

O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
Andijon davlat universiteti
Fizika-matematika fakulteti

Fizika yo'nalishi, III -bosqich F1 guruhi talabasi
Abdulxafizova Sayyoraning

REFERATI

MAVZU: YARIMO'TKAZGICHLARDA FERMI- DIRAK TAQSIMOTI

Ilmiy rahbar:

assis. M.Qo'chqarova

Andijon-2015 y.

Kirish

1. Yarimo'tkazgichlar xaqida umumiy ma'lumotlar
2. Fermi-Dirak taqsimoti.
3. Yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi holatini aniqlash.
4. p-n-tur yarimo'tkazgich.

Xulosa

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

Kirish

Yarimo'ʻtkazgich moddalar jaxon fani va texnikasida salmoqli o'rinni egallab kelmoqda. Ular asosida ishlab chiqarilayotgan asbob va qurilmalar miqdori tez kupayib, ularning turli sohalarga tadbiqui kengayib bormoqda. Buning asosiy sabablari yarim o'ʻtkazgich moddalarining ajoyib xossalaridir: yarim o'ʻtkazgichlar turli tashqi tasirlarga juda sezgir, ular zaminida ishlab chiqarilayotgan asboblarning o'lchamlari, xajmi kichik, ishlash muddati katta va bajaradigan hizmatlari doirasi juda keng.

Hozirgi yarimo'ʻtkazgichlar qo'llanilmayotgan insoniyat faoliyati sohalarining xammasini sababchi ko'rsatish qiyin—ular avtomatikada, telemexanikada, radioelektironikada, elektir xisoblash mashinasida va boshka qator soxalarda ishlatilyapti desak mubolag'a bo'lmaydi. Binobarin, yarim o'ʻtkazgichlar moddalar va asboblarni tadqiq etish, ularning imkoniyatlarini kengaytirish hamda yangi xossalarini kashf qilish masalalari hozirgi zamon olimlari oldida juda katta axamiyatga egadir.

Yarimo'ʻtkazgich orqali o'tayotgan elektrik tokining zichligi va shu yarimo'ʻtkazgichga berilgan kuchlanish orasidagi bog'lanishni topish uchun berilgan sharoitdagi elektronlar bilan kovaklar konsentratsiyasini bilish zarur.

Elektronlar va kovaklar konsentratsiyasining tegishli miqdoriy ifodasini topish uchun isbotsiz ikki qoidani qabul qilamiz. Bulardan birinchisi, statistik fizikaga oid Fermi-Dirak taqsimoti funksiyasi bo'lib, u har qanday alohida energiyaviy sathning elektron bilan to'lish ehtimolligini ko'rsatadi. Kvant mexanikasidan olingan ikkinchi qoida esa, ma'lum energiyaviy oraliqdagi kvant holatlar zichligini aniqlaydi.

O'tkazuvchanlik zonasidagi va kirishmaviy sathlardagi elektronlar zichligi, shuningdek, valent zonadagi kovaklar zichligini Fermi sathi orqali ifodalanuvchi munosabatlarni topamiz.

1. Yarimo'tkazgichlar xaqida umumiy ma'lumotlar

Yarimo'tkazgichlar-moddaning ajoyib turi bo'lib, ular o'ziga xos xossalari bilan boshqalardan yaqqol ajralib turadi. Umuman olganda, elektrik o'tkazuvchanligiga qarab moddalar uchta katta sinfga: o'tkazgichlarga (elektrik o'tkazuvchanligi 10^6 Sim/m dan katta), yarimo'tkazgichlarga (elektrik o'tkazuvchanligi $10^{-8} \div 10^6$ Sim/m oralig'ida) va dielektriklarga (elektrik o'tkazuvchanligi 10^{-8} Sim/m dan kichik) bo'linadi. Yarimo'tkazgichlarning elektrik o'tkazuvchanligi juda keng oraliqda yotishi yuqoridagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdi.

Shu bilan birga yarimo'tkazgichlarning o'ziga xos muhim xususiyatlaridan biri elektrik o'tkazuvchanligining ulardagi kirishmalarning turi va konsentratsiyasiga nihoyatda sezgirligidir. Masalan, toza yarimo'tkazgichga $10^{-7} \div 10^{-10}$ % miqdorda kirishma kiritish bilan uning elektrik o'tkazuvchanligini keskin o'zgartirish mumkin. Shu bilan birga yarimo'tkazgichlarning yana bir muhim xususiyati - ular elektrik o'tkazuvchanligining temperaturaga o'ta sezgirligidir. Bunday bog'lanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sigma = V \cdot \exp(-W_a / kT)$$

bu yerda, σ -berilgan T -temperaturadagi elektrik o'tkazuvchanlik, V -o'zgarmas doimiy, W_a -zaryad tashuvchilarning faollanish energiyasi, k -Bolsman doimiysi, T -mutlaq temperatura.

Chunonchi, yarimo'tkazgichning temperaturasi 1°S ga o'zgarganda uning elektrik o'tkazuvchanligi 5-6% ga o'zgarishi mumkin. Juda ko'plab yarimo'tkazgichlarga va ular asosida yasalgan asboblarga yorug'lik, ionlovchi nurlar va shu kabilarning ta'sirlari ham elektrik o'tkazuvchanlikning keskin o'zgarishiga olib keladi. Bunga turli yarimo'tkazgich detektorlarni, yorug'lik diodlarini, yorug'lik rezistorlarini va qator boshqa asboblarni ham misol qilib ko'rsatish mumkin. Shuni eslatib o'tish joizki, yarimo'tkazuvchanlik xossasi faqat

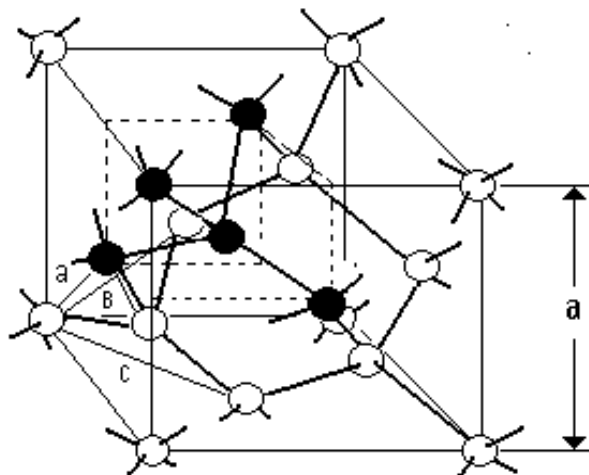
qattiq jismlargagina xos bo'lmay, suyuq holatdagi organik birikmalardan iborat shishasimon, amorf tuzilishga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlar ham shunday xossalarga egadirlar.

Ular o'zlarining bir qator ma'lum kamchiliklari tufayli hozircha texnikada keng tatbiq qilinganicha yo'q. Qattiq jismlardan yarimo'tkazgich xossasiga ega bo'lgan moddalar qatoriga juda ko'p turli moddalar, masalan, kremniy, germaniy, bor, olmos, fosfor, oltingugurt, selen, tellur, ko'pchilik tabiiy minerallar va qator birikmalar: *GaAs*, *GaP*, *InSb*, *SiC*, *ZnS*, *CdTe*, *GaSb* va hokazolar kiradi. Bu yarimo'tkazgichlar o'zlarining xilma-xil xossalari bilan bir-birlaridan ancha farq qiladilar. Shuning uchun ham turli maqsadlar uchun turli yarimo'tkazgichlar qo'llaniladi.

Biroq, hozirgi zamon texnikasida asosan bir necha xil yarimo'tkazgichlar keng ishlatilmoqda. Bularning ichida eng oldingi o'rinlarda kremniy (*Si*), germaniy (*Ge*), galliy margimushi (*GaAs*) turadi. Ayniqsa kremniy hozirgi zamon mikroelektronikasida o'zining ko'p xossalari bilan murakkab texnologik talablarga javob berganligi sababli asosiy material o'rnini egallab turibdi.

Elektron texnikasida ishlatiladigan ko'pchilik yarimo'tkazgich materiallar kristall tuzilishga ega. Yarimo'tkazgichning kristall tuzilishi naqadar mukammalligi, unda turli nuqsonlarning bor yoki yo'qligi va ularning miqdori yarimo'tkazgichning asosiy xossalarini belgilab beruvchi omildir. Shu boisdan, qisqa bo'lsa ham asosiy yarimo'tkazgich moddalar - kremniy va germaniyning kristall tuzilishi va uning asosiy xususiyatlari haqida to'xtalib o'tamiz.

Agar biror moddaning atomlari uning hajmi bo'ylab o'zaro ma'lum davriylik bilan ma'lum o'zgarmas masofalarda joylashgan bo'lsa, u holda bunday modda kristall tuzilishga ega deyiladi. Atomlar ana shunday tartib bilan joylashib kristall panjarani hosil qiladi. Misol sifatida kremniy va germaniyni olsak, ularning kristall panjarasi bir xil bo'lib, olmos kristall (1-rasm) panjarasining o'zginasidir.



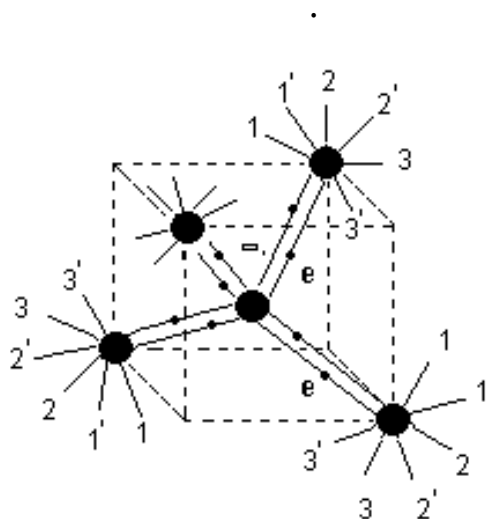
1-rasm. Olmos kristall panjarasi

Ushbu kristall panjarada har bir atom to'g'ri tetraedr uchlarida o'rnashgan to'rttadan atom bilan o'ralgan holatda turadi. Atomlarning kristall panjarada ana shunday tarzda mustahkam joylashgan nuqtalari kristall panjaraning tugunlari deyiladi. Bu atomlarning har birini alohida qarasak, ular elektrik jihatdan betaraf bo'ladi. Lekin shunga qaramasdan atomlar o'zaro yetarlicha bog'lanish kuchi bilan tortishib, o'z joylarida mustahkam turadi.

Bu kuch kristall panjarani tashkil qiluvchi atomlarning valent elektronlari vositasida yuzaga keluvchi kimyoviy bog'lanish kuchidir. U odatda kovalent kuch deb yuritiladi. Ma'lumki, biz tahlil qilayotgan kremniy, germaniy va uglerod atomlari to'rt valentli bo'lib, to'rttadan valent elektronlarga ega. Demak, bunday atomlar bir vaqtda to'rtta atom bilan kovalent bog'lanish hosil qilishi mumkin.

Kovalent bog'lanishni yuzaga keltiradigan asosiy sabab bu o'zaro almashinish ta'siridir. Albatta, bu turdagi o'zaro ta'sir kvantmexanik tabiatga ega. Ikki atom orasida ushbu almashinish o'zaro ta'siri yuzaga kelishi uchun ularning valent elektronlari qobiqlari qisman bo'lsa ham ustma-ust tushmog'i kerak. Boshqacha aytganda bu elektronlar ikkala atomga tegishli, ya'ni umumlashgan bo'lib qolishi kerak. Bunga eng muhim omil olmos turidagi kristall panjarada atomlarning yetarlicha bir-biriga yaqin yotganligidir (bu masofa taxminan $2 \cdot 10^{-10}$ m ga teng).

Undan tashqari kovalent bog‘lanishning o‘ziga xos xususiyati shundaki, u ma’lum yo‘nalish bo‘ylab, xususan umumlashgan elektronlarning eng ko‘p qismi mujassamlashgan yo‘nalish bo‘ylab yuzaga keladi. Shunday qilib, olmos panjarasiga mansub bo‘lgan kristallarda (olmos, kremniy, germaniy) har bir atom o‘zining eng yaqin atrofidagi to‘rtta atom bilan ana shunday kovalent bog‘langan bo‘ladi. Demak, kristallning barcha uyachalardagi bu beshta atomni sakkizta "umumlashgan" elektronlar kovalent bog‘lanish hosil qilib kristall panjaraning tugunlarida mustahkam ushlab turar ekan. Buni shartli ravishda kremniy uchun (2-rasm) quyidagicha aks ettirish mumkin.



2-rasm. Kremniyda kovalent bog‘lanish

Shuni ta’kidlash lozimki, kristall panjarada kovalent bog‘lanishni hosil qilishda faqat valent elektronlar qatnashadi, xolos. Ya’ni, atomning qolgan barcha ichki elektronlari o‘z yadrolari ta’sirida qolib, bunday bog‘lanishda ishtirok etmaydi.

2. Fermi-Dirak taqsimoti

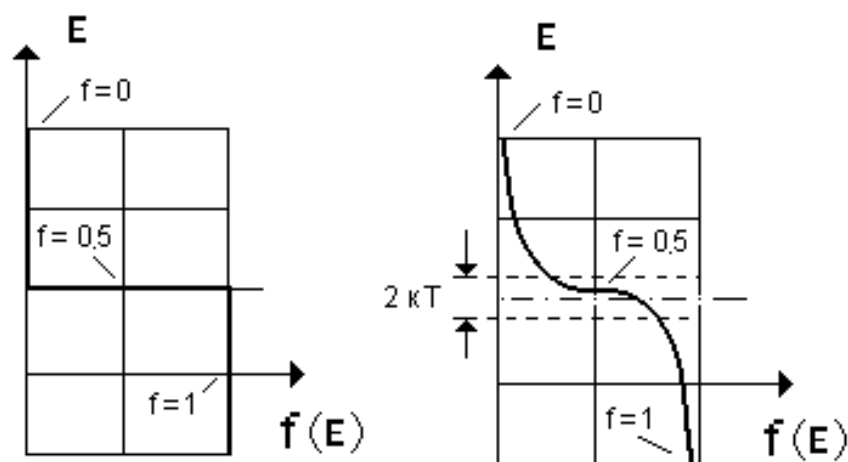
Mutlaq nol temperaturada kristalldagi barcha kvant holatlar ma’lum bir sathgacha elektronlar bilan egallangan va bu sathdan yuqoridagi barcha holatlar bo‘sh (elektronlar tomonidan egallanmagan) bo‘ladi. Biroq yuqoriroq

temperaturalarda ba'zi bir elektronlar yuqori sathlarga o'tib ularni egallashi uchun yetarli energiyaga ega bo'lib qolishlari mumkin.

Fermi-Dirak taqsimot funksiyasi energiyasi W bo'lgan sathning elektron bilan egallangan bo'lish ehtimolligini aniqlaydi:

$$f(W) = \frac{1}{1 + e^{\frac{W - W_F}{kT}}} \quad (1.)$$

Bu yerda, k -Bolsman doimiysi, T -mutlaq temperatura.



3.-rasm. Fermi-Dirak taqsimot funksiyasi

W_F -energiyaviy sath Fermi sathi deb ataladi. Bu shunday sathki, uning elektron bilan to'lish ehtimolligi $1/2$ ga teng, chunki (1) ifodaga ko'ra, agar $W=W_F$ bo'lsa, $f=1/2$ ga teng. (1.) ifodaga asosan $0 K$ da Fermi sathi elektron bilan egallangan holatlarni elektron bilan egallanmagan holatlardan ajratuvchi sathdir. Yuqori temperaturalarda Fermi sathi elektron bilan ko'proq egallangan holatlarni kamroq egallangan holatlardan ajratib turadi. Taqsimot funksiyasi Fermi sathiga nisbatan simmetrik ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Xususiylar yarimo'tkazgichda kovaklar soni elektronlar soniga teng bo'lganligi va taqsimot funksiyasining simmetrikligi sababli Fermi sathi taqiqlangan zonaning deyarli o'rtasida yotadi.

Kirishmali yarimo'tkazgichda akseptor yoki donor kirishmadan qaysi biri ko'p bo'lishiga qarab, Fermi sathi yo valent zonaga yoki o'tkazuvchanlik zonasiga yaqin yotadi. Masalan, agar yarimo'tkazgichda donor kirishma ko'p bo'lsa-Fermi sathi o'tkazuvchanlik zonasiga yaqinroq; agar akseptor kirishma ko'p bo'lsa-valent zonasiga yaqinroq yotadi.

Fermi-Dirak taqsimoti faqat ma'lum energiyaviy sathning elektron bilan egallanganligi ehtimolini ko'rsatishini eslatib o'tamiz.

Dinamik muvozanat holatida elektron va kovaklar issiqlikdan uyg'onish natijasida uzluksiz ravishda hosil bo'lib turadi. Shu bilan birga teskari jarayon-erkin zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyalanib yo'qolishi ham uzluksiz ravishda sodir bo'lib turadi. Shu sababdan taqsimot funksiyasi elektronlar energiyasining vaqt bo'yicha o'rtacha taqsimotini ko'rsatadi.

Erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasini aniqlash. Kirishma kiritish tufayli vujudga kelgan qo'shimcha kvant holatlarni, alohida diskret energiyaviy sathlar sifatida qarash mumkin. Bu sathlar ΔW_d va ΔW_a lar bilan belgilangan. ΔW_d energiyaviy kvant holatlarining soni kristallga kiritilgan donor atomlar soniga teng yoki agar 1 sm^3 hajmli kristallda, ΔW_d sathdagi kvant holatlarning zichligi donor atomlari konsentratsiyasi N_d , sm^{-3} ga teng bo'ladi.

Donor kirishma atomlarining ba'zilar ionlashgan bo'lishi, ya'ni ΔW_d energiyaviy sahtdagi elektronlarning ba'zilar issiqlikdan uyg'onishi tufayli o'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan bo'lishi mumkin. Agar n_d elektronlar ΔW_d energiyaviy sathdagi o'z kvant holatlarini saqlab qolsalar, ya'ni donor atomlarining n_d/N_d qismi ionlashmagan holda qolsa, elektronlar konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$n_d = \frac{N_d}{1 + e^{(\Delta W - W_F) / kT}} \quad (2)$$

(2) tenglama ΔW_d energiyaviy sathdagi donor holatlaridagi elektronlar konsentratsiyasini Fermi sathi va temperatura bilan bog'laydi.

Xona temperaturasida germaniy va kremniy kristali uchun Fermi sathi odatda ΔW_d energiyaviy sathdan bir necha kT qadar pastda joylashadi va shuning uchun $\left[(\Delta W_d - W_F) / kT \right] \gg 1$ bo'ladi. Shu sababli mahrajdagi 1 soni hisobga olinmasa (2) ifoda quyidagicha ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$n_d = N_d e^{-(\Delta W_d - W_F) / kT} \quad (3)$$

(3) tenglama donor sathdagi elektron bilan egallangan holatlar konsentratsiyasini donor kirishmaning konsentratsiyasi- N_d , Fermi sathi- W_F va mutlaq temperatura- T bilan bog'laydi.

Xuddi shu tarzda issiqlikdan uyg'onishi tufayli valent zonadan ΔW_a sathdagi akseptor holatga o'tgan elektronlar konsentratsiyasi n_a Fermi sathi W_F va mutlaq temperatura T orqali quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$n_a = \frac{N_a}{1 + e^{(\Delta W_a - W_F) / kT}} \quad (4)$$

bu yerda, N_a -akseptor atomlarning konsentratsiyasi.

O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasini topish nisbatan murakkabroq masaladir. o'tkazuvchanlik zonasidagi kvant holatlar bu zonaning tubi W_s dan taqiqlangan zonaning qoq o'rtasi- $W_{1/2}$ qadar energiyaviy oraliqda joylashgan bo'ladi va berilgan holatning egallanganlik ehtimolligi bir holatdan boshqa holatga o'tganda o'zgarib turadi.

Bu masalani yechish uchun isbotsiz qabul etilgan qoidalarining ikkinchisidan foydalanamiz: o'tkazuvchanlik zonasidagi W energiyaviy sath atrofida dW energiyaviy oraliqdagi kvant holatlar zichligi $g(W)dW$ quyidagicha munosabat bilan ifodalanadi:

$$g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \quad (5)$$

bu yerda, m_n -elektronning samaraviy massasi, h -Plank doimiysi.

(5) tenglama o'tkazuvchanlik zonasining pastki qismi uchun o'rinalidir. Biroq ko'pchilik elektronlar bu zonaning tubiga yaqin joylashgani uchun undan yetarli darajada aniqlik bilan foydalanish mumkin.

(1) va (5) tenglamalardan foydalanib, o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar zichligini aniqlash mumkin:

$$n = \int_{W_c}^{W_2} f(W)g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{W_2} \frac{(W - W_c)^{\frac{1}{2}} dW}{e^{(W - W_c)/kT} + 1} \quad (6)$$

Agar xona temperaturasida $W_s - W_F$ energiyaviy oraliq bir necha kT ga tengligini va W ning o'sishi bilan integral tez sur'at bilan kamayishini (chunki ko'pchilik elektronlar yuqorida qayd etilganidek o'tkazuvchanlik zonasining tubiga yaqin joylashgan bo'ladi) hisobga olsak, (6) ifodani soddalashtirish va quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$n = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{\infty} (W - W_c)^{\frac{1}{2}} e^{-(W - W_F)/kT} dW \quad (7)$$

Bu integralni yechish o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasi uchun quyidagi ifodani beradi:

$$n = N_c e^{-(W_c - W_F)/kT} \quad (7)$$

bu yerda,

$$N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

N_s - o'tkazuvchanlik zonasidagi holatlarning samaraviy zichligi deb ataladi. U har bir yarimo'tkazgich uchun aniq qiymatga egadir.

(6) ifoda o'tkazuvchanlik zonasidagi erkin elektronlar kon-sentratsiyasini W_s-W_F energiyaviy oraliq va mutlaq temperatura T bilan bog'laydi. Xona temperaturasida germaniy uchun $W_s \cong 5 \cdot 10^{-19} \text{ sm}^{-3}$, kremniyda esa $W_s \cong 2,82 \cdot 10^{-19} \text{ sm}^{-3}$.

Yuqoridagiga o'xshash usul bilan valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi, Fermi sathi va temperatura orasidagi bog'lanishni topish mumkin:

$$p = N_g e^{-(W_F - W_a) / kT} \quad (8)$$

bu yerda, N_v - valent zona yuqori chegarasi(shipi)ning energiyasi.

$$N_g = 2 \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

m_p -valent zonadagi kovaklarning samaraviy massasi, W_v -valent zonadagi holatlarning samaraviy zichligi deyiladi. Bu kattalik ham har bir yarimo'tkazgich uchun ma'lum qiymatga ega. Masalan, xona temperaturasida germaniy uchun $W_v \cong 6,1 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$, kremniy uchun esa $W_v \cong 1,02 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$. Erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi n va p larning ko'paytmasi Fermi sathining holatiga, ya'ni kirishmalar konsentratsiyasiga bog'liq emasligiga e'tiborni jalb qilmoqchimiz:

$$np = N_c N_g e^{-(W_c - W_g) / kT} = \text{const} \quad (10)$$

U yoki bu kirishma yarimo'tkazgichdagi elektronlar konsentratsiyasini oshirsa, u mos ravishda kovaklar konsentratsiyasini shuncha marta kamaytirishi va aksincha, kovaklar konsentratsiyasini oshirsa, elektronlar konsentratsiyasini shuncha marta kamaytirishi ushbu ifodadan ko'rinib turibdi.

Yarimo'tkazgichlar to'rt xil zaryadli zarralarga ega: harakatchan zaryad tashuvchilar-o'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklari; harakatsiz zaryadlar-donor va akseptor kirishmalarning ionlashgan atomlari. Bulardan kovaklar va donor ionlar miqdor jihatdan elektron zaryadiga teng musbat zaryadga, elektron va akseptor ionlar esa manfiy zaryadga ega. Zaryad miqdorining saqlanish qonuniga

ko'ra, yarimo'tkazgich kristallidagi yig'indi zaryad nolga teng. Bundan, yarimo'tkazgichda kovaklar va donor kirishmalar ionlarining umumiy soni elektronlar va akseptor kirishmalar ionlarining umumiy soniga teng, degan xulosa kelib chiqadi:

$$p + N_d^+ = n + N_a^- \quad (11)$$

bu yerda, N_d^+ va N_a^- -donor va akseptor kirishmalar ionlashgan atomlarning konsentratsiyasi.

Kirishmalar konsentratsiyasi hajm bo'ylab bir tekis taqsimlangan bir jinsli yarimo'tkazgichlarda bu qoida butun kristall uchungina emas, balki uning har bir kichik hajmiy elementi uchun ham o'rinlidir.

3. Yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi holatini aniqlash

(11) tenglamani yana quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$p + (N_d - n_d) = n + N_a^- \quad (12)$$

Agar (2), (3) va (8) tenglamalarni (11)ga qo'yilsa, Fermi sathi hamda temperaturadan boshqa barcha qolgan kattaliklar-yarimo'tkazgichning turi, kirishmalarning xili va konsentratsiyasi bilan aniqlanishini ko'rish mumkin. Demak, W_F kattalik temperaturaning funksiyasi sifatida ifodalanishi mumkin. Umuman olganda, (11) tenglama transendent bo'lib, u grafik usulda yechiladi. Biroq ko'pchilik amaliy hollarda ma'lum soddalashtirishlarni amalga oshirish va shu sharoitlarda W_F ni yetarli darajada aniqlik bilan topish mumkin.

Toza yarimo'tkazgichda N_d , n_d va N_a^- nolga teng va shuning uchun (12) ga asosan:

$$p = n \quad (13)$$

Boshqa turdagi yarimo'tkazgichlarga tegishli kattaliklardan farqli qilish uchun kirishmasiz yarimo'tkazgichning barcha kattaliklari i indeksi bilan beriladi. Shuning uchun kirishmasiz yarimo'tkazgich uchun $p = p_i$, $n = n_i$, $W_F = W_{F_i}$.

U holda (6) va (8) larni quyidagicha yozish mumkin:

$$n_i = N_c e^{-(W_c - W_{F_i})/kT} = p_i \quad (14)$$

$$p_i = N_g e^{-(W_{F_i} - W_g)/kT} = n_i \quad (15)$$

Demak, xususiy yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi ushbu tenglamadan:

$$N_c e^{-(W_c - W_{F_i})/kT} = N_g e^{-(W_{F_i} - W_g)/kT} \quad (16)$$

quyidagicha ko'rinishda topiladi:

$$W_{F_i} = \frac{W_c - W_g}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_g}{N_c}\right) \quad (17)$$

(7) va (9) ifodalardan foydalansak, W_{F_i} uchun shunday munosabat olamiz:

$$W_{F_i} = \frac{W_c - W_g}{2} + \frac{3kT}{4} \ln\left(\frac{m_p}{m_n}\right) \quad (18)$$

Elektronlar va kovaklarning samaraviy massalari deyarli teng bo'lgani uchun (18) ifoda kirishmasiz yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi taqiqlangan zonaning o'rtasiga juda yaqin yotishini ko'rsatadi. Shunday qilib, $m_p = m_n$ deb qabul qilsak, quyidagicha yozish mumkin:

$$W_{F_i} = \frac{W_c + W_g}{2} \quad (19)$$

(13) va (14) ifodalardan quyidagi munosabatni olish mumkin ekanligiga e'tiborni jalb qilamiz:

$$p_i \equiv n_i = (N_c \cdot N_g)^{1/2} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (20)$$

Germaniy uchun taqiqlangan zonaning kengligi $\Delta W = W_c - W_g = 0,67$ eV va $N_c = N_g \cong 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ekanligi hisobga olsak, xona temperaturasi sharoitida xususiy o'tkazuvchanlikli germaniydagi erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi

uchun $n_i = p_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ taxminiy qiymatni olamiz. Taqiqlangan zonasi kengligi 1,12 eV ga teng bo'lgan kremniyda esa, $n_i = p_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

4. p-n-tur yarimo'tkazgich

Agar donorlar konsentratsiyasi N_d akseptorlar konsentratsiyasidan ancha ko'p bo'lsa, (11) tenglamada n_a ni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shuningdek, barcha donorlar ionlashgan deb faraz qilish mumkin, chunki xona temperaturasida germaniy va kremniy uchun bemalol shunday deb olsa bo'ladi. Bunga qo'shimcha ravishda valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron(asosiy zaryad tashuvchi)lar konsentratsiyasidan ancha kam deb qabul qilsak, (11) tenglama:

$$n_n \cong N_d \quad (20)$$

ko'rinishni oladi, bu yerda, "n"-indeks ushbu kattalik n-tur yarimo'tkazgichga tegishli ekanini ko'rsatadi.

Endi Fermi sathi uchun (6) va (21) tenglamalardan quyidagi ifodani olamiz:

$$W_{F_n} = W_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \quad (22)$$

n-tur yarimo'tkazgichdagi noasosiy zaryad tashuvchilar-kovaklar konsentratsiyasini topish uchun (1.41) dan olingan kattalikni (1.28) ifodaga qo'yamiz. Natijada quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$p_n = \frac{N_c N_g}{N_d} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (23)$$

Agar akseptorlar konsentratsiyasi donorlar konsentratsiyasidan katta bo'lsa, tenglamada N_d va n_d kattaliklarni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shuningdek, barcha akseptorlar valent zonadan elektron olgan, ya'ni $n_a = N_a$ deb qabul qilsak bo'ladi. Xona temperaturasida shunday holat to'liq ravishda o'rinli bo'ladi. Bunga

qo'shimcha ravishda, valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasidan ancha katta deb faraz qilsak, (11) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$p_p \cong N_a \quad (24)$$

bu yerda, "p"-indeks ushbu kattalik p-tur yarimo'tkazgichga tegishli ekanligini ko'rsatadi.

Endi (8) va (24) ifodalar yordamida Fermi sathini aniqlash mumkin:

$$W_{F_p} = W_g + kT \ln \left(\frac{N_g}{N_a} \right) \quad (25)$$

(25) tenglamadan topilgan W_F ning qiymatini (6) ifodaga qo'ysak, p-tur yarimo'tkazgichdagi noasosiy zaryad tashuvchilarelektronlar uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$n_p = \frac{N_c N_g}{N_a} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (26)$$

(25) ifodadan ko'rinishicha, Fermi sathi n -tur yarimo'tkazgichda valent zonaning shipiga yaqin joylashar ekan.

XULOSA

Ushbu kurs ishida yarimo‘tkazgichlar haqida umumiy ma’lumotlar, ularni avtomatikada, telemexanikada, radioelektironikada, elektr xisoblash mashinasida va boshqa qator soxalarda ishlatilishini va yarimo‘tkazgichli moddalar va asboblarni tadqiq etish masalalarini o‘rganildi.

Yarimo‘tkazgich orqali o‘tayotgan elektrik tokining zichligi va shu yarimo‘tkazgichga berilgan kuchlanish orasidagi bog‘lanishni topish uchun berilgan sharoitdagi elektronlar bilan kovaklar konsentratsiyasini, elektronlar va kovaklar konsentratsiyasining tegishli miqdoriy ifodasini topishni ko‘rib chiqildi.

Bulardan birinchisi, statistik fizikaga oid Fermi-Dirak taqsimoti funksiyasi bo‘lib, u har qanday alohida energiyaviy sathning elektron bilan to‘lish ehtimolligini ko‘rsatadi. Kvant mexanikasidan olingan ikkinchi qoida esa, ma’lum energiyaviy oraliqdagi kvant holatlar zichligini aniqlaydi va o‘tkazuvchanlik zonasidagi hamda kirishmaviy sathlardagi elektronlar zichligi, valent zonadagi kovaklar zichligini Fermi sathi orqali ifodalanuvchi munosabatlarni ko‘rib chiqdik.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. S.Z.Zaynobidinov, A.Teshaboev. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. T. "O'qituvchi" 1999.
2. A.Teshaboev. Yarimo'tkazgichlar fizikasiga kirish (Kristallar. Elektron xolatlari spektri. Zaryad tashuvchilar statistikasi). T.,1985, ToshDU nashriyoti.
3. A. Teshaboev, R. Aliev «Qayta tiklanayotgan energetika» «Andijon» 2006 yil.
4. X. Akramov, S.Zaynobiddinov, A. Teshaboev «Yarimo'tkazgichlarda fotoelektrik xodisalar» «O'zbekiston» 1994 yil.

Andijon Davlat Universiteti Fizika yoʻnalishi, III-bosqich F1 guruhi talabasi

Abdulxafizova Sayyoraning

„Yarimoʻtkazgichlarda fermi- dirak taqsimoti” nomli referatiga

T A Q R I Z

Ushbu referat Yarimoʻtkazgich moddalar jaxon fani va texnikasida salmoqli oʻrinni egallab kelmoqda. Ular asosida ishlab chiqarilayotgan asbob va qurilmalar miqdori tez kupayib, ularning turli sohalarga tadbiqui kengayib bormoqda.

$$p_p \cong N_a \quad (24)$$

bu yerda, "p"-indeks ushbu kattalik p-tur yarimoʻtkazgichga tegishli ekanligini koʻrsatadi.

Endi (8) va (24) ifodalar yordamida Fermi sathini aniqlash mumkin:

$$W_{F_p} = W_g + kT \ln \left(\frac{N_g}{N_a} \right) \quad (25)$$

(25) tenglamadan topilgan W_F ning qiymatini (6) ifodaga qoʻysak, p-tur yarimoʻtkazgichdagi noasosiy zaryad tashuvchilarelektronlar uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$n_p = \frac{N_c N_g}{N_a} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (26)$$

(25) ifodadan koʻrinishicha, Fermi sathi n-tur yarimoʻtkazgichda valent zonaning shipiga yaqin joylashar ekan.

ADU „Fizika” kafedrasi proffessori f.m.f.d.

I Karimov