zonasidan n miqdordagi o'tkazuvchanlikda qatnashishi mumkin bo'lgan elektronlar konsentratsiyasi oshadi. Bu vaqtda valent zonada ham shuncha miqdordagi o'tkazuvchanlikda qatnashishi mumkin bo'lgan bo'sh holatlar paydo bo'ladi. Valent zonani yuqori chegarasi yaqinida elektronlar konsentratsiyasi katta, shuning uchun valent zonada kovaklar tushunchasi qo'llaniladi.

Elektr o'tkazuvchanlik kattaligi qattiq jism ta'qiqlangan zonasi kengligiga bog'liq bo'lgan erkin zarralar (elektronlar va kovaklar) konsentratsiyasiga proporsional. Ta'qiqlangan zonasi keng bo'lgan moddalarning elektr o'tkazuvchanligi kam bo'lib, dielektriklar sinfiga, tor ta'qiqlangan zonaga ega bo'lgan moddalar esa -- yarimo'tkazgichlar sinfiga kiradi. Nometal qattiq jismlarda bunday bo'linish shartlidir, chunki yarimo'tkazgich va dielektriklar orasidagi farq faqatgina ta'qiqlangan zona kengligidadir [1].

Ta'qiqlangan zona kengligi yarimo'tkazgich moddalar uchun muhim parametr hisoblanib, ko'p hollarda uning xususiyatini belgilaydi.

I.II. Zaryad tashuvchilarning magnit maydonidagi harakati

Ma'lumki $\vec{H}$ magnit maydonida $\vec{g}$ tezlik bilan harakatlanayotgan e elektr zaryadiga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$F = e\mu\mu_0[\vec{v}\vec{H}]. \quad (1.9)$$

Bu kuchning yo'nalishi $\vec{H}$ magnit maydoniga joylashgan e zaryad tashuvchining ishorasiga va $\vec{g}$ tezlikning vektor ko'paytmasi $[\vec{H} \vec{g}]$ ga bog'liq. Agar tok tashuvchilarning tezligi $\vec{g}$, magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$ ning yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsa, tok tashuvchilar Lorens kuchi ta'sirida $\vec{g}$ va $\vec{H}$ yo'nalishlariga

perpendikulyar ravishda harakatlanadi. Buning natijasida zaryadlarning fazoviy bo'linishi yuzaga keladi va E_u elektr maydoni paydo bo'ladi.

Statsionar holatda zaryadga ta'sir qiluvchi eE_u kuch Lorens kuchiga teng bo'ladi:

$$eT_u = c\mu\mu_0 vH = cvB \quad (1.10)$$

bu erda, $B = \mu\mu_0 gH$ -magnit induksiyasi; μ -yarim o'tkazgichlarning nisbiy magnit kirituvchanligi; μ_0 -magnit doirniysi.

Agar zaryad tashuvchilarning barchasi manfiy zaryadlardan iborat va konsentratsiyasi n bo'lsa, hosil bo'lgan elektr maydon kuchlanganligini tok zichligi orqali yozish mumkin:

$$E_y = \frac{jB}{ne} = RjB \quad (1.11)$$

bu erda, $R = \frac{1}{ne}$ — Xoll koeffitsienti.

Elektr toki o'tayotgan o'tkazgichni magnit maydoniga joylashtirilganda E_y elektr maydoni va unga mos keluvchi potentsiallar farqi hosil bo'lishi hodisasi Xoll effekti deyiladi.

I.III. Xoll effekti

Zaryad tashuvchi zarrachalarga elektr $\vec{E}$ va magnit $\vec{H}$ maydonlarining birgalikdagi ta'siri natijasida yuzaga kelayotgan hodisalar galvanomagnit effektlar deb yuritiladi. Xoll effekti galvanomagnit effektlaridan biridir.

Xoll effektini kuchsiz magnit maydonida qarang chiqamiz. Kuchsiz magnit-maydoni bu zaryad tashuvchilarning relaksasiya vaqtlari τ , ularning magnit maydonidagi doiraviy orbitalardagi aylanish davrlari T_s dan juda kichik bo'lgan magnit maydoni tushuniladi

$$\tau \leq T_c \quad (1.12)$$

Ma'lumki, magnit maydonidagi doiraviy orbitalardagi, effektiv massasi m bo'lgan zaryad tashuvchilarning avlanish chastotasi

$$\omega_c = \frac{e}{m} B, \quad (1.13)$$

(1.13) ni hisobga olgan holda kuchsiz magnit maydoni sharti (1.12)ni

$$\tau \ll \frac{m}{e} \frac{2\pi}{B} \quad (1.14)$$

ko'rinishda va unda $\mu = \frac{\hbar}{m}$ - zaryad tashuvchilarning harakatchanligi ekanligini e'tiborga olib,

$$\mu B \ll 1 \quad (1.15)$$

ni hosil qilamiz. Bu shart odatda kuchsiz magnit maydoni kriteriyasi hisoblanadi.

Xoll effekti harakatlanayotgan zaryadli zarrachalarga elektr $\vec{E}$ va magnit $\vec{H}$ maydonlarida

$$\vec{F} = e \left\{ \vec{E} + \left[\vec{g} \cdot \vec{B} \right] \right\} \quad (1.16)$$

kuch ta'sir qilayotganda yuzaga keladi.

Bu kuch ta'sirida Bolsmanning kinetik tenglamasi (1.17) ko'rinishini oladi.

$$\vec{g} \Delta_r f + \frac{t}{h} \left\{ \vec{E} + \left[\vec{g} \cdot \vec{B} \right] \right\} \Delta_k = - \frac{f - f_0}{\tau} \quad (1.17)$$

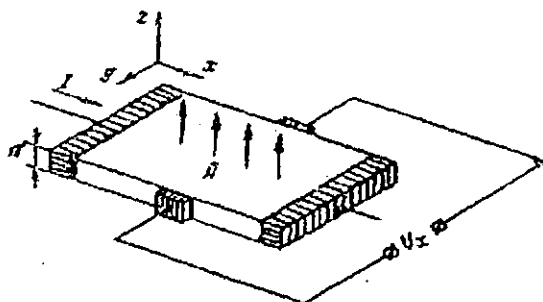
bu yerda, f_0 va f - muvozanatli va muvozanatsiz termodinamik holatlar taqsimot funksiyasi.

Shunday qilib, muvozanatsiz taqsimot funksiyasi ma'lum bo'lsa bir jinsli yarim o'tkazgichlarda summar tok zichligi $\vec{j} = \vec{j}_n + \vec{j}_p$ -ni aniqlash mumkin.

Elektron va teshiklar konsentratsiyalari n va p , harakatchanliklari μ_n va μ_p bo'lgan yarim o'tkazgichlar uchun tok zichligi ifodasi quyidagidan iborat bo'ladi.

$$\vec{j} = e(n\mu_n + P\mu_p)\vec{E} + ve(n\mu_n^2 - P\mu_p^2)\left[\frac{\vec{B} \times \vec{E}}{B \cdot E}\right]. \quad (1.18)$$

bu yerda, v -zaryad tashuvchilarning relaksatsiya vaqti $\tau(\vec{k})$ bilan aniqlovchi koeffitsient.



1.2- rasm. Xoll koeffitsientini aniqlash uchun namuna.

Agar elektr toki x o'qi bo'ylab, magnit maydoni N esa y o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa (1.2-rasm.) (1.18) tenglama ikkiga ajraladi:

$$j_x = j = e(n\mu_n + P\mu_p)E_x - vR(n\mu_n^2 - P\mu_p^2)BE_y; \quad (1.19)$$

$$j_y = 0 = e(n\mu_n + P\mu_p)E_y - ve(n\mu_n^2 - P\mu_p^2)BE_x \quad (1.20)$$

Bu tenglamalarni E_u ga nisbatan yechib, Xoll maydoni kuchlanganligini topamiz:

$$E_y = \frac{v}{e} \frac{P\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(P\mu_p + n\mu_n)^2} jB = RJB \quad (1.21)$$

bu yerda,

$$R = \frac{v}{e} \frac{P\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(P\mu_p + n\mu_n)^2} \quad (1.22)$$

Xoll koeffitsienti.

Bir xil ishorali zaryad tashuvchilar uchun (1.22) soddalashadi:

Elektronlar uchun

$$\left. \begin{array}{l} R = -v \frac{1}{ne} \\ R = v \frac{1}{pe} \end{array} \right\} \quad \text{kovaklar uchun} \quad (1.23)$$

Xoll ko'effitsienti ishorasiga qarab moddalardagi zaryad tashuvchilar ishorasini aniqlash mumkin. Aralashmali o'tkazuvchanlik hamda Xoll ko'effitsienti ishorasi elektron va teshiklar konsentratsiyasi va harakatchanligi orqali (1.22) dan aniqlanadi. Xususi yarim o'tkazgichlarda ($n=p$) Xoll ko'effitsienti manfiy: chunki elektronlar harakatchanligi katta.

Tegishli namuna uchun Xoll ko'effitsienti va elektr o'tkazuvchanligi $\sigma = en\mu$ ni bilgan holda tok tashuvchilarning Xoll maydonida harakatchanligi μ ni aniqlash mumkin:

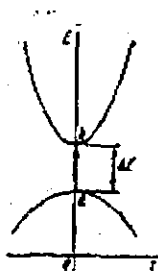
$$\mu = |R|\sigma \quad (1.24)$$

Aralashmali yarimo'tkazgichlar uchun amalda (1.22) ifodasi va o'tkazuvchanlikning $\sigma = e(nb + p)\mu_n$ ifodalarini aniq hisoblash juda qiyin, chunki noma'lum parametrlar (n, p, b, μ, v) soni ko'payib ketadi.

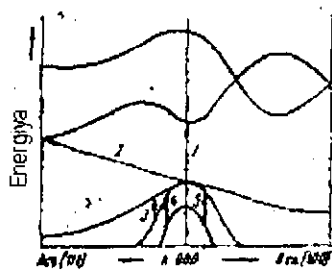
II-bob. Yarim o'tkazgichlarda yorug'likning yutilishi

II.1. Xususi yutilish.

Agar yarimo'tkazgich nurlanish kvantini yutganda, valent zonadagi elektronlar, ta'qiqlangan zona kengligiga teng yoki undan



II.- 1-rasm Anatimonid xususi yutilish.



II.- 2-rasm Germaniyning Energetik zonalari.

ortiq qo'shimcha energiyani olib, o'tkazuvchanlik zonasiga o'tsa, bunday yutilishga xususiy yoki fundamental yutilish deyiladi. Yarimo'tkazgichlarning xususiy yutilishini o'rganishda uning energetik zonalari tuzilishiga e'tibor berish kerak. Hozirgi zamonda ma'lum bo'lgan yarimo'tkazgichlar energetik zonalari konfiguratsiyasiga qarab ikkita asosiy ko'rinishga bo'linadi.

Bulardan birinchisida, o'tkazuvchanlik zonasidagi to'lqin vektori $\vec{R}_{\min}$ bilan xarakterlanuvchi minimum energiyasi va valent zonadagi to'lqin vektori $\vec{R}_{\min}$ bilan xarakterlanuvchi maksimum energiyasi Brilluyen zonasi (bu nuqtada $\vec{R} = 0$) ning bir nuqtasida joylashgan. Boshqacha aytganda bunday yarimo'tkazgichlarda $\vec{R}_{\min} = \vec{R}_{\max}$ (II.1-rasm). Bunday yarimo'tkazgichlarga misol qilib, antimonid indiyini keltirish mumkin.

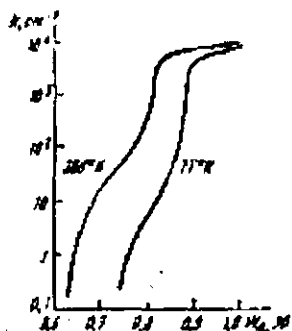
Ikkinchi tur moddalarda o'tkazuvchanlik va valent zonalari ekstremal qiymatlari $\vec{R}$ ning turlicha ya'ni $\vec{R}_{\min} = \vec{R}_{\max}$ qiymatlarida joylashadi. Bu turdagi moddalarga ko'pchilik yarimo'tkazgichlar jumladan germaniy va kremniylar kiradi (II.2-rasm)

Elektronning elektromagnit nurlanish maydoni bilan o'zaro ta'sirlashuvida energiyaning saqlanish qonuni va kvazi impuls yoki to'lqin vektori $\vec{R}$ ning saqlanish qonuni bajarilishi kerak :

$$E_a^{2n} = E_a^{1n} + h\nu\phi \quad (II.1)$$

$$\vec{R}_a = \vec{R}_a + \vec{\eta} \quad (II.2)$$

Bu erda $\vec{R}_a, \vec{R}_a$ - elektronning boshlang'ich va oxirgi holatlaridagi to'lqin vektori; $\vec{\eta}$ - nurlanish kvantini to'lqin vektori.



II.3-rasm Germaniyda yorug'likning yutilishi.

(II.2) tenglamada $\bar{n}$ vektorining son qiymati juda kichik, 300°K da ($5 \cdot 10^{-7}\text{sm}$) bo'lganligi uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Shuning uchun $\bar{R}_a = \bar{R}_n$ (II.3)

(II.3)ni elektron o'tishlarning tanlash qoidasi deyiladi. Elektronning optik nurlanish maydoni bilan ta'sirlashuvida to'lqin funksiyalari saqlangan holatlar vertikal yoki to'g'ri o'tishlar deb nomlanadi (II.2-rasm 1-o'tish).

To'g'ri yoki vertikal bo'lmagan o'tishlar foton chiqarish yoki yutish tufayli yuzaga keladi. To'g'ri va noto'g'ri o'tishlar germaniyni yutilish spektrlarida yetarlicha aniq namoyon bo'ladi. (II.3 rasm) dan germaniydagi fotonlarning to'g'ri va noto'g'ri o'tishlariga to'g'ri keluvchi chegaraviy energiyasi uy temperaturasi 0,81 va 0,62 V ni tashkil qiladi.

Suyuq azot temperaturasi esa 0,88 va 0,72 V.

II. II. Eksiton yutilish

Yarimo'tkazgichlar yorug'likni yutganda valent zona elektronlarining shunday uyg'ongan holati yuzaga keladiki - unda elektron o'tkazuvchanlik zonasiga o'tmasdan kovak bilan birlashgan sistema hosil qiladi. Bunday sistema eksiton nomini oladi. Agar eksitonning o'lchamlari panjara doimiysidan o'ta yuqori bo'lsa, elektron va kovaklarning o'zaro ta'sirini ikkita nuqtaviy zaryad orasidagi EE_n marta kamaygan kulon o'zaro tasiri shaklida ifodalash mumkin.

Shryodenger tenglamasini elektron va kovaklar o'zaro ta'sirlashuvida qo'llab eksitonning to'liq energiyasini topish mumkin.

$$E_{ex} = \frac{n^2}{2M} R^2 ex - \frac{R^1}{n^2} \quad (II.4)$$

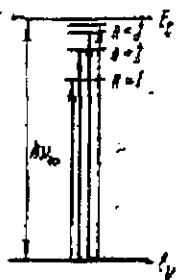
Bu yerda, $M = m_n + m_p$ eksitonni massasi, R^1 - doimiy, m_n, m_p, E lar. Izotroplik sharti va optik o'tish to'g'ri va $R=0$ da sodir bo'layotgan bo'lsa, eksiton yutilish chizig'ining vodorodsimon seriyasi bilan xarakterlanadi (II.4 rasm).

Eksitonni vodorodsimon seriyasi quyidagi tenglikni qanoatlantiradi.

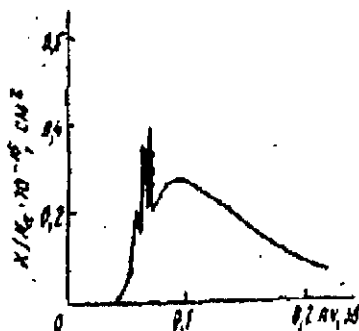
$$h\nu = h\nu_\infty - \frac{R^1}{n^2}, \quad (II.5)$$

Bu yerda, $h\nu_\infty$ - ta'qiqlangan zona bilan $R=0$ da mos tushadi.

Shuni ham aytib o'tish joizki zamonaviy nazariyalarga asosan eksitonni yutilish spektrlari vodorodsimon bo'lmasligi ham mumkin.



II.4 - rasm.
Eksitonning energetik
sathi.



II.5 - rasm. Alyuminiyning kremniy
panjarasida aralashmali yutilish (N_a
aralashmalar konsentratsiyasi).

II.III Aralashmali yutilish.

Kristallardagi kirishma markazlari ionlashuvi va uyg'onishidan vujudga kelgan optik yutilishi aralashmali deyiladi. Ma'lumki, donorli va akseptorli aralashmalari bo'lgan yarimo'tkazgichlar ta'qiqlangan zonasida lokal energetik holatlar paydo bo'ladi. Yarimo'tkazgichlarga yorug'lik tushganda uzluksiz

polosali yutilish kuzatiladi. Bu elektronlarning aralashmalar energetik sathidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi tufayli yuzaga keladi. Shunday yo'l bilan valent zona elektronini yorug'lik tushirish bilan akseptor holatiga o'tkazish mumkin.

Kirishmali markazlar asosiy holatdan tashqari uyg'ongan energetik sathga ham ega bo'lishlari mumkin. Aralashma elektronlarni uyg'ontirish, ya'ni ularni asosiy holatdan uyg'ongan holatga o'tkazish, yorug'likning yutilishiga olib keladi. Bunda spektrda bir qancha polosalar kuzatiladi. (III.5 - rasm)

Yarimo'tkazgich kristal panjarasida aralashmalar ionlashuv energiyasi, Shryodenger tenglamasi asosida topiladi va u donorli aralashmalar uchun quyidagicha:

$$E_d = -13,6 \frac{m_n}{m_o} \cdot \frac{1}{E^2} \quad (III.6)$$

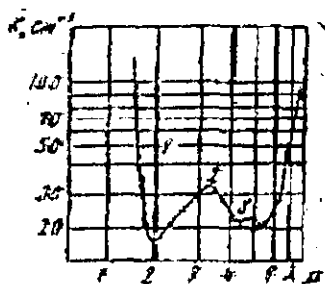
Bunda, m_n - elektronning effektiv massasi, m_o - erkin elektronning massasi, E - kristalning nisbiy dielektrik kirituvchanligi.

Germaniy panjarasida joylashgan donor aralashmasi atomi uchun, $M_n = \frac{1}{4} M_o$ va $E = 16$ shartda, $E_d = 0.01$ eV ni hosil qilamiz.

Xuddi shunday hisoblashni akseptor aralashmasi uchun ham bajarish mumkin.

II. IV. Erkin elektronlarda yutilish

Yarimo'tkazgichlarga tegishli to'liq uzunligidagi yorug'lik nuri tushganda o'tkazuvchanlik zonasi elektronlari va to'liq to'ldirilmagan valent zona elektronlari, zona ichidagi bir sathdan boshqa sathga o'tishi mumkun. Bunday ichki o'tishlar tanlash qoidasi buzilgan holda yuzaga keladi. Impulsning



II.6-rasm. P-tipli germaniyaning yutilish egri chizig'i.

saqlanish qonuniga bo'ysungan holda foton yutish bilan bir qatorda, fonon yutilishi yoki chiqarilishi yuzaga keladi. Bu yutilish erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga, tushayotgan yorug'lik to'liqini uzunligi λ kvadratiga va dreyf harakatchanligi μ ga teskari

$$\text{proporsionaldir: } R = \frac{n\lambda^2}{\mu} \quad (11.7)$$

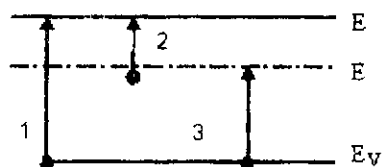
11.6 –rasmda germaniyda xususiy yutilish, 2 va 3 maksimumlar valent zonasidagi kovaklarni energetik zonalardagi o'zaro o'tishidan yuzaga keladi.

Yarimo'tkazgichlarda yuqorida ko'rib o'tilgan yutilishlardan tashqari kristal panjarada yutilish ham kuzatiladi.

III-bob. Yarimo'tkazgichlarda fotoo'tkazuvchanlik

III.1. Ichki fotoeffekt

Ichki fotoeffekt – bu qo'shimcha muvozanatsiz zaryad tashuvchilarni yuzaga keltiruvchi yorug'lik ta'sirida yarimo'tkazgichlarning ichki ionlashuv jarayonidir, ichki fotoeffektga asoslangan qo'shimcha o'tkazuvchanlik fotoo'tkazuvchanlik deyiladi.



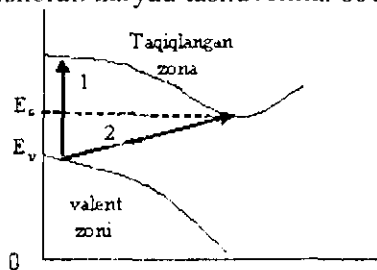
III.1 rasm. Ta'qiqlangan zonadagi elektronning mumkin bo'lgan optik o'tishlari sxemasi.

Ichki fotoeffektda birlamchi jarayon ma'lum energiyali fotonni yutish. Fotonning energiyasi, yarimo'tkazgichning ta'qiqlangan zonasida joylashgan elektronini o'tkazuvchanlik zonasiga (III. 1-rasm, 1 va 2 o'tishlar), yoki energiyaning lokal holatiga (3-o'tish), o'tkazish uchun etarli

bo'lishi kerak. Natijalar shuni ko'rsatadiki, 1- o'tish elektron - kovak juftini hosil qilsa, 2 va 3 o'tishlarda faqat bir xil ishorali zaryad tashuvchilar paydo bo'ladi.

Agar optik uyg'onish valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan elektronlardan sodir bo'lsa, unda musbat va manfiy

ishorali zaryad tashuvchilar sodir qilgan xususiy fotoo'tkazuvcchanlik kuzatiladi. Bunda fotonning energiyasi $h\nu$, yarimo'tkazgich ta'qiqlangan zonasi kengligidan kam bo'lmashligi ($h\nu \geq \Delta E$) kerak.



III. 2-rasm. To'g'ri 1 va noto'g'ri 2 zonalarda optik o'tish.

ta'siridan sodir bo'layotgan bo'lsa, unda to'g'ri optik o'tish o'rinli bo'ladi. (III.2-rasm, 1-o'tish). Ammo kristal panjarada sezilarli darajada murakkabroq bo'lgan jarayonlar, foton, elektron va fonon (kristall panjaraning tebranish kvanti) o'zaro ta'sirlar ehtimoliyati kuzatiladi. Bundan o'zaro ta'sir natijasida elektron asosan fotonni energiyasini oladi va fonon hisobiga o'zining to'liq sonini o'zgartiradi (III.2-rasm, 2-o'tish). Bunday o'tish noto'g'ri (novertikal) optik o'tish deyiladi.

Murakkab energetik zonalar holida to'g'ri optik o'tishga termik o'tish energiyasidan katta bo'lgan energiya mos keladi. Noto'g'ri o'tish ehtimoliyati to'g'ri o'tish ehtimoliyatidan kichik bo'lganligi uchun to'g'ri o'tishga mos keluvchi fotonning yutilish spektrida, yutilish va fotoo'tkazuvcchanlikning keskin oshishi kuzatilishi zarur.

III. II. Fotoo'tkazuvcchanlik

Yuqori energiyali fotonlar bilan o'zaro ta'sirlashishdan paydo bo'lgan muvozanatsiz elektron va kovaklar, ionlashuv jarayoni tugashi hamon muvozanatli zaryad tashuvchilar ega bo'lgan kT miqdordagi o'rtacha energiyadan kattaroq bo'lgan energiyaga ega bo'ladilar. Ammo fononlar va kristall panjara defektlari bilan o'zaro ta'sir natijasida muvozanatsiz zaryad tashuvchilar tezda panjara temperaturasi egallaydi va ularning energiyasi muvozanatli zaryad tashuvchilarning o'rtacha issiqlik energiyasiga tenglashadi. Bu

jarayon zaryad tashuvchilarning relaksatsiya vaqti, deb ataluvchi 10^{-10} sek ga teng bo'lgan vaqt davomida yuzaga keladi. Qoidaga binoan muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning yashash vaqti $\tau(10^{-2} - 10^{-7} \text{ sek})$, bu esa undan sezilarli darajada kattadir. Xulosa qilish mumkinki rekombinatsiyagacha bo'lgan yashash vaqtining katta qismida ularning kinetik energiyalari muvozanatli zaryad tashuvchilarning issiqlik energiyalariga mos keladi. Shuning uchun, zonalardagi muvozanatli va muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning energiya bo'yicha taqsimlanishi mos keladi, deb hisoblash mumkin va demak, ularning harakatchanligi μ ham bir xil [2].

Shunday qilib, yorug'lik ta'sirida zaryad tashuvchilarning yuzaga kelishi yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanligi σ ning o'zgarishiga olib keladiki, u muvozanatsiz elektronlar Δp bo'lgan hol uchun quyidagicha yoziladi.

$$\sigma = e[(n_0 + \nabla n)\mu_n + (p_0 + \nabla p)\mu_p], \quad (\text{III.1})$$

bu erda, n_0 va p_0 - muvozanatli elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi.

Fotoo'tkazuvchanlik σ_ϕ , yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi σ va yorug'lik tushmagandagi o'tkazuvchanligi σ_0 larning farqiga teng:

$$\sigma_\phi = \sigma - \sigma_0 = e(\mu_n \nabla n + \mu_p \nabla p). \quad (\text{III.2})$$

Tabiiyki, yarimo'tkazgichdagi muvozanatsiz zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari (Δn va Δp) yorug'likning intensivligi va davomlilik vaqtiga bog'liq.

Yorug'lik manbaini juda tez yoqib-o'chirish paytidagi muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning relaksatsiya (o'sish va kamayishi) doimiy vaqti τ bilan eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradi:

$$\text{O'sishi} \quad \Delta n = \Delta n_0(1 - e^{-t/\tau}) = \tau B R J(1 - e^{-t/\tau}). \quad (\text{III.3})$$

$$\text{Kamayishi} \quad \Delta n = \Delta n_0 e^{-t/\tau} = \tau B R J e^{-t/\tau}. \quad (\text{III.4})$$

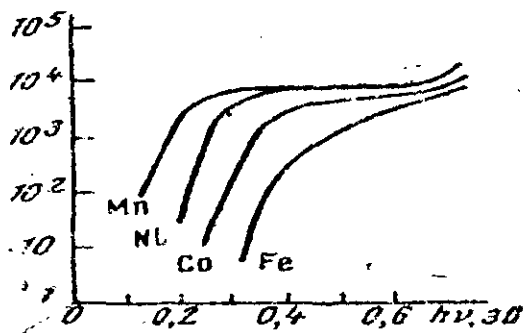
Bu yerda, $\beta \leq 1$ - kvantlash koeffitsienti, R - yutilishi koeffitsienti, J - yorug'likning intensivligi, e - natural logarifm asosi, t - vaqt.

Muvozanatsiz zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi uchun keltirilgan analitik bog'lanish muvozanatsiz statsionar o'tkazuvchanlik (konsentratsiya)ning yorug'lik intensivligidan o'zgarish qonunini aniqlash imkonini beradi. Bu yarim o'tkazgichning lyuks-ampere xarakteristikasi - deb yuritiladi. Rekombinatsiyani chiziqli qonunida, ya'ni muvozanatsiz zaryad tashuvchilar yashash vaqti yorug'lik intensivligidan bog'liq bo'lmagan holda lyuks-ampere xarakteristika chiziqli, chunki III.3 va III.4 da, $t \rightarrow \infty$ dagi muvozanatsiz zaryadlar konsentratsiyasi Δn_0 , yorug'lik intensivligi J ga proporsional:

$$\Delta n_0 = \tau \cdot \beta \cdot R \cdot J \quad (III.5)$$

III.III. Aralashmali fotoo'tkazuvchanlik

Lokal qurilmali nurlanish sathlari mavjud bo'lgan yarimo'tkazgichlar ta'qiqlangan zonasida, issiqlikdan uyg'onishga o'xshash, elektronlarning nurlanish sathi va zonalar orasidagi o'tishi yuzaga kelishi mumkin (III.1-rasm, 3-3 o'tishlar). Bunday o'tishlar tufayli amalga oshirilgan yutilish va fotoo'tkazuvchanlik - aralashmali deb ataladi. Tabiiyki ta'qiqlangan zonada joylashgan sathlar ionlashish energiyasi, ta'qiqlangan zona kengligi ΔE dan kichik.



III. 3- rasm. Mn, Ni, Co va Fe kirishmali germaniy fotoo'tkazuvchanligining foton energiyasi $h\nu$ dan bog'liqligi.

Shuning uchun ham aralashmali yutilish va fotoo'tkazuvchanlikning uzun to'liq chegarasi, xususi yutilishi va fotoo'tkazuvchanlikka nisbatan spektrning uzun to'liq tomoniga siljiganroq bo'ladi.

II. 3-rasmda turli xil kirishmali germaniy fotoo'tkazuvchanligining spektral bog'lanishi keltirilgan.

Aralashmali fotoo'tkazuvchanlik sohasida Lyuks-ampere xarakteristika yorug'likning kichik intensivliklaridagina bo'ladi va yorug'likning katta intensivliklarida to'yinish holatiga etadi.

IV -- bob. Yarimo'tkazgichlarda nurlanish

IV.1. Yarimo'tkazgichlar lyuminessensiyasi

Uyg'ongan holatda joylashgan yarimo'tkazgichlarda elektromagnit nurlanish chiqarishi kuzatilishi lyuminessensiya deyiladi.

Moddaning bunday holatini turli xil usullar bilan hosil qilish mumkin. Fotolyuminessensiyada nurlanish yutilgan yorug'lik energiyasi hisobiga bo'ladi. Namunani elektronlar bilan bambardirovka qilgandagi nurlanish katodolyuminessensiya deyiladi. Lyuminessensiya moddani rentgen yoki γ -nurlanish, protonlar, $L\beta$ - zarrachalar bilan uyg'ontirilganda ham kuzatiladi, bu radiolyuminessensiya deyiladi. Uyg'ontirish elektr maydon ta'sirida bajarilsa elektroluminessensiya, moddaga mexanik ta'sir etish orqali bo'lsa tribolyuminessensiya, hamda ximik va biologik jarayonlarda ximi- va bio- lyuminessensiya kuzatiladi.

S.I Vavilov tomonidan berilgan birinchi ta'rifga binoan, lyuminessensiya bu jism temperaturaviy nurlanishdan xolis qismidan iborat bo'ladiki, faqat, agar bu xolis nurlanish yorug'lik tebranishlari davridan sezilarli darajada katta bo'lgan chekli davomlilikka ega bo'lsa.

Bu ta'rif lyuminessensiyani, Krixgof qonuniga bo'ysinuvchi muvozanatni issiqlik nurlanishidan ajratadi va unga muvozanatsiz nurlanish qatoriga kirish huquqini beradi. Bundan tashqari, bu

ta'rif lyuminessensiyani bir qancha yorug'likning qaytishi va sochilishi, tormozlanishidagi nurlanish, Vavilov-Cherenkov nurlanishi, induksiyalangan nurlanish va h.k. muvozanatsiz nurlanishlardan ajratadi.

Lyuminessensiyani boshqa turdagi muvozanatsiz nurlanishlardan ajratadigan belgisi – inersiyasizligi, uning davomlilik vaqti yorug'lik tebranishlari kabi 10^{-15} sek ga teng.

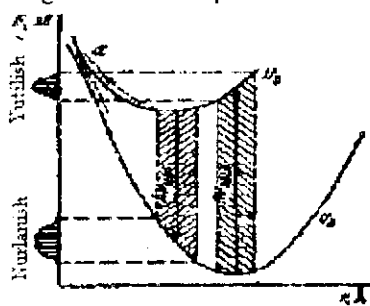
Yarimo'tkazgichlarda uch xil lyuminessensiya kuzatiladi: spontan yoki monomolekulyar, metastabil va rekombinatsion.

Qattiq jismlarning spontan va metastabil nurlanishi, yorug'lik yutilishi yoki nurlanishi kirishmalar markazida amalga oshgan paytda yuzaga keladi.

Yarimo'tkazgichlarning rekombinatsion nurlanishi, elektron va kovaklarning to'g'ridan –to'g'ri yoki markaz orqali rekombinatsiyalashuvida yuzaga keladi. Bu markaz yorug'likning nurlanish markazi sifatida namoyon bo'ladi.

IV.H. Qattiq jismlarning spontan (monomolekulyar) nurlanishi

Qattiq jism lyuminessension spektrlari aralashmalar izolyasiyalangan atomlariga tegishli spektrlardan ikkita asosiy chegara bilan farqlanadi. Birinchidan, qattiq jismlar nurlanishi odatda



IV.1-rasm. Qattiq jismdagi aralashma markazining energetik holati sxemas'. U_0 - asosiy holat,

U_0' - uyg'ongan holat.

keng polosalar ko'rinishida kuzatiladi va ikkinchidan, ularning lyuminessension spektrlari yutilish spektrlariga nisbatan uzun to'lqin yo'nalishida siljiganroq, aniqrog'i bu polosalar maksimumlari siljigan. Qattiq jism optik xususiyatlarining bu asosi, o'zining kelib chiqishiga binoan, nurlanish markazining kristall panjara maydoni bilan o'zaro ta'siriga bog'langan. Markazning atrofmuhit bilan o'zaro tortishuv,

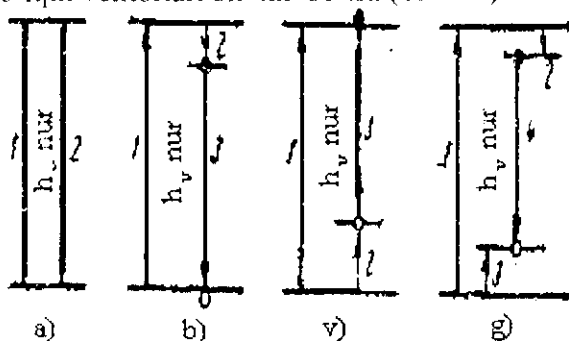
itarishuv, almashinuvi va vandervalscha tortishuvdan yuzaga keladi. Bu o'zaro ta'sir kuchlari natijasida aralashmalar kristal panjarasidagi atomlar holatlari kvazimolekulyar bo'ladi (IV.1-rasm).

IV.III. Yarimo'tkazgichlarning rekombinatsiyali nurlanishi

Ma'lumki xususiy yarimo'tkazgichlarda yorug'lik yutilishida, o'tkazuvchanlik zonasida, $\vec{R} = \vec{R}^1$ sharti bajarilganda - to'g'ri optik o'tish, $\vec{R} \neq \vec{R}^1$ sharti bajarilganda esa - noto'g'ri optik o'tish o'rindir. Yutilish mexanizimidan keyin hosil bo'lgan, erkin zaryad tashuvchilar jufti (elektron-kovak) sochiladi, ya'ni relaksatsiya vaqti davomida elektronni, o'tkazuvchanlik zonasi tubiga tushishga, kovakni esa valent zonasi ustki chegarasiga ko'tarilishga undaydi.

Erkin zaryad tashuvchilar bilan kristal panjara orasidagi muvozanatli holat $10^{-10} - 10^{-12}$ sek vaqt mobaynida amalga oshadi.

Elektron va kovakning fotonni chiqarishidan iborat to'g'ri rekombinatsiyasi amalga oshadi, qachonki elektron va kovaklarning to'liq vektorlari bir xil bo'lsa ($\vec{R} = \vec{R}^1$).



IV.2-rasm. Energetik diagrammalar. a-to'g'ri nurlanish rekombinatsiyasi; b,v,g-lokal markazlar ishg'ol qilgan nurlanish rekombinatsiyasi.

Bunday hol valent va o'tkazuvchanlik zonalarini, $R=0$ da tegishli maksimum va minimumlarga ega bo'lganda amalga

oshadi (IV.2-rasm).

Elektron va kovaklar to'g'ri nurlanish rekombinatsiyasi juda toza va o'ta aniq kristal strukturali yarimo'tkazgichlarda kuzatiladi.

V 2-rasmda energetik sathning rekombinatsion markazi o'tkazuvchanlik sathiga yaqin joylashgan holat tasvirlangan, u $\tau_n > \tau_p$ tengsizlik bajarilgan holda amalga oshadi. Bundan oldin lokal markazlar tomonidan o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron yutiladi (2-o'tish), keyin esa valent zona lokallashgan elektron va kovaklar nurlanish rekombinatsiyasi ro'y beradi (3-o'tish).

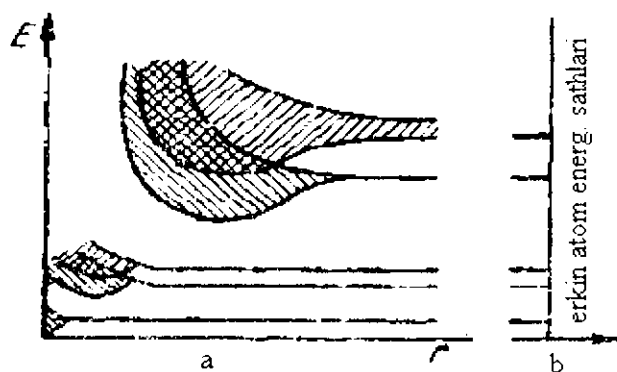
Lyuminessensiyani boshqa (IV.3- rasm v)) modelida esa lokallashgan sath valent zonadan ozgina yuqorida joylashgan bo'lib, unda kovaklarning yutib olish ehtimoliyati katta ($\tau_n > \tau_p$), shu bilan birga o'tkazuvchanlik zonasi elektronining yutib olish ehtimoliyati sezilarli ekanligi kuzatiladi. Lyuminessension nurlanish, o'tkazuvchanlik zonasi erkin elektronlarni, shu sathdagi kovaklar yutib oigan holdagi rekombinatsiyada yuz beradi.

Uchinchi modelda (IV.3- rasm g)) aralashmalar sathi, valent zona yaqinida joylashgan asosiy sath va o'tkazuvchanlik zonasida ozgina pastda joylashgan uyg'ongan sathdan iborat holati ko'rsatilgan. Bu holda, asosiy sath kovaklarni yutishning katta ehtimoliyatiga, uyg'ongan sath esa elektronlarni yutishning katta ehtimoliyatiga ega. Ikkala yutib olish (2,3 - o'tishlarda) amalga oshgandan keyin, elektron o'zidan nur chiqarib (4-o'tish) uyg'ongan sathdan asosiy sathga o'tadi.

V - bob. Yarimo'tkazgichlar. Elektron-kovak r-p o'tish

V.1. Xususiy yarim o'tkazgichlar

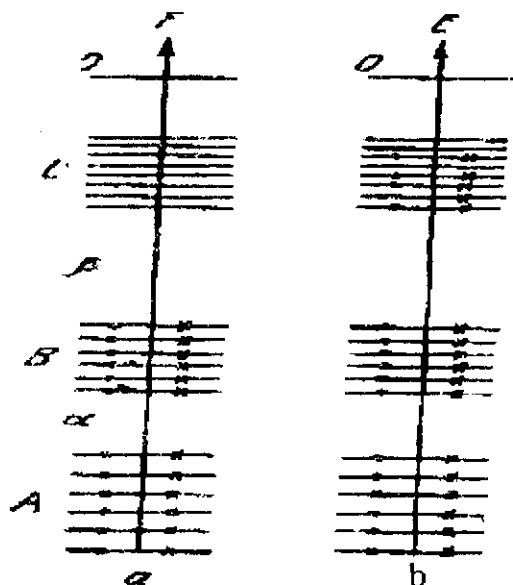
Kvant mexanikasida moddalarning elektr o'tkazuvchanligini zonalar nazariyasi orqali tushuntiriladi. Ma'lumki, yakka郎an atomda (siyraklashtirilgan gazlar, metall bug'lari va h.k.) mavjud



V.1-rasm. Yakkalangan atomning energetik sathlari (b) va uning kengayishi (a).

bo'lgan elektronlarning energiyasi turli qiymatga ega. Elektron ega bo'lishi mumkin bo'lgan energiyalar miqdori diskret ravishda o'zgaradi va yadrodan elektronning qanday uzoqlikda joylashishiga bog'liq bo'ladi (V.1-rasm).

Bu energiya qiymatlari rasmda gorizontal chiziqlar ko'rinishida ko'rinishida



V.2-rasm. Dielektrik (a) va o'tkazgichlarning (b) energetik satxlari.

tasvirlangan. Bu chiziqlar energetik sathlar deb ataladi. Eng quyi energetik sathga to'g'ri kelgan E energiya — asosiy holat deb, qolganlarini ($E > E_1$, $n=2,3,\dots$) esa *uyg'ongan holat* deb ataladi. Elektronning energiyasi $E > 0$ bo'lsa, u bog'langan deb ataladi va o'z yadrosi ta'siri ostida bo'ladi. Energiya miqdori $E > 0$ bo'lsa, elektron *erkin* deb ataladi va bu elektron atomni tashlab ketishi

mumkin.

Atomlar bir-biriga yaqinlashtirilsa, atomlardagi energetik sathlar siljiydi. Natijada atomlar orasidagi masofa kristall panjara hosil bo'ladigan darajaga borganda, energetik sathlar bitta gorizontal chiziqdan iborat bo'lmadan, ma'lum bir zonani egallagan bo'ladi. Atomda yadrodan turli uzoqlikda bo'lgan elektronlar energetik sathlarining kengayishi turlicha bo'ladi. Yadroga yaqin bo'lgan elektronlarning energetik sathlari kamroq, undan uzoqroqdagilariniki esa ko'proq kengayadi. Shunday qilib, qattiq jismlarda ichki elektronlar o'zlarini xuddi yakkalangan atomlardagi kabi tutsa, valent elektronlar esa «kollektivlashtirilgan» bo'lib, butun qattiq jism atomlariga taalluqli bo'ladi [3].

Tashqi elektronlar V.2.-rasm, *a* da ko'rsatilgan *A*, *V*, *S* zonalarga mos kelgan istalgan energiyani olishi mumkin. Shuning uchun bu zona ruxsat etilgan energetik zonalar deb ataladi. Har bir zona bir qancha o'zaro yaqin joylashgan energetik sathlardan iborat bo'lib, qo'shni sathlar bir-biridan taxminan 10^{-22} eV ga farq qiladi.

Ruxsat etilgan zonalar bir-biridan ta'qiqlangan zonalar bilan ajratilgan. Rasmda bu zonalar *a*, *y* polosalar ko'rinishida tasvirlangan. Bu zonada elektronlar bo'lmaydi.

Ruxsat etilgan zonalar atomlarning valent elektronlari bilan to'lgan bo'lsa, bunday zonalar valent zonalar (*A*, *V* zonalar) deb ataladi. Zona «kollektivlashtirilgan» elektronlar bilan qisman to'lgan bo'lsa yoki elektronlari bo'lmasa, u holda bu zona o'tkazuvchanlik zonasini (*S* zona) deb yuritiladi.

Moddalarning elektr o'tkazuvchanligini zonalar nazariyasi yordamida quyidagicha tushuntirish mumkin. Quyida ruxsat etilgan zonalar elektronlar bilan to'lgan, o'tkazuvchanlik zonasida elektronlar bo'lmagan holni ko'rib chiqaylik (V.2- rasm, *a*). Bu holda elektronlari taqsimlangan modda dielektrikdir. Chunki elektronlar tashqi elektr maydon ta'sirida harakatga kelishi uchun ulay o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishlari zarur. Buning uchun ularga katta energiya berish kerak. O'tkazuvchanlik zonasida elektronlarga (V.2- rasm, *b*) ozgina energiya berilishi (masalan, issiqlik harakati tufayli

yoki elektr maydon ta'sirida) bu elektronlarning zonaning yuqori qismiga o'tib olishiga sabab bo'ladi, ya'ni ular erkin elektronlarga aylanadi. Zona ichida elektronlar oson harakatlanadi. Masalan, temperatura 1°K bo'lganda issiqlik harakati energiyasi $kT \approx 10\text{eV}$, bu esa qo'shni sathlar orasidagi energiya farqi ($\sim 10^{-22}\text{eV}$) dan ancha ko'p. Demak, qattiq jismda o'tkazuvchanlik zonasi qisman to'lgan bo'lsa, u elektr tokini o'tkaza oladi.

Shunday qilib, metall va dielektrik zona nazariyasiga ko'ra temperatura 0°K da o'tkazuvchanlik zonasida elektronlari bor yoki yo'qligiga qarab farqlanar ekan.

Dielektrik va yarimo'tkazgich esa bir-biridan ta'qiqlangan zonasining kengligi bilan farqlanadi: dielektriklarda bu zona ancha keng (masalan, NaCl uchun $\Delta E = 6\text{eV}$), yarim o'tkazgichlarda esa ancha tor, masalan, germaniy uchun $\Delta E = 0,72\text{eV}$). 0°K ga yaqin temperaturalarda yarim o'tkazgichning xossalari dielektrik kabi bo'ladi. Chunki elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi kuzatilmaydi.

Begona aralashmalarga ega bo'lmagan ximiyaviy toza yarimo'tkazgich xususiy yarimo'tkazgich deb, ularning o'tkazuvchanligi esa xususiy o'tkazuvchanlik deb yuritiladi. Xususiy yarim o'tkazgich asosan Mendeleyev davriy sistemasining III, IV va V gruppalarida joylashgan.

Temperatura 0°K dan yuqori bo'lganda ayrim elektronlar V zonaning yuqori sathlaridan S zonaning quyi sathlariga o'tadi va o'tkazuvchanlik zonasini hosil qiladi. Erkin elektronlar harakati bilan yuzaga kelgan xususiy o'tkazuvchanlik elektron o'tkazuvchanlik yoki p-tipdagi o'tkazuvchanlik deyiladi (lotincha negative — manfiy). V zonadan chiqib ketgan elektronning o'rni bo'shab, kovak hosil bo'ladi. Tashqi elektr maydon ta'sirida kovakka qo'shni sathdagi elektron o'tishi kuzatiladi. Natijada, ko'chgan elektron o'mida kovak paydo bo'ladi. Kovakning bunday siljishi elektron harakati yo'nalishiga teskari bo'lib, xuddi zaryad miqdori elektron zaryadiga teng, lekin ishorasi musbat bo'lgan kvazizarra ko'chgandek bo'ladi. Kovaklarning bunday harakati tufayli yuzaga

kelgan o'tkazuvchanlik kovakli o'tkazuvchanlik yoki r- tipdagi o'tkazuvchanlik deb ataladi (lotinchada positive -- musbat) [2].

Shunday qilib, xususiy yarim o'tkazgichlarda elektr tokini elektronlar va kovaklar harakati vujudga keltiradi. Xususiy yarim o'tkazgichlarda elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi bir xil. U xususiy konsentratsiya deb atalib, ni ga teng:

$$n_i = AT^{-3} \cdot \exp\left(-\frac{VE_{g0}}{kT}\right), \quad (V.1)$$

bu yerda, A --- proporsionallik koeffitsienti, T --- absolyut temperatura; AE_{g0} 0°K temperaturadagi taqiqlangan zona kengligi; k --- Bolsman doimiysi. Uy temperaturasida kremniy uchun $n \approx 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ga, germaniy uchun $n_i \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ga teng.

Elektronlar va kovaklarning elektr maydon ta'siridagi harakati harakatchanlik deyiladi. Harakatchanlik maydon kuchlanganligi bir birlikka teng bo'lganda elektronlar va kovaklarning harakat tezligini ifodalaydi. Yarim o'tkazgichlarning solishtirma o'tkazuvchanligi

$$\delta = nq\mu_n + pq\mu_p, \quad (V.2)$$

bunda, μ_n va μ_p elektronlar va kovaklarning harakatchanligi. Kremniy va germaniyda elektronlarning harakatchanligi kovaklarinikiga nisbatan 2 --2,5 marta katta bo'ladi. Shu sababli xususiy yarim o'tkazgichlarning asosan o'tkazuvchanligi elektron xarakterga ega [5].

Xususiy yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi temperatura ortishi bilan ortadi.

Yarim o'tkazgichlarda erkin elektron boshqa zarralar bilan to'qnashganda energiyasining bir qismini yo'qotib bo'sh energiya sathida yana kovalent bog'lanishga kirishishi mumkin. Bu jarayon *rekombinatsiya* deyiladi.

V.II. Aralashmali yarimo'tkazgichlar

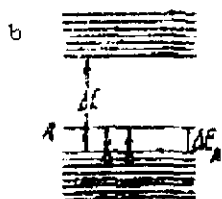
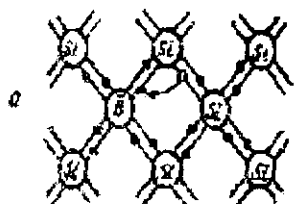
Sof yarim o'tkazgichga ozgina miqdorda begona modda kiritilishi, uning elektr o'tkazuvchanligini keskin o'zgartirib yuboradi. Masalan, kremniyga 0,001% bor atomlarining kiritilishi,

uning o'tkazuvchanligining 1000 barobar ortishiga olib keladi. Buni tushuntirish uchun germaniyga mishyak qo'shilgan holni ko'raylik (V.3-rasm).

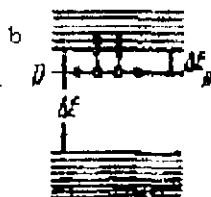
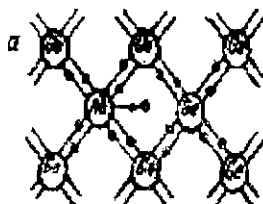
Germaniy atomi to'rt valentli, mishyak atomi besh valentli bo'lganligidan bitta elektron ortiqcha bo'lib, kovalent bog'lanishda qatnashmay erkin elektronga aylanadi [3].

Bu jarayonni zona nazariyasiga ko'ra quyidagicha tushuntirish mumkin. Yarimo'tkazgichga kiritilgan begona modda panjara maydonini bo'ladi. Bu esa ta'qiqlangan zonada mishyak valent elektronlarining O energetik sathi hosil bo'lishiga olib keladi (V.3-rasm, b). Bu sath aralashma sathi deb ataladi. Sath o'tkazuvchanlik zonasidan quyida $\Delta E_D = 0,015 \text{ eV}$ masofada bo'ladi. $\Delta E_D \ll \Delta E$ bo'lganligidan, odatdagi temperaturalarda issiqlik harakati energiyasi elektronlarni aralashma sathidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazish uchun etarli bo'ladi.

Shunday qilib, yarim o'tkazgichga, valentligi bitta katta bo'lgan begona modda qo'shilganda, o'tkazuvchanlik erkin elektronlar hisobiga yuzaga keladi. Yarim o'tkazgichning elektron o'tkazuvchanligini hosil qiluvchi aralashmalar *donorlar* deyiladi.



V.3-rasm. n-tipli yarimo'tkazgichning hosil bo'lishi



V.4-rasm p-tipli yarimo'tkazgichning hosil bo'lishi

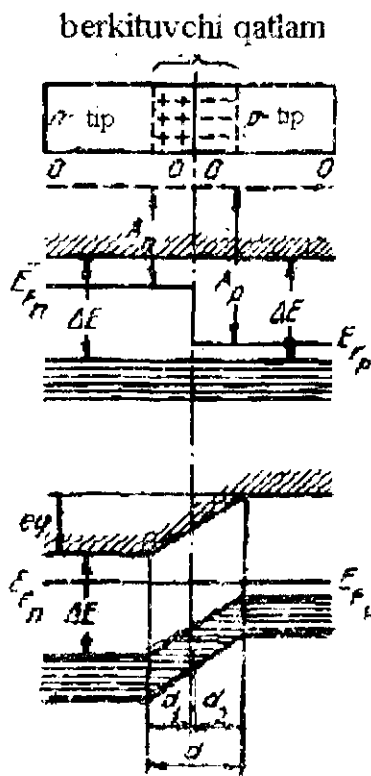
Endi kremniyning kristall panjarasiga uch valentli bor kiritilgan holni qaraylik (V.4-rasm, a). Bunda bor atomi kremniy atomlari bilan kovalent bog'lanishga kirishishi uchun bitta elektroni etishmaydi. Etishmagan elektron asosiy elementdan olinadi va bu elektron o'rnida kovak hosil bo'ladi.

Kovakning bundan keyingi to'lishi yarimo'tkazgichda kovaklarning harakatiga ekvivalent bo'ladi. Bu holda kovak bir atomga «o'rtnashib» qolmasdan panjara bo'ylab erkin musbat zaryad kabi harakatlanadi.

Zonalar nazariyasiga ko'ra bu quyidagicha tushuntiriladi. Kremniy kristall panjarasiga kiritilgan bor taqiqlangan zonada begona modda A energetik sathining paydo bo'lishiga olib keladi (V.4-rasm, b). Bu sath, valent zonasining yuqori sathidan $\nabla E_v = 0,08\text{ eV}$ masofada bo'ladi.

Natijada odatdagi temperaturalarda valent zonadagi elektronlar begona modda energetik sathiga o'tib, bor atomi bilan bog'lanadi hamda panjara bo'ylab ko'chish qobiliyatini yo'qotadi. Tok tashuvchi zarra vazifasini valent zonadagi kovak o'taydi. Shunday qilib, yarim o'tkazgichga valentligi o'zinikiga nisbatan bitta kam bo'lgan modda qo'shilganda kovakli o'tkazuvchanlik

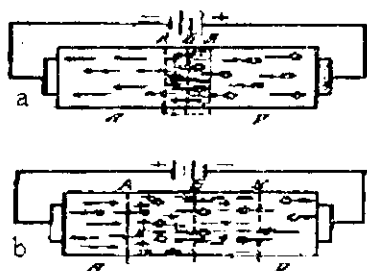
sodir bo'ladi. Yarim o'tkazgichning valent zonasidan elektron oluvchi moddalar *akseptorlar* deb ataladi. Donorii va akseptorli yarim o'tkazgichlar *aralashmali yarim o'tkazgichlar* deb ataladi. Donorli (p-tipdagi) yarim o'tkazgichlarda asosiy tok tashuvchilar



V.5-rasm p-n o'tishda berkituvchi qatlam hosil bo'lishi va energetik sathining ko'rinishi

elektronlar bo'lsa, akseptorli yarim o'tkazgichlarda (r- tipdagi) kovaklar bo'ladi.

Bu yarim o'tkazgichlarda asosiy tok tashuvchilardan tashqari asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar (p-tipdagi kovaklar, r-tipda elektronlar) ham mavjud bo'ladi.



V.6.-rasm. p-n o'tishdan tok o'tishi

V.III. Elektron-kovak r-p o'tish

Biri elektronli o'tkazuvchanlikka, ikkinchisi kovakli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgichlar o'zaro tutashgan chegara elektron-kovakli o'tish yoki r-p o'tish deb ataladi. n-p o'tishda ro'y beradigan jarayon bilan tanishib chiqaylik. Donorli yarim o'tkazgich (chiqish ishi A_p , Fermi sathi E_{Fn}) akseptorli yarim o'tkazgich (chiqish ishi A_r , Fermi sathi E_{Fp}) bilan o'zaro kontakt hosil qilsin (V.5-rasm). Shunda elektronlar konsentratsiyasi katta bo'lgan p-yarim o'tkazgichdan konsentratsiyasi kam bo'lgan r-yarim o'tkazgichga diffuziyanadi. Kovaklar diffuziyasi esa teskari yo'nalishda (n - p) boradi. p-yarim, o'tkazgich chegarasida elektronlar chiqishi tufayli kompensatsiyalanmagan musbat ishorali qo'zg'almas donor atomlarining hajmiy zaryadi qolsa, n-yarim o'tkazgich chegarasida esa kovaklar hisobiga manfiy ishorali qo'zg'almas ionlashgan akseptorlarning hajmiy zaryadi qoladi (V.5-rasm. a). Bu hajmiy zaryadlar chegara qatlamda

qo'sh elektr qavatni hosil qiladi. Bu qavatning elektr maydoni p — sohadan n — sohaga yo'nalgan bo'lib, elektronlarning $p - n$ kovaklarning esa $n - p$ yo'nalishda o'tishiga yo'l qo'ymaydi. Agar yarim o'tkazgichda donor va akseptorlar konsentratsiyasi bir xil bo'lsa, d_1 va d_2 qatlamlar qalinligi ham bir xil bo'ladi. (V.5-rasm, v). $d_1 + d_2 = d$ qatlam berkituvchi qatlam deb ataladi. n—p o'tishi ma'lum qalinlikka ega bo'lganda har ikkala yarim o'tkazgichlarning Fermi sathlari tenglashadi. n—p o'tish sohasida energetik sathlar

qiyshayadi. Natijada elektronlar va kovaklar uchun potensial to'siqlar vujudga keladi.

Bu potensial to'siqning balandligi kontakt potentsiallar ayirmasiga teng:

$$\varphi_k = \varphi_n - \varphi_p = \varphi_i \ln \frac{N_k \cdot N}{n_i^2} \quad (V.3)$$

bu yerda, φ_n va φ_p — p va n sohalarining potentsiallari; N_k va N_c kovaklar va elektronlar konsentratsiyasi; n_i — so'f yarim o'tkazgichdagi tok o'tkazishda ishtirok etuvchi elektronlar konsentratsiyasi; φ_i temperaturaga bog'liq potensial deb atalib, u

$$\varphi_i = \frac{kT}{e} \quad (V.4)$$

ga teng.

Berkituvchi qatlam qalintligi

$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0}{e} \frac{N_k + N_c}{N_k \cdot N_c}} \quad (V.5)$$

bilan aniqlanadi. $\epsilon_0 = 8.83 \cdot 10^{-12}$ F/m dielektrik doimiysi; ϵ — yarim o'tkazgichning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi; k — Bolsman doimiysi; e — elektronning zaryadi; T — absolyut temperatura. Yarim o'tkazgichning asosiy materiali sifatida germaniy olinganda $T = 300^\circ$ K da $\varphi_i = 0,025$ V bo'ladi. Kremniy uchun $\varphi_k = 0,83$ V va $\varphi_c = 0,3$ mkm.

n-p o'tishga ega bo'lgan sistemani tok manbaiga ulab undan elektr toki o'tkazib ko'raylik.

Buning uchun avvalo sistemaning p-sohali uchlariga manbaning musbat qutbi, n-sohaning uchlariga manfiy qutb ulangan hol bilan tanishib chiqaylik (V.6- rasm, b). Bunda tashqi manba hosil qilgan elektr maydoni kontakt potentsiallar hosil qilgan maydon bilan bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. Shunda p-sohada elektronlarning manbaning musbat qutbi tomon, n-sohada esa kovaklar-ning manfiy qutb tomon harakatlanishi kuzatiladi. Natijada berkituvchi qatlam kengayib n-p o'tishning qarshiligi ortib ketadi va undan oz miqdorda tok o'tadi.

Chunki berkituvchi qatlamda tok faqat asosiy bo'lmagan zaryadlar hisobiga bo'ladi. Bunday o'tish *teskarin n-p* o'tish deb ataladi. Sistemaning n-sohasi uchlariga manbaning musbat qutbi p-sohasi uchlariga manfiy qutb ulanganda tashqi maydon yo'nalishi ichki maydon yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Shu sababli p-sohadagi elektronlar va n-sohadagi kavaklar bir-biriga qarab harakatlanib, n-p o'tishda rekombinatsiyalanadi. Natijada berkituvchi qatlamning qalinligi kamayib, uning qarshiligi kamayadi. Bu yo'nalishda sistemadan tok kichik qarshilikka uchrab o'tganligidan bu o'tish *to'g'ri n-p* o'tish deb ataladi (V.6- rasm).

Xulosa qilib aytganda, n-p o'tish tokni bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega ekan.

To'g'ri n-p o'tishda berkituvchi qatlam qalinligi

$$l' = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0(\varphi_k - U)}{2} \frac{N_k^k + N_0}{N_k \cdot N_0}} \quad (V.6)$$

kamayadi. Bu paytda o'tayotgan tokning kuchlanishga bog'liqligi eksponensial xarakterga ega bo'ladi:

$$I = I_u \left(\exp \frac{U}{\varphi_f} - 1 \right) \quad (V.7)$$

Buyerda, I_u - issiqlik toki deb atalib, u miqdor jihatdan teskari kuchlanish qo'yilganda hosil bo'ladigan tokka teng. n-p o'tish zaryadlarni to'plash xususiyatiga ega bo'lganligidan ma'lum SIRIMGZ ega bo'ladi. Bu sig'im ikki qismdan iborat: to'siq sig'imi S_i va diffuziya sig'imi S_D .

To'siq sig'imi:
$$C_T = C_0 \left(1 + \frac{U}{\varphi_k} \right)^r \quad (V.8)$$

Buyerda, $C_0 = S \sqrt{\epsilon\epsilon_0 \frac{N_k}{2\varphi_k}}$ ga teng bo'lib, $U = 0$ bo'lgandagi

to'siqning boshlang'ich sig'imi; S -o'tish qismining yuzi. Ideal n-p o'tish uchun $\gamma=1/2$ ga teng deb olinib, real holda $1/2$ va $1/3$ oralig'ida bo'ladi. Diffuziya sig'imi

$$C_{\text{ef}} = \frac{\ell I_{\text{us}} \tau p}{kt} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{us}}}{\tau p}\right) \right] \quad (\text{V } 9)$$

ga teng bo'lib, muvozanatda bo'lmagan zaryadlarning to'planishi bilan xarakterlanadi: t_r — muvozanatda bo'lmagan zaryadlarning yashash vaqti; t_{im} — zaryad tashuvchi zarralarning injeksiya vaqti; I_{us} — tok kuchi.

Umumiy $n - p$ o'tishning sig'imi S_g va S_{af} larning yig'indisidan iborat.

$N - p$ o'tishdan tashqari, elektron-elektron ($p - i$ va $p + p$ o'tishlar) yoki kovak-kovak ($n - i$ va $n + n$ o'tishlar ham mavjud. Bunda $n - i$ o'tish $n -$ sohadaagi akseptor ionlari va xususiy yarim o'tkazgich kovaklari hisobiga hosil bo'ladi.

V.IV. Metall p-yarim o'tish

Bu o'tish metall bilan yarim o'tkazgich o'zaro kontakt yuzalarida hosil bo'ladi. Agar yarim o'tkazgichdagi elektronning chiqish ishi metalldagiga nisbatan kichik bo'lsa, elektronlar yarim o'tkazgichdan metallga o'tadi. Natijada yarim o'tkazgichning kontaktlashgan yuzida asosiy zaryad tashuvchilar kamayib, musbat ishorada zaryadlanadi. Metall esa manfiy ishorada zaryadlanadi. Bu jarayon metall va yarim o'tkazgich Fermi sathlari tenglashganga qadar davom etadi. Kontaktlashish yuzida qo'sh elektr qavat vujudga keladi. Hosil bo'lgan potensial to'sig'i Shotki to'sig'i deb ataladi.

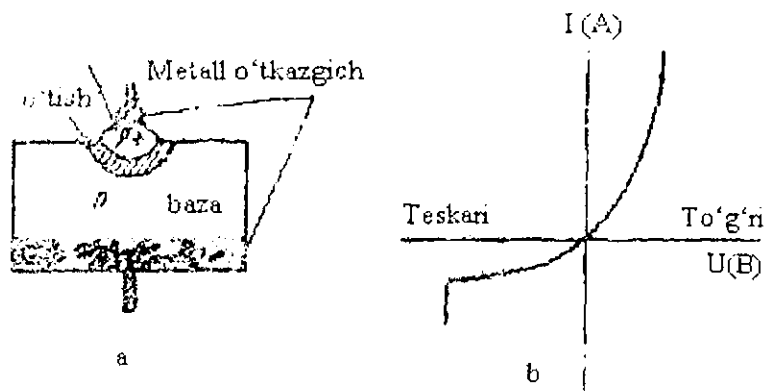
Agar yarim o'tkazgichdagi elektronning chiqish ishi metalldagiga nisbatan katta bo'lsa, chegara yaqinida ham zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi katta bo'lgan qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlamning o'tkazuvchanligi yuqori bo'lib, omik o'tish deb ataladi. Ulardan yarim o'tkazgichlardan uchlar chiqarishda foydalaniladi.

VI – bob. Yarimo'tkazgichli diodlar

VI.1. Yarimo'tkazgichli diod turlari

Bu asbobda bitta $n-p$ o'tish mavjud bo'lib, uning n va p sohalaridan ulanish uchi chiqarilgan bo'ladi. Yarimo'tkazgichli

diodning tuzilishi va volt-ampér xarakteristikasi VI.1-rasmda keltirilgan [3].



VI.1- rasn. Yarim o'tkazgichli diodning tuzilishi (a) va uning volt-ampér xarakteristikasi (b).

n-p o'tish hosil qiluvchi sohalarining birida, asosiy tok tashuvchi zarrachalarning konsentratsiyasi ko'p bo'lib, u *emitter* deb ataladi. Ikkinchisi esa *baza* deb ataladi. Volt-ampér xarakteristikasining to'g'ri n-p o'tish qismidagi tok (V.7) formula yordamida ifodalanadi. Xarakteristikaning to'g'ri n-p o'tishiga to'g'ri kelgan qismidan, diodning differensial qarshiligi hisoblanadi:

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (VI.1)$$

Volt-ampér xarakteristikasidan ko'rinib turibdiki, yarim o'tkazgichli diod ham nochiziqli elementlar qatoriga kiradi. Diodlardan signallarni to'g'rilash, detektorlash, modulyatsiyalash ishlarida foydalaniladi.

To'g'rilagich diodlar past chastotali ($G_0 < 50$ kGis) o'zgaruvchan toklarni to'g'rilashda ishlatiladi. Tayyorlanish texnologiyasiga ko'ra diodlar yassi va nuqtaviy bo'lishi mumkin. Yassi diodlarda n-p o'tishning yuzini belgilovchi o'lchamlar, uning qalinligiga nisbatan katta bo'ladi. Nuqtaviy diodlarda esa aksincha bo'ladi.

To'g'rilagich diodlar sifatida asosan yassi diodlar ishlatiladi. To'g'ri yo'nalishda o'tuvchi to'g'rilangan tok kuchi 1600 A gacha, teskari yo'nalishda 1000 V gacha kuchlanishga mo'ljallangan diodlar ishlab chiqariladi. Albatta, bunday katta tokni o'tkazuvchi diodlar ish jarayonida qiziydi. Shu sababli diodlarga issiqlikni sochuvchi radiatorlar kiydirilib montaj qilinadi. Krenniyli to'g'rilagich diodlarning ishehi temperaturasi 125°S gacha bo'lishi mumkin.

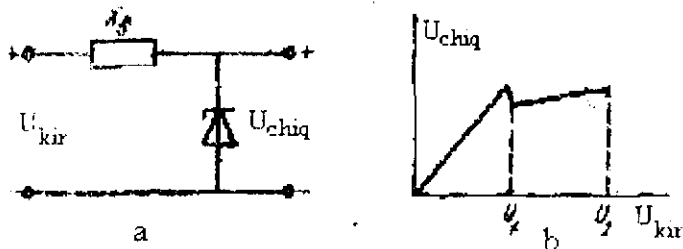
Yuqori chastotali diodlar signallarni detektorlash, o'zgartirish, modulyatsiyalash kabi ishlarda qo'llaniladi. Bu ishlarni bajarishda diodning xususiy SIG'IMI muhim ahamiyatga ega. Bunday diodlarda SIG'IM kichik bo'lishi talab qilinganligi tufayli asosan nuqtaviy diodlar ishlatiladi. Bunday diodlarning sig'imi pikotaradaning o'ndan bir ulushlarida bo'lishi mumkin. Hozirgi kunda ishehi chastotasi 1000 MGs gacha bo'lgan yuqori chas-totali diodlar mavjud. Yuqori chastotali diodlar kichik teskari kuchlanishda va kichik to'g'ri toklar rejimida ishlaydi. Masalan, germaniyli nuqtaviy diodning ishehi teskari kuchlanishi 350 V gacha, to'g'ri yo'nalishdagi tok kuchi 100 mA ($V/f \approx 1,28$) gacha bo'lishi mumkin.

Impuls rejimida ishlaydigan diodlar radio sxemalarda kalit vazifasini bajaradi. Bu rejimda asosan nuqtaviy va kichik yassi diodlar ishlatiladi. Diod ikki xil holatda bo'ladi: «ochiq» yoki «yopiq». Ochiq holda diod qarshiligi kam, yopiq holda katta bo'ladi. Impuls sxemalarida diodning bir holatdan ikkinchi holatga qanchalik tez o'tishi ahamiyatlidir.

VI.11. Yarimo'tkazgichli kuchlanish stabilizatori

Yarim o'tkazgichli kuchlanish stabilizatori (stabilizatsiya, stabistor). Bu yarim o'tkazgichli diod zanjiriga teskari n-p o'tish hosil bo'ladigan qilib ulanadi. Ish rejimi, diod xarakteristikasining teskari yo'nalishda yorib (teshib) o'tuvchi tok o'tadigan qismiga to'g'ri keladi. Yorib o'tish deyilganda, diodga teskari r-p o'tishga to'g'ri keladigan kuchlanish qo'yilib, uning ma'lum qiymatida teskari tokning keskin ortib ketishi tushuniladi. Diodda ko'chiril, tunnel va

issiqlik ta'sirida yorib o'tishlar kuzatilishi mumkin.



VI.1-rasm. Stabilitronni tok manbaiga ulash (a) va uning chiqish xarakteristikasi (b)

Yarimo'tkazgichda aralashma miqdori juda kichik bo'lganda, katta teskari kuchlanish ta'sirida bo'lgan elektronlar va kovaklar neytral yarim o'tkazgich atomining yana bitta kovalent bog'langan elektronini urib chiqarishi mumkin. Natijada zaryad tashuvchi zarrachalarning yangi jufti hosil bo'ladi. Etarli miqdordagi teskari kuchlanishda bunday urib chiqarish ko'chkisimon ko'rinishda namoyon bo'ladi.

Tunnel orqali yorib o'tishda kuchli elektr maydon ta'sirida ($2 \cdot 10^5$ V/sm, germaniy uchun va $4 \cdot 10^4$ V/sm) elektr sohalarining chegarasi siljiydi va chegara yaqinida kichik potensial to'siqqa ega bo'lgan tuynuk ochiladi. Qarshiligi kichik yarim o'tkazgichlarda tunnel orqali tok o'tish, ko'chkisimon o'tish kuzatiladigan kuchlanishdan kichikroq kuchlanishlarda ro'y beradi. Qarshiligi katta bo'lgan yarim o'tkazgichlarda esa, aksincha.

Issiqlik ta'sirida yorib o'tishda n-p o'tish sohasi qizib, unda asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning ko'payishi va natijada teskari yo'nalishdagi tokning ortib ketishi kuzatiladi.

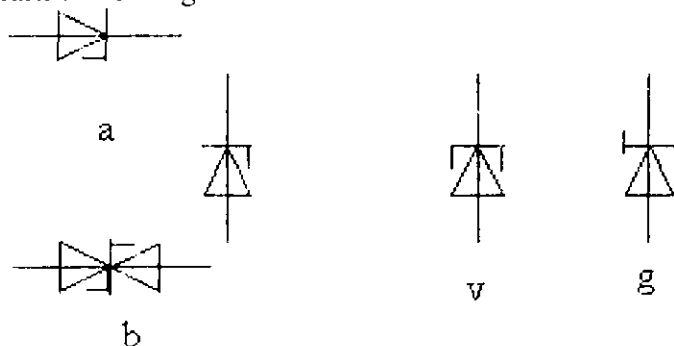
Ko'chkisimon va tunnel orqali yorib o'tishlar diodni ishdan chiqarmaydi. Shu sababli bu o'tishlar elektron qurilmalarda qo'llaniladi. Issiqlik ta'sirida yorib o'tish esa, n-p o'tishni buzadi.

Stabilitronlar ko'chkisimon yorib o'tish hodisasiga asoslanib ishlaydi.

Uning ishlash prinsipi quyidagicha (VI.1-rasm, b): sta-

bilitronga qo'yilgan teskari yo'nalishdagi kuchlanish o'rtirib borilsa, dioddan o'tadigan teskari tok miqdori juda kichik bo'lganligidan, sxemaning chiqishidagi kuchlanish ham o'rtib beradi. Kuchlanish miqdori ko'chkisimon yorib o'tish miqdoriga yetganda, dioddan o'tayotgan tok keskin o'rtib ketadi (VI.1-rasm, b). Chiqish kuchlanishi esa bir oz kamayadi. Kirish kuchlanishining bundan keyingi o'tishi stabilitron orqali o'tuvchi tokni oshirishga sarflanadi va chiqish kuchlanishi deyarli o'zgarmaydi (VI.1-rasm, b). Bu oraliqqa to'g'ri kelgan chiqish kuchlanishi, stabilitronning *stabilizatsiyalash kuchlanishi* deb yuritiladi.

Asosiy parametrlariga stabilizatsiyalash kuchlanishi U_{st} , stabilizatsiya toki I_{st} , stabilizatsiyalash tokiga to'g'ri kelgan differensial qarshiligi R_{st} kiradi. Uning tashqi ko'rinishi va sxematik belgilanishi VI.2- rasmda keltirilgan.



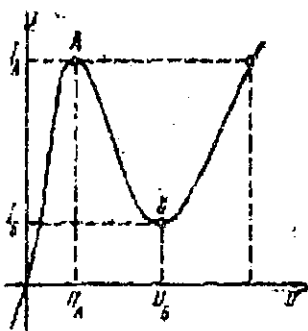
VI.2-rasm. Yarimo'tkazgichli stabilitron, tunnel va aylantirilgan diodlarning shartli belgilari: *a* – bir tomonlama o'tkazadigan stabilitron; *b* – ikki tomonlama o'tkazadigan stabilitron; *v* – tunnel; *g* – aylantirilgan diodlar.

VI.III. Tunnelli diodlar

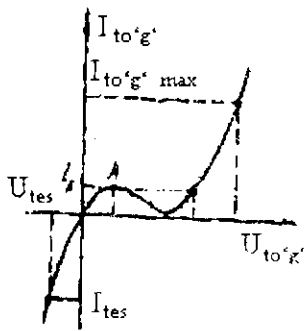
Tunnel diodlar asosan ko'p aralashmali diodlardan yasaladi. Uning ishlash prinsipi tunnel orqali yorib o'tish hodisasiga asoslangan. Tunnelli diodning volt-amper xarakteristikasi VI.3-rasmda keltirilgan. Xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, uning to'g'ri o'tishga mos kelgan qismida differensial qarshiligi manfiy qiymatga ega bo'lgan soha mavjud. Manfiy qarshilik deyilganda kuchlanish

ortishi bilan tok kuchi kamayishi tushuniladi. Bu xususiyatga ko'ra tunnelli dioddan kuchaytirgich, generator va turli xil impuls rejimida ishlaydigan qurilmalarda foydalaniladi. Diod teskari yo'nalishdagi tokni yaxshi o'tkazadi [3].

Asosiy parametrlari: yuqori cho'qqiga to'g'ri kelgan tok kuchi (grafikda A nuqta); pastki chuqurlikka to'g'ri kelgan tok kuchi (grafikda B nuqta); yuqori cho'qqi va pastki chuqurlikka to'g'ri kelgan kuchlanishlar U_A va U_B .



VI.3-rasm. Tunnel diodning volt-ampér xarakteristikasi



VI.4-rasm. Aylantirilgan diodning volt-ampér xarakteristikasi

Aylantirilgan diodlar ham tunnelli diodlarga o'xshash bo'lib, volt-ampér xarakteristikasida, do'nglik va chuqurlik fazasidagi farq kichik bo'ladi (VI.5-rasm). Diodda aralashma kritik konsentratsiyada olinib, teskari yo'nalishdagi o'tkazuvchanlik, to'g'ri yo'nalishdagi o'tkazuvchanlikdan katta bo'ladi. Bunday diodlarning teskari yo'nalishdagi volt-ampér xarakteristikasi to'g'rilovchi diodlarnikiga o'xshash bo'ladi.

VI.IV. Varikaplar

Varikap - bu yarimo'tkazgichli diod bo'lib, sig'im teskari yo'nalishdagi kuchlanishga bog'liq bo'ladi. Teskari kuchlanish ortishi bilan r-p o'tish sig'imining kamayishi quyidagi ifoda

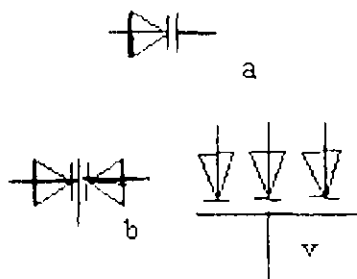
$$C_r = C_0 \left[\frac{\varphi}{\varphi_k + U} \right]^{1/n} \quad (\text{VI.3})$$

asosida boradi. Bunda φ —kontakt potentsiallar ayirmasi; S_r —kuchlanish qiymatga yetgandagi sig'imi; S_0 — diodga kuchlanish berilmagan holdagi sig'imi; p — varikapning turiga bog'liq bo'lgan koeffitsient (p q 2 ... 3).

Varikaplar galliy arseniddan tayyorlanib, unda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kam bo'ladi. Teskari yo'nalishdagi differensial qarshiligi katta bo'ladi.

Varikaplar kontur chastotasini avtomatik tarzda sozlash ishlarida generator va geterodinlar chastotalarini o'zgartirishda ishlatiladi.

Signal chastotasini ko'paytiruvchi varikaplar varaktor deb ataladi. Asosiy parametrlari: varikapning aslligi (sig'imini o'zgartirish koeffitsient, umumiy sig'imi S_V).



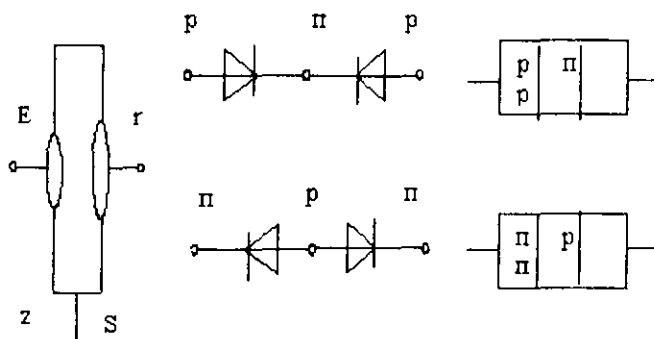
VI.5-rasm. Valentliklarning shartli belgilari: a-bir katodli varikap, b-ikki katodli, v-uch katodli varikapli matritsa.

VII – bob. Tranzistorlar

VII.1. Bipolyar tranzistorlar

Tranzistor uchta sohadan iborat yarim o'tkazgichli asbob. Uning tuzilishi VII.1- rasm a)da keltirilgan. O'rta qismi baza deb - atalib, aralashma konsentratsiyasi chetki qismlariga nisbatan kam va yupqa bo'ladi. Baza qalinligi L_B , elektron yoki kovakning rekombinatsiyalashgunga qadar erkin yugurib o'tgan masofasi L_D ga nisbatan kichik ($L_B < L_D$) bo'lsa, yupqa baza deb yuritiladi. L_d shuningdek, diffuziya siljish uzunligi deb ham ataladi. Chetki qismlaridan biri emitter, ikkinchisi kollektor deb ataladi. Tranzistorning tuzilishi triodga qiyoslansa, emitter — katodga, baza - to'rga, kollektor- anodga o'xshatiladi.

Emitter degan nom elektronlar bazaga purkaladi, in'eksiya, ya'ni injeksiyalanadi degan ma'noni anglatadi. Mana shu xususiyati bilan elektron lampadagi katoddan termoelektron emissiya hodisasi tufayli elektronlar hosil bo'lishi orasidagi farq tushuntiriladi. Tranzistor va vakuumli triod ishlash prinsipi jihatidan ham farq qiladi. Triodda to'rga kuchlanish berilmasa ham, anod toki hosil bo'ladi. Tranzistorda esa baza toki bo'lmasa, kollektor toki ham bo'lmaydi. VII.1- rasmda ko'rsatilgan tranzistor, diskret tranzistor deb ataladi. Bu tranzistorda n-p o'tishlar yarim o'tkazgichli plastinaning qarama-qarshi tomonlarida joylashgan. O'tishlari bir tomonga joylashgan tranzistorlar ham mavjud. Bunday tranzistorlar *integral tranzistorlar* deb ataladi. Emitter sohasida aralashma miqdori ko'proq bo'ladi. Kollektor zaryad tashuvchilarni ekstraksiyalash (sug'urib olish) vazifasini bajaradi.



VII.1-rasm. Tranzistorning tuzilishi (a) va uning qarama-qarshi ulangan diodlari sifatida tasvirlanishi (b).

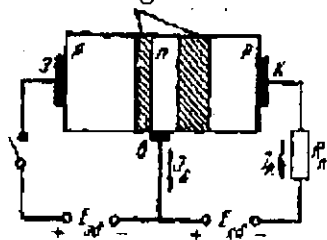
Tranzistorning bazasi p yoki n o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi mumkin. Shunga ko'ra chetki qismlari n yoki p o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Demak, tranzistor n-p-n yoki p-n-p strukturali bo'ladi. Tranzistorda ikkita r-p o'tish mavjud. Buni hisobga olgan holda tranzistorni ketma-ket ulangan ikkita bog'langan diod sifatida qarash mumkin (VII.1-rasm, b). Uning chetki uchlariga (evitter — kollektorga) kuchlanish ulanganda r-p o'tishlarning biri to'g'ri o'tish

bo'lsa, ikkinchisida teskari bo'lganligidan har ikkala yo'nalishda ham sistemadan tok o'tmaydi. Tranzistorni ikkita tok manbaiga

VII.11 - rasmda ko'rsatilganidek ulaylik. K kalit ochiq bo'lganda emitter zanjirida tok bo'lmaydi. Kollektor zanjirida esa oz miqdorda teskari n - p o'tish toki (I_{KBT} , t — teskari demak) bo'ladi.

K — kalit ulanganda emitter zanjirida tok hosil bo'ladi. Chunki E_e manba kuchlanishi emitter — baza yo'nalishida to'g'ri n - p o'tish hosil qiladi. Bunda ko'pchilik kovaklar emitterdan bazaga o'tganda $L_B > L_d$ bo'lganligidan kollektor o'tishiga etib boradi. Natijada

"Kambag'al" sohalar

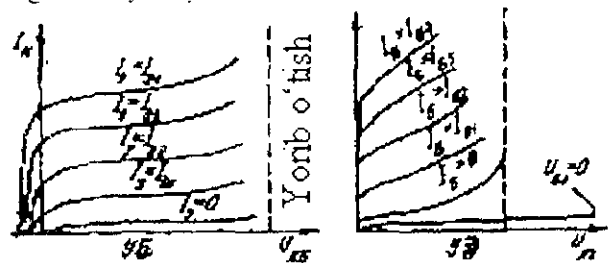


VII.2-rasm. Tranzistorni UB sxemada ulash

kollektor toki ortadi. Umuman olganda ular taqsimlanishi natijasida unda asosiy bo'lmagan zaryadlarni emitterdan kollektorga o'tishiga yordam beruvchi elektr maydon bo'lsa, bunday tranzistor *dreyfli tranzistor* deyiladi. Agar bazada xususiy maydon bo'lmasa, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar baza orqali asosan diffuziya hodisasi tufayli o'tsa, bunday tranzistor *dreyfsiz*

tranzistor deb ataladi. VII.3-rasmda, tranzistorning chiqish xarakteristikalari keltirilgan. Unda $I_e = 0$ ga mos kelgan xarakteristika K kalit ochiq bo'lgan holni ifodalaydi. Xarakteristikadan ko'rinadiki, kollektor — bazaga qo'yilgan manfiy kuchlanish qiymati ortishi bilan tokning sezilarli darajada ortishi kuzatilmaydi. Buni tushuntirish uchun tranzistorning potensial diagrammasi bilan tanishib chiqaylik (VII.4-rasm). Unda tranzistorning zaryadlarga kambag'allashgan sohalar ham ko'rsatilgan. Emitter va kollektor sohalarida zaryadlangan zarrachalar konsentratsiyasi katta bo'lganligidan kambag'al soha asosan baza qatlamida bo'ladi. VII.4- rasmdan ko'rinadiki, ikki soha orasidagi masofa, ya'ni bazaning effektiv qalinligi baza qalinligidan kichik bo'ladi. Kollektordagi manfiy kuchlanishning ortishi kollektor o'tishidagi kambag'al qatlamning kengayishiga olib keladi.

Natijada bazaning effektiv qalinligi kamayadi. Bu hodisa baza qalinligining *modulyatsiyasi* deb ataladi.



VII.3-rasm. UB (a) va UE (b) sxemada ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikalari.

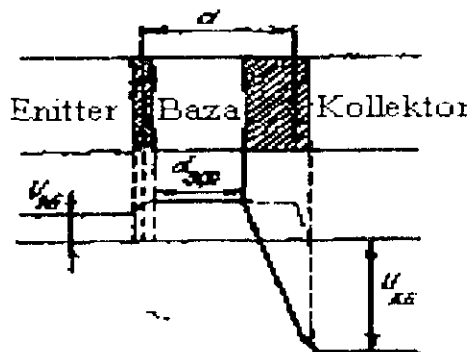
Emitter toki faqat kovaklar harakati tufayli hosil bo'lmagan, elektronlar harakati bilan ham bog'liq. Kollektorda esa tok faqat kovaklar harakati tufayli vujudga keladi. Shu sababli emitterning samaradorligi

$$\gamma = \frac{I_{ep}}{I_{ep} + I_{er}} \quad (VII.1)$$

orqali aniqlanadi. Buyerda, I_{er} — kovaklar harakati tufayli hosil bo'lgan emitter toki; I_{ep} — elektronlar harakati tufayli hosil bo'lgan emitter toki.

Emitterdan bazaga injeksiyalangan (purkalgan) bir qism kovaklar bazadagi asosiy zaryad tashuvchilar — elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi [4].

Baza orqali o'tib boruvchi kovaklar, baza uchun asosiy bo'lmagan tok tashuvchi zarrachalar hisoblanadi. Quyidagi



VII.4-rasm. Tranzistordagi "Kambag'al" zona va uning potensial diagrammasi

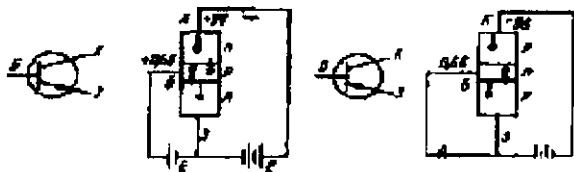
$$\beta = \frac{I_k - I_{kBT}}{I_p} \quad (\text{VII.2})$$

nisbat bilan aniqlanadigan kattalik baza orqali o'tuvchi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni o'tkazish koeffitsienti deb yuritiladi.

Emitterning samaradorligi va o'tkazish koeffitsienti tranzistor katta signal bilan ishlagandagi tok uzatish koeffitsienti g_{21B} ni belgilaydi. Bu koeffitsient

$$h_{21B} = \frac{I_k - I_{kBT}}{I_p} = -\gamma \cdot \beta \quad (\text{VII.3})$$

da teng. Kollektorga kirib keluvchi tok yo'nalishi musbat yo'nalish deb qabul qilinganligidan (VII.3) da «minus» ishora qo'yiladi. g_{21B} koeffitsienti tranzistorning muhim parametrlaridan biri hisoblanib, sifatli tayyorlangan tranzistorlarda birga yaqin bo'ladi. VII.2-rasmda ko'rsatilganidek tranzistorni zanjirga ulash umumiy bazali (U/b) sxema deb yuritiladi. Bu sxema bo'yicha E_{KB} va E_{KB} manbalarining ulanish usuliga ko'ra tranzistorlar turli rejimda ishlashi mumkin.



VII.5-rasm. Tranzistorni zanjirga UE sxemada ulash.

Shulardan tranzistor aktiv rejimda ishlaganda undan o'tuvchi tokni boshqarish samarali bo'ladi.

Umuman olganda tranzistorlar zanjirga uch xil usulda ulanishi mumkin. VII.4- rasmda E_1 va E_2 batareyalar hosil qiladigan tok zanjirida emitter har ikkalasi uchun umumiydir. Shu sababli bunday ulash umumiy emitterli (UE) sxema deb yuritiladi. Xuddi shunday umumiy bazali (UB) va umumiy kollektorli (UK) sxemalarni ham tuzish mumkin. Shu sababli tranzistorlarga signal ta'sir ettirilganda uning parametrlari qanday o'zgarishiga alohida ahamiyat beriladi.

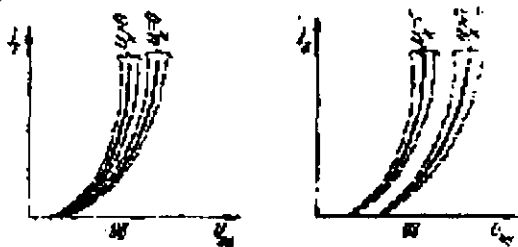
Tranzistorga kichik signal ta'sir ettirilganda, uni chiziqli aktiv nosimmetrik to'rt qutbli deb qarash mumkin (VII.5-rasm). Kichik signal ta'sir ettirish deyilganda signal amplitudasi 1,5 barobar orttirilganda tranzistor parametrlari 10% dan ko'pga ortmaydigan hol ko'zda tutiladi. Shunda to'rt qutbli parametrlarni hisoblash usulini qo'llash mumkin. Odatda, tranzistorlarning N parametrlarini UB va UE sxemalari uchun hisoblanadi.

Tranzistordan o'tuvchi toklarning kuchlanishga bog'liqligi statik volt-ampere xarakteristikalari (VAX) orqali ifodalanadi. Ular kirish va chiqish xarakteristikalariga ajratiladi.

Kirish xarakteristikasi deyilganda chiqish zanjirining kuchlanishi o'zgarmas saqlangan holda, kirish zanjiridagi tokning kirish kuchlanishiga bog'liqlik grafigi tushuniladi. Masalan, UE sxemasida $U_{ke} = \text{sopst}$, $I_b = f(i_{be})$. Chiqish xarakteristikasi deyilganda kirish zanjiridagi tok o'zgarmas bo'lganda, chiqish tokining chiqish kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi. Masalan, UE sxemada $I_c = \text{const}$, $I_r = F(U_{kb})$.

UB va UE sxemaning kirish VAXi VII.6- rasmda keltirilgan.

Xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, u diodnikiga o'xshash ko'rinishga ega.



VII.6- rasm. Tranzistorlarning kirish xarakteristikasi; a -- UB va b —UE sxemalarida.

VII.3-rasmida UB va UE sxemalar bo'yicha ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikalarini keltirilgan. UB sxemada, UE nikiga qaraganda kollektor toki kollektor kuchlanishiga kuchsiz bog'langan. UE sxemada kollektor tokining keskin ortishi UB nikiga nisbatan kichik kollektor kuchlanishida ro'y beradi.

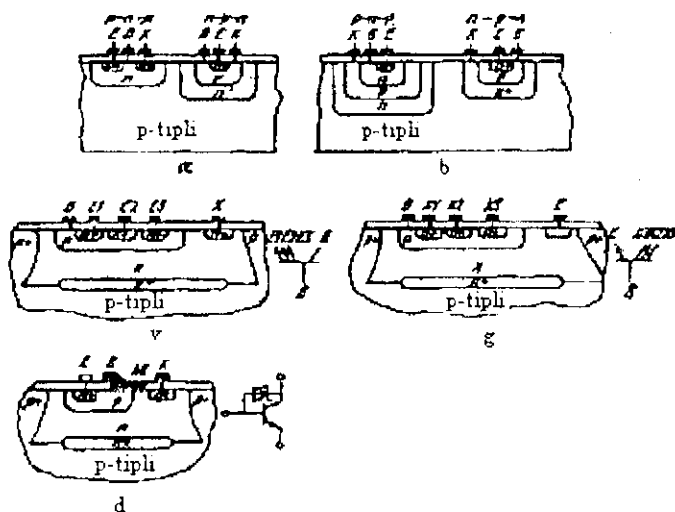
Tranzistordan kuchaytirgich sifatida foydalanilganda, umumiy emitterli sxemada signalni kuchlanish bo'yicha 10—200 marta kuchaytirish mumkin. Shu sababli UE sxema boshqalariga nisbatan ko'proq qo'llaniladi. Lekin UE sxemada kirish qarshiligi 500—1000 Om, chiqish qarshiligi 2—20 kOm atrofida bo'ladi. Kirish qarshiligi kichik bo'lganligidan boshqa qurilmalarga moslash davrida qiyinchiliklar tug'iladi. UB sxemada kuchlanish bo'yicha kuchaytirish bir atrofida, tok bo'yicha kuchaytirish UE niki bilan bir xil. UB sxemada tok bo'yicha kuchaytirish bir atrofida, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish UE niki kabi bo'ladi. Kirish qarshiligi bu sxemada juda kichik, 10—200 Om atrofida bo'lganligidan ko'pincha elektr signallarini generatsiyalash va shunga o'xshash qurilmalarda ishlatiladi.

VII.11. Integral tranzistorlar

Integral tranzistorlar kremniy monokrystalidan tayyorlangan plastina asosida yasaladi. Plastinada biror texnologik usul bilan baza, emitter va kollektor sohalarida turli konsentratsiyali aralashmalar hosil qilinadi.

So'ngra bu sohalaridan plastina ustki qismiga uchlar chiqariladi. Bu ikkala sababga ko'ra emitter, baza va kollektor sohalarining hajmiy qarshiligi katta bo'ladi. Integral tranzistorning bazasi juda yupqa bo'lib, emitter baza potensial sathi baland bo'ladi. Integral sxemadagi barcha elementlar bitta asosda yasalganligidan ular orasida parazit bog'lanishlar bo'ladi [3].

Shu sababli ular bir-biridan izolyatsiyalanadi. Integral sxemalarni izolyatsiyalashning ikki usuli mavjud; dielektrik orqali va teskari siljishga ega bo'lgan n-p o'tish orqali. Integral sxemalarda asosan, kollektor zanjiri ta'minlovchi manbaning manfiy qutbiga ulab qo'yiladi.



VII.7 rasmi. Integral tranzistorlar: a-gorizontual strukturali komplementar tranzistorlar; b- vertikal strukturali komplementar tranzistorlar; v-ko'p emitterli tranzistor; g-ko'p kollektorli tranzistor; d-Shotki to'sig'iga ega bo'lgan tranzistor.

Tranzistori n-p-n tipli IS larni tayyorlash texnologiyasi qiyinroq bo'lganligidan, ularni p-n-p tipli tranzistorlar bilan qo'shib tayyorlanadi. Bunday juftlik *komplementar* deb ataladi. Komplementar usulda tayyorlanadigan n-p-n tranzistorlari gorizontal va vertikal strukturali bo'ladi. Gorizontal strukturali tranzistorda emitter, baza va kollektor bitta gorizontal tekislikda joylashadi (VII.7-rasm, a). Bunday strukturali tranzistorda tok tashuvchi zarrachalar kristall yuzasidan *parallel ravishda* ko'chadi. Vertikal strukturali r-p-r tranzistorlarda, p-n-p tranzistorlari kabi emitter, baza va kollektorlar vertikal holatda joylashtiriladi (VII.7-rasm, b)).

Hozirgi zamon IS larida, diskret sxemalarda qo'llanilmaydigan maxsus p-n-p tipli tranzistorlar ishlatiladi. Bularga ko'p emitterli va ko'p kollektorli tranzistorlar, Shotki to'sig'iga ega bo'lgan tranzistor va superbeta-tranzistorlarini keltirish mumkin.

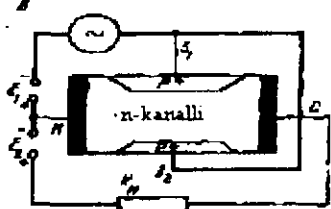
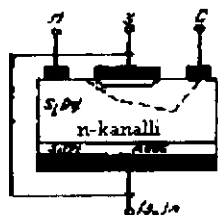
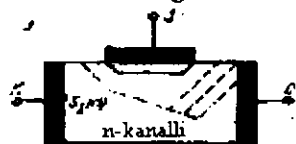
Ko'p emitterli integral tranzistorining tuzilishi va shartli belgisi VII.9-rasm, v da keltirilgan. Bu tranzistor asosan raqamli IS da keng qo'llaniladi, u ikki holatda; «ochiq» va «yopiq» holatda ishlashga mo'ljallangan. Bunda baza va kollektor hamma emitter uchun umumiy hisoblanadi. Shu sababli baza va kollektorga qo'yilgan ma'lum kuchlanishda, emitterlar kuchlanishiga qarab ba'zilar ochiq bo'lsa, ba'zilar yopiq bo'ladi.

Ko'p kollektorli integral tranzistorining tuzilishi va shartli belgisi VII.9- rasm, g da keltirilgan. Uning tuzilishi ko'p emitterli tranzistorlardan uncha farq qilmaydi. Farqi shundaki, u inversiya rejimida ishlaydi. Shu boisdan p+ qatlam baza sohasiga yaqinroq qilib yasaladi. Bunda p+ qatlam elektronlar injektor vazifasini o'taydi.

Shotki to'sig'iga ega bo'lgan tranzistorning tuzilishi va shartli belgisi (VII.7- rasm, d da) keltirilgan. Tranzistor bazasidan alyuminiyli kontakt chiqarilgan bo'lib, u kollektor tomon cho'zilgan. Bu kontakt kollektorning p-sohasi bilan Shotki diodini hosil qiladi. Natijada tranzistorning to'yinishiga yo'l qo'yilmaydi. Bazadagi kuchlanish kollektordagi kuchlanishdan ortiq bo'lganda Shotki diodi ochilib, baza va kollektorni qisqa tutashtiradi. Shotki

diodning borligi tranzistorning ishlash tezligini orttiradi.

Superbeta-tranzistorda bazaning tok o'tkazish koeffitsienti 3000—6000 atrofida bo'ladi. Bunday katta o'tkazish koeffitsientiga bazaning o'ta yupqaligi tufayli erishiladi. Shu sababli elektrodlardagi kuchlanish kamroq qilib olinadi.



VII.8-rasm. Boshqariladigan p-n o'tishli maydon tranzistori.

tranzistorlarda tok asosiy tok tashuvchilar yordamida hosil qilinib, asosiy bo'lmagan tok tashuvchi zaryad muhim rol o'ynamaydi. Shu sababli maydonli tranzistor *unipolyar tranzistor* deb ham ataladi.

Bipolyar tranzistorda chiqish toki baza yoki emitting kirish toki bilan boshqariladi. Unda kirish qarshiligi kichik bo'ladi. Kirish qarshiligi kichik bo'lishi zarur bo'lgan hollarda bipolyar tranzistorni ishlatish mumkin. Lekin ayrim sxemalar kirish qarshiligi katta bo'lishini taqozo qiladi.

Maydonli tranzistorlarda tokni boshqarish elektr maydon vositasida boshqarilganidan o'zgarmas tok va past chastotali

Integral diodlar — tranzistor strukturasi asosida amalga oshiriladi, uchinchi, ishlatilmaydigan elektrod qolgan ikki elektrodan biriga ulab qo'yiladi. IS larda emitter baza oralig'i diod sifatida ishlatiladi.

VII.III. Maydonli tranzistorlar

Maydonli tranzistor — chiqish toki kirish kuchlanishi bilan boshqariladigan yarim o'tkazgichli asbob. Maydonli tranzistorlar-da chiqish tokiga ta'sir qiluvchi kirish kuchlanishi elektr maydon hosil qiladi.

Yuqorida keltirilgan bipolyar tranzistorda ikki xil — asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar muhim rol o'ynaydi. Maydonli

o'zgaruvchan toklar uchun tranzistorning kirish qarshiligi juda katta bo'ladi: 10^8 — 10^{15} Om.

Maydonli tranzistorlarni tayyorlash texnologiyasi bipolyar tranzistorlarga nisbatan soddaroq. Bundan tashqari", maydonli tranzistorlar mikrosxemalarda kichik yuzani egallaydi va kam tok iste'mol qiladi. Shu sababli kichik o'lchamda bir necha mingdan, o'n minggacha tranzistor va rezistorlarni hosil qilish imkonini beradi.

Maydonli tranzistorlar tayyorlanish texnologiyasi va konstruktiv ijrosiga ko'ra, ikki gruppaga bo'linadi: boshqariladigan n-p o'tishli va zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar

VII.III.1 Boshqariladigan r-p o'tishli maydonli tranzistorlar

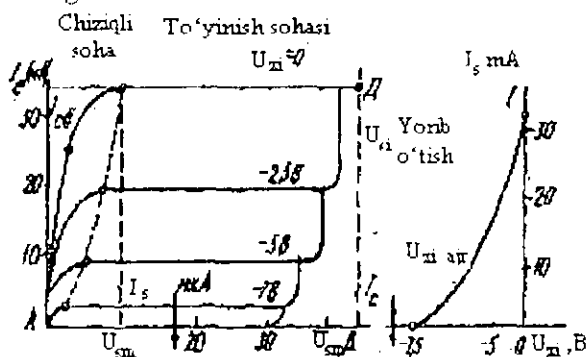
(VII.8- rasm). Tranzistor p+ yoki r-o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristalldan tayyorlanadi. Kristallning qarama-qarshi tomonlaridan ulanish uchlari chiqarilib, ulardan biri istok (buloq), ikkinchisi stok (o'pqn) deb ataladi. Istok va stok oralig'iga diffuziya usuli bilan r-soha (p- o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristallda)/ yoki p-soha (r-o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kristallda) joylashtiriladi. Natijada kristallning shu qismida n-p o'tish vujudga keladi.

Tranzistorning istoki va stoki oralig'iga E_2 batareya shunday ulanadiki, natijada asosiy tok tashuvchilar istokdan stokka tomon harakatlanadi. Tok tashuvchi zaryadlar bunda r-p o'tish orqali emas, balki uning yonidan kanal bo'ylab oqadi. Shu jihatidan ham maydonli tranzistor bipolyar tranzistordan farq qiladi. Ikkinchi E_1 tok manbaini istok va zatvor oralig'iga teskari r-p o'tish hosil bo'ladigan qilib ulaylik. Natijada n va p- sohalar orasida mavjud bo'ladigan berkituvchi qatlam kengayadi. Bunda zatvor sohasida zaryadlar konsentratsiyasi kanalga nisbatan katta bo'lganligidan kambag'al sohaning kengayishi asosan kanal tomonda bo'ladi. Natijada tok o'tkazuvchi kanalning ko'ndalang kesimi kamayadi va shunga muvofiq uning qarshiligi ortadi. Bu esa o'z navbatida kanal orqali o'tuvchi tokning kamayishiga olib keladi. VII.8-rasmda bu kanal shaklining o'zgarishi uzlukli chiziqlar vositasida ko'rsatilgan.

Shunday qilib, zatvor tranzistorda boshqaruvchi elektrod bo'lib xizmat qiladi.

Tranzistor orqali o'tuvchi tok, nolga teng yoki MA'LUM belgilangan qiymatgacha kamayadigan zatvor-istok kuchlanishi *ajratish kuchlanishi* deb ataladi. n-kanalli tranzistorlarda bu kuchlanish musbat bo'lib, odatda 0,2—7 V oralig'ida bo'ladi.

Keyingi yillarda maydonli tranzistorlar ikki zatvorli qilib chiqarilmoqda (VII.8- rasm, *b*). Ikkinchi zatvor ko'pincha birinchi zatvorga ulab qo'yiladi va u kanalni pastki tomonidan cheklaydi. Maydon tranzistorining chiqish VAX i VII.9- rasmda keltirilgan. Bu xarakteristikani bipolyar tranzistorniki bilan solishtirilsa, ularning o'xshash ekanligini ko'rish mumkin.



VII.9 - rasm. Boshqariladigan r-p o'tishli maydon tranzistorining chiqish xarakteristikasi

Yuqorida aytib o'tilgan tranzistorda berkituvchi qatlamning maksimal kengayishi faqat $U_{zi}=U_{ziai}$ kuchlanishda ro'y bermasdan, balki undan kichikroq kuchlanishlarda ham bo'lishi mumkin. Bu stok va istok oralig'iga berilgan kuchlanishga ham bog'liq bo'lib quyidagi

$$U_{si} = [U_{zi} - U_{ziai}] \quad (VII.4)$$

ga teng.

VII.9- rasmda bu kuchlanish uzunlikli (shtrix) chiziqlar bilan ko'rsatilgan.

Xarakteristikadagi chiziqli sohaga to'g'ri kelgan tok va

kuchlanish orasidagi bog'lanishni quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

$$I_c = \frac{I_{cu}}{U_{cu, \text{max}}^2} [2(U_{cu} - U_{cu, \text{max}})U_{cu} - U_{cu}^2] \quad (\text{VII.5})$$

Bu yerda, I_{cu} — boshlang'ich stok toki.

Xarakteristikaning to'yinish sohasi uchun bu bog'lanishni taxminan

$$I_c = I_{cu} (1 - \frac{U_{cu}}{U_{cu, \text{max}}})^2 \quad (\text{VII.6})$$

yordamida yozish mumkin.

Xarakteristikadan foydalanib tranzistorning quyidagi parametrlarini topish mumkin: chiqish o'tkazuvchanligi

$$\sigma_{221} = \partial I_c / \partial U_{cu} / U_{cu} = \text{const} \quad (\text{VII.7})$$

yoki maydon tranzistorining chiqish qarshiligi

$$r_c = 1 / \sigma_{221} \quad (\text{VII.8})$$

Kam quvvatli maydon tranzistorlarida bu kattalik odatda 10—100 kOm atrofida bo'ladi. Xarakteristikaning tikligi

$$S = \frac{\partial I_c}{\partial U_{cu}} / I_{cu} = \text{const} \quad (\text{VII.9})$$

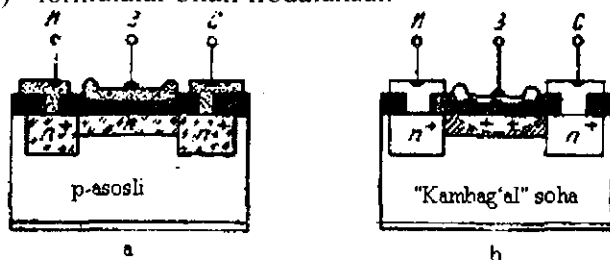
bilan aniqlanadi.

VII.III.2. Zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar

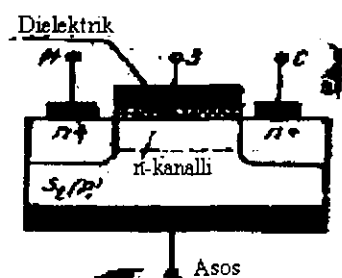
Bu maydonli tranzistorda zatvor asosiy kanaldan dielektrik bilan ajratilgan. Tranzistorda zatvor metall dan qilingan bo'lib, yarim o'tkazgichdan dielektrik bilan ajratilgan. Shu sababli metall, dielektrik va yarim o'tkazgichdan iborat struktura hosil bo'ladi. Tranzistorni esa MDP tranzistori deb yuritiladi. Ko'pgina hollarda dielektrik sifatida oksidlardan foydalaniladi. Shunga ko'ra ba'zan tranzistorni MOP tranzistor ham deb ataladi. Zatvori izolyatsiyalangan maydon tranzistorlari ikki silda ishlab chiqariladi: ichiga kanal o'rnatilgan tranzistor va induksiyalangan kanalli tranzistor.

Kanal o'rnatilgan tranzistorning tuzilishi VII.10- rasmda ko'l-

tirilgan. Bu tranzistorda istok va stok oralig'ida diffuziya usuli bilan p-tipli kanal hosil qilinadi. Zatvorga manfiy potensial berilganda kanalda musbat zaryadlar induksiyalanadi va zaryadlarga «kambag'al» zona hosil bo'lib, kanalning solishtirma qarshiligi oshadi (VII.10-rasm, b). Manfiy potensial $U_{zi.a.m}$ ga yetganda istok va stok oralig'idagi tok to'xtaydi. Tranzistorda o'rnatiladigan kanal n-tipli ham bo'lishi mumkin. Bunda istok va stok oralig'idagi tokni kamaytirish uchun zatvor va istok oralig'iga musbat kuchlanish beriladi. Kanal o'rnatilgan — MDP tranzistorlar ko'pincha kanal zaryadlarga kambag'allashgan rejimlarda ishlatiladi. Bu rejimda ishlagan MDP tranzistorining xarakteristikasi VII.9- rasmida keltirilgan n-p o'tishli tranzistornikiga o'xshash bo'ladi va u (VII.5) va (VII.6) - formulalar bilan ifodalanadi.



VII.10-rasm. Kanal o'rnatilgan maydon tranzistorining tuzilishi.



VII.11-rasm. Induksiyalangan kanalli maydon tranzistorining tuzilishi

Induksiyalangan kanalli tranzistorning tuzilishi VII.11-rasmida keltirilgan. Tranzistorning asosi katta solishtirma qarshilikka ega bo'lgan n-o'tkazuvchanlikli materialdan tayyorlanadi. Yarim o'tkazgichning yuqori sirtida p-o'tkazuichanlikka ega bo'lgan istok va stok sohalari hosil qilinadi. Asos va bu sohalari orasida n - p o'tishlar hosil bo'ladi.

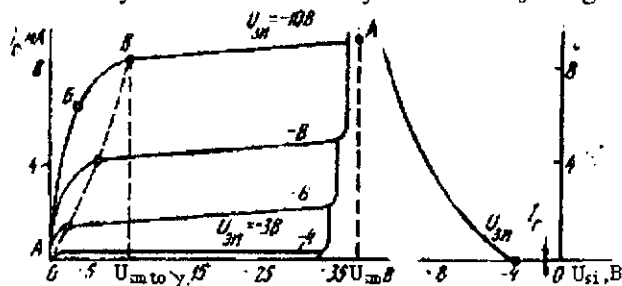
Istok va stok oralig'iga tok manbai qanday ishorada

ulanmasin, ulardan biri doimo berk bo'ladi. Shu sababli dastlabki holatda o'tkazuvchi kanal bo'lmaydi. Zatvorga kichik miqdordagi musbat potensial qo'yilsa, asosning zatvorga yaqin joylashgan sohasida manfiy zaryadlarni induksiyalaydi. Kuchlanish orttirila borib, ma'lum bir chegaraviy i_{zyach} qiymatga yetganda, sirtida p-tipli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan inversion qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlam orqali istokdan stokka tomon tok oqa boshlaydi. Zatvordagi kuchlanish ortishi bilan kanalning o'tkazuvchanligi ortadi. Odatda i_{zyach} kuchlanish 1 --- 6V atrofida bo'ladi.

Tranzistorda asos sifatida n-tip yarim o'tkazgich o'rniga, p-tipli yarim o'tkazgich olinib, istok va stok qatlamlarini n-tipli qilib yasalsa, n-kanalli tranzistor hosil bo'ladi.

Kovaklarning harakatchanligi elektronlarning harakatchanligiga nisbatan sekinroq bo'ladi. Shu sababli r-kanalli tranzistorlarga nisbatan, p-kanalli tranzistorlar ko'proq ishlatiladi. Integral sxemalarda ishlatiladigan MDP tranzistorlar bundan mustasno. Ularda bir-birini to'ldiruvchi p va r-kanalli tranzistorlar ishlatiladi. Bunday MDP tranzistorlar komplementar tranzistorlar deb ataladi.

VII.12-rasmda, induksiyalangan r-kanalli maydonli tranzistorning VAXi keltirilgan. Xarakteristikada ΔV oraliq chiziqli soha, V_D to'yinish sohasi deb yuritiladi. I_s ning kuchlanishiga



VII.12-rasm. Induksiyalangan kanalli maydon tranzistorining chiqish xarakteristikasi

bog'liqligi chiziqli sohada

$$I_c = \kappa [2(U_{su} - U_{suq})U_{cu} - U_{cu}^2] / (U_{cu} - U_{su} - U_{suq}) \quad (\text{VII.10})$$

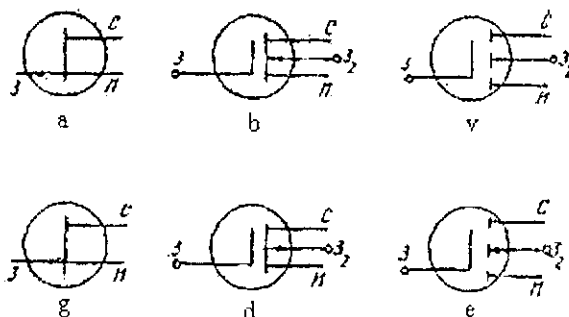
to'yinish sohasida

$$I_c = h(U_{su} - U_{suq})^2 / (U_{cu} - U_{suq}) \kappa [U_{cu}] \quad (\text{VII.11})$$

formulalar orqali ifodalanishi mumkin. Proporsionallik koeffitsienti tranzistorning konstruksiyasi, o'lchamlari va o'tkazuvchi kanal konstruksiyasiga bog'liq bo'ladi.

Maydonli tranzistorlar ham, bipolyar tranzistorlarga o'xshab umumiy istokli (UI), umumiy stokli (US) va umumiy zatvorli (UZ) sxemalarda ulalishi mumkin.

Maydonli tranzistorlarning chastota xususiyatlari zaryad tashuvchilarning harakat tezligi va kanal uzunligi bilan belgilanadi. Zarrachalar tezligini esa kanaldagi maydon kuchlanganligini oshirib ko'paytirish mumkin. Hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan maydonli tranzistorlarning chastota diapazoni 1500 MGs gacha borib, uzibulanish vaqti 30 ns atrofida bo'ladi.



VII.13 - rasm. Maydon tranzistorlarining shartli belgilari: a - R-kanalli; b - p-kanalli; v - zatvori izolyatsiyalangan p-kanalli; g - zatvori izolyatsiyalangan n-kanalli; d - zatvori izolyatsiyalangan p-kanalli to'yingan; e - zatvori izolyatsiyalangan r-kanali to'yingan.

VII.IV. Tiristorlar

Tiristor - to'rt qatlamli yarim o'tkazgichli asbob. Uning tuzilishi VII.14-rasm,a)da keltirilgan. Unda uchta n-p o'tish bo'lib,

A nuqtaga manbaning musbat qutbi, *B* nuqtaga manfiy qutbi ulansa, *P1* va *P2* o'tishlar to'g'ri, *P2* esa teskari *r-p* o'tishga ega bo'ladi. Uning ishlash prinsipini tushuntirish uchun, tiristorni ikkita n-p-n va p-n-p tipli tranzistorlarga ekvivalent deb qaraladi (VII.14rasm, b). Bu paytda tiristordan o'tuvchi umumiy tok uchta tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

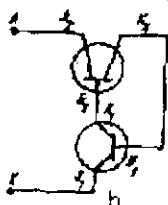
$$I = I_{a1} + I_{a2} + I_{yopiq} \quad (VII.20)$$

hundan,

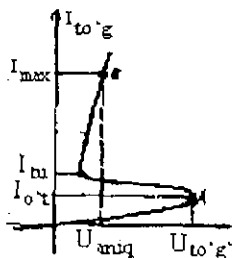
$$I = I_{yopiq} / 1 - (a_1 + a_2) \quad (VII.21)$$

bu yerda, I_{yopiq} — tiristor yopiq bo'lganda o'tadigan tok, a_1 va a_2 — mos ravishda tranzistorlarning tok uzatish koeffitsientlari.

Agar $a_1 + a_2$ qiymat birga nisbatan kichik bo'lsa, umumiy tok I_{yopiq} ga yaqin bo'ladi. Asbobni ochiq holatga o'tkazish uchun $a_1 + a_2$ qiymat birga intilishi kerak. Bunday holda tiristor orqali o'tuvchi tok keskin ortadi.



VII.14-rasm tranzistorning struktura tuzilishi (a) va uni qo'sh tranzistor kabi tasvirlash (b).



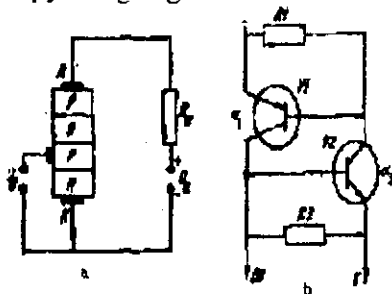
VII.15-rasm Tranzistorning amper xarakteristikasi.

Tranzistorning ishlash prinsipiga ko'ra, a ning qiymati emitter tokiga bog'liq. Emitter toki kichik bo'lganda, a ham kichik qiymatga ega bo'ladi. Emitter toki ortishi bilan a ham keskin ortadi. A va S nuqtalar orasidagi kuchlanishni orttirib borilsa, tiristor orqali o'tuvchi tok dastlab sezilarli darajada o'zgarmaydi. Kuchlanish ortib ma'lum yorib o'tish qiymatiga yetganda *P2* o'tishda zaryadlarning ko'chkisimon ko'payishi ro'y berib, a_1 va a_2 qiymati keskin ortadi. Natijada asbob ochiq holatga o'tadi. Bu holatga o'tishi uchun kerak

bo'ladigan kuchlanish qiymati $U_{ko'ch}$ — ko'chkisimon ko'payish kuchlanishi deb yuritiladi. Agar tiristordan o'tuvchi tok $a_1 + a_2 \approx 1$ shartni qanoatlantirsa, tiristor ochiq holatda qoladi. Bu tok, tutib turuvchi tok I_{tut} deb ataladi. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi VII.15-rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning OA qismi tiristorning yopiq (uzilgan) holatini ifodalaydi. Bunda tiristorning qarshiligi katta bo'ladi (bir necha megaom). Kuchlanish yorib o'tish qiymatiga etganda nuqta) tiristordan o'tuvchi tok keskin ko'payadi. A nuqtada tiristorning differensial qarshiligi nolga yaqin bo'ladi. AV qismda esa differensial qarshilik manfiy qiymatga ega bo'ladi. Kuchlanishning bundan keyingi ortishi tokning ortishiga olib keladi (BV qism).

Kuchlanishni kamaytirib tiristordan o'tuvchi tokni I_1 dan kichik qiymatga tushirilsa, tiristor yopiq holatga o'tadi.

Faqat ikki chetki qismlaridan ulanish uchlari chiqarilgan tiristor diodli *tiristor* (dinictor) deb ataladi. O'rta sohalarning biridan ulanish uchi chiqarilgan tiristor triodli tiristor yoki *trinistor* deb ataladi. Bu uchta qo'shimcha manbadan anodga yoki katodga nisbatan to'g'ri r-p o'tish hosil bo'ladigan kuchlanish berilsa a_1 yoki a_2 ning keskin ortishiga olib keladi (VII.16 - rasm). Bipolyar tranzistordagi kabi α_1 yoki α_2 ni ortirish uchun boshqaruvchi kuchlanishning katta qiymatiga ega bo'lish shart emas.



VII.16-rasm. Tiristor.

Tranzistorning VAXi VII.17 - rasmda keltirilgan. Xarakteristikada boshqaruvchi tok ortishi bilan yorib o'tuvchi kuchlanish kamayishi ko'rsatilgan.

Odatdagi tristorlarga nisbatan teskari holatda ishlaydigan berkiluvchi tristorlar mavjud. Bunday tristorlarda boshqaruvchi elektrodga manfiy potensial berilganda ochiq holatdan yopiq holatga o'tadi. Berkiluvchi tristorlarning tuzilishi odatdagi tristorlardan farq qilmaydi.

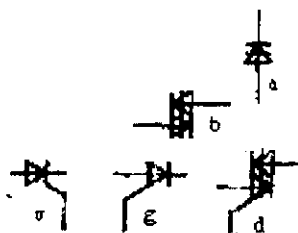
Besh qatlamga ega bo'lgan tiristorlar simmetrik tiristor (simistor) deb ataladi. VAXning to'g'ri va teskari shohobchalarida manfiy qarshilikli sohalari mavjud.

Simistorni ochiq holatga o'tkazish boshqarish signali yordamida, yopiq holatga o'tkazish — kuchlanishni uzish yoki uning uianish qutbini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi.

Tiristorlarning shartli belgilari VII.18 - rasmda keltirilgan.



VII.17-rasm. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi



VII.18- rasm. Tiristorning tashqi ko'rinishi va shartli belgilari;

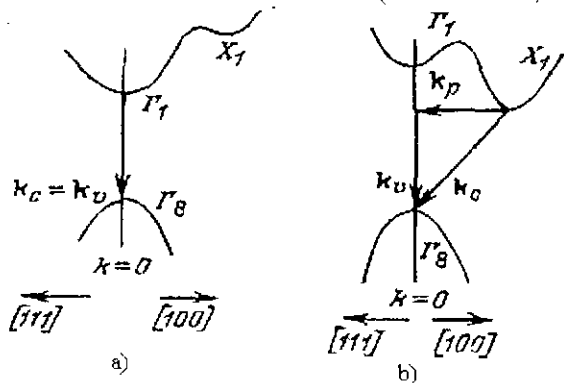
VIII - bob. Optoelektron asboblari

VIII.1. Yorug'lik chiqaruvchi diodlar va injeksiyalik lazerlar

Yorug'lik chiqaruvchi diodlar (YoD) – elektron va kovaklar rekombinatsiyasi hisobiga elektr energiyasini to'g'ridan-to'g'ri yorug'lik nurlari energiyasiga (infraqizil va ko'rish diapazonidagi) aylantiruvchi yarimo'tkazgichli dioddur.

Ko'pchilik YoD larda elektron va kovaklar nurlanish rekombinatsiyasi, unga to'g'ri o'tish bo'yicha kuchlanish berilganda noasosiy zaryad tashuvchilarni n-p o'tish orqali injeksiyalanishi tufayli sodir bo'ladi. Injeksiyalangan zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasi xarakteri YoD da qo'llanilayotgan yarimo'tkazgich moddasiga bog'liq bo'lib, uning eng asosiy xususiyati energetik

zonalar strukturasidir. Ana shu strukturasiga bog'liq holda hamma yarimo'tkazgich moddalar ikkita turga bo'linadi, zonalararo to'g'ri va noto'g'ri o'tuvchi elektronli moddalar (YIII.1-rasm).



YIII. 1-rasm. To'g'ri (a) va noto'g'ri (b) elektron o'tishlar.

Elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasidan valent zonaga o'tishida energiya va impulsning saqlanish qonuni bajarilishi kerak. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan to'g'ri va noto'g'ri o'tish uchun $G_1 - G_2 = h\nu$ (YIII.1-rasm, a)) noto'g'ri o'tish uchun $X_1 - G_8 = h\nu$ (YIII.1-rasm, b)), bu erda grek harflari bilan $k=0(G)$ va $k=0(X)$ to'lqin sonlariga ega bo'lgan zonalaridagi elektronlar energiyalari belgilangan, $h\nu - k$ kvant energiyasi.

Impulsning saqlanish qonuni to'g'ri o'tishda avtomatik ravishda bajariladi va bu o'tishlar to'lqin sonining bittagina ($k = 0$ bo'lgan) qiymatlarida yuzaga keladi. Shuning uchun elektronning o'tkazuvchanlik zonasidagi kvaziimpulsi, valent zonadagi kvaziimpulsiga teng ($k_s = k_v$). Noto'g'ri o'tish (YIII.1-rasm, b) $X_1 \rightarrow \Gamma_8$) ularda uchinchi zarracha fonon qatnashgan holda mumkin bo'ladi. Impulsning saqlanish qonuni $k_s = k_v + k_r$ bajarilishi uchun fononga k_r impuls beriladi.

Alohida YoDlardan tashqari harf yoki sonlarni hosil qilish imkoniyatini beruvchi raqam-belgili indikator (RBI)lar keng ko'lamda qo'llaniladi.

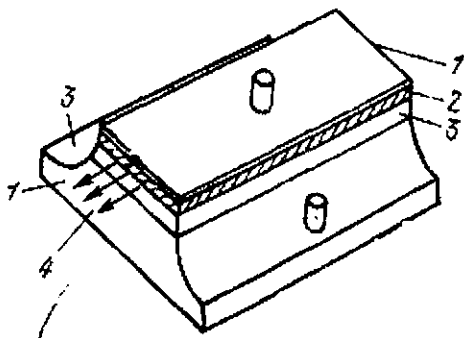
Yorug'lik diodi materialiga qarab undan chiquvchi nurning rangi ham har xil bo'ladi. Masalan: gally arsenid infraqizil, gally arsenid fosfidi - qizil yoki zarg'aldoq; gally fosfid - sariq yoki yashil rang chiqaradi.

Yorug'lik diodlarida to'g'ri yo'nalishdagi kuchlanish tushuvi, teskari yorib o'tish kuchlanishi $5 + 50$ V atrofida bo'ladi.

Yorug'lik diodlari, yorug'lik indikatorlari, optoelektron asboblari nurlanish manbai, kino fototexnikada va avtomatik qurilmalarda ishlatiladi.

Injektsiyali lazerlar. Yorug'lik diodlaridan farqli ravishda, yarimo'tkazgichli lazerlarda fotonli rekombinatsiya spontan-ixtiyoriy emas, balki *majburiy amalga oshadi*.

Yarimo'tkazgichli lazerlar -- to'g'ridan - to'g'ri elektrik yoki nokogerent nurlanish energiyasini kogerent nurlanish energiyasiga aylantiruvchi asboblardan iborat. Lazerlarning ishlashi uchun stimullashgan fotonli rekombinatsiya, fotonlar yutilishidan iborat bo'lmog'i kerak. Bu munosabat kristaldagi energetik sathlar joylashuvga bog'liq. Termodinamik muvozanat holatida valent zonadagi elektronlar soni, o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar sonidan ancha ko'p, shuning uchun ham yorug'likning yutilishi majburiy nurlanishga ega bo'ladi. Stimullashgan fotonli rekombinatsiyada o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasi ularning valent zonadagi konsentratsiyasidan ortiq bo'lishi kerak. Bunday holat sathlarning invers joylashuvi deyiladi. Yarimo'tkazgichlarda invers joylashish hosil qilishning eng ko'p tarqalgan usuli -- to'g'ri ulangan $n - p$ o'tishdagi zaryad tashuvchilar injeksiyasidir. Shuning uchun ham bunday lazerlar injeksion lazerlar deyiladi. Y11.2-- rasmda arsenid gallydan yasalgan yarimo'tkazgichli lazer qurilmasi ko'rsatilgan.



VIII. 2-rasm. Yarimo'tkazgichli lazer qurilmasi.

YIII.II. Fotoelektrik yarimo'tkazgichli asbobl.

Fotorezistor – bu ishlash prinsipi fotoo'tkazuvchanlik hodisasiga asoslangan, nur qabul qiluvchi fotoelektrik yarimo'tkazgichdir. Fotorezistorning ishlashi odatda, berilgan kuchlanish va yorug'lik oqimida, fotopriyomnikdan oqayotgan fototok kattaligi bilan xarakterlanadi.

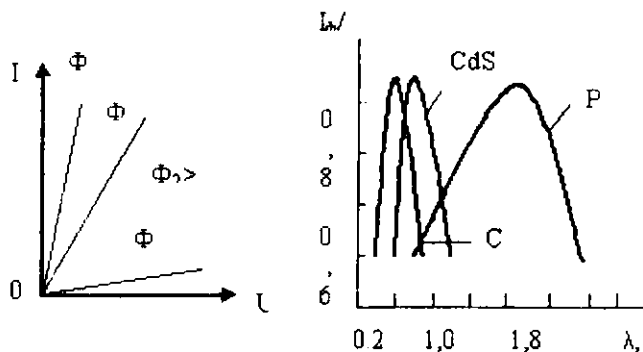
Uning son qiymati yorug'likdagi va qorong'ilikdagi toklarning farqiga teng:

$$I_f = I_{yor} - I_{qor} \quad (YIII.1)$$

Qorong'ilikdagi tok I_{qor} – bu fotorezistorga yorug'lik tushmaganda, unga ishchi kuchlanishi berilgan paytdagi oqayotgan tok. Ba'zida qorong'ulikdagi qarshiligi R_{qar} tushunchasidan foydalaniladi, bu qarshilikning qiymati o'n kiloomdan bir necha megaomgacha bo'ladi:

$$R_{kar} = U_{ishchi} / I_{kor}. \quad (VII.2)$$

Fotorezistorning volt – amper xarakteristikalari yorug'likdagi tokining unga ma'lum qiymatli yorug'lik oqim tushirilganda quyilgan kuchlanishdan bog'lanishi bo'lib, ular sochilish quvvatining mumkin bo'lgan maksimal qiymatlari oralig'ida chiziqlidir. Yorug'lik oqimi o'zgarganda chiziqlarning qiyaligi o'zgaradi (VII.3–rasm).



IV.III.3-- rasm. Fotorezistorning volt - amper xarakteristikalari oilasi (a) va spektral xarakteristikalari (b).

Fotorezistorning asosiy xarakteristikasi tok bo'yicha sezgirliigi bo'lib, u fotorezistorga nominal kuchlanish ulanganda hosil bo'lgan fototokning, yorug'lik oqimiga nisbatiga teng:

$$S_i = (I_{yor} - I_{kar})/F = I_f/F, \quad (YIII.3)$$

Bu yerda, F - yorug'lik oqimi (lm) yoki nurlanish quvvati (Vt).

Fotopriyomnikni sezgirliigi temperaturaga bog'liq bo'lib, tok bo'yicha sezgirlik temperatura oshishi bilan keskin kamaya boradi, chunki zaryad tashuvchilarning muvozanatli konsentratsiyasi va yoritilganda yuzaga keladigan ortiqcha zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasi ehtimoliyati oshishi fototokning kamayishiga, bu esa sezgirlikning kamayishiga olib keladi.

Solishtirma tok bo'yicha sezgirlik fototokning, yoruqlik oqimi va fotorezistorga quyilgan kuchlanishi ko'paytmasiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$S_o = I_f / (FU) = S_i / U. \quad (YIII.4)$$

Kuchlanish bo'yicha sezgirlik tok oqishi tufayli paydo bo'lgan signal kuchlanishi U_s ning, yorug'lik oqimiga nisbatiga teng:

$$S_o = U_s / F. \quad (YIII.5)$$

Tok va kuchlanish bo'yicha sezgirlik fotorezistorning integral sezgirligidir, chunki ular fotorezistorni murakkab yorug'lik bilan yoritganda o'lchanadi.

Fotorezistorning monoxramatik nurlanishga fotosezgirligi, uning spektral sezgirligi bo'lib, fototokning ma'lum yorug'lik to'lqin uzunlikdagi yorug'lik oqimiga nisbatiga teng:

$$S_{\lambda} = I_f / F_{\lambda} \quad (\text{YIII.6})$$

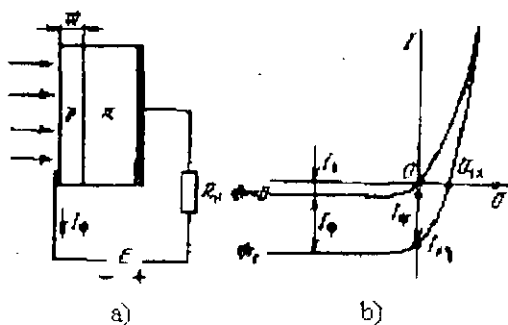
Fotorezistor fototokining tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi uning spektral xarakteristikasi deyiladi. YIII.4 - rasmda ba'zi fotorezistorlarning spektral xarakteristikalari keltirilgan.

Fotorezistorning inersionligi – fotorezistorga yorug'lik tushishi yoki o'chishidan keyingi fototokning o'rnashgan qiymatiga nisbatan e marta o'zgarishi uchun ketgan doimiy vaqti bilan xarakterlanadi. Odatda fotorezistorlarning doimiy vaqti $\tau = 10 \mu\text{s}$ - 10ms ni tashkil qiladi.

YIII.III. Fotodiodlar.

Fotodiod – bu fotosezgir elementi yarimo'tkazgichli diod strukturasidan iborat bo'lgan, ichki kuchaytirishga ega bo'lmagan fotogalvanik yorug'lik qabul qilgichdan iborat.

Ishchi holatida fotodiodga teskari kuchlanish ulanadi (YIII.4 - rasm).



YIII.4 rasm. Fotodiodning ulash sxemasi (a) va volt-amper xarakteristikasi (b).

Yorug'lik ta'siri tor zonali yarimo'tkazgichlar (InSb, Ge) to'yinish tokiga teng bo'lgan qorong'ulikdagi tokidan tashqari, I_f fototok oqishiga olib keladiki, uning yo'nalishi to'yinish tokining yo'nalishi bilan mos tushadi. Chunki n va p sohalaridan noasosiy zaryad tashuvchilar fazoviy zaryad tashuvchilar sohasiga ketadi va ular o'tishning teskari tokini oshiradi yoki aynan u noasosiy zaryad tashuvchilar hisobidan yuzaga keladi.

Fotodiodning volt-amper xarakteristikasi (VAX) quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = I_s \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_f. \quad (\text{VII.7})$$

Bu yerda I_s - qorong'ulikdagi tok.

YIII. 4 - rasmda tor zonali yarimo'tkazgichli fotodiodning VAXi ko'rsatilgan.

Yorug'lik tushmagan paytda teskari tok to'yinish tokiga teng bo'ladi. Yorug'lik tushganda teskari tok oshadi va u kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. Qorong'ulikdagi VAX koordinata boshidan o'tadi. Yoritilganda esa teskari toklar koordinatasi bo'ylab siljiydi, fotodiodga kuchlanish berilmaganda ham, fotogalvanik effekt yuzaga kelganligi tufayli, undan teskari tok oqadi. Fotodiodning ishlash rejimi, kuchlanish manbai fotodiodning yopilish yo'nalishida ulangan, YIII.4 rasmda ko'rsatilgan sxemaga mos keladi. Bu rejim fotodiodli rejim deb yuritiladi, uning ishchi rejimi esa, VAXning uchinchi kvadrantida joylashgan (YIII.4 - rasm).

Fototokning yorug'lik oqimiga bog'liqligi fotodiodning yorug'lik yoki energetik xarakteristikasi deyiladi. Fotorezistorlardan farqli ravishda fotodiodlar fototoki, yoritilganlikning oddiy sathlarida, yorug'lik oqimiga chiziqli bog'langan:

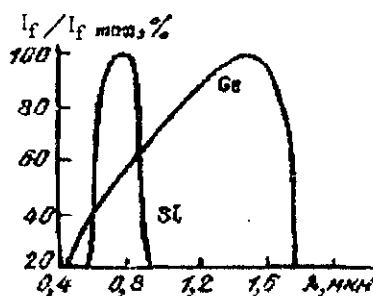
$$I_f \approx S_f F. \quad (\text{VII.4})$$

Bu yerda S_f - integral sezgirlik.

Fotodiodning spektral xarakteristikasi, sezgirlikning to'lqin uzunligidan bog'liqligini ko'rsatadi (YIII.5 - rasm).

Fotodiodlarning fotorezistorlarga nisbatan afzalligi ularning tez ta'sir etuvchanligidadir. Agar fotodiodni modullashgan yorug'lik

bilan yoritilsa, fototok fototashuvchilar p – n o'tishga etgandan keyin paydo bo'ladi.



VIII.5–rasm. Germaniy va kremniy asosidagi fotodiodlarning spektral xarakteristikalar.

Fotodiodlarning keng ko'lamda qo'llanilishi, ularning ko'rish, ultrabinafsha va infraqizil spektr sohalariga sezgirliigi, yuqori tezta'sir qiluvchanliigi, shovqinini pastliigi, uzoq muddatga xizmat qilishi kabi xususiyatlarga ega bo'lishidadir. Asosiy qo'llanilish sohalar: hisoblash texnikasida axborotlarni kiritish va chiqarish qurilmalarida, fotometriyada, avtomatikada va shu kabi boshqa bir qancha sohalaridadir. Fotodiodlarning istiqbolli qo'llanilish sohalar optoelektronikadadir.

VIII.IV. Yarimo'tkazgichli fotoelementlar.

Yarimo'tkazgichli fotoelementlar – bu optik nurlanish energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun ishlatiladigan fotodiodlardir. Bularga quyosh elementlari kiradi.

Fotoelementlarning quyosh elementlaridan farqi shundaki, ular fotogalvanik rejimida ishlaydi, ya'ni tashqi manbaga ulanmaydi, o'zlari kuchlanish generatorlari sifatida ishlaydi. Fotodiodlar VAXiga murojaat qilamiz (VIII.5– rasm). VAXni toklar o'qi bilan kesishish nuqtasi salt yurish rejimi ($R_n = 0$)ga mos keladi. Zanjir uzilgan paytdagi fotoelementga yorug'lik tushganda paydo

bo'ladigan salt yurish rejimi kuchlanishini fotodiodning VAX (VIII.7) tenglamasidan, $I = 0$ deb qabul qilgan holda aniqlaymiz:

$$U = \left(\frac{\kappa T}{q} \right) \ln(I_f/I_s + 1). \quad (\text{VII.9})$$

Kuchlanishning paydo bo'lishi fotogalvanik effektga asoslangan. Agar (VIII.4- rasm) E ta'minlovchi manbani olib tashlansa, iste'molchi uzilgan zanjirda, p - n o'tishning elektr maydoni tomonidan fototashuvchilarning bo'linishi, p- va n-sohalarda ortiqcha zaryad to'planishiga sabab bo'ladi. Natijada p-soha - musbat zaryadlanadi, n- soha - manfiy va elektrodlar orasida foto-EYuK deb ataluvchi potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Foto-EYuK salt yurish kuchlanishiga teng va u ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanuvchi $U_{syu} < \Delta E/q$ qiymatdan osha olmaydi. Kremniyli fotoelementlar uchun $U_{syu} = 0,5 - 0,6$ V. (VIII.9) dan ko'rinadiki foto-EYuKni oshirish uchun to'yinish tokini kamaytirish kerak, ya'ni ta'qiqlangan zonasi kengligi va zaryad tashuvchilar diffuzion uzunligi katta bo'lgan yarimo'tkazgichli materiallarni qo'llash kerak.

Fotoelementlar ish rejimida VAXi to'rtinchi kvadrantda joylashadi (VIII.4- rasm). O'rtacha yoritilganlikda kremniyli fotoelementlarning qisqa tutashuv toki zichligi $20 - 25 \text{ mA}/\text{sm}^2$ ni tashkil qiladi. Fotoelementlar VAXi asosida, uncha katta bo'lmagan quvvat ajraluvchi iste'molchi qarshiligining optimal qiymati tanlanadi. Buning uchun VAXda $P_{\max} = IU$ bo'lgan nuqta tanlanadi.

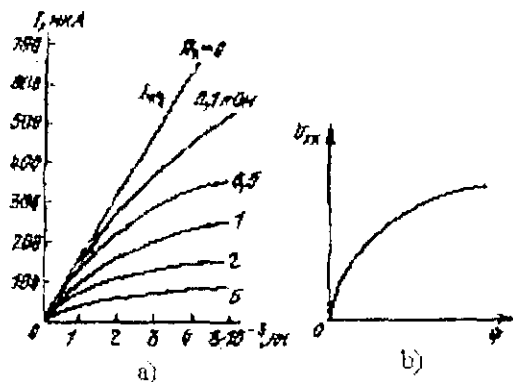
VIII.6- rasmda fotoelementning iste'molchi qarshilik turli qiymatlarga ega bo'lgandagi yorug'lik xarakteristikasi keltirilgan.

Fotoelementning integral sezgirligi, qisqa tutashuv tokining yorug'lik oqimiga nisbatiga teng:

$$S_i = I_{kt}/F. \quad (\text{VII.10})$$

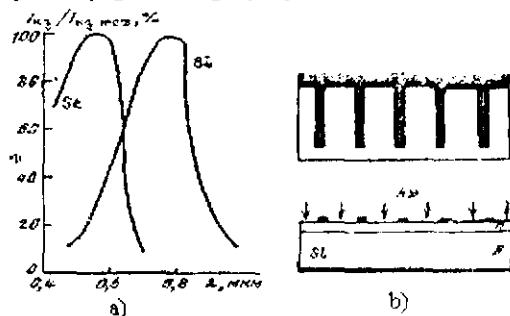
Yorug'lik xarakteristikasiga salt yurish kuchlanishining yorug'lik oqinidan bog'liqlik xarakteristikasi ham kiradi (VIII.6- rasm, b)). Bu bog'lanish logarifmik qonun asosida o'zgaradi.

Fotoelementning yorug'lik xarakteristikasi, ya'ni qisqa tutashuv tokining yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi, uning materialiga bog'liq.



VIII.6 - rasm. Iste'molchi qarshiligining qiymatlarida fotoelementning yorug'lik xarakteristikalarini (a) va salt yurish kuchlanishining yorug'lik oqimidan bog'liqligi (b).

Fotoelementlar kremniy, germaniy, arsenid galliy, sulfid kadmiy va boshqalardan tayyorlanadi. VIII.8 - rasmda quyosh batareyalarida qo'llaniladigan kremniyli va selenli fotoelementlar spektral xarakteristikalarini keltirilgan. Selenli fotoelementlarning spektral xarakteristikalarini odam ko'zi spektral sezgirlikiga yaqin. Kremniyli fotoelementlar ko'proq quyosh energiyasini o'zgartirgichlarga mos keladi. Spektral xarakteristikasi quyosh nurlarining ideal qabul qilgichlariga yaqin $\lambda_{max} = 0,75 - 0,80$ mkm.



VIII.7 - rasm. Quyosh elementining spektral xarakteristikasi (a) va struktyravii tuzilishi.

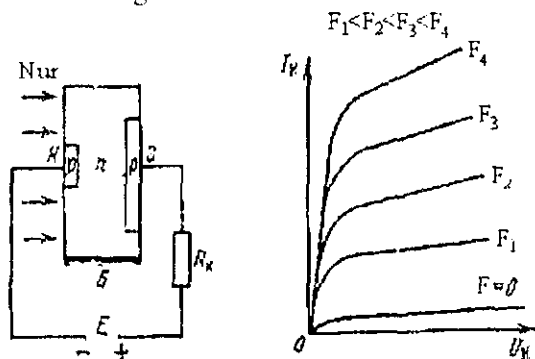
Fotoelementlarning asosiy parametri, foydali ish koeffitsienti (FIK) $\eta = P_{\max} / P$ - dir, u fotoelementdan olish mumkin bo'lgan maksimal elektr toki quvvatining fotoelementga tushayotgan yorug'lik quvvatiga nisbati bilan hisoblanadi. Kremniyli quyosh elementlarining FIKi 12% ga yetadi. Arsenid galliy-alyuminiy ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) dan yasalgan fotoelementlarning istiqboli keng bo'lib, ularda FIK 20% ga yetadi.

Hozirgi paytda fotoelementlar asosida yasalgan quyosh batareyalari Er sun'iy yo'ldoshlarida, kosmik kemalarda va orbitalararo stansiyalarda mustahkam ta'minlovchi manba sifatida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda.

VIII.V. Fototranzistorlar.

Fototranzistor - bu fotosezgir elementi kuchaytirishni ta'minlovchi tranzistor strukturasidan iborat bo'lgan fotogalvanik yorug'lik qabul qilgichdir.

Fototranzistor yuzasi yoki butun hajmi bo'yicha yorug'lik ta'sirida paydo bo'lgan noasosiy zaryad tashuvchilar $p-n$ o'tishga borib yetadi. Bunda yorug'lik $p-n$ o'tishga perpendikulyar ravishda baza yuzasiga, emitter yoki kollektor yuzasiga tushishi mumkin. Yorug'lik kollektor o'tishiga tik bo'lgan baza sohasiga tushganda ko'proq effektivlikka ega bo'ladi.



VIII. 8 - rasm. Fototranzistorning ulash sxemasi (a) va chiqish xarakteristikasi (b).

Fototranzistorning bazasi ulanmagan holdagi sxemasini qarah chiqaylik (VIII.8-rasm).

Kollektor o'tish zanjiriga teskari, emitter o'tishga esa to'g'ri yo'nalishda kuchlanish ulangan. Baza sohasiga yorug'lik tushganda elektron – kovak jufti yuzaga keladi. Kovaklar kollektor o'tishning elektrik maydoniga tortiladi, elektronlar esa baza sohasida hajmiy ortiqcha zaryad hosil qilib qoladi. Bazada elektronlar sonining o'sishi bilan emitter o'tishidagi potensial barer kamayadi. Natijada emitter sohasidan bazaga injeksiyalanayotgan kovaklar oqimi kuchayadi va oqibatda kollektor toki, hamda tashqi zanjirdagi tok oshadi.

Fototranzistorning chiqish zanjiridagi tok:

$$I_{f\alpha} = \{ \alpha_n / (1 - \alpha_n) \} I_f = K_{ue} I_f \quad (VII.11)$$

Bu yerda, K_{ue} – umumiy emitterli (UE) sxemadagi kuchaytirish koeffitsienti, α_n – emitterning tok bo'yicha uzatish koeffitsienti.

Fototranzistorning sezgirligi kollektor – baza diodining fotosezgirligi va emitterning tok bo'yicha uzatish koeffitsientiga bog'liq.

Fototranzistorning tok bo'yicha integral sezgirligi baza sohasi yoritilgan hol uchun, baza – kollektor o'tish hosil qilgan “ fotodiod” sezgirligidan K_{ue} marta ko'p,

$$S_i = K_{ue} S_d \quad (VIII.12)$$

Uning son qiymati bir lyumenga yuz milliamperni tashkil qiladi.

Fototranzistorning qorong'ulikdagi kollektor toki fotodiodning qorong'ulikdagi tokidan sezilarli darajada katta, chunki bazada hosil bo'lgan birlamchi tok K_{ue} marta kuchaytiriladi.

UE sxema bo'yicha ulangan fototranzistorning bazani har xil qiymatli yorug'lik oqimi bilan yoritgandagi chiqish xarakteristikalari bipolyar tranzistorining bazasiga turli qiymatli toklar berilgandagi chiqish xarakteristikalari bilan bir xildir (VIII.8 – rasm, b).

Fototranzistorga yorug'likning ta'siri tok bo'yicha integral sezgirlik bilan, baza tokining ta'siri esa tok bo'yicha kuchaytirish

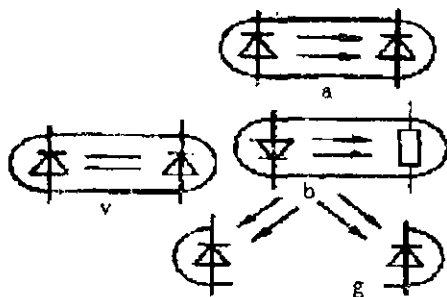
koefitsienti bilan xarakterlanadi. Shunday qilib fototranzistor ikkita: optik va elektrik kirishga ega.

Fototranzistorning spektral xarakteristikalari, fotodiodning spektral xarakteristikalari bilan bir xil.

Fototranzistorlar bazasi germaniydan yasalgan bo'lsa, germaniyli fototranzistor (FT - 1) deyiladi. Fototranzistorlarning barcha parametrlari haqida to'liq ma'lumotlar optoelektron asboblari so'rovnomasidan olinadi.

VIII.VI. Optron asboblari.

Bitta qurilma ichiga fotodiod va yorug'lik diodi joylashtirilgan asboblari *optronlar* deb ataladi (VIII.9-rasm). Bunday asboblari signallarni bir



VIII.9-rasm. Optron asboblari

blokdan ikkinchisiga o'tkazishda ishlatiladi. Asbobdan foydalanish uzatuvchi blokning chiqish qarshiligi, qabul qiluvchi blokning kirish qarshiligidan katta farq qilganda, bloklar o'zaro elektr jihatidan ulanishi mumkin bo'lmaganda yuqori samara beradi.

IX - bob. Yarimo'tkazgich va yarimo'tkazgichli asboblarning fizikasini o'rganishga doir laboratoriya ishlari

1 - Laboratoriya ishi. Yarimo'tkazgichlarda solishtirma o'tkazuvchanlik va Xoll effektini o'rganish.

Ishning maqsadi. Yarimo'tkazgichlarni namunada Xoll EYuKsining magnit maydon o'zgarishiga bogliqligini o'rganish, namunaning elektr o'tkazuvchanligini, tok tashuvchilar konsentratsiyasini va boshqa ba'zi kattaliklarni aniqlash.

Ishning mazmuni. Xoll EYuK ($\varepsilon_{\text{xoll}}$) sini tajribada aniqlash namunaning berilgan b qalinligida va undan oqayotgan I tokni qayd qilgan holda amalga oshiriladi. Bundan olingan Xoll EYuKsini namunaning qalinlik birligi va tok kuchi birligida hisoblanadi, ya'ni:

$$\varepsilon_{\text{xoll}} = \varepsilon_{\text{xoll}} b / I, \quad (1)$$

bu solishtirma yoki keltirilgan Xoll EYuKsi deyiladi. Keltirilgan Xoll EYuKsi magnit maydon induksiyasi Bga proporsionaldir.

$$\varepsilon_{\text{xoll}} = R B \quad (2)$$

bu yerda, proporsionallik koeffitsienti, $R = 1/en$ - (3) o'rganilayotgan moddaning xarakteristikasi bo'lib, Xoll koeffitsienti yoki Xoll doimiysi deyiladi. U tok tashuvchilarning sochilish mexanizmiga bog'liq. Xususiyl o'tkazuvchanlikli toza yarim o'tkazgichlar uchun, panjara tebranishlarida sochilish sodir bo'layotgan holda, Xoll doimiysi uchun

$$R = 3p/8en \quad (4)$$

ifoda o'rinaldir.

Qalinligi b bo'lgan namunadan tok o'tkaziladi va B magnit maydonining har xil qiymatlarida Xoll EYuKsi o'lchanadi. (1) formuladan solishtirma Xoll EYuKsi hisoblanadi va chiziqfi ko'rinishga ega bo'lgan $\varepsilon_{\text{xoll}}$ bog'lanish grafigi quriladi. $\varepsilon_{\text{xoll}}$ to'g'ri chiziq'ining qiyalik burchagi tangensi orqali Xoll doimiysi R aniqlanadi. (4) formulani qo'llab, tok tashuvchilar zaryadining absolyut qiymatini elektronning zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Klga teng deb olib, tok tashuvchilar konsentratsiyasini aniqlash mumkin:

$$N = 3p/8Re = 7,4 \cdot 10^{-18} \cdot I/R \quad (5)$$

Agar Xoll doimiysini aniqlash bilan bir qatorda

yarimo'tkazgichlar solishtirma qarshiligini ham aniqlansa, unda shu natijalar asosida tok tashuvchilar harakatchanligi kabi muhim xarakteristikani hisoblash mumkin.

Tok tashuvchilar harakatchanligi (μ) deb, tok tashuvchilarning kuchlanganligi IV/m bo'lgan elektr maydonida dreyf tezligiga aytiladi. Bu tezlik

$$v = \mu E \quad (6)$$

kabi ifodalanadi. E – elektr maydon kuchlanganligi.

Agar tok tashuvchilar konsentratsiyasi n , zaryadi e bo'lsa, namunadan oqayotgan tok zichligi,

$$g = env = en\mu E \quad (7)$$

bo'ladi. Om qonunidan $g = \sigma E$ (8)

(7) va (8) lardan σ - elektr o'tkazuvchanligining harakatchanlikka bog'liqligi ifodasi quyidagicha bo'ladi

$$\sigma = en\mu. \quad (9)$$

Solishtirma elektr qarshilik

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{en\mu}. \quad (10)$$

bu yerdan:

$$\mu = \frac{1}{\rho en} \quad (11)$$

(4) ni hisobga olgan holda Xoll doimiysi R uchun tok tashuvchilar harakatchanligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\mu = \frac{8}{3\pi} \frac{R}{\rho} = 0,85 \frac{R}{\rho}. \quad (12)$$

Organilayotgan solishtirma elektr qarshiligini aniqlash uchun namuna ustida bir-biridan $\nabla \ell$ masofada joylashgan ikkita kontaktlar orasidagi elektr qarshiligi o'lanadi. Ana shu maqsadda namunadan uning uzunligi bo'yicha I elektr toki o'tkaziladi va ko'rsatilgan kontaktlar orasidagi potentsiallar farqi U ρ o'lanadi. Unda solishtirma qarshilik quyidagi formuladan hisoblanadi,

$$\rho = \frac{U \rho \, bd}{I \, \nabla \ell} \quad (13)$$

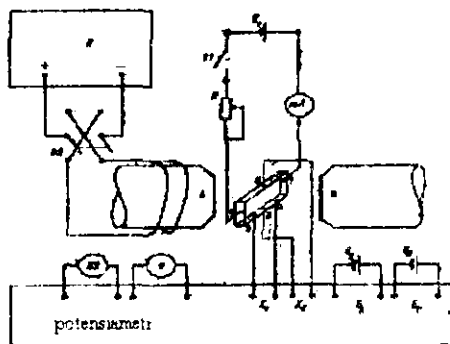
bu yerda bd – namunaning ko'ndalang kesimi.

O'rganilayotgan yarimo'tkazgich tipini, ya'ni tok tashuvchilar ishorasini aniqlash uchun namunadan oqayotgan I tok va V magnit maydonining tanlab olingan yo'nalishida o'lchanayotgan Xoli FYuKsi ishorasini aniqlash kerak.

Tajriba qurilmasining tavsifi. Xoll effekti va solishtirma qarshilikni o'lchash sxemasi 1-rasmda keltirilgan [6]. O'rganilayotgan namuna, yarimo'tkazgichli moddadan to'g'ri burchakli plastinka shaklida (o'lchamlari qurilmada keltirilgan) yasalgan.

Namunadan o'tayotgan tok uchun manba bo'lib, ε batareya xizmat qiladi. Tok kuchi R qarshilik magazini bilan boshqariladi, mA milliampermetri bilan o'lchanadi.

Namunadagi magnit maydon, o'zgarmas tok manbai Udan ta'minlanuvchi SN elektromagniti yordamida hosil qilinadi. Elektromagnit orqali oqayotgan I_m tokining yo'nalishini S_2 qayta ulagich yordamida o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.



1 - rasm. Tajriba qurilmasi sxemasi

Bu yerda:

1 - tok tashuvchilar uchun mo'ljallangan kontaktlar;

2 – 2 – qarshilikni o'lash uchun kontaktlar;

3 – 3 – Xoll effektini o'lash uchun kontaktlar.

Namunadagi 2 – 2 kontektlar orasidagi U_{ρ} kuchlanishini va 3

3 Xoll kontaktlari orasidagi Xoll kuchlanishi U_{Xoll} ni kompensatsiya usuli bilan o'ltanadi. Bu masalada kompensatsiyali sxema sifatida yuqori omli R37-1 potensiometri qo'llaniladi. Potensiometrda ikkita turli kuchlanishlarni o'ltash uchun X_1 va X_2 kirish klemmalari mavjud.

X_1 kirishiga U_{ρ} kuchlanish, X_2 kirishiga U_{Xoll} beriladi.

Potensiometrning ishchi toki uning B_A va B_V klemmalariga ulangan ε_1 va ε_2 batareyalaridan hosil qilinadi. Ishchi toki kattaligini NI normal elementi yordamida o'osil qilingan etalon kuchlanishi bilan o'rnatiladi.

Potensiometrning nol indikatori G galvanometrda iborat. Galvanometrning noli o'ltash sxemasidagi kompensatsiya holati yuzaga kelganini bildiradi.

1 – mashq. Solishtirma qarshilikni o'ltash

Potensiometr tavsifidan uning ishlashi bilan tanishing. "Izmereniya»" tugmachasini bosing va uni uncha katta bo'lmagan burchakka burib, shu holatini belgilang.

Ishchi toki I_A ni o'rnatng. Buning uchun ish turi qayta ulagichini I_A holatiga o'tkazing va I_A tokiga taalluqli bo'lgan "sredne" va "tochno" tugmachalari bilan galvanometr strelkasini nolga o'rnatng.

Ish turi qayta ulagichini X_1 holatiga qo'ying. Qayta ulagichni "10 Mom" holatiga qo'yib, galvanometrni qo'pollashtiring.

R qarshilik magazini dekadalari holatini tekshiring (magazin to'lig'icha ishga kiritilishi kerak). S_1 kalitni ulab, $I = 0,5A$ tokni o'rnatng. Hosil bo'lgan kuchlanish U_{ρ} ni o'ltang.

Kuchlanishni o'ltash quyidagicha amalga oshiriladi: o'ltash dekadasi qayta ulagichlari yordamida kompensatsiya kuchlanishi to indikator strelkasi nolga kelgunga qadar oshirila boradi. Bunda sezgirlk asta-sekin oshib boradi. Galvanometrning maksimal sezgirligida kompensatsiya holatiga erishiladi va hisobot olinadi.

Tokning $I = 1.2$ va 3 mA qiymatlarida U_{ρ} o'lab, (13) formuladan solishtirma qarshilik ρ va solishtirma o'tkazuvchanlik hisoblanadi.

2 – mashq. Xoll doimiysini aniqlash

Ish turi qayta ulagichini I_V holatiga qo'yib, o'rtacha va aniq boshqaruv ruchkalari yordamida ishchi toki o'rnatiladi.

Ish turi qayta ulagichi X_2 holatga. Namuna orqali o'tayotgan tokni $I = 1 \text{ mA}$ qilib o'rnatiladi. O'zgaras tok manbai ulanadi va elektromagnit o'ramlaridan oqayotgan tokni $I = 0.1 \text{ A}$ ga o'rnatiladi. Yuqoridagi U_{ρ} kuchlanishini o'lchash usuli kabi $U_{X_{oll}}$ kuchlanishini o'lchanadi.

O'lchashlarni elektromagnitdan oqayotgan I_m tokni o'zgartirish yordamida magnit maydonining bir necha qiymatlarida takrorlang.

Keyin elektromagnitdagi tok yo'nalishini (S_2 qayta ulagichi bilan) va potensimetrlning X_2 ulagichlari qutbini o'zgartirgan holda, elektromagnitning o'sha tokida, yana $U_{X_{oll}}$ kuchlanishi o'lchanadi. Xoll EYuK ($\varepsilon_{x_{oll}}$)sining haqiqiy qiymatini, maydonning ikki xil yo'nalishida, ikkala kuchlanishning o'rtacha arifmetik qiymati kabi,

$$\varepsilon_{x_{oll}} = \frac{|U| + |U|}{2} \quad \text{formuladan aniqlanadi.}$$

Xoll solishtirma EYuK ($\varepsilon_{x_{oll}}^*$)sini (1)dan hisoblab, $\varepsilon_{x_{oll}}^*$ ning magnit maydon induksiyasi V dan bog'liqligi grafigini quring va $\varepsilon_{x_{oll}}^*$ (V) to'g'ri chizig'ning qiyalik burchagi tangensi orqali Xoll doimiysi R_{ni} aniqlang.

Namunadagi tokni $I = 3 \text{ mA}$ ga o'zgartirib o'lchashlarni takrorlang.

Solishtirma qarshilik ρ va Xoll doimiysi R larning topilgan qiymatidan foydalanib, (5) va (12) formulalar yordamida o'rganilayotgan yarimo'tkazgichdagi tok tashuvchilar konsentratsiyasi n va ularning harakatchanligi μ larni hisoblang.

Tok tashuvchilar tipini aniqlash uchun namunadagi tok manbai ε_1 ning qutbidan, I tokning yo'nalishini, magnit maydoni V ning yo'nalishini (magnit strelka yordamida) va potensimetrlni X_2

klemmasi qutbidan Xoli E-YuK ($\varepsilon_{\text{xoll}}$)ning ishorasini topish zarur.

Nazorat savollari.

1. Xoll effekti nimadan iborat?
2. Xoll klassik effektining sababi nimada ?
3. Zaryad tashuvchilarga ta'sir qilayotgan Lorens kuchining formulasini vektor ko'rinishda yozing. Tok i va magnit maydoni V larning berilgan yo'nalishi uchun uning yo'nalishini toping .
4. Tok tashuvchilar konsentratsiyasi nima va u qanday hisoblanadi?
5. Tok tashuvchilar harakatchanligi qanday aniqlanadi va u elektr o'tkazuvchanligi bilan qanday bog'langan?
6. Yarimo'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning qanday tiplari kuzatiladi?

2 - Laboratoriya ishi.

Yarim o'tkazgichli diod va diodli to'g'rilagichlarni o'rganish

Mazkur laboratoriya ishida yarim o'tkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasi quriladi, hamda diodlarning har xil o'zgaruvchan tokni to'g'rilagich sxemalarida qo'llanishi o'rganiladi.

Tajriba qurilmasini tavsifi.

Tajriba K 4822 tipli laboratoriya qurilmasida o'tkaziladi.

Tadqiqot manbai sifatida D 226B tipli germaniy yarim o'tkazgichli diod olinadi. Tajriba o'tkazgichi uchun kerakli barcha asboblار diodlar, rezistorlar va kondensatorlar maxsus № ii panelga o'rnatilgan. Rezistorlarning har birining qarshiligi 330 Om dan, sig'implarniki esa 1,5-30 mkF ni tashkil qiladi. Panelda kerakli sxemani yig'ishni osonlashtirish uchun qo'shimcha klemma(ulagich)lar o'rnatilgan.

Bu panellar K4822 tipli laboratoriya stoli tarkibiga kiradi. Laboratoriya stolida bir necha xil panellar, o'lovch asboblari, ulash simlari mavjud, hamda turli kattalikka ega bo'lgan ta'minlovchi

o'zgaruvchan va o'zgarmas tok manbai keltirilgan.

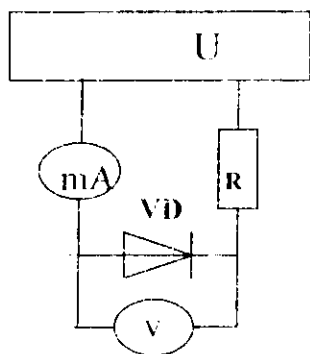
Ta'minlovchi manba, tokni $0 - 500\text{mA}$ va kuchlanishni $0 - 25\text{V}$ gacha silliq o'zgartirish imkonini beradi.

O'zgaruvchan kuchlanishi manbai sifatida chastotasi $20-1000\text{Gs}$ chegarada, 2V kuchlanishli simmetrik va nosimmetrik chiqishi mavjud bo'lgan o'zgaruvchan tok generatori xizmat qiladi. O'zgarmas kuchlanishni o'lchash uchun $1,5\text{V}$ chegarali voltmeter, o'zgarmas tokni o'lchash uchun $75-150\text{mA}$ chegaradagi milliampermetr qo'llaniladi. Chiqish signali shaklini ko'rish uchun «X» va «U» chiqishli ossillograf qo'llaniladi.

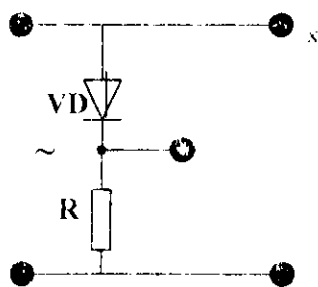
1-mashq. Diodning volt-ampér xarakteristikasini qurish

1 - rasmdagi sxema yig'ilsin.

Asbobni tok manbaiga ulashdan oldin o'zgarmas tok manbaining chiqish kuchlanishini boshqaruvchi potensiometr ruchkasi, uning eng kichik kuchlanishiga mos qiymatini belgilovchi soat strelkasiga teskari, chap chegara holatida ekanligiga ishonch hosil qiling.



1 - rasm. Tajriba qurilmasi sxemasi.



2- rasm. Volt-ampér xarakteristikasini ossillograf ekranida ko'rish sxemasi.

O'zgarmas tok manbaini manbaga ulang va uning qiziqishi uchun 5 minut kutib turing.

Kuchlanishni pog'onali oshira berib, dioddan oqayotgan I tok

kuchi va unga berilgan U kuchlanish orasidagi bog'lanishni qayd qilib bering. Olingan natijalarni jadvalga yozib, ular asosida grafik quring.

2 - mashq. Volt-ampér xarakteristikasini ossillograf ekranida ko'rish

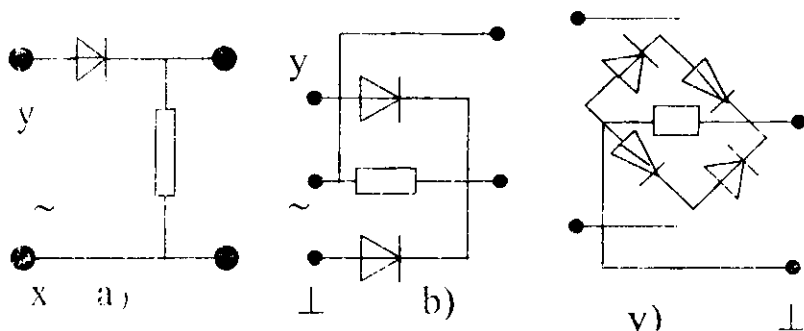
2 - rasndagi sxema yig'iladi.

Chastotasi bir necha yuz gers bo'lgan u generator orqali sxemaga U_N o'zgaruvchan kuchlanish beriladi. Klemmalarga ossillografni ulab uni tashqi razvyortka ish holatiga o'tkazing. Asboblár manbaga ulanadi. Generatoridan sxemaga berilayotgan o'zgaruvchan kuchlanishni oshira borib, xarakteristika kuzatib boriladi va uni daftarga chiziladi.

3 - mashq. Turli xil to'g'rilagich sxemalarini o'rganish

Bir yarim davrli to'g'rilagich

3 - rasm. a da keltirilgan sxema yig'iladi



3 - rasm O'zgaruvchan tok to'g'rilagichlarining turli sxemalari: a) bir yarim davrli to'g'rilagich, b) o'rta chiqishli ikki yarim davrli to'g'rilagich, v) ko'priksxemali ikki yarim davrli to'g'rilagich.

Sxemaga U_N generatoridan o'zgaruvchan kuchlanish bering.

Ossillografni ichki razvyortka ish rejimiga o'rnatib, Ossillograf ekranida ikki-yarim davrli signal tasvirini o'rnatib.

Ossillograf ekranida kuzatilayotgan R rezistoriga ta'sir etuvchi kuchlanish grafigini chizib oling.

Ikki yarim davrli to'g'rilagich

(0) o'rta chiqishli transformatoridan ta'minlovchi ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasini qarash talab etiladi. Qo'llanilayotgan generator bunday chiqishga ega.

3 -- rasm, b da keltirilgan sxema yig'ilsin.

Ekranda kuzatilayotgan R rezistordagi kuchlanish ossillogrammasi chizilgan va uni bir yarim davrli to'g'rilagich ossillogrammasi bilan solishtiring.

Ikki yarim davrli ko'prik sxemali to'g'rilagich

O'rta chiqishi bo'lmagan transformatoridan ta'minlovchi ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasini qarash talab etiladi. Bunday to'g'rilagich generatorning simmetrik chiqishidan ulanadi.

3 -- rasm, v da keltirilgan sxema yig'ilsin.

Ekranda kuzatilayotgan R rezistordagi kuchlanish ossilogrammasini chizing va uni oldingi to'g'rilagichlar ossilogrammalari bilan solishtiring.

Nazariy savollar

1. Yarim o'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi tabiati qanday?
2. Aralashmali elektronli va teshikli o'tkazuvchanlik qanday paydo bo'ladi?
3. Tashqi kuchlanish ta'sirida p-n o'tishda qanday jarayonlar kuzatiladi?
4. Diodning volt-ampere xarakteristikasini tushuntiring?
5. Diodning volt-ampere xarakteristikasi temperaturaga qanday bog'liq.
6. O'rganilayotgan sxemalarni afzalliklari nimalardan iborat?
7. Yarim o'tkazgichli diodlarni ketma-ket va parallel ulashlarning ahamiyati nimada?
8. Yarim o'tkazgichli va vakuumli diodlarning kamchilik va yutuqlari nimada?

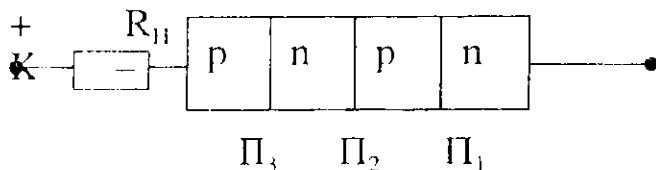
3 - Laboratoriya ishi.

Tiristorni o'rganish

Mazkur ishning maqsadi yarim o'tkazgichli asbob-tiristor bilan tanishtirishdan iboratdir. Bu asbob kalit rejimida ishlovchi asboblار guruhiga kiradi. U boshqaruv elektrodiga signal berilganda ochilishi ya'ni elektr tokini o'tkazish va yopilish ya'ni elektr tokini o'tkazmaslik xususiyatlari bilan xarakterlidir.

Tiristorning tuzilishi.

Tiristorning asosini ketma-ket keluvchi r- teshikli va n- elektronli o'tkazuвчанlikka ega bo'lgan to'rt qatlamli strukturadan iborat kremniy plastinkasi tashkil qiladi. (1- rasm)



1- rasm. Tiristordagi r-n - o'tishlar sistemasi.

Bu to'rt qatlam uchta P_1 , P_2 va P_3 r-n - o'tishni tashkil qiladi.

Manbaning musbat qutbiga ulanuvchi chetki r- sohasi - anod, manbaning manfiy qutbiga ulanuvchi chetki n- sohasi - katod deb ataladi. Tiristor nomi uch va undan ko'proq r-n o'tishga ega bo'lgan hamma qayta ulanuvchi asboblarga mosdir. Ikki elektrod (anod va katod) ga ega bo'lgan asboblار diodli tiristorlar yoki dinistorlar deyiladi.

Dinistorda ro'y beradigan fizik jarayonlar.

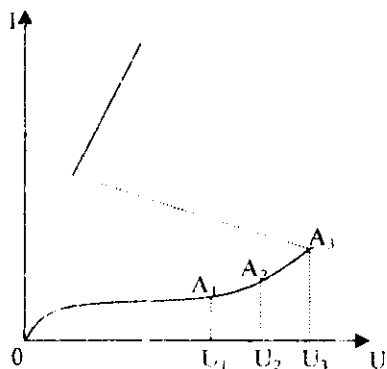
1- rasmdan ko'rinib turibdiki P_1 va P_3 r-n - o'tishlar to'g'ri ulanadi. P_2 o'tish esa teskari ulanadi.

Tiristorga kichik kuchlanish qo'yilgan bo'lsin. Bunda tiristordan oqayotgan tok P_2 o'tish bilan aniqlanadi, chunki P_1 va P_3 o'tishlar qarshiligi juda kichik, P_2 o'tishda esa, teskari ulangani uchun qarshilik juda katta, shuning uchun tiristor volt-ampér xarakteristikasini boshlang'ich qismi ($0A_1$), r-n - o'tish volt-ampér

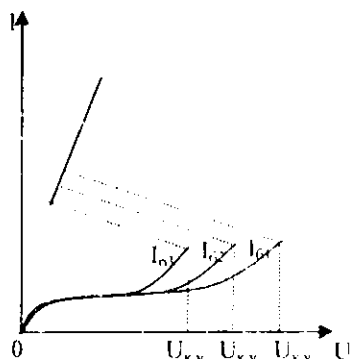
xarakteristikasini teskari qismi bilan mos tushadi.

Shuni nazarda tutish, kerakki P_2 o'tishdan oqayotgan tok bu sohadagi noasosiy zaryad tashuvchilarni harakatidan paydo bo'ladi: o'rta r-soha uchun elektronlar noasosiy tok tashuvchilar, o'rta n-soha uchun esa teshiklar noasosiy tok tashuvchilar hisoblanadi.

Tiristorga qo'yilgan kuchlanish oshib borishi bilan P_1 va P_2 o'tishlardagi to'g'ri tok r-n o'tishining volt-amper xarakteristikasining to'g'ri yo'nalishiga mos kelgan holda oshib bordi. Natijada o'rta r-sohada (P_1 o'tish orqali) elektronlar konsentratsiyasi osha boradi, o'rta n-sohada esa (P_3 o'tish orqali) teshiklar konsentratsiyasi osha boradi.



2 - rasm. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi.



3 - rasm. Boshqaruv tokining turli qiymatlarida tiristorning volt - amper xarakteristikasi.

Shunday qilib P_2 o'tishga ta'lluqli sohalarida nasosni tok tashuvchilar konsentratsiyasi oshib ketadi. Bu esa P_2 o'tishning qarshiligini kamaytiradi. Natijada — eng muhim bo'lgan vaziyat P_1 , P_2 , P_3 o'tishlar orasida kuchlanish tushuvi qayta taqsimlanadi. Shunday qilib bu uchala o'tishda ham tok bir xil oqadi. Cm qonuniga muvofiq tiristorga qo'yilgan kuchlanishning juda kam qismi P_2 o'tishda tushadi. Bu esa P_1 va P_2 o'tishlarga qo'yilgan kuchlanishlarning yanada oshishidan dalolat beradi.

Endi r-n - o'tishni volt-amper xarakteristikasining to'g'ri

yo'nalishidagi qismi chiziqli emasligiga e'tibor bersak: tiristorga qo'yilgan kuchlanish oshib borishi bilan P_1 va P_2 o'tishlardan o'tayotgan tok, yanada kuchliroq oshadi.

O'rta $n - va p -$ sohalariga noasosiy zaryad tashuvchilarning kirishi ko'payadi, $P_2 -$ o'tishning qarshiligining kamayishi tezlashadi, bular hammasi, P_1 va P_2 o'tishlardagi kuchlanishning yanada oshishiga olib keladi (2 - rasm, A_2 nuqta). Bular hammasi P_1 va P_3 o'tishlardagi tokning keskin oshira boradi. Oqibatda tiristorga qo'yilgan kuchlanishning $U_3 = U_{ulan}$ qiymatida bu jarayon lava oqimi kabi tus oladi. Tok sakrab oshib ketadi ($A_3 - A_4$ qismlar, 2 - rasm). Uning kattaligi esa tiristorga ketma-ket ulangan R_N nagruzka qarshiligi bilan chegaralanadi. Bu paytda $P_2 -$ o'tish va butun tiristorning qarshiligi shunchalik kamayadiki, qo'yilgan kuchlanishning atigi IV qismi tiristorda, qolgan hamma qismi R_N qarshilikka tushadi. P_3 o'tishga taalluqli bo'lgan sohalarida noasosiy tok tashuvchilar shunchalik ko'payib ketadiki endi uni to'g'ri yo'nalishda ulangan deb hisoblash mumkin. Tiristor ochiq paytda uchala o'tish ham to'g'ri ulangan.

Shunday qilib tiristorga qo'yilgan kuchlanish U_{ulan} kuchlanishdan kichik ($U < U_{ulan}$) bo'lsa, tiristor yopiq, undan tok o'tmaydi, $U < U_{ulan}$ kuchlanishda tiristor ochiladi va undan oqayotgan tok R_N qarshiligi bilan chegaralanadi.

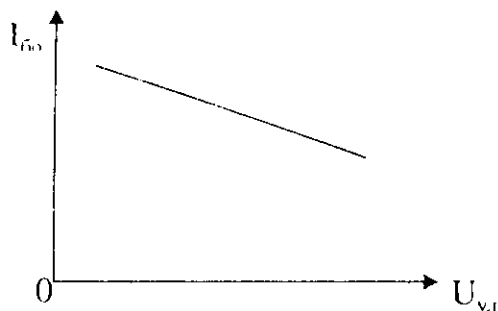
Tiristor

Agar o'rta sohalaridan biriga chiqish oyoqchasi ulansa unda boshqaruv elektrodiga ega bo'lgan asbob, uch elektrodli tiristor yoki trinistor hosil bo'ladi. Boshqaruv elektrodi orqali to'g'ri ulanishda ishlovchi o'tkinchi kuchlanish berish bilan U_{ulan} kuchlanishni kattaligini boshqarish mumkin. Boshqaruv elektrodi orqali oqayotgan tok I_{bosh} qancha katta bo'lsa, U_{ulan} kuchlanishi shuncha kichik bo'ladi. Tiristorning bu xususiyati 3 - rasm dagi volt-ampere xarakteristikasida aniq ko'rsatilgan.

Boshqaruv toki (I_{bosh}) qancha katta bo'lsa, o'tishga injeksiyalanuvchi noasosiy tok tashuvchilar, shuncha kuchayadi va tiristorning ochilishi uchun qo'yilgan kuchlanish shuncha kamayadi.

Eng yuqori U_{ulan} kuchlanish boshqaruv toki bo'lmaganda, ya'ni tiristorning, dinistorga aylanishida kuzatiladi va aksincha, I_{bosh} tokining sezilarli qiymatlarida tiristorning xarakteristikasi oddiy diodning to'g'ri tok xarakteristikasiga yaqinlashadi. Tiristorni ishga tushirish xarakteristikasi deb, ataluvchi I_{bosh} va U_{ulan} lar orasidagi bog'lanish grafiqi, 4 - rasmda keltirilgan.

Tiristor radio va elektrotexnikada juda keng qo'llaniladi. U o'chirib-ulagich(kalit) sifatida avtomatik boshqaruv qurilmalarida (masalan, temperatura stabilizatorida) asosiy element sifatida ishlatiladi. Har xil formatdagi impuls generatorlarini yaratishda, to'g'rilagich sxemalarida, o'zgaruvchan tok quvvatini boshqarish uchun juda ko'p qo'llaniladi.

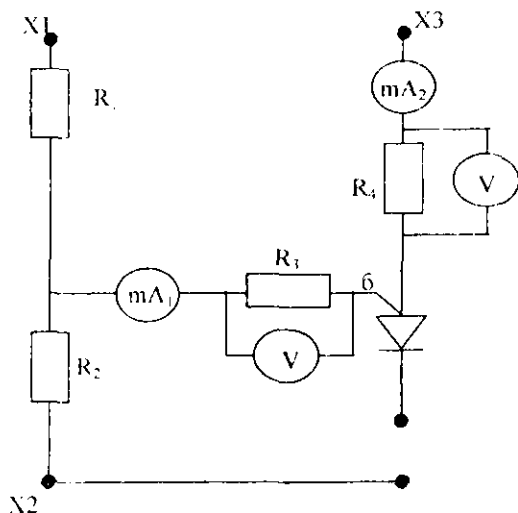


4 - rasm. Tiristorning ishga tushirish xarakteristikasi.

Tajriba qurilmasining tavsifi.

Tiristorning ishlashi bilan tanishuv va uning xarakteristikalarini qurish K 4822 tipli laboratoriya qurilmasida olib boriladi. Bu qurilmada maxsus № 11 panel bo'lib, unga tiristor va kerakli qarshiliklar mahkamlangan.

Qurilmada kerakli o'lchov asboblari va ulash simlari, hamda kerakli kuchlanishni yetkazib beruvchi ta'minlovchi manba mavjuddir. Tiristorni tekshirish sxemasi 5-rasmda ko'rsatilgan.



5 - rasm. Tiristorni tekshirish sxemasi.

Sxemada panelda joylashmagan o'lchov asboblarning ham ulanishi ko'rsatilgan.

Boshqaruv tokini hosil qilish uchun X1, X2 klemmalariga ta'minlovchi manba orqali $0 \div 9V$ gacha boshqariluvchi kuchlanish beriladi (toki $< 100\text{ mA}$). R_1 va R_2 qarshiliklari, (b) boshqaruv elektrodidagi tokni yanada silliq boshqarish imkonini beruvchi, kuchlanish bo'luvchisini tashkil qiladi. O'lchov chegarasi 15 mA bo'lgan, mA_1 milliampermetri tiristerning boshqaruv elektrodi tokini o'lchash uchun mo'ljallangan.

Tiristorni harakteristikasini olishda, uning boshqaruv elektrodi toki juda qisqa chegarada o'zgaradi, bu qisqa o'zgarishni mA_1 strekkali asbobda ilg'ab olish amalda mumkin emas. Shuning uchun zanjirga R_1 qarshiligi ulanib, undagi kuchlanish tushuvchi sifrali voltmetr (V) bilan o'lchab olinadi.

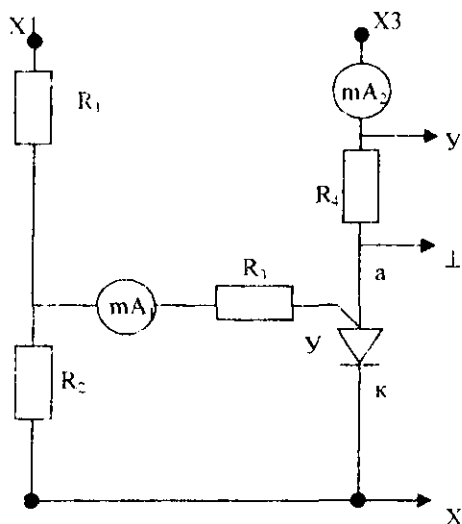
Tiristor anodiga (X3 ulagich) generator orqali $0 \div 60V$ o'zgaruvchan kuchlanish beriladi, yoki ta'minlovchi manbadan $0 \div 100V$ chegarada o'zgarmas kuchlanish beriladi.

mA_2 miliampermetri tiristor orqali oqayotgan tokni o'lchaydi.

R_1 rezistori tiristordan oqayotgan tokni chegaralaydi. Shu bilan birga tiristor tokini juda aniq o'lchashi maqsadida R_4 ga parallel qilib sifrali voltmeter ulangan bo'lib u qarshilikdagi kuchlanish tushuvini ko'rsatadi.

1-Mashq. Tiristor volt-amper xarakteristikasini ossilloqraf ekranida kuzatish.

6 - rasmdagi sxema yig'iladi X_3 va X_2 ulagichlarga generator orqali $40 \div 50V$ kuchlanish beriladi. Boshqaruv elektrodiga esa $3 \div 9V$ o'zgarmas kuchlanish beriladi. Ta'minlovchi manba kuchlanishini va R_1 qarshiligini o'zgartirish yordamida boshqaruv elektrod tokini shunday holatga keltiradiki, bunda tiristor ochiladi - ossilloqraf ekranida esa tiristorning VAXi paydo bo'ladi.



6 - rasm. Tiristor VAXini ossilloqraf ekranida kuzatish sxemasi.

Boshqaruv elektrodi tokini o'zgartirib, tiristorning ochilish potentsiali o'zgarishi, ya'ni xarakteristikadagi o'ng chetki nuqta siljishi kuzatiladi. Xarakteristikalardan biri chizib olinadi.

2-Mashq. Tiristorni ishga tushish xarakteristikasini olish

Bu xarakteristikani, ya'ni tiristorning anod bo'yicha ochilish potentsiali va boshqaruv elektrodi toki orasidagi bog'lanishni, anodga o'zgaruvchan kuchlanish berib, olamiz. R_3 rezistoriga parallel qilib raqamli voltmetr ulansin, tiristor anodiga generator orqali beriladigan o'zgaruvchan kuchlanishni 50-60 V qilib o'rnatilsin. Agar tiristor ochiq bo'lsa, boshqaruv tokini kichraytirib, uni yopiladi. Keyin silliq oshira borib tiristor ochiladi. Tiristorning ochilishi yoki yopilishini ossillogranima yoki mA_2 milliampermetri orqali kuzatish mumkin. Tiristorning ulanish (ochilishi) momentini, R_3 rezistoridagi U_a va ΔU_{R_3} - kuchlanish qiymatlarini jadvalga yozib olish yordamida ilg'ab oling. Undan keyin boshqaruv tokini oshira borib, U_a ning keyingi qiymati o'rnatilsin, tiristor ochilsin, U_a va ΔU_{R_3} ning yangi qiymatlari jadvalga yozib olinsin. O'lchab olingan har bir nuqta uchun boshqaruv toki $I_b = \Delta U_{R_3}/R_3$ ni hisoblab, jadvalga yozilsin. U_{ulan} va I_b orasidagi bog'lanishni grafikda tasvirlansin.

3-Mashq. Tiristorni volt-amper xarakteristikasini olish.

Bu xarakteristikani o'zgarmas tokda olinsin, buning uchun X_3 ulagichga o'zgaruvchan kuchlanish o'rniga manbadan "20-300V" qiymatlarda o'zgarmas kuchlanish berilsin (6-rasm). Raqamli voltmetrni to'g'ridan-to'g'ri tiristorga "anod" va "katod" elektrodlariga ulansin. Ossillografni sxemadan uzilsin.

Boshqaruv tokining, tiristor ochiq holga keluvchi holatida ma'lum qiymati o'rnatilsin. Manbadan tiristor anodiga berilayotgan kuchlanishni zinali o'zgartirib, V sifrali voltmetr bilan o'lchanuvchi U_a - kuchlanish bilan tiristordan oquvchi anod toki I_a orasidagi bog'lanish olinsin. Anod toki mA_2 milliampermetri yordamida o'lchanadi. O'ltahov natijalari jadvalga yozib olinsin. Hamma o'lchashlar boshqaruv toki I_b ning boshqa qiymatlari uchun

takrorlansin. I_b tokining yangi qiymatlari uchun U_d va I_b lar orasidagi bog'lanish grafikda tasvirlansin.

Nazorat savollari.

1. p-n - o'tish VAXi ko'rinishi qanday?
2. Tristorning tuzilishi qanday?
3. Tristorning qanday turlari mavjud?
4. Dinistorning VAXi qaysi ko'rinishda?
5. Nima uchun kuchlanishning ma'lum qiymatida dinistorning ochilishi ro'y beradi?
6. Tiristor boshqaruv elektrodi vazifasini tushuntiring?

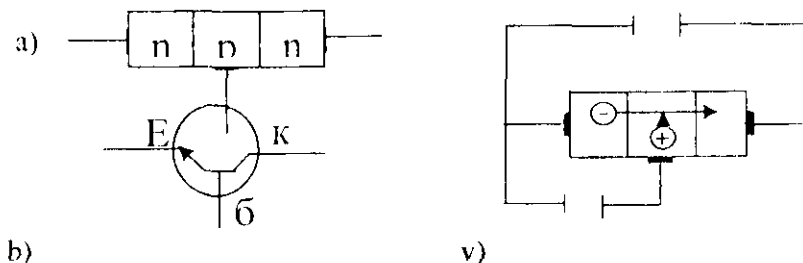
4 - Laboratoriya ishi.

Tranzistorni o'rganish

Mazkur laboratoriya ishida tranzistor xarakteristikallari olinadi, parametrlari hisoblanadi, tranzistorli kuchaytirgichda o'zgaruvchan signalni kuchaytirish kuzatiladi.

Tranzistorning tuzilishi va undagi fizik jarayonlar.

Ikkita r-n - o'tishdan iborat bo'lgan yarim o'tkazgichli asbob, bipolyar tranzistorini qarab chiqamiz. Tranzistorda tok hosil qilishda ikki xil ishorali zaryad tashuvchilar ham qatnashadi. Tranzistorning tuzilishi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Bipolyar tranzistorning tuzilishi a), elektrik belgisi b), n-r-n - tipli tranzistorning ulash sxemasi v).

U uchta turli xil elektr o'tkazuvechanlikka ega bo'lgan soha hosil qilingan germaniy yoki boshqa yarim o'tkazgichli plastinkadan iboratdir. n-r-n - tipli bipolyar tranzistori teshikli o'tkazuvechanlikka

ega bo'lgan o'rta sohadan, hamda elektronli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ikki chetki sohalaridan iborat. O'rta soha baza deyiladi, ikki chetki sohalar esa emitter va kollektor deyiladi. Baza sohasi juda yupqa, 1 mikrondan oshiq bo'lmagan holda bo'ladi.

Bipolyar tranzistorlariga tashqi manba ulanganda bo'layotgan jarayonlarni ko'rib chiqamiz. Odatda emitter o'tishiga asosiy zaryad tashuvchilari uchun to'g'ri bo'lgan kuchlanish ulanadi, kollektor o'tishiga esa teskari kuchlanish beriladi. Tranzistorning bunday ulanishida emitter baza orasidagi tok I_e , emitter sohadan baza sohasiga harakatlanayotgan elektrondan hosil bo'ladi. Teshiklar baza sohasidan emitter sohasiga oson o'tadi, ular uchun emitter o'tishi to'g'ri ulangan. Lekin baza sohasidagi elektronlar konsentratsiyasiga nisbatan ancha kam qilib yasaladi. Shuning uchun ham bazadan emitterga o'tayotgan teshiklar tokini hisobga olmasa ham bo'ladi. Elektronlarning bir qismi baza sohasidagi teshiklar bilan rekombinatsiyalashadi, qolgan qismi esa baza sohasidan o'tib ular uchun ochiq bo'lgan kollektor sohasiga diffuziyalanadi. Shunday qilib, kollektor toki emitter tokiga teng bo'lib, undan baza sohasida rekombinatsiyalangan elektronlarning sezilarli darajada bo'lmagan qismi bilan farq qiladi. Emitter sohasidan o'tgan teshiklarning bir qismi baza sohasidagi elektronlar bilan rekombinatsiyalanar ekan, baza sohasida tashqi zanjirga ketgan ortiqcha elektronlar hisobidan yangi teshiklar paydo bo'ladi. Shunday qilib, baza tokini tashqi zanjirdan keluvchi teshiklar toki deb hisoblash mumkin.

Emitterning vazifasi zaryad tashuvchilarni baza sohasiga injeksiyalash (qo'yib yuborish, sochish, faqat emissiya deb tushunmaslik kerak) o'tkazib yuborishdan iboratdir. Baza -- bu emitterdan noasosiy zaryad tashuvchilar injeksiyalanadigan sohadir. Kollektor bazadan zaryad tashuvchilarni ekstraksiyalash (qabul qilish, yutish) sohasidir.

Yuqorida qarab o'tilgan toklar orasida Kirxgof qonuniga bo'ysinuvchi quyidagi munosabat o'rinnidir

$$I_e = I_k + I_b. \quad (1)$$

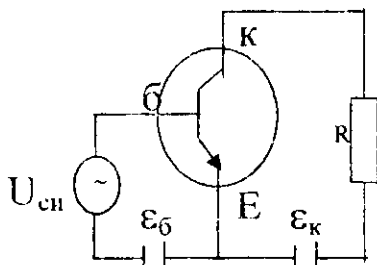
Tok o'zgarishlari uchun ham xuddi shunday munosabat o'rinaldir

$$\Delta I_c = \Delta I_k + \Delta I_b. \quad (2)$$

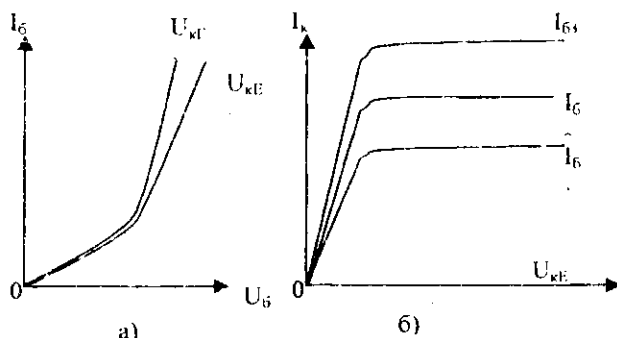
Bipolyar tranzistori xarakteristikallari.

Tranzistorda ta'sir etuvchi tok va kuchlanishlar orasidagi bog'lanish murakkab xarakterga egadir. Ularni grafik ko'rinishida ifodalash ancha qulaydir.

Bipolyar tranzistorini asosiy ulash sxemalaridan biri bo'lgan umumiy emitterli ulash sxemasini qarab chiqamiz.



2 - rasn. Umumiy emmitterli ulash sxemasi.



3 - rasn. Tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikallari.

Kuchaytirish kerak bo'lgan kirish kuchlanishi U_{sign} - baza emitter qismiga beriladi. Bazaga esa U_{be} siljish kuchlanishi beriladi. Bu paytda baza zanjiridan qandaydir tok oqadi, ya'ni tranzistorning kirish qarshiligi nisbatan kichik bo'lib qoladi. Kollektor (chiqish

zanjiri) E_{ke} manbadan ta'minlanadi. Kuchaytirilgan chiqish kuchlanishini olish uchun bu zanjirga nagruzka ulangan.

Statistik xarakteristikalarini olish

Bu xarakteristikalar o'zgarmas tokda olinadi.

Berilgan sxema uchun kirish xarakteristikalarini sifatida quyidagi bog'lanishlarni qarash mumkin:

- $I_b (U_{ke})$ bog'lanishi $U_{ke} = \text{const}$, bo'lganda, chiqish xarakteristikasi sifatida esa:

- $I_k (U_{ke})$ bog'lanishi $I_b = \text{const}$, bo'lganda.

Ko'rsatilgan xarakteristikalar oilasi, 4-rasmda keltirilgan ($U_{ke1} < U_{ke2}$, $I_{b1} < I_{b2} < I_{b3}$).

Tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikalarini yarim o'tkazgichli diodning VAXi bilan uzviy bog'langan.

Hqiqatdan ham kirish xarakteristikasi to'g'ri kuchlanishda ishlovchi emitter o'tishiga mos keladi. Shuning uchun ular yarim o'tkazgichli diodning to'g'ri tok xarakteristikasiga mos keladi. Chiqish xarakteristikasi esa yarimo'tkazgichli diodning teskari tok xarakteristikasiga mos kelib, ular teskari asosiy zaryad tashuvchilari uchun kuchlanishda ishlovchi kollektor o'tishning xususiyatlarini namoyon qiladi.

Kirish xarakteristikasi orqali tranzistorning kirish qarshiligini aniqlash mumkin:

$$R_{kir}, U_{ke} = \text{const bo'lganda}, \quad (3)$$

chiqish xarakteristikasidan esa chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq}, I_b = \text{const bo'lganda}. \quad (4)$$

Bunday yo'l bilan hisoblab topilgan R_{kir} va R_{chiq} qarshiliklari tranzistorning o'zgaruvchan tok bo'yicha qarshiliklari ya'ni kirish va chiqish zanjirlaridan oqayotgan amplitudasi nisbatan yuqoriroq bo'lgan toklarga tranzistor shunday qarshilik ko'rsatadi. Hisoblab topilgan R_{kir} va R_{chiq} qarshiliklari qiymatlari tranzistorning, o'zgaruvchan tok va kuchlanishni kuchaytirish sxemalaridan ishlashini tahlil qilishda qo'llaniladi.

Tranzistorning muhim parametrlaridan biri baza tokini kuchaytirish koeffitsienti β bo'lib, u kollektor emitter orasidagi potentsiallar farqi o'zgarimas bo'lganda, kollektor toki orttirimasining baza toki orttirimasiga nisbati bilan aniqlanadi.

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b}, U_{ke} = \text{const, bo'lganda.}$$

(5)

Emitter tokining asosiy qismi kollektor zanjiridan oqqanligi uchun uning son qiymati $I_e \approx 1$ dan yetarlicha kattadir.

Zamonaviy tranzistorlarda $\beta \approx 10 \div 300$.

Tranzistor yordamida kuchlanishni kuchaytirish

Har qanday ulash sxemadan (UE- umumiy emitterli, UB- umumiy bazali, UK - umumiy kollektorli) ham, tranzistor kirish va chiqish zanjirlaridagi elektr toklarini kuchaytirgich sifatida foydalanish mumkin. Bu tranzistorli kuchaytirgichlarni xuddi tok kuchaytirgichi sifatida gapirishga imkon beradi. Lekin tranzistorning kirish toki chiqish toki bilan bog'langan. UELi sxemada baza toki R_{kr} qarshiligi orqali baza emitter orasida ta'sir etuvchi kuchlanishga bog'liq. Shuning uchun bu bog'lanishdan foydalanib kuchlanishni kuchaytirish haqida gapirish mumkin. Fizika nuqtai nazaridan shuni e'tiborda tutish lozimki, kuchaytirishni aniqlovchi nagruzkadan oqayotgan chiqish toki emitter o'tishidagi potentsial bareming balandligiga bog'liq, ya'ni baza va emitterga ta'sir etuvchi kuchlanishga bog'liq. Shuning uchun ham tranzistorli sxemalarni tok bo'yicha, kuchlanish bo'yicha va tabiiyki quvvat bo'yicha kuchaytirgich sifatida qarash mumkin.

Tranzistorli sxemalarda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsientini taxminan quyidagicha hisoblash mumkin.

$$K = \frac{\Delta U'_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = \frac{\Delta I_k R_n}{\Delta I_b R_{kr}} = \beta \frac{R_n}{R_{kr}}. \quad (6)$$

Bu oddiy formula tranzistor ish rejimini uncha ko'p bo'lmagan sohalarida o'rinlidir. Ko'proq aniqlik talab etiladigan hisoblashlar juda murakkab ko'rinishda olib boriladi.

Hamma kuchaytirgichlarda bo'lgani kabi tranzistorli kuchaytirgichlarda ham kuchaytirish koeffitsienti signal chastotasi va uning amplitudasiga bog'liq.

Tajriba qurilmasini tavsifi.

Tranzistorni o'rganish K4822 tipli laboratoriya qurilmasida olib boriladi. Bu qurilmada har xil kattalikdagi o'zgaruvchan va o'zgarmas tok bilan ta'minlovchi manba o'lehov asboblari va ulash simlari mavjuddir. Shuningdek bu qurilmada nomerlangan platalar mavjudki, ulardan keraklisi tanlab, tajriba o'tkazish uchun kerakli sxema yig'iladi. Biz, platani tanlab olamiz, rezistor qarshiliklari, kondensator mahkamlangan bo'lib, ular kerakli sxema bo'yicha ulash imkoni mavjuddir.

Tajriba o'tkazish uchun quyidagi sxemani yig'amiz (5-rasm)

O'zgarmas tok 5mA, hamda 15 V kuchlanish qurilmadagi ta'minlovchi manbadan beriladi. Panelda baza va kollektor tok va kuchlanishlarini o'lehashga mo'ljallangan o'lehov asboblari ulash uchun klemmalar mavjud. Generator va ossillograflarni ulash uchun ham maxsus klemmalar joylashtirilgan.

Tranzistor bazasidagi o'zgarmas kuchlanish kattaligi R_1 potensimetri, kollektorda esa R_4 potensimetr orqali boshqariladi. R_2 rezistori baza tokini chegaralash va baza kuchlanishini yanada silliqroq boshqarishdagi yordamechi rol bajaradi. R_3 kuchaytirishni o'rganishda nagruzka vazifasini bajaradi R_5 rezistori R_1 rezistoriga berilayotgan kuchlanish qiymatini kamaytiradi. S_1 kondensatori tranzistorning o'zgarmas tok bo'yicha ishlash rejimini buzmasdan, uning bazasiga o'zgaruvchan signalni o'tkazib turadi. S_2 o'zgaruvchan tok bo'yicha R_2 rezistorini bir uchini manbani manfiy qutbi bilan tutashtirib turadi.

Sxema elementlari kattaliklari:

$R_1 - R_4 = 6,8 \text{ kOm}$, $R_2 - 56 \text{ kOm}$, $R_3 - 1,1 \text{ kOm}$, $R_5 = 12 \text{ kOm}$, $S_1 - S_2 - 1 \text{ mkF}$

Baza toki 100 mkA chegarali mikroampermetr bilan kollektor toki 3 mA chegarali milliampermetr bilan o'lehanadi.

O'zgaruvchan signal manbai sifatida amplitudasi 50 mV, chastotasi 1000 Gs bo'lgan generatordan beriladigan signal olinadi.

1-Mashq. Tranzistorning chiqish xarakteristikalarini olish

5- rasmdagi sxema yig'iladi. R_1 va R_4 qarshiliklari soat streikasiga teskari bo'lgan chap chetki holatiga, R_3 rezistori peremechka bilan qisqa tutashtiriladi. O'lchov asboblari chegaralarini, $U_{ke}=10$ V, $U_{be}=0,2$ V, $I_k=2$ mA, $I_b=30$ mA qiymatlarga mos ravishda tanlanadi. Sxema manbaga ulanadi. Baza tokini $I_b=5$ mA qilib olinadi. Keyin R_4 rezistori muruvvatini kollektor toki paydo bo'lguncha buraladi. Agar bunda baza toki o'zgarsa, boshlang'ich vaziyati tiklanadi. Bu paytda o'lchab olingan - U_{ke} va I_k larning qiymatlari jadvalga yoziladi.

Baza tokini $I_b=5$ mA holda R_1 rezistori yordamida o'zgartirmasdan ushlab, R_4 potensiometri yordamida U_{ke} ni oshira borib, I_k (U_{ke}) bog'lanishni oling, o'lchov natijalarini esa jadvalga kiriting.

Bundan keyin baza tokining $I_b=10, 20, 30$ mA qiymatlarida I_k (U_{ke}) bog'lanishni olib, jadvalga yozing.

O'lchov tugagandan keyin sxemaga berilgan kuchlanishni va toklarni pasaytiring.

Olingan natijalar asosida grafik quring, I_b ning turli qiymatlari uchun I_k (U_{ke}) bog'lanishni o'zgartirishni ko'rsating.

Grafikda xarakteristikaning chiziqli qismini o'rtasiga to'g'ri keluvchi nuqtani aniqlang, taxminan $U_{ke}=U_{ke}^*$; $I_b=I_b^*$ nuqta bo'lsin.

2-Mashq. Chiqish xarakteristikalarini olish.

R_4 potensiometri yordamida $U_{ke}=U_{ke}^*$ qiymatni topib oling I_b (U_b) bog'lanishni olib, natijalarni jadvalga kiriting. Buning uchun $U_{ke}=U_{ke}$ qiymatini R_4 potensiometri yordamida U_{be} kuchlanishi oshirib boriladi.

Olingan natijalar asosida $U_{ke}=U_{ke}^*$ bo'lgan hol uchun I_b (U_{be}) bog'lanish quriladi. I_b (U_{be}) bog'lanish egriligiga qarab, $I_b \cdot I_b$ qiymatda tranzistorning kirish qarshiligini (R_{ki}) aniqlang.

Nazorat savollari.

1. n-p-n - tipli tranzistori nimadan iborat?
2. Tranzistorlarda emitter, baza va kollektor qanday vazifani bajaradi?
3. Nima uchun tranzistorni baza qatlami yupqa qilib yasaladi?
4. Tranzistorning emitter, baza va kollektor sohalarida asosiy va noasosiy zaryad tashuvchilarni tushuntiring?
5. Qaysi zaryad tashuvchilar uchun kollektor o'fishi teskari yo'nalishda ulanadi?
6. Tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikallari bilan yarim o'tkazgichli diodning VAXi mos kelishini tushuntiring?
7. Tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsienti qanday aniqlanadi.
8. Tranzistorning kirish va chiqish qarshiliklari qanday aniqlanadi.

5 - Laboratoriya ishi

Yarimo'tkazgichli fotodiod va fotorezistorlarning xususiyatlarini o'rganish

Ishning maqsadi - fotodiodlar va fotorezistorlar parametrlari va xususiyatlarini aniqlovchi asosiy fizik xususiyatlarini o'rganish, hamda bu qurilmalarning voltamper, yorug'lik va inersion xarakteristikalarini tekshirish.

O'lchash qurilmasini tavsifi.

O'lchash qurilmasini prinsipli sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Qurilma fotodiod va fotorezistorlarning volamper va yorug'lik va inersion xarakteristikalarini qurish, hamda ularning inersion xususiyatlarini tekshirish uchun mo'ljallangan.

Qurilmaning optik tizimi ikki qismdan iborat. Birinchi qismi fotoasboblarning statik xarakteristikalarini qurish uchun mo'ljallangan. Uning tarkibiga yoritgich I va optik skamyaga mahkamlanib, yorug'lik o'tkazmaydigan korpusga joylashtirilgan,

foto asboblari ulash uchun mo'ljallangan kolodka 2 lar kiradi. Yoritilganlik fotoasbob bilan yorug'lik manbai orasidagi masofani o'zgartirish yordamida o'zgartiriladi. Fotoasbobga tushayotgan yorug'lik oqimi,

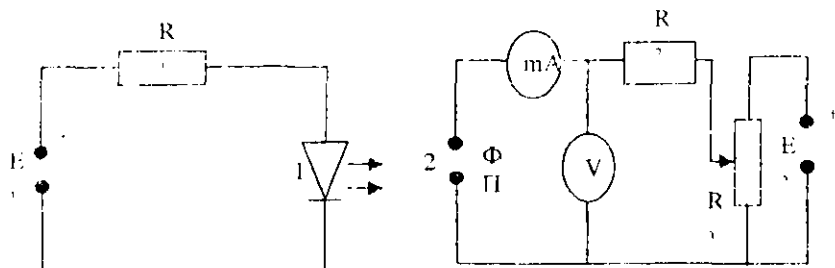
$$F = SI / l^2$$

formula yordamida hisoblanadi, bu yerda, S – fotoasbobning ishchi yuzasi, m^2 . l – yorug'lik diodi (YoD)ning yorug'lik kuchi (sham). l - fotoasbob kalotkasi oynachasi bilan yorug'lik manbai orasidagi masofa m .

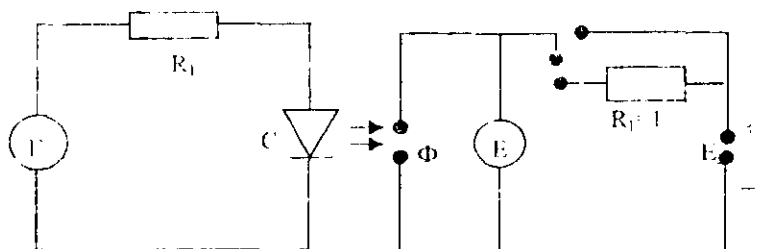
Tajriba qurilmasining ikkinchi qismida yorug'lik manbai (YoD) to'g'ri burchakli impulslar chiqaruvchi generatoridan ta'minlanadi. Sxemani fotoasbob qismi E stabilangan o'zgarmas tok manbaidan ta'minlanadi. Fotodiodni ikki xil, fotodiod va ventil rejimida ulash mo'ljallangan. Fotoasbobga parallel ravishda elektron ossillograf (20) ulanadi, bu uning inersion xususiyatini o'rganish imkonini beradi. Ossillograf ekranida elektron nuri shakli daftarga chizilib olinadi.

1-Mashq. Fotodiod va fotorezistorlarning statistik xarakteristikalarini o'rganish.

1-rasmda ko'rsatilgan sxema yig'iladi. optik spektrlari bo'yicha yorug'lik manbai va fotoasboblar tanlanadi bunda manba chiqarayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi bilan fotoasbob qabul qiluvchi maksimal yorug'lik to'lqin uzunligi mos kelishi kerak kuchlanishi 9V bo'lgan E_1 – manba ulanadi. bunda R_1 yorug'lik chiqaruvchi asbobning nominal tokini ta'minlab turadi fotoasbobga milliampermetr (mA) va voltmترلar ulangan. ular yordamida fotoasbobdan oquvchi tok kuchi va kuchlanishni o'lchab olinadi. Fotoasbobdagi tok kuchi R_3 o'zgaruvchan qarshiligi orqali ma'lum qiymatga rostlanadi R_2 qarshiligi fotoasbob tokini chegaralab turadi.



1-rasm. Fotoasboblar statistik xarakteristikalarini o'rganish qurilmasi.



2-rasm. Fotoasboblarning inersion xususiyatlarini o'rganish qurilmasi.

Topshiriq

1. Yorug'lik oqimini 4ta har xil qiymatlarida fotodiodlarning volt-ampere xarakteristikasini quring.
2. 2, 5 va 10 V kuchlanishlarda, fotodiodning fotodiod rejimidagi yorug'lik xarakteristikasini quring.
3. Ventil rejimida ulangan fotodiodning qisqa tutashuv va 1 kam qiymatdagi iste'molchi qarshilikda yorug'lik xarakteristikasini quring.
4. Fotodiodning integral sezgirligi S_{qI} / I_e ni olingan qiymatlar asosida hisoblang va energetik xarakteristika $I_{qI}(E_e)$ ni quring.
5. Ventil rejimida foto EYuK relaksatsiya egri chizig'ini ossillograf ekranidan chizib oling. $\tau_p = \varphi_T \frac{\Delta t}{\Delta \varphi_B}$ formula

bo'yicha noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti hisoblansin.

6. Har xil yorug'lik oqimida fotorezistorning volt-amper xarakteristikalari oilasini quring.
7. Kuchlanishning ikkita qiymatida fotorezistorning yorug'lik xarakteristikasini quring.
8. To'g'ri burchakli yorug'lik impulslari berib, fotorezistorning fototoki (τ_f) relaksatsiya vaqti grafigi chizilsin.

Nazorat savollari

1. Yarimo'tkazgichlarda nurlanish mexanizmini tushuntiring.
2. Optik nurlanish diapazonini chizing.
3. Yorug'lik diodi ishlash prinsipi, uning fizik kattaliklari va xarakteristikalari.
4. Fotoeffekt hodisasini tushuntiring.
5. Fotorezistor nima, u qanday kattalik va xarakteristikalariga ega?
6. Fotodiodning ishlash prinsipi va xarakteristikalarini tushuntiring.
7. Fototranzistorning ishlash prinsipi va xarakteristikalarini tushuntiring.
8. Optron nima? Ishlash prinsipi va qo'llanilishini aytib bering.
9. Optronlarning qaysi turlarini bilasiz?
10. Yoritgich va fotopriyomniklar spektr bo'yicha qanday moslanadi?

Ilova

Yarim o'tkazgichli asboblarni markalash

Diodlarni markalash OST 11.336.919—81 ga asoslangan. Bu sistema 1982 yildan boshlab kuchga kirgan. Bu sistemaga ko'ra diodlar ettita harfiy raqamli kod bilan belgilanadi. Birinchi element yarim o'tkazgich materialini bildiradi: G yoki 1—germaniy va uning birikmalari K yoki — 2 kremniy va uning birikmalari; A yoki 3 — galliy arsenid birikmalari; I yoki 4— indiy birikmalari. Ikkinchi element diod turini ko'rsatadi: D — to'g'rilagichli, impuls rejimli; D — to'g'rilagich bloklari va ustunlari; A — yuqori chastotali; V — varikap; I — tunnelli va aylantirilgan; S — kuchlanish stabilizatorlari; G—shovqin generatorlari; L — optoelektronlar. Uchinchi element diodni parametrlariga ko'ra ajratadi. Masalan: to'g'rilagich diodning to'g'ri toki 0,3 A dan ko'p bo'lmaganlari—1; 0,3 A dan ko'p bo'lganlari—2 va h. To'rtinchi element 01 dan 999 gacha bo'lgan raqamlardan iborat bo'lib, diodning ishlab chiqarishdagi konstruksiya nomerini bildiradi. Beshinchi element harfdan iborat bo'lib, diodni parametrlarga ajratadi.

GOST 10862-72 ga ko'ra birinchi element diod materialini bildiradi: G — germaniy; K — kremniy; A — galliy arsenid. Ikkinchi element asbob sinfini bildiradi: D — to'g'rilagichli, universal, impulsli diodlar; S — to'g'rilagich diodlari bloki; I — ustuni; A — yuqori chastotali diod; V — varikap; I — tunnelli va aylantirilgan diodlar; L — nurlantiruvchi; tok stabilizatorlari; S — stabilitron va stabistorlar; F — fotodiodlar. Uchinchi element diodlarni sinflarga ajratuvchi raqam. To'rtinchi element konstruksiya nomerini bildiradi. O'lchamlari kichik diodlar turli rangdagi nuqtalar bilan markalandi. Masalan: D9B — musbat qutbida bitta qizil nuqta; D9V — olov rang nuqta; D9J — yashil rang nuqta; D9E — ikkita sariq nuqta va h.k. To'la ro'yxatini maxsus spravochniklardan olish mumkin.

Bipolyar tranzistorlarni markalash. Tranzistorlar ham OST 11.336.919- 81 ga muvofiq markalanadi. Birinchi element tranzistor tayyorlangan materialni bildiradi: G — germaniy va uning qotishmalari; K — kremniy va uning qotishmalari; A — galliy

qotishmalari. Ikkinchi element— yarim o'tkazgichli asbob sinfini bildiradi. Bipolyar tranzistorlar uchun T harfi qo'yiladi. Uchinchi element chastota diapazoni va quvvatini ko'rsatuvchi raqam sifatida ko'rsatiladi. Masalan, chegaraviy chastotasi 3 MGs bo'lib, quvvati 0,3 Vt dan ortmaydigan tranzistorlarga 1 raqami, chegaraviy chastotasi 30 MGs bo'lib, quvvati 1,5 Vt dan ortmaydiganlariga 5 raqami qo'yiladi. To'rtinchi element 01 dan 999 gacha qo'yilib, konstruktsiya nomerini bildiradi. Beshinchi harfli element tranzistorlarni ba'zi parametrlariga qarab gruppalarga bo'linishini ko'rsatadi.

Maydonli tranzistorlar, bipolyar tranzistorlar kabi markalanadi. Farqi faqat ikkinchi elementida bo'lib P harfi qo'yilgan. Ullarning shartli belgilari 6.44- rasmda keltirilgan.

Tiristorlar ham OST 11.336.919- 81 ga muvofiq markalanadi. Shartli belgidagi birinchi, to'rtinchi va beshinchi elementlar yarim o'tkazgichli diodlarniki kabi bo'ladi. Ikkinchi element asbobning sinfini bildiradi: N — dinistor, U — trinistor. Uchinchi element tiristordan o'tadigan tok kuchiga ko'ra belgilanadi. Masalan: to'g'ri tok kuchi 0,3 A dan oshmasa—1; 0,3 dan ortiq, lekin 10A dan kichik bo'lsa --- 2 raqami qo'yiladi.

Optoelektron asboblarni markalash quyidagi davlat standartlari asosida amalga oshiriladi:

Gost22274-80. Yarimo'tkazgichli nurlatgichlar. Terminlar, aniqlanishi va parametrlarining harfiy belgilari.

Gost23562-79. Optoparalar. Terminlar, aniqlanishi va parametrlarining harfiy belgilari.

Gost 19852-74. Fotorezistorlar. Fotodiodlar. Fototranzistorlar. Fotoelektrik parametrlari va xarakteristikalari. Terminlari, aniqlanishi va harflar bilan belgilanishi.

ADABIYOTLAR

1. . Практикум по полупроводниковым приборам. Под ред. Проф.Палимовой К.В. 1976 .
2. Teshaboyev A.T., Zaynobiddinov S.Z."Yarim o'tkazgich asboblarning fotoelektrik xususiyatlari" Toshkent. 1994 .
- 3.Жеребцов И.П. Основы электроники Л.Энергия 1974 .
4. Калашников С.Г. Электричество М. Наука. 1985 г. § 151-154,159,198,203-205.
5. Сивухин В.В. Общий курс физики.т. Т.III. Электричество. М.Наука, 1977.
6. Козлов В.И. Общий физический практикум. Электричество и магнетизм. М. Издательство МГУ, 1987, 270s.
7. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.Высшая школа. 1983.
8. [http:// www.mgul.ac.ru](http://www.mgul.ac.ru).
9. [http:// www.optcom.h1.ru /](http://www.optcom.h1.ru/).

MUNDARIJA

Kirish	4
I – bob. Yarimoʻtkazgich kristallarida fizik hodisalar	6
I.I.Kristallarda zonalar nazariyasi asoslari	6
I.II.Zaryad tashuvchilarning magnit maydonidagi harakati	9
I.III.Xoll effekti	10
II – bob. Yarimoʻtkazgichlarda yorugʻlikning yutilishi	13
II.I.Xususiy yutilish	13
II.II.Eksiton yutilish	15
II.III.Aralashmali yutilish	16
II.IV.Erkin elektronlarda yutilish	17
III – bob. Yarimoʻtkazgichlarda fotooʻtkazuvchanlik	18
III.I.Ichki fotoeffekt	18
III.II.Fotooʻtkazuvchanlik	19
III.III.Aralashmali oʻtkazuvchanlik	21
IV – bob. Yariimoʻtkazgichlarda nurlanish	22
IV.I.Yarimoʻtkazgichlar lyuminessensiyasi	22
IV.II/Qattiq jismlarning spontan (monomolekulyar) nurlanishi	23
IV.III.Yarimoʻtkazgichlar rekombinatsiyali nurlanishi	24
V – bob. Yarimoʻtkazgichlar. Elektron-kovak. n-p oʻtish	25
V.I.Xususiy yarim oʻtkazgichlar	25
V.II.Aralashmali yarim oʻtkazgichlar	29
V.III.Elektron-kovak, p-p oʻtish	32
V.IV.Metal p-yarim oʻtish	35
VI – bob. Yarimoʻtkazgichli diodlar	35
VI.I.Yarimoʻtkazgichli diod turlari	35
VI.II.Yarimoʻtkazgichli kuchlanish stabilizatorlari	37
VI.III.Tunelli diodlar	39
VI.IV.Varikaplar	40
VII – bob. Tranzistorlar	41
VII.I.Bipolyar tranzistorlar	41
VII.II.Integral tranzistorlar	48
VII.III.Maydonli tranzistorlar	50

VII.III.1.Boshqariladigan p-n o'tishli maydonli tranzistorlar.....	51
VII.III.2.Zatvori izolyatsiyalangan maydonli tranzistorlar.....	53
VII.IV.Tiristorlar.....	56
VIII – bob.Optoelektron asboblari.....	59
VIII.1.Yorug'lik chiqaruvchi diodlar va injeksiyali lazerlar.....	59
VIII.2.Fotoelektrik yarimo'tkazgichli asboblari.....	62
VIII.3.Fotodiodlar.....	64
VIII.4.Yarimo'tkazgichli fotoelementlar.....	66
VIII.5.Fototranzistorlar.....	69
VIII.6.Optron asboblari.....	71
IX – bob.Yarimo'tkazgich va yarimo'tkazgichli asboblari fizikasini o'rganishga doir laboratoriya ishlari.....	72
1-Laboratoriya ishi.Yarimo'tkazgichlarda solishtirma o'tkazuvchanlik va Xoll effektini o'rganish.....	72
2- Laboratoriya ishi.Yarimo'tkazgichli diod va diodli to'g'rilagichlarni o'rganish.....	77
3- Laboratoriya ishi.Tiristorni o'rganish.....	81
4- Laboratoriya ishi. Bipolyar tranzistorni o'rganish.....	88
5- Laboratoriya ishi. Fotodiod va fototranzistorlarining xarakteristikalarini o'rganish.....	95
Ilova.....	99
Adabiyotlar.....	101

Xolboyev Abdukarim Muktasanovich

Yarim o'tkazgichli asboblار fizikasi. O'quv qo'llanma.

Muharrir: Mirzajonova H.

Босишга рухсат этилди 30.06.2004 й. Бичими 60x84 1/16.
Шартли босма табағи 6,5. Нусхаси 100 донa. Буюртма № 398.
ТДТУ босмахонасида чоп этилди. Тошкент ш. Талабатар кучаси 54