

Lecture №2.

AUTOMATION METHODS OF PRODUCTION PROCESSES.

2-MA'RUZA:

YARIMO'TKAZGICHLARNI FIZIK VA KIMYOVIY XOSSALARI.

REJA:

2.1. Yarimo'tkazgichlarni fizik va kimyoviy xossalari.

2.2. Yarimo'tkazgich materiallarning asosiy kattaliklari.

2.3. A^{III}B^V bog'lanish turlaridagi yarimo'tkazgichlar va shu turdagi yarimo'tkazgichli qotishmalar.

Tayanch iboralar: yarimo'tkazgichlar; kimyoviy xossalar; yarimo'tkazgich materiallar; kattaliklar; asbobsozlik, radiotexnika; dielektriklar; qarshiliklar.

2.1. Yarimo'tkazgichlarni fizik va kimyoviy xossalari

Yarimo'tkazgichlar va dielektriklar fizikasi hozirgi zamon fizikasining eng asosiy qismi bo'lib, uning yutuqlari asosida asbobsozlik, radiotexnika va mikroelektronika sohalari rivojlanadi. Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi bo'yicha metallar bilan dielektriklar oralig'idagi moddalar guruhiga kiradi va $T=0$ da ularning valent zonasi elektronlar bilan band bo'lib taqiqlangan zonasining kengligi katta emas ($\sim 1\text{eV}$). Atom elektron buluti bilan o'ralgan yadrodan tashkil topgan.

Yarimo'tkazgichlarga shunday materiallar kiradiki, ularning xona haroratidagi solishtirma elektr qarshiligi 10^{-5} dan 10^{10} om sm gacha bo'ladi. (yarimo'tkazgichli texnikada 1 sm^3 hajmdagi materialning qarshiligini o'lchash qabul qilingan). Yarimo'tkazgichlar soni metall va dielektriklar sonidan ortiq, juda ko'p hollarda kremniy, arsenid galliy, selen, germaniy, tellur va har xil

oksidlar, sulfidlar va karbidlar kabi yarimo'tkazgich materiallardan foydalaniladi.

Yarimo'tkazgich materiallarining elektrofizik xususiyatlarini o'rganish asosida yangi fizik asboblarni yaratish imkoniyati tug'iladi. Ayniqsa, qattiq jismlar fizikasining yarimo'tkazgichlar fizikasi qismini o'rganadigan materiallar asosida hozirgi zamon talablariga javob beradigan fizik asboblarni va qurilmalarni yaratiladi.

Elementar yarimo'tkazgich bo'lgan kremniy va germaniy elementlaridan, shuningdek murakkab strukturali yarimo'tkazgichlar xususiyatlarini o'rganish, ularning tashqi ta'sir ostida xususiyatlari o'zgarishini kuzatish orqali ham kerakli xossalarga ega bo'lgan asboblarni yaratish imkoniyati tug'iladi.

Ayniqsa, kremniy elementi kristallidan asbobsozlik va mikroelektronikada juda ko'p qo'llaniladi. Shuning uchun ham bu elementning elektrofizik, mexanik, optik va boshqa xususiyatlarini o'rganish katta ahamiyatga egadir. Tashqi ta'sir: nurlanish, bosim, deformatsiya va boshqa ta'sirlarda kremniyning xususiyatlari o'zgarishini o'rganish dolzarb muammodir.

Yarimo'tkazgich bo'lmish kremniyda erkin zaryad tashuvchilar (elektronlar va kovaklar) konsentratsiyasi (p, n), harakatchanlik (μ_n, μ_p) ni o'lchashning bir qancha usullari mavjud. U yoki bu usulning qo'llanilishi ularning metrologik tavsifiga, o'lchanayotgan kattaliklarni tushuntirish ma'lumotlarga boyligi, o'lchash usullarining fizik asoslari, namunaning elektrofizik xossalari, geometrik shakli va o'lchamlariga bog'liq. Bularning hammasi Xoll effektiga asoslangan usuldir. Bu usul bilan kremniy namunasi p_m ni o'lchashdan tashqari, elektr o'tkazuvchanligini ham aniqlash mumkin.

Kremniy Si (Silicium) Mendeleev davriy sistemasidagi IV-gruppa elementi, atom nomeri 14, atom massasi 28,0856 bo'lib, metallmaslar guruhiga kiradi. Binobarin, uning yakka atomida 14 ta elektroni bo'lib, 10 tasi mustahkam ichki qobig'da 5 ta sathni to'ldirgan, qolgan 4 tasi ikkita tabiiy kremniy 3ta stabil

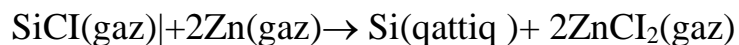
izotopdan $^{28}_{14}\text{Si}$ (92,28 %), $^{29}_{14}\text{Si}$ (4,67 %), $^{30}_{14}\text{Si}$ (3,05%) va ikkita radiaktiv izotopi $^{27}_{14}\text{Si}$ (β^+ , 4.9s), $^{31}_{14}\text{Si}$ (β^- , 170 min) dan iborat.

Elektron strukturasi – $1S^2 2S^2 2P^6 3S^2 3P^2$ ga teng.

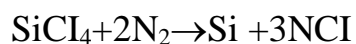
Kremniy Si atomining kristalli kimyoviy radiusi 0,134 nm, Si^{+4} ionining radiusi 0,039 nm. Kremniy Si tomonlari markazlashgan kub fazoviy panjara shaklida kristallashadi va bu kubning panjara doimiysi $\lambda=0,54304$ nm. Kremniyning zichligi $-2,328 \text{ g/sm}^3$, erish temperaturasi 1415^0S , issiqlik sig‘imi $-20,1 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K}$, erish issiqligi $-49,8 \text{ J/m}\cdot\text{Mol}$, bug‘lanish issiqligi -355 kJ/mol .

Yarimo‘tkazgichli kremniy kristallarni o‘stirishda foydalaniladigan ba’zi bir muhim usullari ustida qisqacha to‘xtab o‘tamiz.

Dastlab toza kremniyni uning birikmalaridan ajratib olish kerak. Buning bir necha usullari mavjud. Kremniy tetraxloridi SiCl_4 ni yuqori haroratda Zn yordamida tiklash yo‘li bilan undan ancha toza kremniy Si ajratib olish mumkin:



Kremniy tetroxloridi SiCl_4 ni vodorod yordamida tiklash oldingi usulga nisbatan yana ham toza kremniy olish imkonini beradi. Bu reaksiya 1050^0 S - 1100^0 S da amalga oshadi.



Trixlorsilan Si NCl_3 ni vodorod yordamida tiklash usuli ham yuqori haroratda ($1000-1100^0 \text{ S}$) kechadi .



Kremniy ajratib olishning bu usullari yetarli darajadagi tozalik-ni bera olmaydi, unda ko‘pdan ko‘p va xilma- xil kirishmalar qoladi.

Yarimo‘tkazgichli materialni parallelloiped shaklida qirqib olinadi va uning sirtiga qo‘yilgan elektrodlar orqali o‘zgarimas tok o‘tkaziladi. Buning

natijasida yarimo'tkazgich ichida zaryadli zarralarning tartibli harakati yuz beradi. Tok o'tayotgan sirtlarga perpendikulyar yo'nalishda o'zgarmas magnit maydoni qo'yiladi va har xil ishorali zaryadli zarralar ushbu maydon ta'sirida o'z harakat yo'nalishlarini o'zgartiradi. Natijada parallelopped shaklidagi yarimo'tkazgichning qarama-qarshi sirtlarida musbat va manfiy ishorali zaryadli zarralar yig'ilib qoladi va bu sirtlar orasida potentsiallar farqi yuzaga keladi. Bizga ma'lumki, o'zgarmas magnit maydonida harakat qilayotgan zaryadli zarrachaga maydon Lorens kuchi bilan ta'sir etadi:

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{V} \cdot \vec{H}] \quad (2.17)$$

yoki

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \sin \alpha \quad (2.18)$$

agar $\alpha=90^\circ$ bo'lsa

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \quad (2.19)$$

Bu kuch ta'sirida zarayadlar harakat yo'nalishini o'zgartiradilar va kuchlanganilgi $Y e_x$ bo'lgan ko'ndalang elektr maydoni hosil qiladi. Bu maydon ham zaryadli zarraga \vec{F}_x kuch bilan ta'sir etadi:

$$\vec{F}_x = q \cdot Y e_x \quad (2.20)$$

Lorens kuchi \vec{F}_L va elektr maydoni hosil qilgan \vec{F}_x kuchlar o'zaro tenglashguncha zaryadli zarrachalarning burilishi davom etadi. Bu kuchlar o'zaro tenglashgach tok tashuvchilar burilmay qoladi, ya'ni :

$$Y e_x \cdot q = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \quad (2.21)$$

Shunday holatda A va V sirtlar o'rtasida potentsiallar farqi yuzaga keladi:

$$U_x = E_x \cdot d = \vec{V} \cdot \vec{H} \cdot d \quad (2.22)$$

Bu yerda, d- material qalinligi.

Bizga ma'lumki, elektronlarning V - tezligi, tok zichligi - j bilan yozsak bo'ladi:

$$V = \frac{j}{n \cdot q} = \frac{j}{q \cdot n \cdot b \cdot d} \quad (2.23)$$

bundan:

$$U_x = \frac{1}{q \cdot n} \cdot \frac{J \cdot H}{B} = R \frac{J \cdot H}{B}. \quad (2.24)$$

Bu yerda $R = \frac{1}{q \cdot n}$ - Xoll koeffitsiyenti deyiladi.

Elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgich uchun:

$$R = \frac{1}{n_o \cdot e} \quad (2.25)$$

yoki

$$R = \frac{U_x \cdot b}{J \cdot H}. \quad (2.26)$$

Agar tok tashuvchilar musbat teshikchalar bo'lsa:

$$R = \frac{1}{n \cdot e} \text{ yoki } R = \frac{U_x \cdot b}{J \cdot H} \quad (2.27)$$

Shunday qilib, Xoll effektini bilgan xolda tok tashuvchilar konsentrasiyasi p ni va uning ishorasini bilib olish mumkin.

$$n = \frac{1}{R \cdot q} = \frac{J \cdot H}{q \cdot U_x \cdot b} \quad (2.28)$$

Xoll koeffitsiyenti orqali tok tashuvchilarning harakatchanligini ham aniqlash mumkin:

$$M = R / \rho \quad (2.29)$$

Yarimo'tkazgichlar kattaliklarini o'lchash paytida olinadigan natijalar xatoligi kam bo'lishi uchun yarimo'tkazgichga qo'yilgan o'zgarmas magnit maydonining qiymati juda katta bo'lishi lozim. Aks holda, zaryadli zarrachalarning magnit maydonda burilishi juda kam bo'ladi va hosil bo'ladigan potentsiallar farqini o'lchashda qiyinchiliklar yuzaga keladi.

2.2. Yarimo'tkazgich materiallarning asosiy kattaliklari.

Yarimo'tkazgich materiallar element tarkibi bo'yicha 5 guruhga bo'linadi.

1. Elementar yarimo'tkazgichlar;
2. $A^{III} B^V$ yarimo'tkazgich birikmalar;
3. $A^{II} B^{VI}$ yarimo'tkazgich birikmalar;
4. $A^{IV} B^{IV}$ yarimo'tkazgich materiallar;
5. Murakkab yarimo'tkazgich materiallar

Amalda barcha elementar yarimo'tkazgichlar va ko'pchilik $A^{III} B^V$ va $A^{II} B^{VI}$ yarimo'tkazgich birikmalar, shuningdek murakkab yarimo'tkazgich materiallar olmos yoki rux obmankasi tipidagi kristall tuzilishga ega bo'lib, ular – tetraedr fazalariga tegishli, bu erda har bir atom mos kelgan tetraedr balandliklarida joylashgan to'rtta ekvivalent masofaga yaqin qo'shnilar bilan o'rab olingan. Ikkita yaqin qo'shni atomlar o'rtasidagi bog'lanish qarama-qarshi spinga ega bo'lgan elektronlar bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun elementar yarimo'tkazgichlarda kimyoviy bog'lanish 100% kovalentli bo'ladi, $A^{III} B^V$ birikmalarda bog'lanish ionli - kovalent ko'rinishga ega. A^{III}

B^V birikmalarda ionli bog‘lanish ulushi oshadi. Yarimo‘tkazgichlarning asosiy fundamental parametri bo‘lib, Y_{e_d} taqiqlangan zona kengligi hisoblanadi. Y_{e_d} kattaligi - kristall panjaraning kimyoviy bog‘lanishidagi qatnashadigan valent elektronni ozod qilish uchun zarur energiya bo‘lib, u material o‘tkazuvchanligini ta‘minlashda qatnashadi. Yarimo‘tkazgichlarda Y_{e_d} kattaligi asosan kristall panjarani hosil qiluvchi atomlarning valent elektronlari holati orqali aniqlanadi.

Jadval 1.

Element	Elektron tuzilishi	E_g , eV
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	5,48
Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	1,17
+Ge	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$	0,74
Sn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$	0,082

Bu elementlarning hammasi kovalent bog‘lanishli olmossimon kristall panjara hosil qilsa ham, lekin ularning atomlari elektron tuzilishidagi valent elektronlarning joylashishi, panjaradagi energiya bog‘lanishi, Y_{e_d} taqiqlangan zona kengligini kattaligi juda keskin farqlanishi mumkin. Bunday qonuniyat $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ yarimo‘tkazgich birikmalarda va murakkab materiallarda ham o‘rinli bo‘ladi. Shuning uchun elementlarni birikmalarda kombinasiyalash natijasida (ya‘ni, atomda valent elektronlarning har xil energetik holati) Y_{e_d} boshqariladigan yarimo‘tkazgich material olish mumkin. Bu material o‘zining fizik kattaliklariga ko‘ra olmosga juda yaqin bo‘ladi.

Yarimo'tkazgichlarni shartli ravishda keng zonali, bunda $Y_{e_d} \geq 2 \text{ eV}$, normal - bunda $2 > Y_{e_d} > 0.6 \text{ eV}$ va qisqa zonali $Y_{e_d} < 0.5 \text{ eV}$ kabi turlarga bo'linadi. Aynan yarimo'tkazgichlarning Y_{e_d} kattaligi mikroelektronikaning har xil foto va optoelektron asboblarni ishlab chiqarishda ularning funksional imkoniyatlarini aniqlaydi.

2.3. $A^{III}B^V$ Bog'lanish turlaridagi yarimo'tkazgichlar va shu turdagi yarimo'tkazgichli qotishmalar.

Yarimo'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning ikki: elektron (n) va elektron-kovak (p) turi mavjud bo'lib, ular jismda p-n o'tishini vujudga keltiradi. Bunday jismlarga katta va kichik quvvatga ega turli xildagi elektr to'g'rilagichlar, kuchaytirgich va generatorlar misol bo'la oladi. Ulardan boshqariladigan turli hil moslamalarda keng miqyosda foydalaniladi. Amalda qo'llanilayotgan yarimo'tkazgichlar, asosan, odiy va murakkab xillarga bo'linadi. Yarimo'tkazgichlar turli ko'rinishdagi energiya (issiqlik, yorug'lik) ni elektr energiyasiga aylantirib beradi. Yarimo'tkazgichli o'tkazgichlarga misol tariqasida quyosh batareyasi va termoelektrik generatorlarni keltirish mumkin. Past o'zgarmas kuchlanishdagi rekombinatsiyali chaqnash nur uzatish manbai va hisoblash mashinalaridan axborot chaqirish qurilmalarida ishlatiladi.

Yarimo'tkazgichlarni isitkich asboblarda, radioaktivli nur indikatorlarda va magnit maydon kuchlanganligini o'lchashda foydalaniladi. Hozirgi davrda shishasimon va suyuq yarimo'tkazgichlar o'rganilmoqda. Oddiy yarimo'tkazgichlardan texnikada keng qo'llaniladiganlariga kremniy va germaniy kiradi. Murakkab yarimo'tkazgichlar Mendeleev davriy sistemasidagi turli gurux elementlari birikmasidan, masalan: $A^{III}B^V$ (InSb, CaAs, Cap), $A^{II}B^{VI}$ (CdS, ZnSe) elementlari birikmasidan, shuningdek, ba'zi oksidlar (Cu_2O) dan iborat. Yarimo'tkazgichli kompozitsiyalarga (tirit, silit), sopol bilan birikkan kremniy karbidi (SiC) va grafitli yarimo'tkazgichlar misol bo'la oladi.

Yarimo'tkazgich ishlatilgan asbob uskunalar xizmat muddatining yuqoriligi, hajm va og'irligiga nisbatan kichikligi, oddiy ishonchli ishlashi, iqtisodiy samaradorligi va boshqa sifatlari bilan ajralib turadi.

$A^{III} B^V$ birikmalari komponentlari vakuum yoki inert gaz muhitida o'zaro ta'sir ettirish yo'li orqali olinadi. Tozalangan birikmaning erish harorati uni tashkil etuvchi komponentlarning erish haroratidan yuqoriroq bo'ladi.

$A^{III} B^V$ birikmalari u yoki bu turdagi yarimo'tkazgich asboblarini tayyorlash uchun muxim material hisoblanadi. Bunday birikmalarga fosfatlar, arsenidlar va antimonidlar kiradi. Bularning ichida amalda eng ko'p qo'llaniladigani galliy arsenidi va fosfidi hamda indiy antimonididir.

Galliy arsenidi taqiqlangan zonasining kengligi 1,43 eV bo'lib, elektronlarning harakatchanligi Ge va Si nikidan yuqoriroq bo'ladi. Galliy arsenididagi kovaklarning harakchanligi Si – dagi teshiklarning siljuvchanligiga yaqin. Bu materialning akseptorlari sifatida rux, qadimiy, misdan foydalaniladi, donorlari sifatida esa S, selen, tellur va davriy sistemadagi VI gurux elementlari olinadi.

Indiy antimonidi. Elektronlarning harakatchanligi katta qiymatga ega bo'lishi bilan bir qatorda, taqiqlangan zonasining kengligi (0,18 eV) nisbatan kichikroqdir. Ushbu materialning fotoo'tkazuvchanligi spektr infraqizil qismining katta (8 mkm. gacha) sohasini qamrab oladi. Bunda fotoo'tkazuvchanlikning eng yuqori qiymati 6,2 mkm to'lqin uzunligiga to'g'ri keladi.

Indiy antimonididan o'ta sezgir fotoelementlar optik filtr, termoelektrik generator va sovutkichlar tayyorlashda foydalaniladi.

Galliy fosfidi: taqiqlangan zonaning kengligi (2,3 eV) bilan ajralib turadi. Undan qizil yoki yashil nurlanuvchi diodlar tayyorlanadi. Bundan tashqari, Bor alyuminiy va galliy netridlari birikmalaridan ham nurlanuvchan diodlar ishlab

chiqariladi. A^{III} B^{VI} birikmalari sulfidlar (PbS, Bi₂S₃, CdSe, CdS) fotorezistorlar tayyorlashda ishlatiladi. Ulardan lyuminafor sifatida ham foydalaniladi.

Yarimo'tkazgich materiallar

1- jadval

Material	Element yoki birikma	Nomlanishi	Kristall tuzilishi	300K (Å) da panjara doimiysi
Element	C	Uglerod	D	3,56683
	Ge	Germaniy	D	5,64613
	Si	Kremniy	D	5,43095
	Sn	Olovo	D	6,48920
IV-IV	SiS	Kremniy karbidi	W	a=3,086; s=15,117
III-V	AlAs	Alyuminiy arsenidi	Z	5,6605
	AlP	Alyuminiy fosfidi	Z	5,4510
	AlSb	Alyuminiy antimonidi	Z	6,1355
	BN	Bor nitridi	Z	3,6150
	BP	Bora fosfidi	Z	4,5380
	GaAs	Galliy arsenidi	Z	5,6533
	GaN	Galliy nitridi	W	a=3,189; s=5,185
	GaP	Galliy fosfidi	Z	5,4512

Eng muhim yarimo'tkazgichlarning xossalari

2- jadval

Yarimo'tkazgich	Taqiqlangan zona kengligi (eV)	300K da Harakatchanlik (sm ² /V·s)	Effektiv massa m*/m ₀

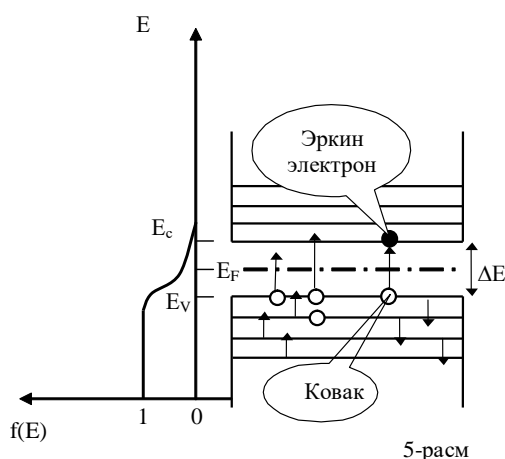
Semiconductor		Bandgap (eV)		Mobility at 300K (cm ² /V·c)		Zona band	Effective mass m*/m ₀		ε _s / ε ₀
		300K	0K	elektron	kovak		elektron	kovak	
Element	C	5,47	5,48	1800	1200	I	0,2	0,25	5,
	Ge	0,66	0,74	3900	1900	I	1,64	0,04	16
	Si	1,12	1,17	1500	450	I	0,98	0,16	11
	Sn		0,082	1400	1200	D			
IV-IV	α-SiC	2,996	3,03	400	50	I	0,60	1,00	10
III-V	AlSb	1,58	1,68	200	420	I	0,12	0,98	14
	BN	7,5				I			7,
	BP	2,0							
	GaN	3,36	3,50	380			0,19	0,60	12
	GaSb	0,72	0,81	5000	850	D	0,042	0,40	15
	GaAs	1,42	1,52	8500	400	D	0,067	0,082	13
	GaP	2,26	2,34	110	75	I	0,82	0,60	11
	InSb	0,17	0,23	80000	1250	D	0,0145	0,40	17
	InAs	0,36	0,42	33000	460	D	0,023	0,40	14
	InP	1,35	1,42	4600	150	D	0,077	0,64	12
II-VI	CdS	2,42	2,56	340	50	D	0,21	0,80	5,
	CdSe	1,70	1,85	800		D	0,13	0,45	10
	CdTe	1,56		1050	100	D			10
	ZnO	3,35	3,42	200	180	D	0,27		9,
	ZnS	3,68	3,84	165	5	D	0,40		5,
IV-VI	PbS	0,41	0,286	600	700	I	0,25	0,25	17
	PbTe	0,31	0,19	6000	400	I	0,17	0,20	30

I – to‘g‘ri zonali bo‘lmagan tuzilishi.

D – to‘g‘ri zonali tuzilishi.

Yarimo'tkazgichlar xususiy va aralashmali yarimo'tkazgich guruhlariga bo'linadi.

$T=0$ K da xususiy yarimo'tkazgichlarning valent zonasi elektronlar bilan butunlay to'lgan bo'ladi, bu holda yarimo'tkazgich sof dielektrik bo'ladi. Agar



temperatura $T \neq 0$ K bo'lsa, valent zonaning yuqori sathlaridagi bir qism elektronlar o'tkazuvchanlik zonasining pastki sathlariga o'tadi (5-rasm). Bu holda elektr maydoni ta'sirida o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning xolati o'zgaradi. Bundan tashqari valent zonada hosil bo'lgan bo'sh joylar xisobiga ham elektronlar o'z tezligini

o'zgartiradi. Natijada yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi noldan farqli bo'ladi, ya'ni sof yarimo'tkazgichda erkin elektron va teshik vujudga keladi.

Elektr maydon ta'sirida butun kristall bo'ylab elektronlar maydonga teskari yo'nalishida, teshiklar esa maydon yo'nalishida harakatga keladi. Bunday elektr o'tkazuvchanlik faqat sof yarim o'tkazgichlar uchun xos bo'lib, uni xususiy elektr o'tkazuvchanlik deyiladi.

O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar va valent zonasidagi kovaklar, ya'ni elektronini yo'qotgan bo'sh joylar, Fermi-Dirak taqsimotiga bo'ysunadi:

$$f_{\text{э}}(E) = \frac{1}{e^{(E-E_f)/kT} + 1} \quad (2.30)$$

$$f_{\text{к}}(E) = 1 - f_{\text{э}}(E) = \frac{1}{e^{-(E-E_f)/kT} + 1} \quad (2.31)$$

Xususiy yarimo'tkazgichlar uchun o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning konsentrasiyasi valent zonadagi kovaklarning konsentrasiyasiga teng: $n=r$. Konsentrasiyalarni hisoblash uchun Y_e energiyani o'tkazuvchanlik zonasining tubiga nisbatan o'lchaymiz ($Y_{e_s} = 0$).

O'tkazuvchanlik zonasi tubidan dE energiya intervalini ajrataylik (Y_e, Y_e+dE). Bu sohada joylashgan elektronlar Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi va ularni energiya bo'yicha taqsimlanishi quyidagi ko'rinishda yoziladi,

$$dn = 4\pi \frac{(2m^*)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} E^{1/2} \cdot \frac{1}{e^{E-E_F/kT} + 1} dE \quad (2.32)$$

Odatda xususiy yarimo'tkazgichlar uchun $e^{E-E_F/kT} \gg 1$ va maxrajidagi 1 ni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda

$$dn = 4\pi \frac{(2m^*)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} E^{1/2} e^{-(E-E_F)/kT} dE \quad (2.33)$$

Bu ifodani $0 \div \infty$ oralig'ida integrallab quyidagini hosil qilamiz

$$n = \frac{2(2\pi m_k^* kT)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} e^{-(\Delta E - E_F)/kT} \quad (2.34)$$

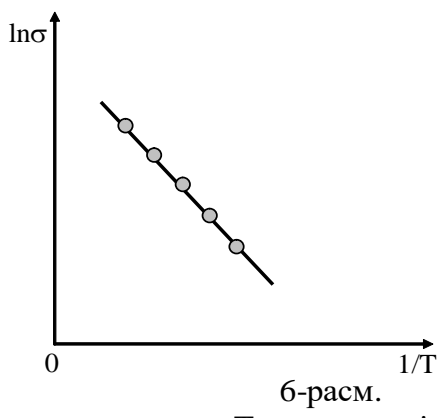
Xuddi shunga o'xshash amallarni bajarib valent zonasidagi kovaklarning konsentrasiyasi uchun

$$p = \frac{2(2\pi m_k^* kT)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} e^{-E_F/kT} \quad (2.35)$$

ifodani hosil qilish mumkin.

Formulalardan, $n=r$ ni inobatga olib, Fermi sathi energiyasining qiymatini topamiz:

$$E_F = \frac{\Delta E}{2} + \frac{3}{4} kT \ln\left(\frac{m_k^*}{m_s^*}\right) \quad (1.36)$$



Formulaning ikkinchi hadi, birinchisiga

nisbatan juda kichik bo'lgani uchun $E_F = \frac{\Delta E}{2}$ deb olish mumkin.

Demak, xususiy yarimo'tkazgichlarda Fermi sathı (Ye) taqiqlangan zonaning o'rtasida joylashadi.

Yarimo'tkazgichning o'tkazuvchi va valent zonalaridagi elektron va kovaklar zaryad tashuvchilardir. Ma'lumki, o'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarning konsentrasiyasiga proporsional bo'ladi, u holda xususiy yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi σ harorat ortishi bilan ortadi va quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi (6-rasm):

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_k \quad \text{yoki} \quad \sigma = \sigma_0 \text{yexr} (-\Delta Y_e / 2kT). \quad (2.37)$$

Nazorat savollari

1. Yarimo'tkazgichlarning fizik hossalari ayting?
2. Yarimo'tkazgichlarning kimyoviy hossalari tushuntiring?
3. Kristallarning tuzilishi?
4. Kremniy kristali haqida ma'lumot bering?
5. Yarimo'tkazgich materiallarining elektrofizik xususiyatlari?
6. Xoll effekti nima?
7. Yarimo'tkazgichlar kattaliklarini o'lchash?