NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-6]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

YARIM O'TKAZGICHLARDA KINETIK HODISALAR VA ZARYAD TASHUVCHILARNING HARAKATCHANLIGI.

Xusanova Nilufarxon Xamidjon qizi
Shahobiddinov Bahodir Baxtiyor o'g'li
Namangan davlat unversiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada yarim o'tkazgichlarda yuz beradigan kinetik hodisalar va zaryad tashuvchilarning harakatchanligi o'rganiladi. Yarim o'tkazgichlarning o'ziga xos fizik xususiyatlari va ular ustida amalga oshirilgan tajribalar natijalari asosida elektronlar va teshiklarning harakatlanish qonuniyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi (μ) va unga ta'sir qiluvchi omillar, masalan, temperatura, va kristall nuqsonlari muhokama qilinadi. Tahlil qilish orqali yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi, tok zichligi va boshqa fizikaviy parametrlar o'rtasidagi bog'liqliklar yoritiladi. Ushbu maqola, yarim o'tkazgichlar asosida ishlovchi elektron qurilmalar va materiallar ilm-fanidagi tadqiqotlar uchun muhim asosiy ma'lumotlarni taqdim etadi.*

Kalit so'zlar: *Yarim o'tkazgichlar, zaryad tashuvchilar, kinetik hodisalar, harakatchanlik, elektr maydon, atom, elektron, elektron energiyasi, issiqlik energiyasi, elektr maydon, magnit maydon.*

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Аннотация. *В данной статье рассматриваются кинетические явления в полупроводниках и подвижность носителей заряда. На основе физических свойств полупроводников и результатов проведённых экспериментов анализируются закономерности движения электронов и дырок. Также обсуждаются подвижность носителей заряда (μ) и влияющие на неё факторы, такие как температура и дефекты кристаллической решётки. В результате анализа освещаются взаимосвязи между электропроводностью, плотностью тока и другими физическими параметрами полупроводников. Данная статья предоставляет важную базу знаний для научных исследований в области электронных устройств и материалов на основе полупроводников.*

Ключевые слова: *Полупроводники, носители заряда, кинетические явления, подвижность, электрическое поле, атом, электрон, энергия электрона, тепловая энергия, электрическое поле, магнитное поле.*

KINETIC PHENOMENA IN SEMICONDUCTORS AND MOBILITY OF CHARGE CARRIERS

Abstract. *This article explores kinetic phenomena occurring in semiconductors and the mobility of charge carriers. Based on the unique physical properties of semiconductors and experimental results, the behavior laws of electrons and holes are analyzed. Furthermore, the mobility (μ) of charge carriers and influencing factors such as temperature and crystal defects are discussed. Through this analysis, the relationships between electrical conductivity, current density, and other physical parameters in semiconductors are revealed. This article provides essential foundational information for scientific research on electronic devices and materials based on semiconductors.*

Keywords: *Semiconductors, charge carriers, kinetic phenomena, mobility, electric field, atom, electron, electron energy, thermal energy, electric field, magnetic field.*

Yarim o'tkazgichlar zamonaviy texnologiyalar va elektronika sohasida muhim o'rin tutadi. Ular metallar va izolyatorlar o'rtasida joylashgan materiallar bo'lib, o'zining elekr o'tkazuvchanligi bilan ajralib turadi. Yarim o'tkazgichlarning asosiy xususiyatlaridan biri ularning elektr o'tkazuvchanlik darajasini tashqi omillar orqali boshqarish imkoniyatidir. Maqolamda yarim o'tkazgichlardagi kinetik hodisalar va zaryad tashuvchilarning harakatchanligiga qiqacha to'xtalmoqchiman.

Qattiq jism – aniq shaklga ega bo'lgan va uni tashkil etgan atomlar o'zining muvozanat holati atrofida mavjud haroratga mos doim tebranishga ega bo'lgan modda holatiga aytiladi. Qattiq jismlar o'zlarining elektr va issiqlik o'tkazuvchanligiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Metallar – yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega, harorat pasayishi bilan o'tkazuvchanligi ortib boradigan, yuqori plastic xossaga ega bo'lgan qattiq jismdir. Ko'pchilik metallar o'ta past haroratda (t=0,1÷23 K) o'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'ladi.

2. Yarim o'tkazgichlar – elektr o'tkazuvchanligi metallarnikidan ancha kam ($\sigma=10^{3}\div10^{-10}(Om/sm)^{-1}$), kirishma atomlar konsentratsiyasiga o'ta sezgir, harorat pasayishi bilan elektr o'tkizuvchanligi eksponensial qonuniyat bilan kamayadigan, past haroratlarda (t=1÷2 K) dielektrik xossasiga ega bo'lgan qattiq jismlardir.

3. Dielektriklar – elektr va issiqlik o'tkazuvchanligi juda kam va tashqi elektr maydoni ta'sirida qutblanishga ega bo'lgan qattiq jismlardir.

Kinetik hodisalar deganda - yarim o'tkazgichga tashqaridan yo'naltirilgan ta'sir (elektr va magnit maydoni, harorat gradiyenti) natijasida zaryad tashuvchilaming ma'lum yo'nalish bo'yicha siljishi va natijada shunga mos tok, elektr yurituvchi kuchlar hosil bo'lishiga aytiladi. Tashqaridan biror ta'sir bo'lmagan yarim o'tkazgichdagi tok tashuvchilar muvozanat holatda bo'ladi. Demak, moddani tashkil etgan barcha atomlar va elektronlar energiyasi, moddani o'rab turgan muhit haroratiga mos issiqlik energiyasi - kT ga teng bo'lish bilan birga, elektronlaming energetik sathlar bo'yicha taqsimoti ham shu haroratga mos holda bo'ladi. Bu holatda yarim o'tkazgichdagi barcha elektronlar tartibsiz issiqlik harakatida bo'ladi. Ulaming yo'nalish!ar bo'yicha taqsimoti ham bir xil bo'lganligi uchun bir tomonga qancha elektron harakat qilayotgan bo'lsa, unga qarama - qarshi tomonga ham shuncha elektron harakatda bo'ladi. Natijada yarim o'tkazgichda tok hosil bo'lmaydi. Yarim o'tkazgichga tashqi elektr manba ulansa, har bir elektronga maydon yo'nalishi bo'yich $F = eE$ – kuch ta'sir etadi. U holda, elektron o'z tezligini ham miqdorini ham yo'nalish bo'yicha o'zgartiradi, ya'ni tezlanish oladi:

$$\alpha = \frac{eE}{m_n^x}\ , \alpha = \frac{\Delta V}{t}\ , \Delta V = \frac{eE}{m_n^x}\cdot t \qquad (1.1)$$

Nazariy qaraganda (1.1)-ifodaga mos elektronning tezligini cheksiz oshirish mumkin bo Mar edi. Ammo, yuqorida boblarda ko'rsatilgandek, elektronning harakatigakristall panjarasidagi mavjud har xil nuqsonlar bilan (kirishma atomlar, boshqa elektron va kovaklar, panjara issiqlik tebranishi) to'qnashisb oqibatida o'z yo'nalishini o'zgartirishi bilan birga, o'z energiyasini yo'qotib, avvalgidek maydon ta'sirida harakat qila boshlaydi. Bu degan so'z elektron ikki ta to'qnashuv orasida erkin harakat qilib ma'lum masofa (l) ni bosib o'tadi. l - elektronning erkin yugurish masofasini t - ikki to'qnashuv orasidagi vaqt (elektronning erkin yugurish vaqti) [1].

$$\tau = \frac{l}{\Delta V} \qquad (1.2)$$

Bunda τ-elektronning tashqi maydon ta'sirida olgan energiyasini to'qnashuv davomida to'la yo'qotib, avvalgidek yo'nalish bo'yicha harakat boshlashiga kerak bo'ladigan vaqt tushuniladi. U relaksatsiya vaqti deb atalib, tashqi ta'sir to'xtagandan so'ng tizimni yana muvozanat holatiga qaytib kelishi uchun lozim bo'lgan vaqt hisoblanadi. Demak, kristallda elektron harakatiga faqat tashqi ta'sir - elektr maydon emas balki, ichki ta'sir ya'ni elektronning kristall panjara nuqsonlari bilan to'qnashuvi ham sabab bo'ladi. Bu ikki kuch o'zaro qarama - qarshi yo'nalgan bo'lib, tashqi ta'sir elektronni maydon bo'yicha harakatga keltirib muvozanatdan chiqarsa, ichki ta'sir uni yana takroran muvozanatga qaytarishiga olib keladi. Tashqi elektr maydon ta'sirida yarim o'tkazgichdan tok o'ta boshlaydi va uning qiymati elektr maydon E ga bog'liq bo'ladi:

$$J = \sigma \cdot E \qquad (1.3)$$

Bunda σ - proportsionallik koeftsiyenti bo'lib, elektr o'tkazuvchanlik deb ataladi. Agar yarim o'tkazgichning bir qismida harorat oshirilsa, o'sha joyda elektronlar konsentratsiyasi oshib, harorat pasaygan tomon diffuziya bo'la boshlaydi. Natijada yarim o'tkazgich issiq va sovuq tomonlari orasida elektr yurituvchi kuch paydo bo'ladi, uning qiymati quydagicha [2]

$$\Delta\varepsilon = -\alpha\Delta T \qquad (1.4)$$

α - yarim o'tkazgichni solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlik koeftsiyenti deb ataladi. Agar yarim o'tkazgichga bir vaqtning o'zida 2 xil tashqi kuch masalan elektr (E) va magnit maydoni (B) o'zaro perpendikulyar holda ta'sir etsa, unda elektr va magnit maydon yo'nalishlariga perpendikulyar bo'lgan yon tomonlarida Xoll elektr yurituvchi kuchi ya'ni Xoll elektr potensiali paydo bo'ladi. Uning qiymati quydagicha ifodalanadi [3].

$$u_x = R_x \frac{J-B}{t} \qquad (1.5)$$

Bunda proportsionallik koeftsiyenti R_x - Xoll koeftsiyenti deb ataladi. Xuddi shunday yarim o'tkazgich materiallariga yorug'lik ta'sir etganda yoki bir vaqtning o'zida yorug'lik va magnit maydon , yorug'lik va elektr maydoni yoki boshqa kuchlar ta'sir etganda, shunga mos yangi fizik hodisalar - Dember effekti, fotomagnit effekt va boshqalar yuzaga keladi.

Yuqorida keltirilgandek, tashqi elektr maydoni ta'sirida elektronlar o'rtacha qo'shimcha tezlik oladi:

$$\bar{V} = \alpha \cdot \tau = -\frac{eE}{m}\cdot\tau \qquad (1.6)$$

Ammo, bu tezlik elektronlaming kristall panjaradagi mavjud nuqsonlar bilan doimo to‘qnashuvi natijasida uzluksiz oshmasdan, o‘z miqdori va yo‘nalishini o‘zgartirib turardi. τ - elektronning relaktsatsiya vaqti bo‘lib, uning qiymati panjaradagi nuqsonlar tabiati va konsentratsiyasiga bog’liq bo‘ladi. Bizga ma’Iumki, yarim o‘tkazgichga elektr maydoni (E) ta’sir etganda undan o‘tayotgan tok zichligi (1.7) ifodaga teng bo‘ladi.

Ikkinchi tomondan o‘tayotgan tok zichligi zaryadlangan zarralaming birlik vaqt ichida maydon yo‘nalishiga teskari yo‘nalish bo‘yicha siljishi bilan aniqianadi:

$$j = -en\bar{V} \qquad (1.7)$$

(1.6) va (1.7) - ifodadan elektron o‘rtacha tezligi topilsa:

$$\bar{V} = -\frac{\sigma E}{en} \qquad (1.8)$$

teng bo‘ladi.

Elektronni maydon ta’siridagi olgan tezligini qiymati (1.6) ni

$$\frac{eE}{m}\cdot\tau = \frac{\sigma E}{en} \qquad (1.9)$$

Bunda σ - yarim o‘tkazgichning solishtirma o’tkazuvchanligi bo’lib:

$$\sigma = en\frac{e}{m}\cdot\tau \qquad (1.10)$$

Elektronlaming yana bir muhim xususiyatlaridan biri bu - elektronlaming harakatchanligi bo’lib, u quyidagiga teng bo’ladi:

$$\frac{e}{m_n^x}\cdot\tau = \mu_n \qquad (1.11)$$

Demak, bundan ko’rinib turibdiki, elektronning harakatchanligi faqat τ ya’ni relaksatsiya vaqti bilangina aniqlanar ekan. $\sigma = en\mu$ Metallarda relaksatsiya vaqti - ulardagi mavjud ~ 10^{22} sm^{-3} elektronlarning o‘zaro to‘qnashuvi bilan aniqlanadi va τ - 10^{-12} $s$ga teng bo’ladi. Yarim o’tkazgich materiallarda esa elektronlar konsentratsiyasi n ~ $10^{13} \div 10^{16}$ sm^{-3} bo’lganligi uchun τ ning qiymati asosan elektronning panjaradagi nuqsonlar bilan to‘qnashuvi bilan aniqlanadi. Bundan ko‘rinadiki, agar relaksatsiya vaqti cheksiz bo’lsa, elektronlar harakatida hech qanday to‘qnashuvlar yuz bermaydigan holat kuzatilib, unda harakatchanlik va modda solishtirma o’tkazuvchanligi o’ta o’tkazuvchanlik holati kuzatiladi.

n-tur legirlangan yarimo‘tkazgichda o‘tkazuvchanlikning haroratga bog‘liqligi elektronlar konsentratsiyasi $n(T)$ va elektronlar harakatchanligi $\mu_e(T)$ ning haroratga bog‘liqligi bilan aniqlanadi:

$\sigma(T)=en(T)\mu_e(T)$.

Yuqori haroratlarda harakatchanlikni asosan fononlar bilan sochilish cheklaydi. Bu holda harakatchanlik taxminan quyidagicha haroratga bog‘liq bo‘ladi:

$$\mu_e^{ph} \propto T^{-\frac{3}{2}}$$

Ya’ni harorat oshgan sari fononlar soni ortadi, sochilish kuchayadi va natijada harakatchanlik kamayadi.

Past haroratlarda esa harakatchanlikni asosan ionlangan legiruvchi atomlar bilan sochilish cheklaydi:

$$\mu_e^{ii} \propto T^{\frac{3}{2}}$$

Biz yuqorida elektronlaming har xil nuqsonlarda sochilishi mavjud ekanligini aytdik. Endi ushbu sochilish tushunchasini ham ozgina yoritib o’taylik. Avvalo sochilish 2 xil bo’ladi: elastik - ya’ni sochilishda elektron o‘zining kinetik energiyasini yo‘qotmaydi va faqat o‘z yo‘nalishini o‘zgartiradi. Bunday sochilish elektronning unga nisbatan massasi juda katta bo’lgan kirishma atomlar bilan to‘qnashganda sodir bo’ladi. 2 - xil elastik bo’lmagan sochilish - elektron o‘z energiyasini o‘zgartirishi oqibatida, ya’ni o‘zidan massasi kichik bo’lgan nuqsonlar - fotonlar, fononlar bilan to‘qnashuvi asosida yuz beradi. Endi to‘qnashuv va sochilish hodisalarining mohiyatini ko‘rib chiqaylik. Elektronlar kristalldagi kirishma atomlari yoki ionlar bilan to‘g‘ridan - to‘g’ri to‘qnashmagan holda ularning ta’sir doirasi chegarasiga kirishi bilan o‘z to'g‘ri chiziqli harakat yo‘nalishini o‘zgartirishi, ya’ni sochilish jarayoni kuzatiladi. Agar nuqson manfiy ion bo’lsa elektron undan uzoqlashadi, agar nuqson musbat ion bo’lsa, u tomonga og‘adi. Og’ish burchagi va elektronning ion ta’sirida og‘masligini ta’minlovchi eng kam masofa ion tabiatiga, elektron energiyasiga va albatta moddaning haroratiga bog’liq bo’ladi. Elastik o‘rtacha erkin yo‘l l_e — bu ikki elastik sochilish hodisasi orasidagi o‘rtacha masofa bo‘lib, elektronning bu masofa davomida energiyasini yo‘qotmasdan harakatlanishini ifodalaydi. Elastik o‘rtacha erkin yo‘l elektronning boshlang‘ich yo‘nalishda harakatini to‘liq yo‘qotgan deb faraz qilinadi. Ba’zi hollarda bu shartni bajarish uchun ko‘plab sochilish hodisalari zarur bo’ladi. Sochilish mexanizmlari ba’zida katta burchakli va kichik burchakli sochilish sifatida tasniflanadi. Elastik o‘rtacha erkin yo‘lni ketma-ket sochilishlar orasidagi sochilish vaqti τ_e orqali hisoblash mumkin: $l_e = \tau_e\vartheta_F$ bu yerda $\vartheta_F = \frac{\hbar k_F}{m^*}$ Fermi tezligi. Bularning hammasi elektron harakatchanligini chegaralovchi faktorlardir.

Yarim o’tkazgichlar ilm-fan va texnologiyadagi eng muhim kashfiyotlardan biri bo’lib, ular elektr o’tkazuvchanligini tashqi omillar orqali boshqarish imkonini beradi. Yarim o’tkazgichlarning elektr o’tkazuvchanlik xususiyatlari ularning turli sohalarda, xususan, elektronika, energetika va tibbiyotda keng qo’llanilishini ta’minlaydi.

Yarim o’tkazgichlar texnalogiyalarining rivojlanishi, yangi materiallar va metodlarni ishlab chiqish, kelajakda yanada samarali va energiya tejovchi elektron qurilmalarni yaratish imkoniyatlarini ochib beradi. Yarim o'tkazgichlar - bu zaryad tashuvchilarning harakatini o‘rganish orqali ularning fizikaviy xususiyatlarini tushunishga yordam beradi. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi (μ) materiallarning elektr o‘tkazuvchanligi va samaradorligini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Harakatchanlikka temperature va kristall nuqsonlari kabi omillar ta'sir ko‘rsatadi. Maqolada keltirilgan tahlillar va formulalar, yarim o'tkazgichlarning turli fizikaviy xususiyatlarini chuqur o‘rganishga yordam beradi va zamonaviy elektronika va materialshunoslik sohalarida qo‘llaniladigan nazariyani kuchaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. M.K.Baxodirxonov, N.F.Zikirillayev, X.M.Iliyev, “Yarim o’tkazgichlar fizikasi”. Toshkent-2016.
2. A.T.Teshaboyev, C.Z.Zaynabiddinov, Sh Ermatov, “Qattiq jism fizikasi”. Toshkent- 2001.
3. D.Alijanov, X.Qo’chqarov, “Elektr va magnetizm” fanidan o’quv-uslubiy majmua. Namangan-2023.