

1- AMALIY MASHG'ULOT.

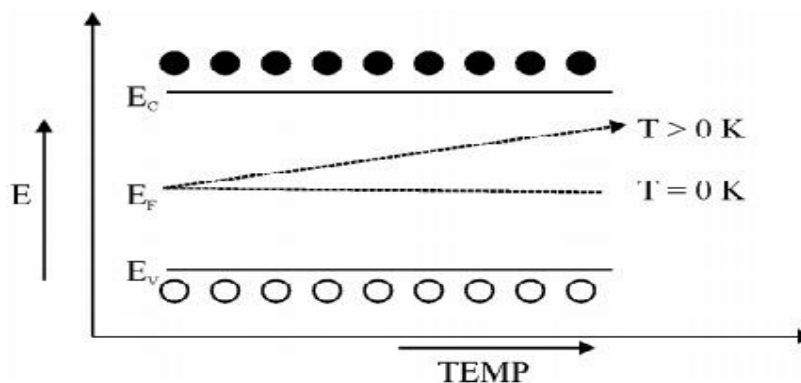
YARIMO'TKAZGICHLARDAGI ZARYAD TASHUVCHILAR KONSENTRATSIYASI

Asosiy tushunchalar

1. Xususiy yarimo'tkazgich: Aralashmalardan tozalangan yarimo'tkazgichlarda, aralashmalar konsentratsiyasi hisobga olinmaydigan darajada kam bo'lganligi uchun o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar, asosan valentlik zonasidan issiqlik energiyasi hisobiga ko'chirilgan elektronlardan iboratdir. Shuning uchun ham aralashmasiz yarimo'tkazgichlarni xususiy yarimo'tkazgichlar deb ataladi va unda elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi bir biriga teng bo'ladi, ya'ni

$$n = p = n_i = p_i \text{ yoki } n_i^2 = n \cdot p \text{ bo'ladi.}$$

Xususiy yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi 0 K haroratda taqiqlangan sohasi o'rtasida yotadi va harorat ortishi bilan ($T > 0 \text{ K}$) tekis o'sib boradi (1-rasm).



1-rasm. Xususiy yarimo'tkazgichlarda Fermi sathining haroratga bog'liq holda o'zgarish grafigi.

2. Xususiy yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar konsentratatsiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n_i = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} (m_e^* m_h^*)^{\frac{3}{4}} e^{\frac{-E_g}{2kT}}$$

3. Legirlangan yarimo'tkazgichlar:

n -tipli va p -tipli yarimo'tkazgichlarning bir-biridan farqi quyidagicha:

n – tipli	p – tipli
Donor o'tkazuvchanlik	Akseptor o'tkazuvchanlik
Kirishma atomlari besh valent	Kirishma atomlari uch valent
Donor sathi o'tkazuvchanlik zonasiga yaqin joylashgan bo'ladi	Akseptor sathi valent zonasiga yaqin va ustida joylashgan bo'ladi
Elektronlar asosiy tok tashuvchilar va kovaklar asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar hisoblanadi	Kovaklar asosiy tok tashuvchilar va elektronlar asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar hisoblanadi

4. Fermi sathi. Fermi energiyasi.

Fermi sathi: Fermi sathi absoyut nolda zarrachalarni energetik sathining yuqori tayanchi hisoblanadi.

Muhimi: Fermi sathi energiyaning bazaviy sathi bo'lib, u to'ldirilgan energiyasathi va erkin energiya sathlarini ajratuvchi energetik sathdir.

Fermi energiyasi: Bu absolyut noldagi Fermi sathining energiyasiga muvofiq keluvchi kvant holatining maksimal energiyasidir.

Muhimi: Fermi energiyasi zarrachalarni har qanday temperaturadagi energiyasini aniqlaydi.

Fermi sathining temperatura va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga bog'liq holda o'rni quyidagicha bo'ladi:

-n tipli yarimo'tkazgichlarda $E_{fn} = E_i + kT \ln\left(\frac{n}{n_i}\right);$

- p tipli yarimo'tkazgichlarda $E_{fp} = E_i - kT \ln\left(\frac{p}{n_i}\right).$

5. Fermi taqsimot funksiyasi.

Bu ifoda elektronlarning temperaturaga bog'liq energiya sathlarining o'zaro taqsimlanishi uchun va ma'lum bir energetik sathda E energiyali elektronning joylashish ehtimolini aniqlovchi ifodasidir va u quyidagicha ifodalanadi:

$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{E - E_F}{kT}\right]}$$

Mavzuga doir masalalar

1. Si kremniyning p-tipli namunasida teshiklar konsentratsiyasi $2.25 \times 10^{15} / \text{cm}^3$. Xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi $1.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ ga teng bo'lsa, elektronlarning konsentratsiyasi nimaga teng?

Berilgan:

$$p = 2.25 \times 10^{15} / \text{cm}^3,$$

$$n_i = 1.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$$

$n = ?$

Yechilishi: Ushbu masalada kovaklar konsentratsiyasi va xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi berilgan, biz elektron konsentratsiyasini topishimiz kerak. Biz ommaviy harakatlar qonunini qo'llaymiz

$$n_i^2 = n \cdot p$$

yuqoridagi ifodadan elektronlar konsentratsiyasi quyidagiga teng bo'ladi,

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{2.25 \times 10^{15}} = \frac{2.25 \times 10^{20}}{1.5 \times 10^{15}} = 10^5 / \text{cm}^3.$$

Javob: $n = 10^5 / \text{cm}^3$

2. Taqiqlangan soha kengligi 0,7 eV bo'lgan xususiy yarimo'tkazgich uchun $m_h^* = 6m_e^*$ bo'lsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda (Fermi sathi) E_F o'rni aniqlang.

Berilgan:

$$E_g = 0.7 \text{ eV} = 0.7 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ V}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$E_F = ?$

Yechilishi:

Fermi energiyasi xususiy yarimo'tkazgichlar uchun quyidagiga teng:

$$E_F = \frac{E_g}{2} + \frac{3kT}{4} \log \left[\frac{m_h^*}{m_e^*} \right],$$

$$E_F = \left[\frac{0.7 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2} \right] + \left[\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{4} \right] \log_e^6 = 6.15 \times 10^{-20} J$$

$$E_F = \frac{6.15 \times 10^{-20}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.38 eV$$

Javob: Fermi sathi $E_F = 0.38 eV$

3. Agar elektronning effektiv massasi kovakning effektiv massasidan 2 marta katta bo'lsa, xona temperaturasida (300°K) hususiy yarimo'tkazgichda ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, elektronlar konsentratsiyasi

$$n = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{F-E_c/kT},$$

kovaklar konsentratsiyasi esa

$$p = 2(m_p kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{E_v-F/kT}$$

ifodalar orqali aniqlanadi. Hususiy yarim o'tkazgichda $n=p$ bo'lganligi uchun

$$e^{\frac{E_v+E_c-2F}{kT}} = \left(\frac{m_n}{m_p} \right)^{3/2} = 2^{3/2}$$

Bu yerdan Fermi sathi

$$F = \frac{E_v + E_c}{2} - \frac{3}{4} kT \ln 2$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi. Ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan

$$F' = -\frac{3}{4} kT \ln 2$$

Demak, $F = -13,4 meV$.

4. Tarkibida $5 \cdot 10^{16} sm^{-3}$ konsentratsiyali kirishmasi bo'lgan germaniy uchun 300°K temperaturada ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, kirishmalar konsentratsiyasi

$$n = N_c e^{F=E_c/kT}$$

formula orqli aniqlanadi, bu yerda

$$N_c = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}$$

Bu ikki ifodadan Fermi sathi

$$F = E_c + kT \ln \frac{n}{2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}}$$

ga teng ekanligini ko'rish mumkin.

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$F = 0,196 eV$.

5. Agar elektronning effektiv massasi kovakning effektiv massasidan 2 marta katta bo'lsa, xona temperaturasida (300°K) hususiy yarimo'tkazgichda ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, elektronlar konsentratsiyasi

$$n = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{F-E_c/kT},$$

kovaklar konsentratsiyasi esa

$$p = 2(m_p kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{E_v - F / kT}$$

ifodalar orqali aniqlanadi. Hususiy yarim o'tkazgichda $n=p$ bo'lganligi uchun

$$e^{\frac{E_v + E_c - 2F}{kT}} = \left(\frac{m_n}{m_p}\right)^{3/2} = 2^{3/2}$$

Bu yerdan Fermi sathi

$$F = \frac{E_v + E_c}{2} - \frac{3}{4} kT \ln 2$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi. Ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan

$$F' = -\frac{3}{4} kT \ln 2$$

Demak, $F = -13,4$ meV.

6. Tarkibida $5 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ konsentratsiyali kirishmasi bo'lgan germaniy uchun 300°K temperaturada ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, kirishmalar konsentratsiyasi

$$n = N_c e^{F - E_c / kT}$$

formula orqli aniqlanadi, bu yerda

$$N_c = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}$$

Bu ikki ifodadan Fermi sathi

$$F = E_c + kT \ln \frac{n}{2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}}$$

ga teng ekanligini ko'rish mumkin.

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$F = 0,196$ eV.

7. Agar elektronning effektiv massasi kovakning effektiv massasidan 2 marta katta bo'lsa, xona temperaturasida (300°K) hususiy yarimo'tkazgichda ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, elektronlar konsentratsiyasi

$$n = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{F - E_c / kT},$$

kovaklar konsentratsiyasi esa

$$p = 2(m_p kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2} e^{E_v - F / kT}$$

ifodalar orqali aniqlanadi. Hususiy yarim o'tkazgichda $n=p$ bo'lganligi uchun

$$e^{\frac{E_v + E_c - 2F}{kT}} = \left(\frac{m_n}{m_p}\right)^{3/2} = 2^{3/2}$$

Bu yerdan Fermi sathi

$$F = \frac{E_v + E_c}{2} - \frac{3}{4} kT \ln 2$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi. Ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan

$$F' = -\frac{3}{4} kT \ln 2$$

Demak, $F = -13,4$ meV.

8. Tarkibida $5 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ konsentratsiyali kirishmasi bo'lgan germaniy uchun 300°K temperaturada ta'qiqlangan zona o'rtasiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, kirishmalar konsentratsiyasi

$$n = N_c e^{F - E_c / kT}$$

formula orqli aniqlanadi, bu yerda

$$N_c = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}$$

Bu ikki ifodadan Fermi sathi

$$F = E_c + kT \ln \frac{n}{2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}}$$

ga teng ekanligini ko'rish mumkin.

Bu formulaga kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$F = 0,196 \text{ eV.}$$

9. n-tipli germaniy kristalida har bir donor kirishma atomiga 10^8 ta germaniy atomi to'g'ri keladi. Elektronning effektiv massasi haqiqiy massasining yarmiga teng deb hisolab, 300°K temperaturada o'tkazuvchanlik zonasi tubiga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, n-tipli germaniydagi Fermi sathi

$$F = E_c - kT \ln \frac{N_c}{n}$$

Ifoda orqali aniqlanadi, bu yerda

$$n = N_d$$

$$N_c = 2(m_n kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}$$

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$F = -0,256 \text{ eV.}$$

10. p-tipli kremniy kristallida har 10^8 ta kremniy atomiga bitta akseptor kirishma atomi mos keladi. Xona temperaturasida ($T = 300^\circ\text{K}$) valent zonaga nisbatan Fermi sathi aniqlansin.

Yechilishi. Fermi sathi

$$F = E_v + kT \ln \frac{N_v}{p}$$

formula orqali aniqlanadi, bu yerda

$$p = N_a,$$

$$N_v = 2(m_p kT / 2\pi\hbar^2)^{3/2}$$

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$F = 0,279 \text{ eV.}$$

11. Agar yarimo'tkazgich materialning taqiqlangan sohasi kengligi 300 K haroratda $E_g = 0.67 \text{ eV}$ bo'lsa, elektron va kovaklar effektiv massasi mos ravishda $m_e^* = 0.12m_0$, $m_h^* = 0.28m_0$ bo'lsa, xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasini aniqlang.

Berilgan:

$$m_e^* = 0.12m_0 = 0.12 \times 9.1 \times 10^{-31} = 1.092 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_h^* = 0.28m_0 = 0.28 \times 9.1 \times 10^{-31} = 2.54 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$E_g = 0.67 \text{ eV}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$n_i = ?$$

Yechilishi:

Xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$n_i = 2 \left[\frac{2\pi kT}{h^2} \right]^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} \exp \left[\frac{-E_g}{2kT} \right]$$

Berilgan qiymatlarni qo'yib hisoblaymiz,

$$2 \left[\frac{2\pi kT}{h^2} \right]^{3/2} = 2 \left[\frac{2\pi \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{6.626 \times 10^{-34}} \right]^{3/2} = 2.884 \times 10^{70}$$

$$(m_e^* m_h^*)^{\frac{3}{4}} = (1.092 \times 10^{-31} \times 2.548 \times 10^{-31})^{\frac{3}{4}} = 6.81 \times 10^{-47}$$

$$\exp\left[\frac{-E_g}{2kT}\right] = \exp\left[-\left(\frac{0.67 \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}\right)\right] = \exp(-12.94) = 2.38 \times 10^{-6}$$

$$n_i = 2.8 \times 10^{70} \times 6.81 \times 10^{-47} \times 2.38 \times 10^{-6} = 2.3 \times 10^{18} m^{-3}$$

Demak, xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi $n_i = 2.3 \times 10^{18} m^{-3}$ ga teng ekan.

Javob: $n_i = 2.3 \times 10^{18} m^{-3}$

12. Kremniy namunasining 300 K haroratda xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasi $1.5 \times 10^{16} / m^3$ ni tashkil qiladi. Agar legirlangandan keyin asosiy tok tashuvchilar soni $5 \times 10^{20} / m^3$ bo'lsa, noasosiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi nimaga teng?

Berilgan:

$$n_i = 1.5 \times 10^{16} / m^3$$

$$n = 5 \times 10^{20} / m^3$$

p - ?

Yechilishi:

Konsentratsiya cm^3 da emas, m^3 da berilganligiga e'tibor qaratamiz,

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1.5 \times 10^{16})^2}{5 \times 10^{20}} = \frac{2.25 \times 10^{32}}{5 \times 10^{20}} = 45 \times 10^{10} = 4.5 \times 10^{11} / m^3$$

Javob: $p = 4.5 \times 10^{11} / m^3$

13. Kremniy bo'lagi $2.25 \times 10^{15} atom/cm^3$ donor kirishma bilan legirlangan. Kremniyda 300 K haroratda berilgan xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi $1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$. Kirishmalarni to'raligicha ionlashgan deb taxmin qilsak, muvozanat holatida elektron va teshik konsentratsiyasi ... nimaga teng?

Berilgan:

Donor kirishmalar $2.25 \times 10^{15} atom/cm^3$. Qachonki, to'liq kirishmalar ionlashi mavjud bo'lganda, berilgan elektronlar soni donor aralashmalariga teng bo'ladi. ya'ni

$$n_0 = N_D = 2.25 \times 10^{15} cm^{-3}$$

$$n_i = 1.5 \times 10^{10} cm^{-3}.$$

p_0 - ?

Yechilishi:

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{2.25 \times 10^{15}} = 10^5 cm^{-3}.$$

Javob: $n_0 = 2.25 \times 10^{15} cm^{-3}$, $p_0 = 1 \times 10^5 cm^{-3}$

14. Qanday haroratda Si kremniyning xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasi 300 K haroratdagi Ge germaniyni xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasiga teng bo'ladi?

Berilgan:

$$T_1 = 300 K$$

T_2 - ?

Yechilishi: ma'lumki yarimo'tkazgichlarda xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$n_i = N_0 \exp(E_F / kT)$$

Yuqoridagi ifodani kremniy va germaniy uchun quyidagicha yozamiz

$$N_{01} \exp(E_{F1} / kT_1) = N_{02} \exp(E_{F2} / kT_2)$$

$$T_2 = E_{F_2} / \left(\frac{E_{F_1}}{T_1} + k \ln(N_{01} / N_{02}) \right), \quad T_2 = 1430^\circ K$$

Javob: $T_2 = 1430^\circ K$

15. Donorlar konsentratsiyasi $N_d = 2 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$, akseptorlar konsentratsiyasi $N_a = 3 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$ bo'lgan germaniyaning $300^\circ K$ temperaturada elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi aniqlansin.

Yechilishi. Elektronlar konsentratsiyasi

$$n = \frac{N_d - N_a}{1 + g_a N_a / n_d}$$

ifoda orqali aniqlanadi, bu yerda

$$n_d = \frac{2(2\pi mkT)^{3/2}}{h^2} e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$n_p = 6,25 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-3},$$

$$p_p = 10^{14} \text{ sm}^{-3}.$$

Qo'shimcha masalalar

1. Yarimo'tkazgich kremniy uchun taqiqlangan soha kengligi 1.12 eV. Agar $300^\circ K$ haroratda $m_e^* = 0.12m_0$ va $m_h^* = 0.28m_0$ bo'lsa, Fermi sathini toping. (Javob: 0.576 eV)
2. Xususiy yarimo'tkazgich uchun taqiqlangan soha kengligi $300^\circ K$ haroratda $E_g = 0.7 \text{ eV}$ bo'lsa, xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasini toping. $m_e^* = m_h^* = m_0$ deb hisoblang. (Javob: $33.49 \times 10^{18} / \text{m}^3$)
3. $300^\circ K$ haroratda Ge namunasidagi elektronlar va kovaklar konsentratsiyasini aniqlang. Namunada donor atomlar konsentratsiyasi $N_d = 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ va akseptor atomlar konsentratsiyasi $N_a = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. (Javob: $n_p = 6,25 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, $p_p = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)
4. Yarimo'tkazgich Si namunada donor atomlar konsentratsiyasi $N_d = 2.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ va akseptor atomlar konsentratsiyasi $N_a = 2.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ bo'lsa, kremniy namunaning $300^\circ K$ haroratda solishtirma o'tkazuvchanligini aniqlang. (Javob: $8 \cdot 10^{-5} \text{ S/cm}$)
5. Yarimo'tkazgich muvozanat sharoitida $p = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ kovaklar va $n = 2 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ elektronlar konsentratsiyasiga ega: a) kirishmalarning to'la konsentratsiyasini aniqlang, b) ustunlikka ega kirishmaning tipi, c) xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini aniqlang. (Javob: a) $N = 8 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$; c) $n_i = 4,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$)
6. Yarimo'tkazgich p-tipli Si namunada har 10^8 Si atomiga bitta akseptor atom kirishma to'g'ri keladi. Fermi sathining $300^\circ K$ haroratda valent sohaga nisbatan o'rnini aniqlang. (Javob: Fermi sathi valent sohadan 0.279 eV yuqorida joylashgan)

2- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICHLARNING ELEKTR O'TKAZUVCHANLIGI

Asosiy tushunchalar

1. Tok tashuvchilarning harakatchanligi:

– elektronlar uchun $\mu_n = \frac{v_d}{E} = \frac{q\tau_n}{m_n}, \quad [m^2 V^{-1} s^{-1}]$

– kovaklar uchun
$$\mu_p = \frac{v_d}{E} = \frac{q\tau_p}{m_p} \quad [m^2V^{-1}s^{-1}]$$

Bu yerda, q – elektron zaryadi; v_d – zaryad tashuvchilarning E -elektr maydondagi tezligi; τ_n va τ_p – mos ravishda elektron va kovaklarning o'rtacha sochilish vaqti; m_n va m_p – mos ravishda elektron va kovaklarning effektiv massasi.

2. Elektr o'tkazuvchanlik. Elektr o'tkazuvchanlik – doimiy potentsial gradientida birlik vaqtda birlik yuzadan oqib o'tadigan elektr miqdori bilan aniqlanadi.

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}, \quad [Ohm^{-1} \cdot m^{-1}]$$

3. Xususiy yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\sigma = n_i q(\mu_e + \mu_h)$$

bu yerda, n_i – xususiy yarimo'tkazgich zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi, q – elektron zaryadi, μ_e – elektronlar harakatchanligi, μ_h – kovaklar harakatchanligi.

4. Donor aralashmali n -tipli yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi:

$$\sigma = nq\mu_e$$

bu yerda n – elektronlar konsentratsiyasi, q – elektron zaryadi, μ_e – elektronlar harakatchanligi.

5. Akseptor aralashmali p -tipli yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi:

$$\sigma = pq\mu_h$$

bu yerda p – kovaklar konsentratsiyasi, q – elektron zaryadi, μ_h – kovaklar harakatchanligi.

6. Eynshteyn munosabatlari:

$$D_n = \mu_n \frac{kT}{q};$$

$$D_p = \mu_p \frac{kT}{q},$$

bu yerda, D_n va D_p – mos holda elektronlar va kovaklarning diffuziya koeffitsiyenti.

7. Diffuzion tok zichligining proeksiyasi (OX o'qi yo'nalishida):

- elektronlar uchun
$$j_{nD} = qD_n \frac{dn}{dx},$$

- kovaklar uchun
$$j_{pD} = qD_p \frac{dp}{dx},$$

Mavzuga doir masalalar

1. Kirishmalar konsentratsiyasi bir xil bo'lgan p -tipdagi kremniy namunasi va n -tipdagi kremniy namunasining o'tkazuvchanligini taqqoslang.

Berilgan: yarimo'tkazgichlarda elektronlarning harakatchanligi (μ_n) kovaklar harakatchanligi (μ_p) dan doimo katta bo'ladi. Odatda kremniy uchun harakatchanlik qiymatlari,

$$\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/V \cdot s$$

$$\mu_p = 480 \text{ cm}^2/V \cdot s \text{ bo'ladi.}$$

Yechilishi:

$$\text{Demak, } \mu_n > \mu_p$$

$$\text{Elektronli o'tkazuvchanlik; } \sigma_n = n q \mu_n$$

$$\text{Kovakli o'tkazuvchanlik; } \sigma_p = p q \mu_p$$

Kirishmalar konsentratsiyasi $n=p$ bo'lganligi uchun $\sigma_n > \sigma_p$. Javob: $\sigma_n > \sigma_p$.

2. Yarimo'tkazgich materialda xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasi $1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$, elektron va teshiklarning harakatchanligi mos ravishda 0.13 va $0.05 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ bo'lsa, shu yarimo'tkazgich materialning o'tkazuvchanligini hisoblang.

Berilgan:

$$n_i = 1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu_e = 0.13 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_h = 0.05 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

σ —?

Yechilishi:

Yarimo'tkazgich materialning o'tkazuvchanligini quyidagi formula yordamida ifodalanadi:

$$\sigma = n_i e (\mu_e + \mu_h),$$

$$\sigma = 1.5 \times 10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.13 + 0.05) = 4.32 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

Javob: O'tkazuvchanligi $\sigma = 4.32 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ga teng ekan.

3. Xona haroratida Ge ning xususiy tok tashuvchilari zichligi $2.37 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ni tashkil qiladi. Agar elektron va teshiklarning harakatchanligi mos ravishda 0.38 va $0.18 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ bo'lsa, uning solishtirma qarshiligini hisoblang.

Berilgan:

$$n_i = 2.37 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu_e = 0.38 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_h = 0.18 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

Solishtirma qarshiligi ρ —?

Yechilishi:

O'tkazuvchanligi esa quyidagi ifoda yordamida topiladi,

$$\sigma = n_i e (\mu_e + \mu_h) = 2.37 \times 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.38 + 0.18) = 2.12 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

Solishtirma qarshiligini esa quyidagicha topamiz

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{2.12} = 0.47 \Omega \cdot \text{m},$$

Solishtirma qarshiligi $\rho = 0.47 \Omega \cdot \text{m}$

Javob: $\rho = 0.47 \Omega \cdot \text{m}$

4. Yarimo'tkazgichning xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasi $2.1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ga teng. Elektronlar va kovaklar harakatchanligi mos ravishda 0.4 va $0.2 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. O'tkazuvchanligini hisoblab toping.

Berilgan:

$$n_i = 2.1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu_e = 0.4 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_h = 0.2 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

σ —?

Yechilishi:

$$\sigma = n_i e (\mu_e + \mu_h) = 2.1 \times 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.4 + 0.2) = 2.016 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}.$$

$$\sigma = 2.016 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}.$$

Javob: $\sigma = 2.016 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

5. Si uchun xona haroratida elektron va kovakalar harakatchanligi mos ravishda $0.135 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ va $0.048 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Agar tok tashuvchilar konsentratsiyasi $1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, Si ning xona haroratidagi solishtirma qarshiligini aniqlang.

Berilgan:

$$n_i = 1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu_e = 0.135 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_h = 0.048 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

ρ —?

Yechilishi:

Avval Si uchun xona haroratida o'tkazuvchanligini, so'ngra solishtirma qarshiligini aniqlaymiz,

1) Elektr o'tkazuvchanligi σ

$$\sigma = n_i e (\mu_e + \mu_h) = 1.5 \times 10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.135 + 0.048)$$

$$\sigma = 0.4392 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

2) Solishtirma qarshiligi ρ

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0.4392 \times 10^{-3}}$$

$$\rho = 2.2768 \Omega \cdot \text{m}$$

6. Yarimo'tkazgich Ge Germaniyning p -tipli namunasini olish uchun xususiy tok tashuvchilari zichligi $n_i = 2.1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ bo'lgan Ge ga $4.5 \times 10^{23} \text{ atom/m}^3$ Bor atomlari kiritildi. Elektron va kovaklar harakatchanligi mos ravishda 0.4 va $0.2 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Bor atomlarini kiritishdan oldin va keyin uning o'tkazuvchanligi qanday bo'ladi?

Berilgan:

$$n_i = 2.1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

$$\mu_e = 0.4 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_h = 0.2 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

σ_1 —? σ_2 —?

Yechilishi:

a) bor atomlari kiritilishidan oldingi o'tkazuvchanligi σ_1

$$\sigma_1 = n_i e (\mu_e + \mu_p) = 2.1 \times 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.4 + 0.2) = 2.016 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

b) Bor atomlari p -tipli akseptor kirishma atomlaridir. Bor atomlari qo'shilgandan keyingi o'tkazuvchanligi,

$$\sigma_2 = p e \mu_h = 4.5 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.2 = 14400 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

$$\text{Javob: } \sigma_2 = 14400 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

7. Uzunligi, eni va qalinligi 1 mm dan bo'lgan xususiy yarimo'tkazgich Ge bo'lakchasining 300 K haroratdagi qarshiligini toping. 300 K haroratda xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi $2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, elektron va kovaklar harakatchanligi mos ravishda 0.39 and $0.19 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ga teng.

Berilgan:

$$\text{Uzunligi } l = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Kengligi } d = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Qalinligi } s = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Xususiy tok tashuvchilar zichligi } n_i = 2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

$$\text{elektronlar harakatchanligi } \mu_e = 0.39 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{kovaklar harakatchanligi } \mu_p = 0.19 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

R —?

Yechilishi:

1) Yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi quyidagiga teng

$$\sigma = n_i e (\mu_e + \mu_h) = 2.5 \times 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} \times (0.39 + 0.19) = 2.32 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

2) Qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz,

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot S} = \frac{1 \times 10^{-3}}{2.32 \times (1 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-3})} = 431 \Omega, \quad R = 431 \Omega$$

Javob: $R = 431 \Omega$

8. $T = 300 \text{ K}$ haroratda yarimo'tkazgichning kovaklar harakatchanligi $\mu_p = 500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ va $kT/q = 26 \text{ mV}$. Kovaklarning diffuziya koeffitsiyenti D_p (cm^2/s) ni toping.

Berilgan:

$T = 300 \text{ K}$,

Kovaklar harakatchanligi $\mu_p = 500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$

$kT/q = 26 \text{ mV}$

Kovaklarning diffuziya doimiysini toping D_p -?

Yechilishi:

Eynshteyn tenglamasi ikki muhim doimiyni ya'ni diffuziya va harakatchanlikni o'zaro bog'laydi.

$$D_p = \left(\frac{kT}{q} \right) \mu_p$$

Demak, $D_p = \mu_p U_T, \Rightarrow \Rightarrow D_p = 500 \times 26 \times 10^{-3} = 13 \text{ cm}^2 / \text{s}$

Javob: $D_p = 13 \text{ cm}^2/\text{s}$.

9. Kremniy namunasi donor kirishma bilan konsentratsiyasi $10^{16}/\text{cm}^3$ gacha legirlangan. Namunada elektron va kovaklar ning harakatchanligi mos ravishda $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ va $\mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ga teng. Kirishmalar to'laligicha ionlashgan deb taxmin qilinadi. Elektronning zaryadi $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$. Namunaning solishtirma qarshiligini ($\Omega \cdot \text{cm}$) toping?

Berilgan:

$N_D = 10^{16}/\text{cm}^3$

$\mu_n = 1200 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

$\mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

ρ -?

Yechilishi:

O'tkazuvchanligi $\sigma = N_D q \mu_n = 10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1200 = 1.92 \text{ V} / \text{cm}$,

Demak, solishtirma qarshilik

$$\rho = \frac{1}{\sigma_N} = \frac{1}{1.92} = 0.52 \text{ } \Omega \cdot \text{cm},$$

Javob: $\rho = 0.52 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$

10. 20°C haroratda o'lchamlari $0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ cm}$ bo'lgan parallelopiped shaklidagi yarimo'tkazgich namunasining zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi 10^{15} cm^{-3} ga teng. Ingichka tomonlariga 20 V kuchlanish qo'yilganda, harakatchanlik $500 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lsa, u holda namuna orqali o'tadigan tokni aniqlang.

Berilgan:

$a \times b \times h = 0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ cm}$

$n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

$U = 20 \text{ V}$

$\mu = 500 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

I - ?

Yechilishi:

Ma'lumki, qarshilik quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot S}$$

Elektr o'tkazuvchanlik uchun biz quyidagi ifodani ishlatamiz.

$$\sigma = en\mu$$

Namunaning kesimi $S = a \cdot h$ ga tengdir. U holda qarshilik quyidagicha bo'ladi:

$$R = \frac{1}{en\mu} \frac{b}{ah}$$

Yuqoridagilarni Ohm qonuniga qo'ysak,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U \cdot en\mu ah}{b} = U \cdot en\mu h \quad (1)$$

(1) ifoda hosil bo'ladi. Bu yerda $a=b$. Qiymatlarini qo'ysak $I=0.8$ mA.

Javob: $I=0.8$ mA.

11. Agar donorlar konsentratsiyasi $N_d=2 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$ bo'lsa, n-tipli kremniyning 300° K temperaturada solishtirma qarshiligi aniqlansin?

Yechilishi. Solishtirma qarshilik

$$\rho = \frac{1}{en\mu_M}$$

formula orqali aniqlanadi.

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$\rho=44,7 \text{ Om}\cdot\text{sm}$$

12. Agar akseptorlar konsentratsiyasi $N_a=2,3 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$, donorlar konsentratsiyasi $N_d=2,2 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$ bo'lsa, 300° K temperaturada kremniyning solishtirma o'tkazuvchanligi aniqlansin?

Yechilishi. Ikki xil kirishmaga ega bolgan yarimo'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligi

$$\sigma = e\mu_n N_d + e\mu_p N_a$$

formula orqali aniqlanadi, bu yerda

$$\mu_n = 0,14 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$$

$$\mu_p = 0,05 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$$

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$\sigma = 8 \cdot 10^{-5} \text{ sim/sm.}$$

13. 300° K temperaturada hususiy germaniyning solishtirma qarshiligi aniqlansin. Agar bu na'munaga har bir donor atomiga 10^8 ta germaniy atomi mos keladigan qilib qo'yilsa, solishtirma qarshilik qanday bo'ladi?

Yechilishi. Ma'lumki, o'tkazuvchanlik

$$\sigma = \sigma_0 e^{-E_g / 2kT}$$

formula orqali aniqlanadi.

Hususiy solishtirma qarshilik

$$\rho_1 = \frac{1}{\sigma}$$

ga teng. Kirishma kiritilganda solishtirma qarshilik

$$\rho_2 = \frac{2}{e\mu_n N_d}$$

ifoda orqali aniqlanadi, bu yerda

$$\mu_n = 2 \left(\frac{m_n^*}{2\pi\hbar^2} \right)^{1/2}$$

$$N_d = \frac{1}{e} \frac{E_g - \mu}{kT}$$

Kattaliklarning son qiymatlari qo'yilsa,

$$\rho_1 = 43,2 \text{ Om}\cdot\text{sm}$$

$$\rho_2 = 3,64 \text{ Om}\cdot\text{sm}$$

Qo'shimcha masalalar

1. Uzunligi 1 cm, eni 1 mm va qalinligi 1 mm bo'lga xususiy yarimo'tkazgich Germaniy sterjenining 300 K haroratda qarshiligini toping. 300 K haroratda xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi $2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, elektron va kovaklar harakatchanligi mos ravishda 0.39 and $0.19 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. (Javob: $4.31 \times 10^3 \Omega$)
2. Tarkibida $5 \times 10^{22} / \text{m}^3$ mishyak atomlari bo'lgan Germaniy kristali uchun 300 K haroratda Fermi sathi E_F ni aniqlang. Agar elektronlar harakatchanligi $0.39 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ bo'lsa, o'tkazuvchanlini ham hisoblang.
(Javob: E_c dan quyi E_F 0.16 eV, $\sigma = 3210 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$)
3. Yarimo'tkazgich Ge Germaniyning xona haroratida xususiy tok tashuvchilari zichligi $2.37 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ni tashkil qiladi. Agar elektron va teshiklar harakatchanligi mos ravishda 0.38 va $0.18 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ bo'lsa, qarshiligini hisoblang. (Javob: 0471 Om)
4. Agar akseptorlar konsentratsiyasi $N_a = 2.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, donorlar konsentratsiyasi esa $N_d = 2.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, 300 K haroratdagi solishtirma o'tkazuvchanligini aniqlang. $\mu_n = 0.14 \text{ m}^2 / \text{V}\cdot\text{s}$, $\mu_p = 0.05 \text{ m}^2 / \text{V}\cdot\text{s}$. (Javob: $\sigma = 8 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$).
5. Xususiy yarimo'tkazgich Ge germaniyning 300 K haroratdagi solishtirma qarshiligi $\rho = 0,43 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$. germaniyda elektron va kovaklar harakatchanligi mos ravishda 0,39 и 0,19 $\text{m}^2 / (\text{V}\cdot\text{s})$. Elektron va kovaklar xususiy konsentratsiyasini aniqlang. (Javob: $n_i = 2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$)
6. $T = 300 \text{ K}$ haroratda elektronlar va kovaklar konsentratsiyasini aniqlang: a) xususiy yarimo'tkazgich kremniyda; b) 1 cm^3 hajmida 5×10^{17} ta Surma atomlari bo'lgan kremniy kristalida.
(Javob: a) $n_i = p_i = \frac{2(2\pi kT)^{3/2}}{h^3} (m_n m_p)^{3/4} \exp(-E_g / 2kT) \approx 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.)
7. 300 K haroratda a) xususiy yarimo'tkazgich germaniyning solishtirma qarshiligini; b) 10^8 ta Germaniy atomiga bitta donor kirishma atomi to'g'ri keladigan donor kirishmali yarimo'tkazgich germaniyning solishtirma qarshiligini aniqlang. (Javob: a) 43,2 Ohm·cm; b) 3,64 Ohm·cm)
8. Kremniy n -tipli namunalarining 300 K haroratdagi solishtirma qarshiliklarini aniqlang. Namunalardagi N_d - donorlar konsentratsiyasi 10^{14} va 10^{18} cm^{-3} .
(Javob: 44,7 Ohm·cm va $44,7 \cdot 10^{-4} \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$)
9. Germaniy namunasiga konsentratsiyasi $N_a = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ alyuminiy atomlari kiritilgan. Ushbu namunaning $T = 300 \text{ K}$ haroratdagi solishtirma o'tkazuvchanligini aniqlang. (Javob: $\sigma = 0,608 \text{ S/cm}$)
10. Xususiy yarimo'tkazgich kremniyning xona haroratidagi solishtirma qarshiligi 2000 Ohm·m va o'tkazuvchanlik sohasida elektronlar konsentratsiyasi $n_i = 1,4 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$. Konsentratsiyasi 10^{21} и 10^{23} m^{-3} akseptor kirishma bilan legirlangan namunalarning solishtirma qarshiligini aniqlang. Kirishma kovaklarning harakatchanligi ($\mu_p = 0,25\mu_n$) xususiy hamda kirishmali kremniyda o'zgarmas qoladi deb taxmin qiling.
(Javob: 0,14 va $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ohm}\cdot\text{m}$)
11. Xususiy yarimo'tkazgich germaniyda 300 K haroratda elektronlar harakatchanligi $\mu_n = 3900 \text{ cm}^2 / (\text{V}\cdot\text{s})$ va kovaklar harakatchanligi $\mu_p = 1900 \text{ cm}^2 / (\text{V}\cdot\text{s})$. Agar namunaning solishtirma o'tkazuvchanligi 0,01 S/cm bo'lsa, elektron-kovak jufti konsentratsiyasini toping. (Javob: $1,08 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$)
12. 300 K haroratda p -tipli Ge germaniy namunasidagi kovaklar va elektronlar konsentratsiyasini aniqlang. Germaniyning solishtirma o'tkazuvchanligi $\sigma_p = 100 \text{ S/cm}$. (Javob: $pp = 3,29 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; $np = 1,9 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$)

3- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICHLARDA TOK TASHUVCHILAR DREYF TEZLIGI VA HARAKATCHANLIGI

Asosiy tushunchalar

1. Elektronlarning dreyf (siljish) tezligi.

Dreyf tezlik (V_d) bu elektronlarning berilgan elektr maydon tasirida bosib o'tgan o'rtacha yo'lining, shu yo'lni bosib o'tish uchun sarflangan vaqtga nisbatiga teng bo'ladi.

Dreyf tezlik = $\frac{\text{elektron bosib o'tgan o'rtacha yo'l}}{\text{sarflangan vaqt}}$, ya'ni $v_d = \frac{\lambda}{t}$, [m·s⁻¹]

2. Dreyf tok zichligi:

- elektronlar uchun $j_{nE} = qn\mu_n E$,

- kovaklar uchun $j_{pE} = qn\mu_p E$,

bu yerda, E - elektr maydon kuchlanganligi.

3. Yarimo'tkazgichlarda to'la tok qonuni:

– n –tipli yarimo'tkazgichlarda $j_n = j_{nE} + j_{nD} = q\left(n\mu_n E + D_n \frac{dn}{dx}\right)$

– p –tipli yarimo'tkazgichlarda $j_p = j_{pE} + j_{pD} = q\left(p\mu_p E + D_p \frac{dp}{dx}\right)$

4. Elektron va kovaklar uchun diffuziya uzunligi;

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad \text{va} \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

bu yerda, τ_n , τ_p , – turg'un bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti, L_n , L_p -diffuziya uzunligi, D_n , va D_p – mos ravishda elektronlar va kovaklarning diffuziya koeffitsiyenti.

Mavzuga doir masalalar

1. Uncha katta bo'lmagan konsentratsiyali noasosiy tok tashuvchilar bir jinsli yarimo'tkazgich kristalning bir nuqtasiga kiritildi. Kristal kesimi bo'ylab 10 V/cm elektr maydon berildi va bunda noasosiy tok tashuvchilar 1 cm masofaga 20 μ s da ko'chdi. Bu jarayonda harakatchanlik (cm²/V·s) qanchaga teng bo'ladi?

Berilgan:

Elektr maydon kuchlanganligi $E=10$ V/cm

Noasosiy tashuvchi bosib o'tgan masofa 1 cm.

Sarflangan vaqt 20 μ s.

μ – ?

Yechilishi:

Shunday qilib,

$$\text{Noasosiy tok tashuvchilar tezligi} = \frac{\text{bosib o'tgan masofa}}{\text{sarflangan vaqt}} = \frac{1\text{cm}}{20\mu\text{s}} = 50,000\text{cm/s}$$

Siljish(dreyf) tezlik $v_d=\mu E$ bundan harakatchanlik,

$$\mu = v_d/E = 50,000/10 = 5,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}.$$

$$\mu = 5,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}.$$

Javob: $\mu = 5,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.

2. Elektronlarning kremniydagi siljish (dreyf) tezligi qanday?

Yechilishi:

Drift tezligi elektr maydoniga mutanosibdir.

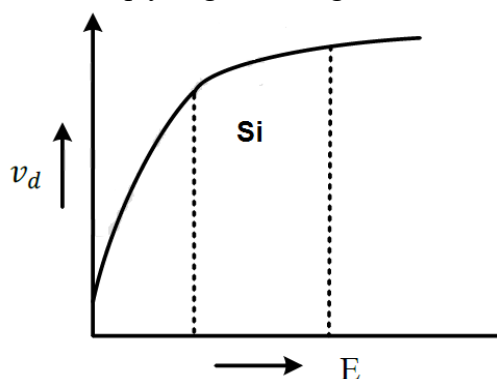
$$v_d \propto E,$$

$$v_{dn} \propto \mu_n E \text{ (elektronlar uchun siljish(dreyf) tezlik)}$$

$$\text{Bu yerda } \mu_n = q\tau_c / m_n$$

Bu yerda τ_c to'qnashuvlar orasidagi o'rtacha vaqt.

Si uchun quyidagi racmdagi ko'rinishda bo'ladi:



E elektr maydon kuchlanganligining kichik qiymatlari uchun μ_n doimiy bo'lib qoladi va siljish tezligi E ga mutanosib bo'ladi, ammo E juda yuqori bo'lganda, berilgan racmda ko'rsatilgandek siljish tezligi to'yingan bo'ladi.

3. Yarim o'tkazgichlarda dreyf tok nimalarga bog'liq bo'ladi.

Yechilishi: Dreyf tok quyidagiga teng bo'ladi,

$$I_d = nq\mu_n E$$

Yuqoridagi munosabatdan ko'rinadiki, dreyf tok elektr maydoniga va tok tashuvchilarning konsentratsiyasiga bog'liq ekan.

Javob: elektr maydoniga, hamda tok tashuvchining konsentratsiyasiga bog'liq.

4. Germaniy namunasida donorlar konsentratsiyasi $N_d = 2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$. Elektronning effektiv massasi $m_e^* = 1.57m_0$, donorlar sochilish markazi radiusi $r = 5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$. 300 K haroratda o'tracha erkin yugurish yo'lining uzunligi va to'qnashishlar orasidagi o'rtacha vaqt nimaga teng? Elektronlar harakatchanligini aniqlang?

Berilgan:

$$N_d = 2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

$$m_e^* = 1.57m_0$$

$$r = 5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$$

$$\lambda - ? \quad \tau - ? \quad \mu - ?$$

Yechilishi:

Erkin yugurish yo'lining uzunligi $\lambda = 1/(N\pi r^2)$, bu yerda r - sferik markaz radiusi, N - zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi.

$$\lambda = 1/(N\pi r^2) = 1/(2 \cdot 10^{20} \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 10^{-16}) = 0.64 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

to'qnashishlar orasidagi o'rtacha vaqt $\tau = \frac{\lambda}{v}$ ifoda bilan aniqlanadi. Bu yerda v -

elektronlarning o'rtacha tezligi.

Ma'lumki elektronlar kinetik energiyasi $\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ tengligidan, to'qnashishlar orasidagi

vaqt

$$\tau = \lambda \left(\frac{m^*}{3kT} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.64 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1.57 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}}{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.69 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

Elektronlar harakatchanligi $\mu = \frac{q\tau}{m^*} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.69 \cdot 10^{-11}}{1.57 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}} = 0.77 \text{ m}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ga teng bo'ladi.

Javob: $\lambda = 0.64 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, $\tau = 0.69 \cdot 10^{-11} \text{ s}$, $\mu = 0.77 \text{ m}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$.

18. Past temperaturali optik tebranishlarda yarimo'tkazgichning temperaturasi 2 marta ortganda zaryad tashuvchilarning harakatchanligi qanday o'zgaradi?

Yechilishi. Past temperaturali optik tebranishlarda yarimo'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning harakatchanligi temperaturaga

$$\mu = \mu_0 T^{-1/2}$$

qonun bo'yicha bog'langan. Shuning uchun

$$\mu_2 / \mu_1 = (T_2 / T_1)^{-1/2} = 0.7.$$

Qo'shimcha masalalar

1. Germaniy namunasiga kuchlanganliklari $E = 10, 100$ и 1000 V/cm bo'lgan tashqi elektr maydoni qo'yilsa, 300 K haroratda germaniyda elektronlar va kovaklarning o'rtacha dreyf tezligini aniqlang.
(Javob: elektronlarning o'rtacha tezligi $390, 39 \times 10^2$ и $39 \times 10^3 \text{ m/s}$; kovaklarniki $190, 19 \times 10^2$ va $19 \times 10^3 \text{ m/s}$)
2. Germaniy namunasining 1 m^3 hajmida 10^{20} ta donor atomlari va $7 \cdot 10^{19}$ ta akseptor atomlari mavjud. Xona haroratida xususiy germaniyning solishtirma qarshiligi $0.6 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$. Agar namunaga maydon kuchlanganligi 200 V/m bo'lgan elektr maydoni tushirilsa, to'la dreyf toki oqimi zichligini aniqlang. Elektronning harakatchanligi $\mu_n = 0.38 \text{ m}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$, teshiklarning harakatchanligi $\mu_p = 0.18 \text{ m}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$. (Javob: 524 A/m^2)
3. Uchlariga 6 V potentsial farqi berilgan, uzunligi 5 cm va ko'ndalang kesimi $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ bo'lgan kremniy bo'lakchasi orqali oqib o'tadigan dreyf tokining qiymatini aniqlang. Kremniy n -tipli o'tkazuvchanlikka ega. O'tkazuvchanligi bo'lgan elektronlarning konsentratsiyasi 10^{22} m^{-3} , xususiy tok tashuvchilarining konsentratsiyasi $2.05 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$. Harorat $T = 300 \text{ K}$. Bu haroratda elektronlar va teshiklarning diffuziya koeffitsientlari mos ravishda $0.31 \cdot 10^{-2}$ va $0.065 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. (Javob: 0.576)
4. Solishtirma qarshiligi $5 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ bo'lgan kremniy p -tipli kristali orqali kattaligi 10 mA/cm^2 bo'lgan dreyf toki oqib o'tadi. Teshiklar va elektronlarning o'rtacha dreyf tezligini toping. (Javob: 25 va 70 cm/s)
5. Xona haroratida ($T = 300 \text{ K}$) kremniy monokristalidagi elektronlar va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 1400$ va $\mu_p = 500 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ni tashkil qiladi. Shu haroratda elektronlar va teshiklarning diffuziya koeffitsientlarini aniqlang. (Javob: $36,1$ va $12,9 \text{ cm}^2/\text{s}$)
6. Germaniyning n -tipli namunasida xona haroratida donor kirishmalar konsentratsiyasi ($T = 300 \text{ K}$) $N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ga teng. Agar ularning yashash vaqti $\tau_n = 50 \text{ } \mu\text{s}$ bo'lsa, pn qiymatini va L_n elektronlarining diffuziya uzunligini aniqlang. (Javob: $pn = 6.25 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; $L_n = 7.1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$)
7. Agar Ge germaniyda elektronlarning diffuziya uzunligi $L_n = 0,15 \text{ cm}$ va diffuziya koeffitsienti $D_n = 93 \text{ cm}^2/\text{s}$ bo'lsa, $T=300 \text{ K}$ haroratda elektronlarning yashash vaqti τ_n va harakatchanligini aniqlang.

- (Javob: $\tau_n = 242 \mu\text{s}$; $\mu_n = 3600 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
8. Agar kremniyda teshiklar uchun diffuziya uzunligi $L_p = 0.07 \text{ cm}$ va kirishma akseptorlar konsentratsiyasi $N_a = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ bo'lsa, xona haroratida p -tipidagi kremniyda kovaklarning yashash vaqti τ_p va harakatchanligini aniqlang.
(Javob: $400 \mu\text{s}$; $462 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
9. Agar Germaniyda elektronlarning yashash vaqti $\tau_n = 500 \mu\text{s}$ va harakatchanligi $\mu_n = 3600 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ bo'lsa, xona haroratida germaniyda L_n elektronlarining diffuziya uzunligini va D_n germaniyni diffuziya koeffitsientini aniqlang.
(Javob: $L_n = 21 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$; $D_n = 93 \text{ cm}^2/\text{s}$)
10. Agar kremniyda elektronlarning diffuziya koeffitsienti $D_n = 31 \text{ cm}^2/\text{s}$ bo'lsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda elektronlarning harakatchanligini aniqlang.
(Javob: $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)

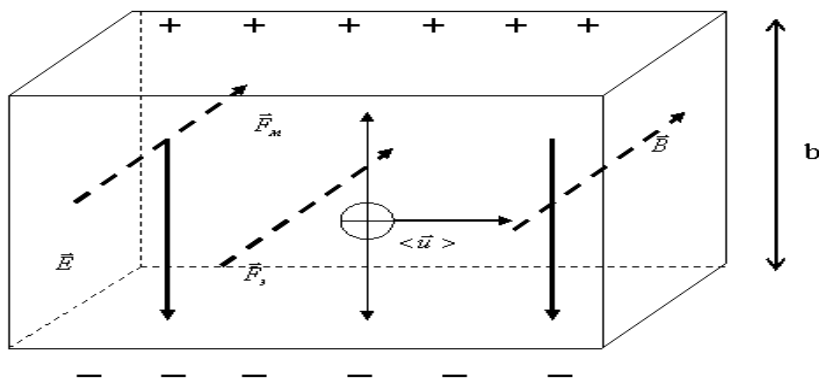
4- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICHLARDA XOLL EFFEKTI

*** Xoll xodisasi yordamida zaryad tashuvchilar zichligini va ishorasini aniqlashimiz mumkin.

**** Metall o'tkazgich plastinkasini undagi oqayotgan tok yo'nalishiga ko'ndalang yo'nalgan magnit maydonga joylashtirsak, o'tkazgichning yon tomonlarida potensiallar farqi paydo bo'ladi – **bu Xoll effekti (xodisasi) deyiladi.**

1. Agar yarimo'tkazgich yoki o'tkazgich magnit maydonga (B) joylashtirilsa va tok (I) o'tkazilsa, elektr maydoni, ham oqim, ham magnit maydon uchun normal bo'lgan yo'nalishda ishlab chiqariladi. Generatsiyalangan kuchlanish (V_H) kuchlanish deb va maydon (E_H) esa **Xoll elektr maydoni** deb nomlanadi.



1-rasm. Xoll effektini hosil bo'lishi.

Xoll effektini mazmuni quyidagidan iborat: Metall o'tkazgich plastinkasini undagi oqayotgan tok yo'nalishiga ko'ndalang yo'nalgan magnit maydonga joylashtirilsa (ris.13.5), o'tkazgichning yon tomonlarida potensiallar farqi paydo bo'ladi – **bu Xoll effekti deyiladi** va uning kattaligi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_H = R_H b j B \text{ yoki } U_H = \frac{b j B}{n e}$$

Bu erda b – plastinka qalinligi; j – tok zichligi; V -magnit induksiyasi; R_H – Xoll doimiysi:

$$R_H = \frac{1}{n e}, \text{ bunda } n \text{ – metall plastinadagi elektronlar miqdori (konsentratsiyasi).}$$

Xoll effekti metalda elektronlarning harakatidan hosil bo‘lgan tokka Lorens kuchlarini ta‘sirini ifodalaydi. Tokning yo‘nalishi elektronlar harakati yo‘nalishiga qarama – qarshidir. SHuning uchun magnit maydonda har bir elektronga plastinkaning pastki yoniga yo‘naltirilgan kuch ta‘sir qiladi va u quyidagi kattalikka teng:

$$F_m = e < u > B$$

Natijada metall plastinkaning pastki yonida ortiqcha manfiy zaryadlar hosil bo‘ladi, plastinanining yuqori qismida mos ravishda ortiqcha musbat zaryadlar hosil bo‘ladi. Plastinkaning pastki va yuqori yonlarida potentsiallar farqi U , ya‘ni elektr maydon hosil bo‘ladi. Maydonning kuchlanganligi $E_B = U/b$ ga teng bo‘ladi. Bu maydon tomonidan elektronga ta‘sir qiluvchi kuch yuqoriga yo‘nalgan va uning kattaligi quyidagicha ifodalanadi.

$$F_e = e E_B = e \frac{U}{b}$$

Xoll effekti na faqat metallarda, balki yarimo‘tkazgichlarda, hamda elektrolitlarda ham kuzatiladi. Xollning potentsiallar farqi zaryad tashuvchilarning ishorasiga bog‘liq bo‘ladi. SHuning uchun Xoll effekti yarimo‘tkazgichlarda nafaqat zaryad tashuvchilarning ishorasini aniqlash uchun, balki yarimo‘tkazgichning turini aniqlashda ham keng qo‘llaniladi.

2. Xoll effektidan foydalanishning imkoniyatlari quyidagilar:

1. n -tipli yoki p -tipli ekanligini aniqlash mumkin.

2. Tok tashuvchilar konsentratsiyasini topish mumkin $n = \frac{1.18}{q R_H}$

3. Zaryad tashuvchilar harakatchanligini topish mumkin $\mu = \frac{-\sigma \cdot R_H}{1.18}$

4. Elektr o‘tkazuvchanligini topish mumkin $\sigma = n q \mu$

Mavzuga doir masalalar

1. Harorat 100 K dan 400 K gacha mavjud kremniy namunasining Xoll koeffitsienti $-7.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{C}$ ga teng. Agar o‘tkazuvchanligi $200 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ekanligi ma‘lum bo‘lsa, tok tashuvchi zaryadlar konsentratsiyasi va harakatchanligini hisoblang.

Berilgan:

O‘tkazuvchanligi $\sigma = 200 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Xoll koeffitsiyenti $R_H = -7.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$.

n –? μ –?

Yechilishi:

a) Elektronlar konsentratsiyasi $n = \frac{-1}{R_H e}$ (1)

(1) ifodadan $n = \frac{1}{(7.35 \times 10^{-5} \times 1.6 \times 10^{-19})}$, $n = 8.45 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

b) Biz bilamizki, o'tkazuvchanlik $\sigma = ne\mu_e$ teng bo'ladi.

Yuqoridagi ifodadan harakatchanlik $\mu = \frac{\sigma}{ne}$, $\mu = \frac{200}{8.455 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 0.0147$

$\mu = 0.0147 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Javob: Elektronlar konsentratsiyasi $n = 8.053 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$, harakatchanligi $\mu = 0.0147 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

2. N tipidagi yarimo'tkazgich Xoll koeffitsienti $4.16 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$. O'tkazuvchanligi $108 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Xona haroratida uning n_e zaryad tashuvchilari zichligini va μ_e elektronlari harakatchanligini hisoblang.

Berilgan:

Xoll koeffitsiyenti $R_H = 4.16 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$

O'tkazuvchanligi $\sigma = 108 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.

$n_e - ?$ $\mu_e - ?$

Yechilishi:

1) N tipli zaryad tashuvchilar zichligi $n_e = \frac{-1}{R_H e}$. Bu yerda negativ (-) ishora maydon

yo'nalishini ko'rsatadi.

$$n_e = \frac{3\pi}{8} \frac{-1}{R_H e}, n_e = \left[\frac{3 \times 3.14}{8} \right] \left[\frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 4.6 \times 10^{-4}} \right]$$

$n_e = 1.769 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$

2) Elektronlar harakatchanligi

$$\mu_e = \frac{\sigma_e}{n_e e} = \frac{108}{(1.769 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19})}, \mu_e = 0.0381 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

Javob: $n_e = 1.769 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$, $\mu_e = 0.0381 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

3. N-tipidagi yarimo'tkazgichda elektronlar konsentratsiyasi $2 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ni tashkil qiladi. Uning elektr o'tkazuvchanligi $112 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ga tengdir. Elektronlarning harakatchanligini hisoblang.

Berilgan:

$\sigma = 112 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

$n_i = 2 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$

$\mu - ?$

Yechilishi:

Xoll koeffitsiyenti

$$R_H = \frac{1}{ne} = \frac{1}{2 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 3.125 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}, \sigma = ne\mu, \mu = \frac{\sigma}{ne} = \sigma \cdot R_H$$

$$\mu = \sigma \cdot R_H = 112 \cdot 3.125 \cdot 10^{-4} = 0.035 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

Javob: $\mu = 0.035 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

4. Uzunligi 12 mm, eni 5 mm va qalinligi 1 mm bo'lgan yarimo'tkazgich kristali old tomondan orqa tomonga, yuzasiga perpendikulyar yo'nalgan $0,5 \text{ Vb} \cdot \text{m}^{-2}$ magnit oqimi berildi. Namuna orqali 20 mA tok o'tkazilganda, uning ko'ndalangi (eni) bo'ylab

o'lchangan kuchlanishi $37 \mu\text{V}$ ga teng bo'ldi. Ushbu yarimo'tkazgichning Xoll koeffitsienti nimaga teng?

Berilgan:

Xoll kuchlanishi $U_H = 37 \mu\text{V} = 37 \times 10^{-6} \text{ V}$

Materialning qalinligi $l = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Tok $I_H = 20 \text{ mA} = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$

Magnit oqimi zichligi $B = 0.5 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$

Xoll koeffitsienti $R_H - ?$

Yechilishi:

Xoll koeffitsiyenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$R_H = \frac{U_H l}{I_H B} = \frac{37 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-3} \times 0.5}, \quad R_H = 3.7 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1} \text{ m}^3$$

Javob: $R_H = 3.7 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1} \text{ m}^3$

5. Kremniy namunasi uchun Xoll koeffitsiyenti $3.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$ ga teng. Namunaning solishtirma qarshiligi $8.93 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ bo'lsa, elektronlar harakatchanligi va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi nimaga teng.

Berilgan:

Xoll koeffitsiyenti $R_H = 3.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$.

Solishtirma qarshiligi $\rho = 8.93 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$

$n_h - ?$, $\mu_h - ?$

Yechilishi:

1) Kovaklar konsentratsiyasi

$$n_h = \frac{1}{R_H e} = \frac{1}{3.66 \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19}}, \quad n_h = 1.7 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

2) Kovaklar harakatchanligi

O'tkazuvchanlik $\sigma = \mu_h n e$, ga teng bo'lib, bu yerda $\sigma = \frac{1}{\rho}$ ga teng. Bu ifodadan

harakatchanlik quyidagi ko'rinishga teng bo'ladi

$$\mu_h = \frac{1}{\rho n e} = \frac{1}{8.93 \times 10^{-3} \times 1.7 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19}}, \quad \mu_h = 0.041 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

Javob: $\mu_h = 0.041 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

6. Eni $d = 1 \text{ cm}$ va uzunligi $l = 10 \text{ cm}$ bo'lgan ingichka plastinka shaklida yarimo'tkazgich induktsiyasi $B = 0.2 \text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydoniga joylashtirilgan. Induktsiya vektori plastinka tekisligiga perpendikulyar. Plastinka uchlariga (l yo'nalishida) doimiy kuchlanish $U = 300 \text{ V}$ beriladi, agar Xoll doimiysi $R_H = 0.1 \text{ m}^3 / \text{K}$, solishtirma qarshilik esa $\rho = 0.5 \Omega \cdot \text{m}$ bo'lsa, plastinka qirralari orasidagi U_H potentsiallar farqini aniqlang.

Berilgan:

$d = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$

$l = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$

$B = 0.2 \text{ Tl}$

$U = 300 \text{ V}$

$R_H = 0.1 \text{ m}^3 \text{ K}^{-1}$

$\rho = 0.5 \Omega \cdot \text{m}$

$U_H - ?$

Yechilishi:

Xoll potentsiallar farqi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$U_H = R_H j B d \quad (1)$$

Yuqoridagi formuladagi elektr toki zichligi Om qonuning differensial shakliga ko'ra

$$j = \alpha E = \frac{1}{\rho} E \quad (2)$$

bo'ladi. Yarimo'tkazgich plastinkani yassi kondensator deb, maydon kuchlanganligi potentsiallar farqi bilan quyidagicha bog'langan:

$$E = U/l, \quad (3)$$

(2) va (3) ifodalarni (1) ga qo'yib quyidagini hosil qilamiz

$$U_H = \frac{R_H}{\rho l} U B d \quad (4)$$

Berilgan qiymatlarni (4) formulaga qo'yamiz. $U_H = \frac{0.1 \times 300 \times 0.2 \times 0.01}{0.5 \times 0.1} = 1.2 \text{ V}$.

Javob: $U_H = 1.2 \text{ B}$.

7. Magnit induksiyasi Xoll datchigi bilan o'lchanadi. Datchik itterbiydan qilingan bo'lib Xoll koeffitsienti $35 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}$ ni tashkil qiladi. Agar datchikka 10 V kuchlanish berilsa, $b \times d \times l = 1 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ o'lchamdagi datchik yordamida magnit induksiyasining qanday minimal qiymatini o'lchash mumkin? Itterbiyning solishtirma qarshiligi $30 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$. Registratsiya qiluvchi kuchaytirgich doimiy tokning minimal $1 \text{ } \mu\text{V}$ kuchlanishini o'lchay oladi.

Berilgan:

$$R_H = 35 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{K}$$

$$U = 10 \text{ V}$$

$$U_H = 1 \text{ } \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

$$b \times d \times l = 1 \times 10 \times 10 \text{ mm} = 10^{-3} \times 10^{-2} \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\rho = 30 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$$

$$B_{\min} = ?$$

Yechilishi:

Xoll kuchlanishi quyidagi formula yordamida aniqlanadi

$$U_H = R_H j B d \quad (1)$$

$$(1) \text{ ifodadan } B = \frac{U_H}{R_H j d} \quad (2),$$

bo'ladi, bu yerda tok zichligi quyidagiga teng.

$$j = \alpha E = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l} \quad (3)$$

(3) ifodani (2) ga qo'yib, quyidagi (4) ifodani olamiz

$$B = \frac{U_H \rho l}{R_H U d} \quad (4)$$

Barcha qiymatlarni (4) ifodaga qo'yib hisoblaymiz.

$$B = \frac{10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2}}{35 \cdot 10^{-11} \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 8.6 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

Javob: Ushbu Xoll datchigi yordamida magnit induksiyasining minimal 0.86 mT qiymatini o'lchash mumkin.

Qo'shimcha masalalar

1. Qalinligi 1 mm , eni 10 mm va uzunligi 100 mm bo'lgan Si plastinka qalinligiga perpendikulyar magnit oqimi 0.5 Vb/m^2 bo'lgan magnit maydonga joylashtirilgan. Agar

uzunlik bo'ylab 10^{-2} A tok o'tayotgan bo'lsa, Xoll kuchlanishini aniqlang. Xoll koeffitsienti $3.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{C}$.

(Javob: $3.7 \times 10^6 \text{ C}^{-1} \text{ m}^3$)

2. N tipli yarimo'tkazgich $4.16 \times 10^{-4} \text{ C}^{-1} \text{ m}^3$ Xoll koeffitsientiga ega. O'tkazuvchanligi $108 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Xona haroratida shu yarimo'tkazgichning zaryad tashuvchilari konsentratsiyasini va elektronlari harakatchanligini hisoblang. (Javob: $0.038 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
3. Xoll eksperimentida 25 A tok, qalinligi 0.1 mm va eni 3 cm bo'lgan uzun kumush folga orqali o'tkazildi. Agar magnit maydoni oqim zichligi 0.14 Vb/m^2 bo'lgan maydon folgaga perpendikulyar tushirilsa, Xoll kuchlanishining o'sishini va elektronlarning kumushdagi harakatchanligini hisoblang. O'tkazuvchanlikning Xoll koeffitsienti (-8.4×10^{-11}) m^3/C ga teng.
(Javob: 29.4 V va $57.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

5- AMALIY MASHG'ULOT.

FOTOEFFEKTGA DOIR MASALALAR

Asosiy tushunchalar

Fotoeffekt-yorug'lik ta'sirida jismdan elektronning ajralib chiqishidir. Bu xodisani birinchi bo'lib 1887 yilda G.Gers kuzatgan. Fotoeffekt bo'yicha miqdoriy tekshirishlarni rus fizigi A.G.Stoletov bajardi (1888-1889y). Bunda ikki metall elektroddan biri plastinka shaklida, ikkinchisi esa to'rsimon shaklda yasalgan bo'lib, ular galvanometr zanjiriga ulangan. Qurilma qorong'ilikka joylashtirilganda zanjir bo'ylab elektr tok kuzatilmadi. Lekin katod vazifasini o'tayotgan plastinkaning yoritilishi bilan oq zanjirda tok paydo bo'ladi. Anod vazifasini o'tayotgan to'r yoritilsa, zanjirda elektr tok vujudga kelmaydi. Demak, yorug'lik ta'sirida katod sirtidan manfiy zaryadli zarralar ajralib chiqadi va ular anod tomon harakatlanib, zanjirda elektr tokini hosil qiladi. Bu tok **fototok** deb ataladi. 1898 yilda Leonard va Tomson katoddan ajralib chiqayotgan zarralarning magnit maydonda og'ishiga asoslanib, ularning solishtirma zaryadini aniqladilar. Bu esa katoddan ajralayotgan zarralar elektronlardir degan xulosaga olib keldi.

Fotoeffekt xodisasi plastinka (katod) ning faqat ximiyaviy tarkibigagina emas, balki plastinka sirtining tozalik darajasiga ham bog'liq ekanligi tajribalarda aniqlanadi. SHuning uchun fotoeffekt xodisasini o'rganishda havosi so'rib olingan shisha idish ichidagi katod tekshirilishi lozim bo'lgan metall bilan qoplangan, U odatda, **fotokatod** deb ataladi. Monoxromatik nurlar dastasi shisha idishdagi derazadan o'tib katod sirtiga tushadi. Sxemadagi potentsiometr elektrodlar oasidagi kuchlanishning qiymatlarini hamda ishorasini o'zgartirishga imkon beradi. Kuchlanish voltmeter yordamida, fototok esa galvanometr yordamida o'lchanadi. Yorug'lik oqimi F_1 va F_2 bo'lgan hollar uchun fototokning anod va katod orasidagi kuchlanishga bog'liqligini ifodalovchi egri chiziqlar, ya'ni volt-ampere xarakteristikalari tasvirlangan. Rasmdan ko'rinishicha, elektr maydon tezlatuvchi xarakterga (katodda minus, anodda musbat) ega bo'lganda fototokning qiymati kuchlanishga monand ravishda ortib boradi.

Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab fototok o'zgarmay qoladi, ya'ni to'yinadi. Boshqacha aytganda, fotoelektronlarning barchasi anodga etib keladi. Fototokning bu qiymatini **to'yinish toki** deb ataladi. Lekin fotokatodga tushayotgan yorug'lik oqimi o'zgartirilsa, to'yinish tokining qiymati ham o'zgaradi.

$I_{T_1} < I_{T_2}$, chunki $F_1 < F_2$. Bu tajribalar **fotoeffektning birinchi qonunini** keltirib chiqardi:

muayyan fotokatodga tushayotgan yorug'likning spektral tarkibi o'zgarmas bo'lsa, fototokning to'yinish qiymati yorug'lik oqimiga to'g'ri proporsionaldir (mutanosibdir).

Anod va katod orasidagi kuchlanish nolga teng bo'lgan holda ham fototok mavjud bo'ladi. Hatto, $U < 0$ bo'lgan (ya'ni katod (K)da +, anod (A)da -) hollarda ham fototok kuzatiladi. Bunday hollarda katoddan anodga tomon harakatlanayotgan fotoelektronlar maydon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Bu ish fotoelektronlarning kinetik energiyasi evaziga bajariladi. Agar elektr maydon etarlicha kuchli bo'lmasa, fotoelektronlarning anodga etib bormasdan o'z energiyalarini sarflab qo'yadi. Natijada zanjirdagi fototok to'xtab qoladi. Bu holga mos keluvchi tormozlovchi kuchlanishning qiymati **$U_{to'xt}$ ni to'xtatuvchi kuchlanish (bazan to'xtatuvchi potentsial)** deb ham ataladi.

Mavzuga doir masalalar

1. $Ga_{1-x}Al_xAs$ namunasining taqiqlangan sohasi kengligi $x = 0,6$ bo'lganda $1,8$ eV ga teng bo'ladi. Ushbu materialdan yasalgan quyosh elementida fotoelektrik generatsiya sodir bo'lishi uchun zarur bo'lgan yorug'likning optimal to'lqin uzunligi topilsin.

Berilgan:

$$E_g = 1,8 \text{ eV}$$

$\lambda = ?$

Yechilishi:

Optimal to'lqin uzunligi quyidagi munosabatdan aniqlanadi

$$E_g = h\nu \quad (1)$$

Bu yerda, ν – yorug'likning optimal chastotasi; h – Plank doimiysi; E_g – taqiqlangan soha kengligi.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Bu yerda λ – tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligi.

(2) ifodani (1) ga qo'yasak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

$$(3) \text{ ifodadan } \lambda = \frac{hc}{E_g} \quad (4)$$

Berilganlarni o'rniga qo'yib hisoblaymiz,

$$\lambda = \frac{6.62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.8 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 2.29 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad \lambda = 0.229 \mu\text{m}$$

Javob: $\lambda = 0.229 \mu\text{m}$

Qo'shimcha masalalar

1. Quyosh elementi materialining taqiqlangan soha kengligi $E_g = 1.6$ eV bo'lsa, ushbu quyosh elementida fotoelektrik generatsiya uchun optimal nurlanish to'lqin uzunligini aniqlang? (Javob: $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$)
2. Agar berilgan quyosh elementi fotoelektrik generatsiyasi uchun optimal nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 1.02 \mu\text{m}$ bo'lsa, fotoelement materialining taqiqlangan sohasining kengligini aniqlang. (Javob: $E_g = 1,23$ eV)
3. Germaniy (Ge) elementining taqiqlangan soha kengligi $0,6$ eV. Ge dan tayyorlangan quyosh elementining fotoelektrik generatsiyasi uchun optimal nurlanish to'lqin uzunligini aniqlang. (Javob: $\lambda = 2 \mu\text{m}$)
4. CdTe materiali taqiqlangan sohasining kengligi $1,4$ eV ga teng. CdTe quyosh batareyasi fotoelektrik generatsiya uchun nurlanishning optimal to'lqin uzunligini aniqlang. (Javob: $\lambda = 0,89 \mu\text{m}$)

5. Kremniyning taqiqlangan soha kengligi $E_g = 1,1$ eV. Kremniyli quyosh elementida fotoelektrik generatsiya uchun optimal nurlanish to'liq uzunligini hisoblang. (Javob: $\lambda = 1,13$ μm)
6. CdS uchun taqiqlangan soha kengligi 2.4 eV ga teng. CdS asosidagi quyosh elementida fotoelektrik generatsiya sodir bo'lishi uchun yorug'likning optimal to'liq uzunligini aniqlang. (Javob: $\lambda = 0,52$ μm)
7. $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ($0 < x < 0.34$) uchun taqiqlangan soha kengligi $E_g = 1,4 - 1,9$ eV. $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ quyosh batareyasida $x_1 = 0$ va $x_2 = 0.34$ bo'lganda fotoelektrik generatsiya uchun yorug'likning optimal to'liq uzunligini hisoblang. (Javob: $\lambda_1 = 0,88$ μm , $\lambda_2 = 0,65$ μm)
8. $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ uchun taqiqlangan soha kengligi $0.34 < x < 1.0$ da 1,9 eV dan 2,2 eV gacha o'zgaradi. Ushbu yarim o'tkazgichdan tayyorlangan quyosh batareyasi fotoelektrik generatsiyasi uchun optimal to'liq uzunlik hisoblansin. (Javob: $\lambda_1 = 0,65$ μm ; $\lambda_2 = 0,56$ μm)
9. Quyidagi yarimo'tkazgichlardan qaysi biri shaffof, qisman shaffof, ko'rinadigan yorug'lik uchun shaffof emas ($\lambda = 0.4-0.7$ μm): Si, GaAs, GaP va GaN?

6- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICHLI FOTOELEMENTLARNING VAX

Asosiy tushunchalar

VAX tenglamasi:

$$j = q \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) = j_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right),$$

bu yerda j - p - n - o'tish orqali o'tadigan tokning zichligi, U - p - n - o'tishga berilgan tashqi kuchlanish,

Mavzuga doir masalalar

1. Xona haroratida p - n o'tishga 0.15 V to'g'ri kuchlanish berilganda to'g'ri tokning qiymati 1.66 mA ga teng bo'ldi. Ushbu p - n o'tish orqali teskari kuchlanish berilsa, tok nimaga teng bo'ladi?

Berilgan:

$$U_a = 0.15 \text{ V}$$

$$I = 1.66 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_0 = ?$$

Yechilishi:

$$I = I_0 [\exp(qU_a / kT) - 1]$$

$$1.66 \text{ mA} = I_0 [\exp(0.15 / 0.026) - 1]$$

$$I_0 = \frac{1.66 \times 10^{-3}}{[\exp(0.15 / 0.026) - 1]} \approx 4.6 \times 10^{-6} \text{ A}$$

Teskari yo'naltirilgan tok $I_0 = 4.6$ μA

Javob: $I_0 = 4.6$ μA

2. Xona haroratida Si kremniy asosidagi p^+ - n o'tishidan 0.9 nA/cm² teskari tok o'tadi. Agar $N_d = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 1.05 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, va $\mu_p = 450 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ bo'lsa, noasosiy tok tashuvchilar yashash vaqtini hisoblang.

Berilgan:

$$j=0.9 \text{ nA/cm}^2$$

$$N_d = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_i = 1.05 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_p = 450 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$kT/e=26 \text{ mV}$$

$$\tau_p - ?$$

Yechilishi:

$p^+ - n$ o'tish uchun tok,

$$j_s = \frac{eD_p p}{L_p} = \frac{eD_p n_i^2}{N_d L_p} = \frac{en_i^2}{N_d} \left(\frac{D_p}{\tau_p} \right)^{1/2}$$

va harakatchanlik $\mu = \frac{eD}{kT}$ Eynshteyn formulasidan foydalanib quyidagini hosil qilamiz.

$$j_s = \frac{en_i^2}{N_d} \left(\frac{\mu kT}{e \tau_p} \right)^{1/2} \text{ bundan } \tau_p = \frac{en_i^4 \mu kT}{N_d^2 j_s^2},$$

$$\tau_p = \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 \times (1.05 \times 10^{10})^4 \times 450 \times 0.026}{(10^{15})^2 \times (0.9 \times 10^{-9})^2} = 4.5 \times 10^{-9} \text{ s.}$$

Javob: $\tau_p = 4.5 \times 10^{-9} \text{ s.}$

3. Harorat 20 °C dan 50 °C oshganda Si kremniy asosidagi $p - n$ o'tishning teskari toki qanday o'zgaradi. Xuddi shuningdek Ge germaniy asosidagi $p - n$ o'tishlarda ham aniqlang. Si va Ge ning taqiqlangan soha kengligi mos ravishda 1.12 va 0.66 eV.

Berilgan:

$$E_{g1}=1.12 \text{ eV}$$

$$E_{g2}=1.12 \text{ eV}$$

$$T_1=293 \text{ K}$$

$$T_2=323 \text{ K}$$

$$j_s(T_2)/j_s(T_1) \text{ (Si)} - ?$$

$$j_s(T_2)/j_s(T_1) \text{ (Ge)} - ?$$

Yechilishi:

Tok quyidagiga teng

$$j_s \sim n_i^2 \sim T^3 \exp(-E_g/kT),$$

bundan turli T_1 va T_2 harorat uchun yozamiz

$$j_s \sim T_1^3 \exp(-E_g/kT_1)$$

$$j_s \sim T_2^3 \exp(-E_g/kT_2)$$

toklar nisbatini

$$\frac{j_s(T_2)}{j_s(T_1)} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^3 \exp \left(-\frac{E_g}{kT_2} + \frac{E_g}{kT_1} \right) \text{ hosil qilamiz.}$$

$$\frac{j_s(T_2)}{j_s(T_1)} \text{ (Si)} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^3 \exp \left(-\frac{E_g}{kT_2} + \frac{E_g}{kT_1} \right) = 82$$

$$\frac{j_s(T_2)}{j_s(T_1)} \text{ (Ge)} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^3 \exp \left(-\frac{E_g}{kT_2} + \frac{E_g}{kT_1} \right) = 15$$

Javob: Teskari toklar nisbatlari Si va Ge asosidagi $p - n$ o'tishlar uchun mos ravishda 82 va 15 ga tengdir.

4. 300 K haroratda $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ va $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ konsentratsiyaga ega Si asosidagi $p^+ - n$ o'tish berilgan. Noasosiy tok tashuvchi kovaklarning diffuziya koeffitsiyenti $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$

va noasosiy tok tashuvchi kovaklar yashash vaqti $\tau_p = 100$ ns. O'tishning ko'ndalang kesim yuzi $A = 10^{-4}$ cm². Teskari to'yinish toki ($I_s = AJ_s$) ni xisoblang. Shuningdek $V_a = 0.5$ V kuchlanishda to'g'ri yo'nalishdagi tokni xisoblang.

Berilgan:

$$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\tau_p = 100 \text{ ns}$$

$$V_a = 0.5 \text{ V}$$

$$I_s = ?$$

$$I = ?$$

Yechilishi:

Ushbu p - n o'tishda $N_A \gg N_D$ bo'lganligi o'tishning asimmetrik ekanligini bildiradi va umumiy tok asosan o'tishning kuchli legirlangan tomoni hisobiga bo'ladi. To'yinish toki zichligi quyidagicha ifodalanadi:

$$J_s = \frac{qD_p p_{n0}}{L_p},$$

$$\text{Bu yerda } L_p = (D_p \cdot \tau_p)^{1/2} = 1.095 \times 10^{-3} \text{ cm} \text{ va } p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D} = 2.25 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}.$$

$$J_s = 3.9492 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2,$$

$$I_s = -AJ_s = -3.9492 \times 10^{-15} \text{ A}.$$

$V_a = 0.5$ V to'g'ri kuchlanish berilganda tok quyidagiga teng:

$$I = I_s (e^{qU_a/kT} - 1) = 8.93 \mu\text{A}$$

$$\text{Javob: } I_s = -3.94 \times 10^{-15} \text{ A}, I = 8.93 \mu\text{A}.$$

Qo'shimcha masalalar

1. $I_s = 10^{-8} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ bo'lgan hol uchun p - n o'tishning qorong'i volt-ampere xarakteristikasi (VAX) tenglamasi yozilsin. (Javob: $I = 10^{-8} [\exp(eV/kT) - 1]$.)
2. $I_s = 10^{-8} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ bo'lganda, quyosh elementining VAX chizig'ini $U = 2$ V ga hisoblang va 15...20 ta nuqtadan foydalanib chizing.
3. Agar kremniy asosidagi quyosh batareyasiga 1 kVt/m^2 nurlanish tushayotgan bo'lsa, ushbu batareya 120°C gacha qiziganda, batareyaning I_q necha marta o'zgaradi. Quyosh elementining dastlabki harorati 50°C . (Javob: 1,059 marta ortadi)

7- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICHLI QUYOSH ELEMENTINING F.I.K. NI ANIQLASHGA DOIR MASALALAR

Asosiy tushunchalar

Quyosh elementlarining eng muhim parametri foydali ish koeffitsienti (FIK)- η . Uning qiymati yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirilishi samaradorligini belgilab beradi. Uning qiymati quyosh elementidan ajralayotgan quvvatning tushayotgan yorug'lik oqimiga nisbatidan aniqlanadi.

$$\eta = \frac{U_m \times I_m}{\Phi_T} = \frac{FF \times U_{sy} \times I_{qt}}{\Phi_T} \quad (11)$$

Bu yerda U_m , I_m quyosh elementi nagruzka tok kuchi va kuchlanishi, Φ_T - quyosh elementlari yuzasiga tushayotgan energiya.

Quyosh elementi va quyosh batareyasining foydali ish ko'effitsientini (F.I.K.) aniqlash uchun tushayotgan optik nurlanish energiyasining miqdorini va element yoki batareya ishlab chiqargane lektr energiyasining miqdorini bilish zarur. F.I.K.ni aniqlash uchun quyida keltirilgan masalalarni yechish kerak bo'ladi.

1. Quyosh nurlanishi atmosfera holatiga va uning vaqt davomida tez o'zgarishiga olib kelganligi uchun, uning spektral tarkibini va quvvatini aniq o'lchash kerak.
2. Birinch punktni hisobga olgan holda aniq quyosh xarakteristikasini qaytara oladigan imitatorlar (quyoshdan tarqalayotgan optik nurlariga o'xshash nurlar paydo qila oladigan qurilmalar) yasash ilmiy texnik muammo bo'lib qolmoqda.
3. Imitatorlarda taqqoslash uchun ishlatiladigan parametrlari vaqt davomida stabil o'zgarmaydigan kerakli spektral sezgirlikka va diapazonga ega bo'lgan QE ishlab chiqish uchun materialning optik va elektrofizik xususiyatlarini hisobga olgan holda tanlash lozim.
4. Quyosh elementlari va batareyalarining elektrik parametrlarini o'lchash davomida o'lchov asboblarning ketma-ketlik qarshiligining ta'sirini hisobga olish zarur.

Quyosh elementi F.I.K.ni

$$\eta = I_{qt} U_{sy} 100\% / E_{pad} S$$

formuladan aniqlash mumkin (S-QE yuzasi, sm^2 larda olinadi)

5. Quyosh elementlari va batareyalarining elektrik parametrlarini o'lchash davomida o'lchov asboblarning ketma-ketlik qarshiligining ta'sirini hisobga olish zarur.

Xulosa kilib aytganda, quyosh elementlari va batareyalarining F.I.K.ni aniqlash bu murakkab kompleks masala bo'lib, uni alohida o'rganish lozim bo'ladi.

Quyosh elementlarining asosiy o'lchanadigan parametri bu optik nurlanish tushish davomida yuklanma ulanganida o'lchanadigan volt-ampere xarakteristikasidir va uning yordamida keyin quyida keltirilgan parametrlar topiladi;

1. QE ishlab chiqarayotgan quvvat $R = U_{opt} I_{opt}$ hisoblash mumkin,
2. Salt yurish kuchlanishining o'lchangan (U_{xx}) qiymatiga asosan YAO material man qilingan sohasining tuzilmada ishlatish samaradorligini aniqlash mumkin,
3. Elementning qisqa tutashuv toki va to'ldirish ko'effitsienti (I_{kz} va ξ) asosida tuzilmadagi optik va fotoelektrik yuqotishlar haqida ma'lumot olish mumkin,
4. Quyosh elementi F.I.K.ni $\eta = I_{kz} U_{xx} 100\% / E_{pad} S$ formuladan aniqlash mumkin (S-QE yuzasi, sm^2 larda olinadi).

Quyosh elementi foydali ish ko'effitsientini aniqlanish darajasi elementga tushayotgan optik nurlanishning energiyasini aniqlashga bog'lik buladi. Elementga tushayotgan nurlanish energiyasini o'lchash usullaridan biri oldindan gradirovka qilingan etalon QE yordamida o'lchashdir. Etalon uchun muljallangan QE ni gradirovka qilish uchun qisqa tutashuv toki I_{kz} ning absolyut qiymatini topish kerak. Buning uchun mutlaq spektral sezgirlikni standart atmosferadan tashqari uchun yoki Er sharoiti uchun nurlanish spektriga qayta hisoblash kerak. Quyosh elementi, batareyasi parametrini o'lchashni laboratoriya sharoitida, Er va koinot sharoitlarida o'lchash usullari mavjud.

Quyosh elementlari p-n turli yarimo'tkazgichli materiallardan tashkil topgan. Quyosh nurlanishi yarimo'tkazgichli material strukturasi yutib elektron-kovaklar juftligini hosil qiladi, so'ngra p-n o'tish orqali ajratilib element old va orqa yuzasidagi metall kontaktlarda yig'iladi.

Quyosh elementlarini ommaviy ravishda ishlab chiqarish uchun asosiy material sifatida hanuzgacha kristall kremniy hisoblanadi. Hamma quyosh elementlarining 80% dan ortig'i u asosida tayyorlangan tagliklardan iborat bo'ladi. Quyosh nurlanishini yaxshi yutish qobiliyatiga ega bo'lmasada u boshqa yarimo'tkazgich materiallarga qaraganda **qator afzalliklarga ega:**

- 1). Kremniy Er yuzasida kremniy oksidi shaklida keng tarqalgan.

2). Kremniy zararli va faol element bo'lgani uchun atrof muhitga zarar keltirmaydi.

3). Mikroelektronika sanoatida kremniy texnologiyasi yaxshi o'rganilgan.

Kremniyli quyosh elementlarining amaliyotdagi samaradorligi 10-19% atrofidadir. Uning yupqa plenkali kaskad quyosh elementlarini tayyorlashda ham ishlatiladi. Bu materiallarning kamchiligi vaqt o'tishi, harorat ortishi, yuzasining changlanishi bilan xarakteristikalarining yomonlashishidir, shuningdek yuqori texnologiyalik, ishlab chiqarishdagi chiqimlilik ham hisoblanadi.

Quyosh fotoelektrik panellari quyosh nurlanishining bir qismini doimiy elektr tokiga o'zgartirib fotoelektrik stansiyaning asosiy qismi hisoblanadi. Quyosh elementlari bir biri bilan ulangan holda modullarni (panellarni), modullar bir biri bilan ulanib yirik fotoelektrik stansiya hosil qiladi.

Hozirgi vaqtda quyosh fotoelektrik panellarining uchta turi keng tarqalgan:

- monokristall kremniyli;
- polikristall kremniyli;
- yupqa qatlamli

Quyosh nurlanishini elektr energiyasiga yuqori samarador o'zgartiruvchi bu monokristall kremniy asosidagi quyosh panellari hisoblanadi: ularning FIK amaliyotda 18-19,5% ni, yaroqlilik muddati esa 25 yildan kam emas.

Bunday panellarning asosiy materiali monokristall ko'rinishidagi toza kremniy bo'lib kremniy eritmasidan sekin tortib olinib o'stiriladi. Bu jarayon CHoxralskiy qurilmasida amalga oshiriladi. Bunday usul bilan o'stirilgan kremniy sterjenlari qalinligi 0,2...0,4 mkm holatda lazer qurilmasida kesiladi, so'ngra edirish, silliqlash, tozalash jarayonidan so'ng p-n o'tish amalga oshiriladi. Navbatdagi jarayon plastinaning orqa tomoni to'liq metall kontakt bilan qoplanadi, frontal tomoni esa nm qalinlikda lazer qurilmasida kanallar hosil qilinadi va metall to'rtli kontakt yaratilib, himoya qoplamasi yotqiziladi. So'ngra frontal yuzada akslanishni kamaytirish uchun antiakslantirgich himoya qoplamasi uchiriladi. YUqoridagi jarayonlar quyosh elementini tayyorlash bosqichlari hisoblanadi.

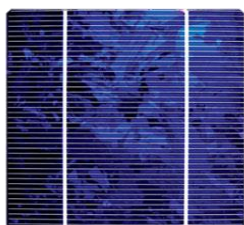
YAKka holdagi quyosh fotoelektrik panellarining quvvati 10...400 Vt ga etishi mumkin. Ushbu turdagi quyosh panellaridan optimal quvvat olish uchun ularning ishchi harorati 15...25 °S atrofida bo'lishi lozim, chunki maksimal quvvat olish faqat ochiq havoda, atrof muhit harorati 25°S, panellarning yunalishi Quyoshga orientatsiyalanganda sodir bo'ladi. Hattoki, kichik bulutlilik mavjudligida ham ularning quvvati 70% gacha kamayadi, to'liq bulutlilik vaqtida 90% gacha ham kamayishi mumkin.

SHuning uchun amaliyot vaqtida monokristall panellardan maksimal quvvat olish uchun ularni quyosh potentsiali yuqori bo'lgan hududlarga o'rnatib Quyosh yunalishini avtomatik kuzatish tizimiga ega moslamalar bilan ta'minlash lozim.

Quyosh elementining xarakteristikalar va parametrlari

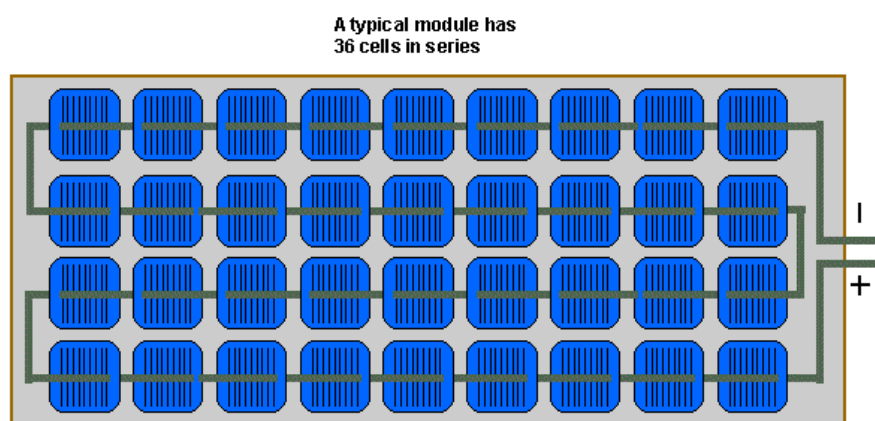
Quyosh elementlari (angl. **Solar cell**)- quyosh optik nurlanishini to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga o'zgartiruvchi yarimo'tkazgichli materiallar hisoblanadi. Quyosh elementlari doiraviy, psevdokvadrat, kvadrat yoki to'g'ri to'rtburchakli shaklda bo'ladi. Psevdokvadrat quyosh elementining standart o'lchamlari: 100x100 mm², 125 x125mm², 156x156 mm², 210x210mm² bo'ladi.

Dunyoda ishlab chiqarilayotgan quyosh batareyalarining 92% dan ortig'i kremniy asosidagi yarimo'tkazgich materiallardan tayyorlanadi. Kremniy quyosh elementi strukturaviy tarkibiga ko'ra kristall va amorf kremniylarga bo'linadi. Kristall kremniy o'z navbatida mono va polikristall kremniylarga bo'linadi (1-rasm).



1-Rasm. Kremniy quyosh elementining turlari. m-Si Cell –monokristall kremniy; p-Si Cell-polikristall kremniy; a-Si Cell-amorf kremniy

Quyosh fotoelektrik batareyalari ketma-ket yoki parallel ulangan QE dan tashkil topadi. Standart holda individual foydalanish uchun mo'ljallangan quyosh batareyalarini 36 ta ketma-ket yoki 72 ta aralash holda ulangan QE hosil qiladi (2-rasm).



2-Rasm. Standart 36 ta QE dan tashkil topgan fotoelektrik batareya

QE yorug'likni yig'ish intensivligiga, kimyoviy tarkibi, qalinligi, qatlamlarning kristallik strukturasi, bitta taglikda birlashtirilgan elementlar miqdoriga ko'ra sinflanadi. QE kristallik tarkibiga ko'ra monokristall, multikristall, polikristall, mikrokristall va nanokristallarga bo'linadi. Monokristall QE yarimo'tkazgich kristall ko'rinishida yutuvchi QE dan tashkil topadi. Multi-, poli-, mikro- va nanokristallik QE o'lchamlari, strukturasi, har xil orientatsiyasiga ko'ra yarimo'tkazgichli kristall yutuvchi modda aralashmasi sifatiga ega, ularning o'lchamlari QE turlarini aniqlaydi. Masalan, o'lchamlari 1 dan 100 mm gacha – multikristall, 1 dan 1000 mkm- polikristall, 1 mkmdan kichik bo'lsa – mikrokristall, 1 nm dan- kichik bo'lsa nanokristall deb nomlanadi.

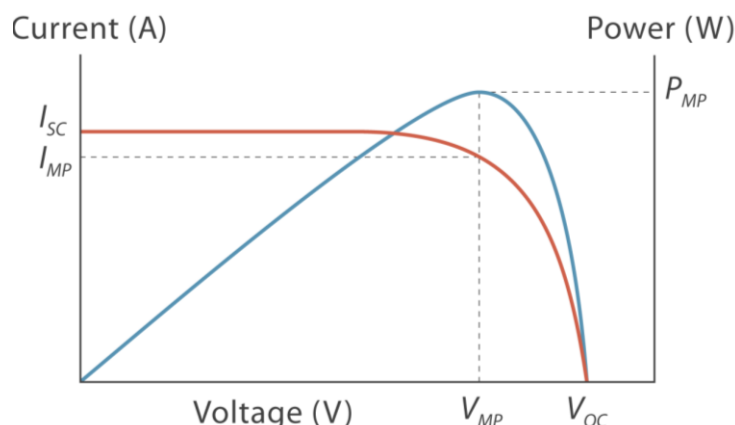
QE yutuvchi material tarkibiga ko'ra kremniyli, $A^{III}V^V$ asosidagi yarimo'tkazgichlar, $A^{II}V^{VI}$ asosidagi yarimo'tkazgichlar, $A^I V^{III}S^{VI}_2$ asosidagi yarimo'tkazgich va aralash turlarga bo'linadi. Qoidaga muvofiq, konstruksiyasining qulayligi va QE FIK oshirish uchun uning qatlamlarining birida yorug'lik yutilishini ta'minlash lozim. Bu yutuvchi qatlam (yutuvchi) deb nomlanadi. Ikkinchi yarimo'tkazgich yorug'lik bilan generatsiya qilingan zaryad tashuvchilarni yig'ish va potensial to'siqni yaratish uchun xizmat qiladi.

QE yorug'lik yutuvchi material qalinligiga ko'ra yupqa plenkali (bir necha mkm) va qalin plenkali (o'n va yuz mkm) turlarga bo'linadi. Yorug'likni yig'ish intensivligiga ko'ra QE birlik va konsentratorli turlarga bo'linadi. Birlik QE faqat egallab turgan yuzaga tushayotgan quyosh nurlanishi oqim zichligi uchun mo'ljallangan bo'lib yorug'lik yig'ish uchun hech qanday maxsus jihozlar bilan ta'minlanmaydi. Konsentratorli QE yorug'lik oqim zichligini element yuzasida bir necha marta oshirishga imkon beradigan konsentratsiyalovchi qurilmalar (linzalar yoki ko'zgular) bilan ta'minlanadi. Qoidaga muvofiq, konsentratorli QE yorug'likni yuqori fotoelektrik o'zgartirish ko'rsatkichlariga ega qimmat yorug'lik yutuvchan materiallardan tayyorlanadi. Bunday QE belgilanishida Quyoshlarda (suns) o'lchanadigan yorug'lik yig'ish koeffitsientlari ko'rsatiladi.

QE volt-ampere xarakteristikasi QE chiqish tokining kuchlanishga bog'liqligini ko'rsatadi (3-rasm). VAX o'zgarishi QE tushayotgan yorug'lik oqimi kattaligi va spektral tarkibiga bog'liq.

QE va FEB ning asosiy parametrlariga quyidagi kattaliklar kiradi: salt yurish kuchlanishi (U_{oc}), qisqa tutashuv toki (I_{sc}), pik (maksimal) quvvati (P_{pik}), nominal quvvat

(P_n), foydali ish ko'effitsienti (η), maksimal quvvatdagi tok (I_{pmax}), maksimal quvvatdagi kuchlanish (U_{pmax}), volt-ampér xarakteristikasini to'ldirish ko'effitsienti (FF), qisqa tutashuv toki zichligi ($J_{s.c}$). Fotoelektrik batareyalarning xarakteristikalariga esa spektral xarakteristika, volt-ampér va volt-vatt xarakteristikasi kiradi.



3-rasm. QE volt-ampér va volt-vatt xarakteristikalari

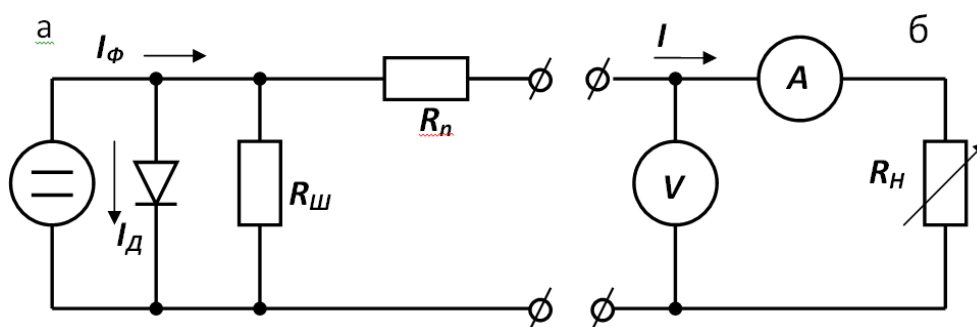
QE asosiy xarakteristikasi hisoblangan volt-ampér xarakteristika (VAX), volt-vatt xarakteristika (VVX) va spektral sezgirlik yarimo'tkazgich materiallarning optik va elektrofizik xususiyatlariga bog'liqdir. Quyosh elementlarining VAX, VVX xarakteristikasini o'lchash uchun quyidagi sxemalardan foydalanildi (4- rasm).

Quyosh elementlarining VAX r-n o'tishli yarimo'tkazgichli diodning VAX dan yangi I_f hadning paydo bo'lishi bilan farq qiladi. I_f – optik nurlanish ta'sirida quyosh elementida generatsiya bo'lgan tokdir. Agar I_d – diod orqali oqayotgan tok va I – tashqi yuklanma orqali oqayotgan tok bo'lsa, u holda,

$$I_{\phi} = I_d + I \quad (1)$$

$$I_d = I_0 + \left(\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right) \quad (2)$$

diodning qorong'ilikdagi xarakteristikasi, I_0 – r-n o'tishning teskari yo'nalishdagi to'yinish toki, q – elektron zaryadi, T – absolyut harorat, k – Bolsman doimiyligi, U – kuchlanish.



4-rasm. Quyosh elementlarining ekvivalent (a) va o'lchash (b) sxemalari

Quyosh elementining birlik yuzasidan olinayotgan quvvat R ni quyidagi tenglamadan baholash mumkin.

$$P = (I_n U_n) = FF I_{kz} U_{xx} \quad (3)$$

bu erda, FF – volt-ampér xarakteristikaning to'ldirish ko'effitsienti, ya'ni VAX shaklining to'g'ri turtburchakka qay darajada yaqinligini ko'rsatadi. To'ldirish ko'effitsienti hozirgi

zamon QE larida (kremniy va galliy arsenidi asosidagi elementlarda) 0,8 va undan kattadir.

Quyosh elementining foydali ish koeffitsientiga harorat, yoritilganlik darajasi, ketma-ketlik va parallellik qarshiliklarining ta'siri

Fotoelektrik batareyalar (FEB) harorati – umuman olganda FEB elektrik parametrlari va samaradorligini aniqlovchi asosiy omillardan biridir. QE haroratning ko'tarilishi ularning taqiqlangan zona kengligining ortishiga va shu jumladan uzun to'liqlik sohada fotojavob spektrining kengayishi hisobiga fototokning bir oz ortishiga olib keladi. Ammo, harorat ko'tarilganda fototokning ortishi salt yurish kuchlanishi va VAX to'ldirish koeffitsientining kamayishini kompensatsiya qilmaydi, natijada to'yinish tokining eksponensial ortishi FIK sezilarli kamayishiga olib keladi. Harorat ko'tarilishi bilan yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zona kengligi kamayadi, yutish chegaralari kichik energiya sohasiga siljiydi. Kremniy va arsenid galliy QE uchun $E_g(T)$ monoton bo'lib quyidagi ifoda yordamida approksimatsiyalanadi:

$$E_g^{Si}(T) = E_g - \frac{4.73 \cdot 10^{-4} T^2}{T+636} \text{ eV} \quad (4)$$

$$E_g^{GaAs}(T) = E_g - \frac{5.405 \cdot 10^{-4} T^2}{T+204} \text{ eV} \quad (5)$$

Bu erda T- QE harorati.

SHuningdek, nol yoritilganlik darajasida QE salt yurish kuchlanishi nolga teng bo'lmaydi. Kremniyli QE uchun uning qiymati standart 25 °S haroratda quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{xx} = \frac{1}{2} \left(\frac{E_g}{q_e} - \frac{3}{2} \frac{kT}{q_e} \right) \approx 0.53 \text{ B} \quad (6)$$

Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yuq bo'lgan sharoitda, ya'ni yoritish bo'lmaganda n-turdan p-turga yarimo'tkazgichning o'tish chegarasida potensial to'siqning shakllanish nazariyasi bilan tasdiqlanadi.

Salt yurish kuchlanishi harorat o'zgarganda qo'yidagi ifodadan topiladi:

$$U_{xx}(T) = U_{xx,0} + \beta(T_0 - T) \quad (7)$$

bu erda, $U_{xx,0}$ — standart haroratda salt yurish kuchlanishi; β — kuchlanish bo'yicha harorat koeffitsienti mV/°S; $T_0 = +25$ °S.

Ba'zi ilmiy adabiyotlarda kuchlanish bo'yicha harorat koeffitsienti QE harorati 25 °S dan har bir gradusga ko'tarilganda chiziqli ravishda -2,3 mV °S⁻¹ ga kamayishi yozilgan.

$$\frac{\partial U_{xx}}{\partial T} \approx -2.3 \text{ mV } ^\circ\text{S}^{-1} \quad (8)$$

Tokning qiymati har xil haroratlarda va yoritilganlikda qo'yidagi ko'rinishga ega:

$$I_{0,H} = I_{K.3} \left(\frac{E_{\Phi 3B}}{E_0} \right) - \alpha \left(\frac{E_{\Phi 3B}}{E_0} \right) (T_0 - T) \quad (9)$$

bu erda $I_{0,H}$ -har xil haroratlarda optimal nuqtada tokning qiymati, A; $I_{K.3} \left(\frac{E_{\Phi 3B}}{E_0} \right)$ –

yoritilganlikka bog'liq holda qisqa tutashuv tokining o'zgarishi; E_0 — standart sharoitda yoritilganlik qiymati $E_0 = 100 \frac{\text{Bt}}{\text{m}^2}$; $E_{\Phi 3B}$ — FEB yuzasiga tushayotgan quyosh

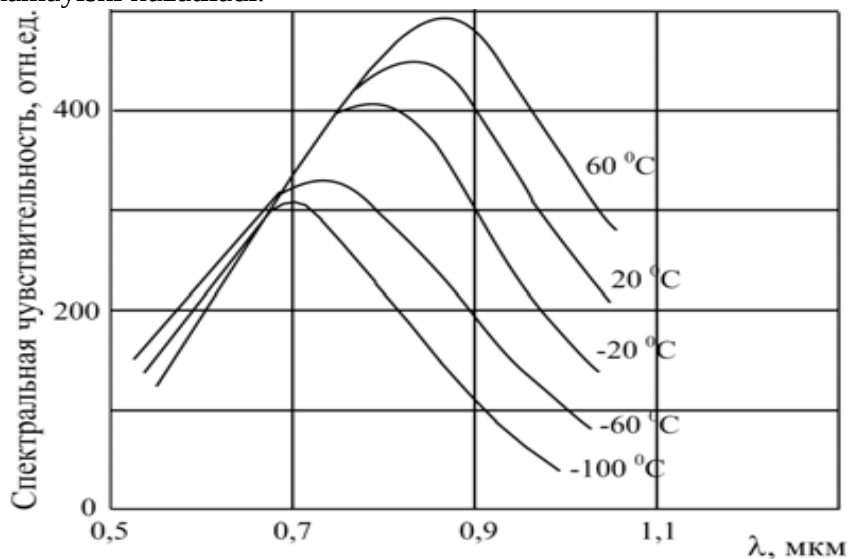
nurlanishi oqim zichligining kunduz vaqtidagi o'rtacha oylik qiymati kVt/m^2 ; α — tok bo'yicha harorat koeffitsienti $mA/^{\circ}S$.

Teskari to'yinish toki I_0 haroratga bog'liq holda qo'yidagi ko'rinishga ega:

$$I_0 = I_{0.H} \exp \left(- \frac{q U_{xx} t}{A_k k (t + 273)} \right) \quad (10)$$

bu erda A_k -diod koeffitsienti.

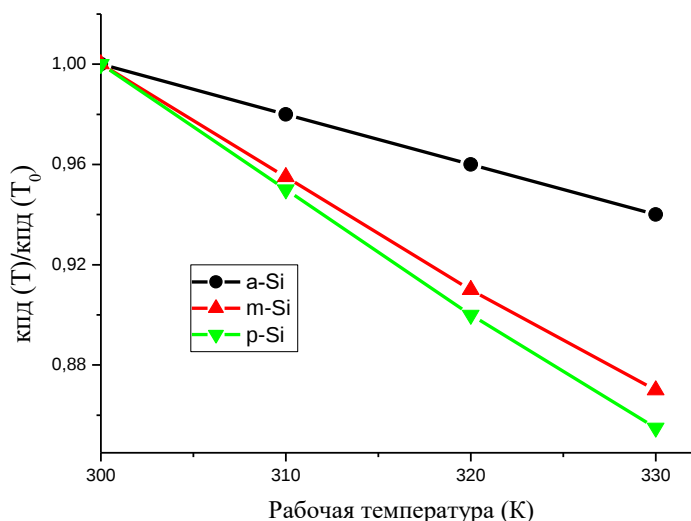
FIK haroratga bog'liq holda, ayniqsa ishchi haroratning keng interval oraliqlarida QE kosmosda va issiq iqlim sharoitida Erda ekspluatatsiya vaqtida salbiy o'zgarishi katta ahamiyat kasb etadi. Masalan, kremniyli QE uzun to'liqlik spektr sohasida spektral sezgirligining keskin kamayishi, (qisqa to'liqlik qismida bir qancha o'sishiga) ular haroratining kamayishi kuzatiladi.



5-rasm. Kremniyli QE spektral sezgirligining haroratga bog'liqligi

QE har xil turlarining haroratga bog'liqlik xarakteristikalarini har xil bog'liqlikga ega. Amorf kremniyli QE parametrlari kristall kremniyli QE ga nisbatan harorat ta'sirida kamroq degradatsiyalanadi (6-rasm). Masalan, kosmos uchun mo'ljallangan arsenid-galliy QE yuqori haroratlarda ($\sim 150^{\circ}S$) ham o'zining samaradorligini saqlab qoladi, shuningdek u radiatsion barqaror element hisoblanadi.

Yupqa qatlamli kadmiiy-sulfid QE $100^{\circ}S$ gacha o'zining yuqori samaradorligini saqlab qoladi.



6-rasm. Har xil turdagi QE elektrik samaradorligining ishchi haroratga bogʻliqligi

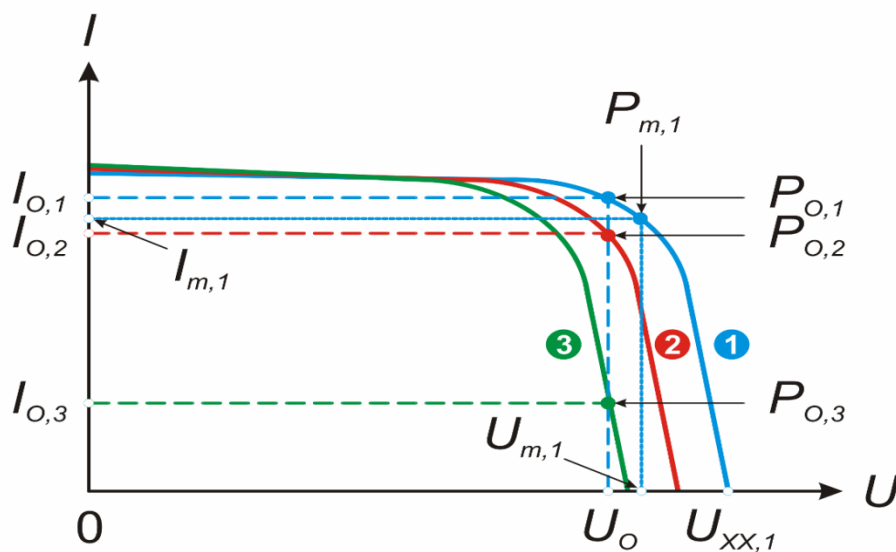
Belgilanishi: $\eta(T)/\eta(T_0)$ – FEB elektrik samaradorligining standart sharoitda FEB samaradorligiga nisbati; β_0 – QE tayyorlangan materialning harorat koeffitsienti; m-Si, p-Si, a-Si – mos ravishda monokristall, polikristall, amorf kremniy QE belgilanishi. (odatda $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $\eta_0 \approx 0.12$, $\beta_0 \approx 0.0045^\circ\text{C}^{-1}$, $G = 1000 \text{ Vt/m}^2$)

Markaziy Osiyo keskin kontinental iqlim sharoiti, xususan Oʻzbekistonda yilning issiq mavsumlarida (may-sentyabr) atrof muhit haroratining yuqori koʻrsatkichlari $45\text{--}50^\circ\text{S}$ FEB ning ekspluatatsiya vaqtidagi parametrlarini (salt yurish kuchlanishi, quvvat, FIK) kamayishiga olib keladi, bu oʻz navbatida FEB QE “oʻta qizishi” bilan asoslanadi.

“Oʻta qizish” – standart test sinovi (STC) sharoitlarida FEB pasport maʼlumotlaridagi texnik koʻrsatkichlarning mos emasligi. Salt yurish kuchlanishi kattaligining kamayishi bilan akkumulyasiya tizimida AB zaryadlash jarayoni sezilarli kamayadi.

FEB pasport maʼlumotlarida kuchlanish va tok boʻyicha harorat koeffitsientlari koʻrsatib oʻtiladi, odatda ishchi harorat $+10\text{--}+80^\circ\text{S}$ oraligʻi koʻrsatiladi. Ammo issiq iqlim sharoitlarida harorat koʻtarilishi natijasida FEB ning samaradorligi kamayib pasport koʻrsatkichlari 50% dan kamayib ketadi. SHunday qilib Oʻzbekistonning ayrim mintaqalarida 36 ta QE dan tayyorlangan FEB yilning yoz mavsumlarida parametrlari pasayganligi sababli samarali ishlay olmaydi.

Har xil atrof muhit haroratlarida FEB joylashgan QE haroratlarini oʻlchash ishlari boʻyicha tadqiqotlar olib borilgan. Masalan, Toshkent shahrida iyul-avgust oylarida (soyadagi atrof muhit harorati $45\text{--}48^\circ\text{S}$) boʻlganda, shamol tezligi 1-3 m/s da FEB harorati 72°S dan oshgan. Bu esa real sharoitda FEB salt yurish kuchlanishining 21,5 V (pasport koʻrsatkichi) dan 16,4-16,5 V ga kamayganligi aniqlangan (7-rasm).



7-rasm. Har xil haroratlarda kremniyli QE asosidagi FEB ning yuklanmadagi volt-ampere xarakteristikasi

1-atrof muhit harorati 15°S da (elementning orqa tomonidagi harorat 37°S); 2- 30°S (54°S); 3- 45°S (71°S).

Bu tadqiqotlar asosida FEB ning yangi konstruksiyasi ishlab chiqildi. Respublika hududlari uchun FEB tayyorlashda ularning iqlim sharoitlari (meteofaktorlarni nazarda tutib) hisobga olindi. Janubiy hududlar uchun (Qashqadaryo, Surxondaryo viloyatlari) FEB konstruksiyasida QE soni 42 taga, qolgan hududlar uchun 40 ga etkazildi. SHu sababli 40 yoki undan koʻp QE dan tashkil topgan standart boʻlmagan FEB (NOST) talablarini toʻliq qanoatlantiradi.

Standart sharoitdan farqlanuvchi QE yoki FEB elektrik parametrlarini haroratga bog‘liqligi QE materialiga bog‘liq holda empirik munosabatlardan aniqlanadi. Monokristall kremniyli QE asosiy parametrlarining haroratga bog‘liqligini qo‘yidagi ko‘rinishga ega:

$$\left. \begin{aligned} U_{xx}(t) &= U_{xx}(25^{\circ}\text{C}) \left[1 - a(t - 25^{\circ}\text{C}) \right] \\ I_{\hat{e},\zeta}(t) &= I_{\hat{e},\zeta}(25^{\circ}\text{C}) \left[1 + b(t - 25^{\circ}\text{C}) \right] \\ P_{\max}(t) &= P_{\max}(25^{\circ}\text{C}) \left[1 - c(t - 25^{\circ}\text{C}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

bu erda $a = (3,7 \cdot 10^{-3})^{\circ}\text{S}^{-1}$; $b = (6,4 \cdot 10^{-4})^{\circ}\text{C}^{-1}$; $s = (4 \cdot 10^{-3})^{\circ}\text{S}^{-1}$

SPP1.1 turli FEB (Germaniya) ishchi energetik xarakteristikalariga harorat ta‘sirini baholash bo‘yicha tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Energetik parametr	Harorat, t °C		
	0	+25	+60
Salt yurish kuchlanishi $U_{s,yu.}$ V	22,4	20,5	17,8
Qisqa tutashuv toki $I_{q,t.}$, A	2,93	2,98	3,05
FEB maksimal quvvat nuqtasidagi tok, A	2,71	2,76	2,83
FEB maksimal quvvati, Vt	50,8	45	37,8

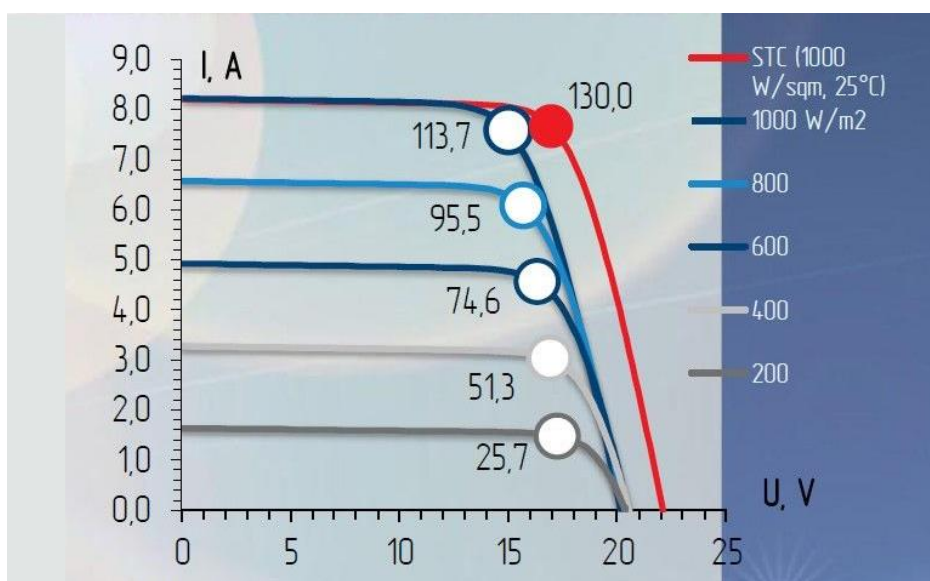
Ayrim adabiyotlarda haroratga bog‘liq ravishda QE FIK ni aniqlash uchun tenglamalar keltiriladi. QE FIK haroratga bog‘liqligi chiziqli xarakterga ega bo‘lib quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta = \eta_0 + \alpha_T (t - t_0); \quad (12)$$

Bu erda t – QE ekspluatatsiya vaqtidagi harorati, $^{\circ}\text{S}$; α_T – QE konstruksiyasi, turiga bog‘liq holda FIK harorat koeffitsienti, $(^{\circ}\text{S})^{-1}$; η_0 – STC sharoitida QE FIK.

YUqorida qayd etilgan ma‘lumotlar asosida fotoelektrik stansiyalar loyihalashtirilganda hisob ishlarida albatta hisobga olish zarur.

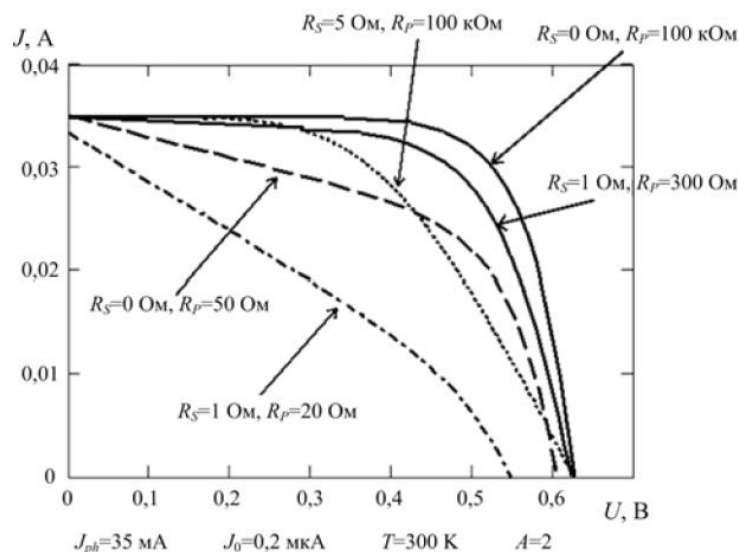
Olimlarning tadqiqotlariga ko‘ra, chang konsentratsiyasining yuqori ko‘rsatgichi quyosh fotoelektrik modulining va boshqa gelioqurilmalarining samaradorligiga salbiy ta‘sir qilib u qurilmaning FIK ni 40-50 % gacha kamaytirishi mumkin.



8-rasm. Quvvati 130 Vt monokristall turdagi fotoelektrik modulning yoritilganlikka bog‘liqlik VAX.

Quyosh fotoelektrik panelining quvvati yoritilganlikka to‘g‘ri proporsional ravishda o‘zgaradi. Ma’lum aniq yoritilganlikda, ya’ni juda past qiymatlarda quyosh fotoelektrik moduli elektr energiya berishni to‘xtatadi. Yoritilganlik kristall turiga, ya’ni kremniy fotoelektrik modullari uchun taxminan $150 - 200 \text{ Vt/m}^2$ ni, amorf kremniyli modullar uchun 100 Vt/m^2 atrofida bo‘ladi (8-rasm).

SHuningdek FIK ga ketma-ketlik R_s va parallellik qarshiliklarining R_p ham ta’siri mavjud. 9-rasmda R_s va R_p ning har xil qiymatlari orqali hosil qilingan bir qancha VAX keltirilgan.



9-rasm. Ketma-ketlik (R_s) va parallellik qarshiliklarining (R_p) QE VAX ga ta’siri

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, yuqori samarali QE olish uchun ketma-ketlik qarshiligi R_s ni kamaytirish va parallellik qarshiligi R_p ni oshirish lozim. Ketma ketlik qarshiligi R_s elementning har bir p- va n- sohalar qarshiliklari, kontakt qatlamlar qarshiligi, metall-yarimo‘tkazgich o‘tish qarshiliklaridan iborat, parallellik qarshiligi esa p-n o‘tishga parallel mumkin bo‘lgan sirqish toklari kanallarini aks ettiradi. SHu nuqta’i nazardan QE VAX ni aniqlash usullarini rivojlantirish zarurdir.

Mavzuga doir masalalar

1. Xona haroratida ideal quyosh batareyasi 3 A qisqa tutashuvli va 0,6 V ochiq zanjirli kuchlanishga ega, uning kuchlanishini ish kuchlanishining funksiyasi sifatida hisoblang va eskizini tuzing va uning quvvat faktorini shu quvvat chiqishidan toping.

Yechilishi:

Xona haroratida $kT/e = 0.025 \text{ V}$ deb hisoblab, to‘yinish toki quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

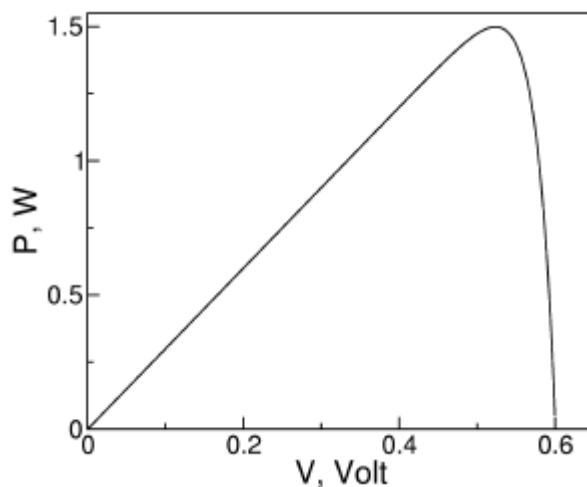
$$I_s \approx I_L \exp\left(-\frac{eV_{oc}}{kT}\right),$$

Yuqoridagi tenglamadan $I_s = 1.1 \times 10^{-10} \text{ A}$.

Chiqish quvvati quyidagiga teng

$$P(V) = IV = I_L V - I_S V \left(\exp \left(-\frac{eV_{OC}}{kT} \right) - 1 \right),$$

Chiqish quvvati P ning salt yurish kuchlanishi V ga bog'lanish grafigidan maksimal chiqish quvvati $P_m = 1.5 \text{ W}$ teng bo'ladi.



Ma'lumki, Fill faktor quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi,

$$F_F = \frac{P_m}{I_L V_{OC}}$$

Yuqoridagi ifodadan fill faktor koefitsiyenti 0.83 ga tengdir.

Javob: $P_m = 1.5 \text{ W}$, $F_F = 0.83$

Qo'shimcha masalalar

1. Maydonchani yuzasi 6 m^2 bo'lib unga 6 kVt nurlanish quvvati tushadi. Maydonchaga diametri $d = 2,5 \text{ cm}$ bo'lgan 9600 ta quyosh elementi o'rnatilgan. Agar qurilmaning chiqish quvvati 895 Vt bo'lsa, QE ning FIK ni aniqlang.

Javob: $\eta = 19\%$.

2. Quyidagi sharoitlarda kadmiy-sulfidi elementining FIK ini aniqlang: $r = 2,5 \text{ cm}$, $V_0 = 0,5 \text{ V}$; $\gamma = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ A/cm}^2$, yorug'lik oqimi zichligi 1 kVt / m^2 .

Javob: $\eta = 29\%$.

3. $V_0 = 0,5 \text{ V}$, $r = 2,5 \text{ cm}$ bo'lgan quyosh elementining FIK 27% ekanligi ma'lum bo'lsa, uning nurlanganlik 1 kVt / m^2 sharoitdagi effektivligi qanday bo'ladi.

Javob: $\gamma = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ A / cm}^2$.

4. Meteorologik sun'iy yo'ldosh quyosh batareyasining yuzasi $S = 4 \text{ m}^2$. FIK 15% bo'lsa, batareyaning quvvatini toping.

Javob: $P = 800 \text{ Vt}$.

5. Quyosh batareyasi o'lchami $10 \times 5 \text{ cm}$ bo'lgan 40 ta fotoelementdan tuzilgan. Yer yuziga tushayotgan nurlanish oqimi zichligi $E = 60 - 0,2 \cdot N \text{ Vt/m}^2$. p-n o'tishning energetik bar'eri $E_g = 1,43 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Fotoelementning harorati 40°C . Noasosiy zaryad tashuvchilar toki $I_{noas} = 10^{-7} \text{ A/m}^2$, fototok $I_f = 16 - 0,2 \cdot N \text{ A/m}^2$. Elektronning zaryadi $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Boltzman doimiysi $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Nagruzka kuchlanishi $U_N = 0,9 U_{SY}$ bo'lganda quyosh batareyasining quvvatini va FIK ni aniqlang.

8- AMALIY MASHG'ULOT.

YARIMO'TKAZGICH MATERIALLAR XOSSALARINI BOSHQARISHNING DIFFUZIYAVIY USULIGA OID MASALALAR ECHISH.

YArim o'tkazgichli materiallarda diffuziya qonunlarining ishlatilish imkoniyatlari.

Hozirgi zamon QE texnologiyasida diffuziya yordamida tuzilmalar tayyorlash asosiy yunalishlardan hisoblanadi. hozirgi vaqtda butun dunyoda tayyorlanayotgan kremniy asosidagi QE larining asosiy qismi diffuzion texnologiya vositasida olinadi. Qisqacha diffuziya jarayonini ko'rib utamiz.

Diffuziya jarayonida modda oqimining zichligi Fikning birinchi qonuniga asosan quyidagicha ko'rsatiladi.

$$I_a = D \text{ grad } C \quad (3), \quad \text{grad } C = dC/dx \quad (4)$$

YA'ni bu jumla X o'ki yo'nalishida konsentratsiya o'zgarishini ko'rsatadi. Bu erda, D – diffuziya koeffitsienti, sm^2/sek o'lchanadi va bu koeffitsient berilgan konsentratsiya gradienti qiymatida moddalar oqimining qiymatini ko'rsatadi. Fikning ikkinchi qonuniga asosan konsentratsiyaning vaqtga nisbatan o'zgarishi

$$DC/dt = D d^2C/dx^2 \quad (5)$$

ga teng bo'ladi.

Umuman yarim o'tkazgichli asbobsozlik texnologiyasida keng imkoniyatliligi, samaradorligi va ko'p qavatli qatlamlar olish imkoniyati osonligi, kirishmalar konsentratsiyasini o'zgartirish imkoniyati mavjudligi bilan boshqa usullardan farq qiluvchi usul - bu diffuziya usulidir. Kirishmalarni diffuziya hududiga etkazish imkoniyatini hisobga olgan holda bu usulni quyidagi yunalishlarga bo'lish mumkin.

A) Gaz yoki bug' holatidan foydalanib diffuziya qilish.

B) Iqtidorligi chegaralangan manbadan diffuziya qilish (M : elektrolitik yoki vakuumda uchirish yo'li bilan olingan yupqa qatlamlardan diffuziya qilish).

V) YArim o'tkazgichli material ustiga ma'lum usullar bilan o'tqazilgan (surtilgan yoki sentrifuga yordamida o'tqazilgan yupqa qatlamlarga kerakli kirishma uning tarkibida bo'lgan) yupqa oksid qatlamlardan diffuziya qilish.

G) Asosiy materiali inert va unga aktiv kirishma kiritilgan qattiq jismlardan diffuziya qilish usuli.

Kremniyda diffuziya jarayoni Fik qonuniga tuliq bo'ysinadi va unga asosan kirishmalar konsentratsiyasi taqsimoti chegaralanmagan quvvatli kirishma manbai holi uchun quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

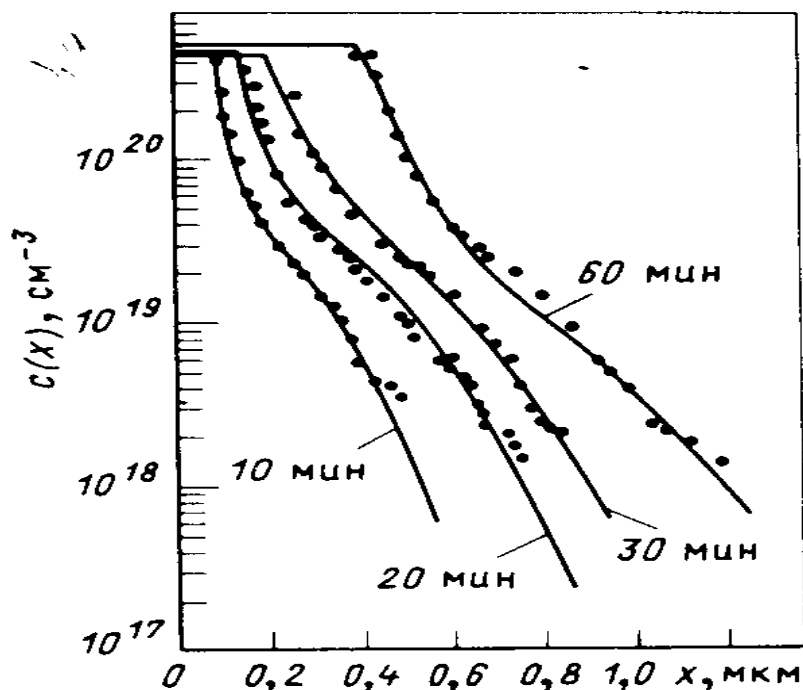
$$N(x,t) = N_0[1 - \exp(x/2(Dt)^{1/2})] \quad (6)$$

bu erda N – konsentratsiya, D – diffuziya koeffitsienti, t – vaqt, N_0 – kirishmalar atomlarining yuzadagi konsentratsiyasi.

Eksperimental tadqiqotlardan aniqlanishicha, kirishmalar taqsimoti ancha murakkab bo'lib, bunga asosiy sabab diffuziya koeffitsienti D ning yarim o'tkazgichli materialdagi vakansiyalar konsentratsiyasiga bog'liqligidir.

Diffuziya jarayoni o'tkazishga misollar, jarayonni o'tkazish tartibi. Diffuziya jarayonini o'tkazish ma'lum tartibda olib boriladi. Bular jumlasiga: yarim o'tkazgichli materialni tayyorlash (mexanik va ximik ishlov berish), kirishmalar manbaini tayyorlash (Kirishmalar kiritish yo'nalishini tanlash), jarayon o'tkazish rejimini tanlash, hisoblash va hokazolar, diffuziya o'tkazish, kirishmalar konsentarsiyasini va chuqurligini aniqlash, kirishmalar taqsimotini o'rganish, jarayon o'tkazilish rejimiga tuzatishlar kiritish, qayta diffuziya o'tkazish va hokazolar. Ayrim hollarda (shu jumladan QE larini tayyorlashda ham) diffuzion qatlamlar elektr tokiga qarshiligini kamaytirish uchun qatlamlar maksimal qiymatgacha kirishmalar kiritiladi (berilgan harorat uchun chegaraviy eruvchanlikka qadar). Misol 18-Rasmga qarang. Bu hol uchun , diffuzion jarayon davomida yarim o'tkazgichli material sirtida konsentratsion plato hosil bo'ladi va undagi kirishmalar konsentratsiyasi chegaraviy eruvchanlik qiymatiga teng bo'ladi. Materialni diffuzion jarayondan keyingi sovutish davomida yuqori konsentratsiyali kirishmalar kremniyda har xil kristallik nuqsonlar

hosil qiladi va natijada yarim o'tkazgichning elektrofizik xususiyati keskin yomonlashadi (Misol, jumladan L , t , μ va hokazolar). Natijada yarim o'tkazgich yuzasida xususiyatlari tamoman yaroqsiz bo'lgan «o'lik qatlam» hosil bo'ladi. Bu qatlamning xususiyatlarini o'zgartirish va uning qalinligini kamaytirish uchun quyidagi amallarni bajarish kerakdir;



Rasm 18. Diffuziya jarayoni o'tkazishning har xil vaqtlari uchun fosforning kremniydagi diffuzion profili. (diffuziya o'tkazish harorati 950°S , diffuziya manbai ROS1_3 , kremniy tagligida kirishmalar konsentratsiyasi $2 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$); $s(x)$ – yuzadan x masofadagi fosfor atomlarining konsentratsiyasi.

- kirishmalarning yuzadagi konsentratsiyasini chegaralash,
- diffuziya jarayonini chegaralangan quvvatli manbadan olib borish,
- kirishmalarni ikki stadiyali usul bilan kiritish,
- yuzadagi konsentratsion platoni kimyoviy emirish usuli bilan olib tashlash.

IKKI STADIYALI DIFFUZIYA QILISH USULI

Ikki stadiyali diffuziya usuli bilan kirishmalar kiritish jarayoning afzalligi (bu jarayon kirishmalarni ikki etapda kiritadi, «kiritish» va «tarqatish» etaplari) shundan iboratki, «kiritish» etapida materialga faqat berilgan miqdordagigina kirishma uning yuza qatlamlariga kiritiladi. «Tarqatish» stadiyasida esa kirishmalar material ichiga diffuziya qilinadi. Natijada kirishmalarning namuna yuzasidagi konsentratsiyasi nisbatan kamayadi. Bu esa yuzadagi rekombinatsion sur'atni kamayishiga olib keladi. «Kiritish» etapining harorati «tarqatish» etapigi qaraganda pastroq haroratda olib boriladi.

DIFFUZION QATLAMLAR XUSUSIYATLARINI O'RGANISH

Hosil qilingan diffuzion qatlamlarni yarim o'tkazgichli tuzilmalarda tatbiq qilish uchun ularning xususiyatlarini tahlil qilish asosiy shartlardandir. Bu xususiyatlar jumlasiga diffuzion qatlamning qalinligi, kirishmalar konsentratsiyasi, kirishmalarning qatlamdagi taqsimoti, qatlamning elektr tokiga qarshiligi, undagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti va harakatchanligi, va hokazolar. Diffuzion qatlamlar qalinligini o'lchash usullari jumlasiga qatlamni buzmasdan (ne razruhayuhie metodo') va qatlamni emirib (razruhayuhie) o'lchash usullari kiradi. Qatlamni emirishga asoslangan usullar qatoriga shar-shlif va qiya-shlif usullari kiradi.

SHar-shlif usuli diffuziya jarayonidan keyin material sirtida mexanik usul bilan shar shaklidagi zoldir yordamida chuqurcha hosil qilib, so'ngra uni rang beruvchi ximik aralashmalarda emirib r-n o'tish chegarasini aniqlashdan iborat. Aniqlangan chegara optik

mikroskopda qalinligi (chuqurligi) o'lganadi va uning qiymati diffuzion qatlam qalinligiga teng deb olinadi.

Qiya-shlif usuli avvalgi usulni bir ko'rinishi bo'lib r-n o'tish chegarasigacha qiya tekislik hosil qilinadi. Bu usullarning aniqligi zoldirning diametriga va qiya tekislikning qiyaligiga bog'liqdir. Qatlamni buzmasdan qalinlikni o'lchash usullariga volt-sig'im xarakteristikani o'lchash yo'li bilan qalinlikni aniqlash va har xil elektron zond usullari kiradi.

Kirishmalar konsentratsiyasini o'lchash usullari. Kirishmalar konsentratsiyasini o'lchash usullari ko'p bo'lib bulardan klassik sifatida foydalanidigan usullardan bu Xoll usuli, Van der Pau usuli va volt-sig'im usulidir. Bu usullar yarim o'tkazgichli materialdan elektr toki va magnit maydonining zaryadga bo'layotgan ta'sir natijasida hosil bo'lgan elektr toki o'tkazuvchanligiga asoslangandir.

DIFFUZION TEXNOLOGIYA ASOSIDA QUYOSH ELEMENTLARINI TAYYORLASH IMKONIYATLARI.

Hozirgi zamon kremniy asosidagi quyosh elementlarining deyarli aksariyatida QE ning asosiy qismi bo'lgan r-n o'tish olish kirishmalarni diffuziya qilishga asoslangan. Diffuzion r-n o'tish olish uchun kremniyga ionlanish energiyasi kichkina bo'lgan kirishmalar kiritiladi. Jumladan r-tip Si olish uchun B va n-tipdagi Si olish uchun P kiritiladi. Hozirgi zamon kremniy asosidagi QE tayyorlashda asosiy material qilib kristalli kremniyning r-tipdagisi olingan. Bunga asosiy sabablardan biri bo'lib bunday kremniyda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning elektronlar bo'lganligi va ularning diffuzion yo'li uzunligining nisbatan kattaligidir. L_d QE sifatida ishlatiladigan materiallarda 100 mkm dan ortiq bo'lib, o'z navbatida bunday qalinlikdagi (100 mkm dan qalinroq bo'lgan) kremniyga mexanik va ximik ishlov berishni osonlashtiradi. Diffuziya qilish usuli bilan r-n o'tish olishdan avval diffuzion jarayon o'tkazish va diffuzion qatlam parametrlari oldindan nazariy yo'l bilan hisoblanadi. Avvaliga r-n o'tish qalinligi, diffuzion qatlamdagi kirishmaning konsentratsiyasi, sirt rekombinatsion koeffitsienti hisoblanadi. So'ngra diffuziya qilish jarayoni aniqlanadi.

r-tipdagi kremniy asosida QE olish uchun fosfor kirishmalari kiritiladi. Er sharoitida ishlaydigan effektivligi 16-18 % bo'lgan quyosh elementlari olish uchun fosfor kiritilgan qatlamning qalinligi 0,3-0,5 mkm bo'lishi kifoya, kirishmalar konsentratsiyasi esa $(1-6) \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$, solishtirma qarshiligi $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-3} \text{ om sm}$, $L_r \sim 0,4-0,6 \text{ mkm}$ bo'lishi manzurdur. Sirt rekombinatsion sur'ati miqdori $10^2-10^3 \text{ smg}^{-1}$ sek dan oshmasligi kerak.

Fosfor diffuziyasi jarayonidan avval orqa tomonga alyuminiy kiritilgan (1-1,5 mkm chuqurlikda) r⁺-tipdagi, ya'ni r⁺-o'tish hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Keyin fosfor diffuziyasi ta'sir qilmasligi uchun orqa tomon ma'lum qalinlikdagi kremniy oksidi bilan berkitiladi.

Fosfor bilan legirlangan diffuzion qatlam olish harorati odatda pastroq bo'lib 900-950 °S ni tashkil qiladi. Fosfor kiritish quvvati chegaralangan manba'dan olib boriladi. Jarayonni qattiq jisimli manba'lardan "«yumshoq»" rejimni qullab olib borish kerak. «Ulik qatlam» hosil bo'lish oldini olish uchun ikki stadiyali diffuziya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

r-n o'tishning boshqa usullari ham mavjud bo'lib bular jumlasiga ionli legirlash usuli, epitaksiya qilish vositasi kiradi. O'z navbatida epitaksiya qilish vositasining turli yo'llari mavjud, jumladan, gaz fazali epitaksiya usuli, suyuq fazali epitaksiya usuli, molekulyar nurli epitaksiya usuli.

Mavzuga doir masalalar

1. Kremniy monokristallida 300 K temperaturada $\mu_n = 1400 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 500 \text{ sm}^2/\text{Vs}$ bo'lsa, diffuziya koeffitsientlari aniqlansin.

Yechilishi. Ma'lumki, diffuziya koeffitsientlari

$$D_n = kT\mu_n/e \quad \text{va}$$

$$D_p = kT\mu_p/e$$

formulalar orqali aniqlanadi.

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'ysak,

$$D_n = 36,1 \text{ sm}^2/\text{Vs},$$

$$D_p = 12,9 \text{ sm}^2/\text{Vs}$$

2. n-turli germaniy kristalida $\mu_n = 3900 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, zaryad tashuvchilarning yashash vaqti 100 mks bo'lsa, 300 K temperaturada elektronlarning diffuziya uzunligi aniqlansin.

Yechilishi. Elektrolarning diffuziya uzunligi

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$$

formula orqali aniqlanadi. Diffuziya koeffitsienti esa

$$D = kT\mu/e \text{ ga teng.}$$

Kattaliklarni son qiymatini qo'ysak,

$$L_p = 1 \text{ mm.}$$

3. Bir jinsli va bir o'lchamli n-turli yarimo'tkazgichda yorug'lik zondi yordamida zaryad tashuvchilar juftlari generatsiya qilinmoqda. Agar zonddan 2 mm masofadagi nomuvozanatli zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi 10^{14} sm^{-3} , 4,3 mm masofada esa 10^{13} sm^{-3} bo'lsa, kovaklarning diffuziya uzunligi aniqlansin.

Yechilishi. Bu masala uchun uzliksizlik tenglamasi

$$D_p \frac{d^2 \Delta_p}{dx^2} - \frac{\Delta_p}{\tau_p} = 0$$

ko'rinishda bo'lib, uning yechimi

$$\Delta_p = \Delta_p(0) \exp(-x/L_p)$$

ko'rinishga ega. Masala shartiga asosan

$$\Delta(x_1) = \Delta_{p1} = \Delta_p(0) \exp(-x_1/L_p),$$

$$\Delta(x_2) = \Delta_{p2} = \Delta_p(0) \exp(-x_2/L_p)$$

Bu ikki ifodadan

$$\Delta_{p1}/\Delta_{p2} = \exp(x_2 - x_1/L_p)$$

Demak,

$$L_p = (x_2 - x_1) / \ln(\Delta_{p1}/\Delta_{p2})$$

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'ysak,

$$L_p = 1 \text{ mm.}$$

Qo'shimcha masalalar

1. Germaniy monokristalida 270 K temperaturada $\mu_n=1500 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p=800 \text{ sm}^2/\text{Vs}$ bo'lsa, diffuziya koeffisientlari aniqlansin.

Javob:

$$D_n = T k T \mu_n / e$$

$$D_p = T k T \mu_p / e$$

2. p-turli kremniy kristalida $\mu_n=3200 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, zaryad tashuvchilarning yashash vaqti 10 mks bo'lsa, 260 K temperaturada elektronlarning diffuziya uzunligi aniqlansin.

Javob:

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$$

3. Kremniy monokristallida 600 K temperaturada $\mu_n=2800 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p=1000 \text{ sm}^2/\text{Vs}$ bo'lsa, diffuziya koeffisientlari aniqlansin.

Javob:

$$D_n = 72,2 \text{ sm}^2/\text{Vs},$$

$$D_p = 25,8 \text{ sm}^2/\text{Vs}$$

4. n-turli germaniy kristalida $\mu_n=7800 \text{ sm}^2/\text{Vs}$, zaryad tashuvchilarning yashash vaqti 200 mks bo'lsa, 600 K temperaturada elektronlarning diffuziya uzunligi aniqlansin.

Javob:

$$L_p = 2 \text{ mm}.$$

5. Bir jinsli va bir o'lchamli n-turli yarimo'tkazgichda yorug'lik zondi yordamida zaryad tashuvchilar juftlari generatsiya qilinmoqda. Agar zonddan 4 mm masofadagi nomuvozanatli zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi 20^{14} sm^{-3} , 8,6 mm masofada esa 20^{13} sm^{-3} bo'lsa, kovaklarning diffuziya uzunligi aniqlansin.

$$L_p = 2 \text{ mm}.$$