

YARIM O'TKAZGICHLARNING TERMODINAMIK XOSSALARIGA OID MAVZULARNI O'QITISHNI TAKOMILLASHTIRISH

Kalandarov Ergash Kilichovich

Nizomiy nomidagi O'zMPU dotsenti

Yoqubova Himoyatxon Botirali qizi

Nizomiy nomidagi O'zMPU talabasi

Annotatsiya: Mazkur maqolada yarim o'tkazgichlarning termodinamik xossalarini o'qitishni takomillashtirish ketma – ketlilik tamoyiliga asoslanib yoritib berilgan. Bundan tashqari maqolada yarim o'tkazgichlarning ba'zi mavzularini tushuntirishda qo'llaniladigan pedagogik texnologiyalar uchun tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, физика, кетма кетlilik, термодинамика, ichki energiya, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik, erishi, qotishi, erkin energiya.

Аннотация: В данной статье освещается совершенствование преподавания термодинамических свойств полупроводников на основе принципа последовательности. Кроме того, в статье представлены рекомендации по педагогическим технологиям, применяемым при объяснении некоторых тем, связанных с полупроводниками.

Ключевые слова: полупроводник, физика, последовательность, термодинамика, внутренняя энергия, теплоемкость, теплопроводность, плавление, затвердевание, свободная энергия.

Abstract. This article highlights the improvement of teaching the thermodynamic properties of semiconductors based on the principle of sequence. Additionally, the article provides recommendations on pedagogical technologies used in explaining some topics related to semiconductors.

Keywords: semiconductor, physics, sequence, thermodynamics, internal energy, heat capacity, thermal conductivity, melting, solidification, free energy.

Yarimo'tgichlar hozirgi zamon ilm-fani va texnikasining asosiy materiallaridan biri hisoblandi. Mikroelektronika, optoelektronika, quyosh energetikasi va axborot texnologiyalarining rivoji bevosita yarimo'tkazgich materiallarining xossalariga bog'liq. Ushbu materiallar elektr o'tkazuvchanligining tashqi ta'sirlarga sezgirligi bilan ajralib turadi, bu esa ularni boshqariladigan va moslashuvchan qiladi.

Yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalari deganda ularning issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanligi, erish va qotish jarayonlari hamda diffuziya va boshqa issiqlik hodisalari tushuniladi. Ushbu xossalalar materialning kristall tuzilishi, panjara tebranishlari va zaryad tashuvchilarning harakati bilan chambarchas bog'liq. Masalan, issiqlik o'tkazuvchanlik asosan fononlar orqali amalga oshadi, diffuziya esa harorat

oshishi bilan keskin faollashadi. Erish va qotish jarayonlari esa yarimo'tkazgich kristallarini yetishtirish va texnologik qayta ishlashda muhim rol o'ynaydi.

Yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalariga oid mavzularni o'quvchi va talabalarga tushuntirishda mashg'ulotlarni ketma – ketlik tamoyiliga asoslanib tashkil etish maqsadga muvofiq sanaladi. Shu sababli yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalarini formulalar va grafiklar asosida tahlil qilish ushbu sohadagi jarayonlarni yanada aniqroq tushunishga yordam beradi [2]. Mazkur maqolada yarimo'tkazgichlarning asosiy termodinamik xossalari haroratga bog'liqligi nuqtai nazaridan ko'rib chiqiladi, ularning fizik mohiyati izchil bayon etiladi.

Ichki energiya. Yarimo'tkazgichlarning ichki energiyasi kristall panjara tebranishlari va zaryad tashuvchilarning enerhiyasidan iborat:

$$U=U_{\text{panj}}+U_e \quad (1)$$

Kristall panjaradagi atomlar mutlaq tinch holatda bo'lmaydi, balki muvozanat holati atrofida tebranadi. Harorat oshgani sari tebranishlar kuchayadi va ichki energiya ortadi. Shu bilan birga, elektron va kovaklarning energetik hissasi ham muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Entropiya esa tizimdagi tartibsizlik darajasini ifodalaydi. Yarimo'tkazgichlarda harorat oshishi bilan zaryad tashuvchilarning taqsimlanishi murakkablashadi, natijada entropiya ortadi [1]. Bu jarayonlar termodinamik muvozanatni belgilovchi asosiy omillardan biridir.

Diffuziya hodisasi. Diffuziya hodisasi yarimo'tkazgichlarning muhim termodinamik jarayonlaridan biri bo'lib, u zarrachalarning, ya'ni atomlarning yoki zaryad tashuvchilarning yuqori konsentratsiyali sohadan past konsentratsiyali sohaga o'z-o'zidan tarqalishini ifodalaydi. Bu jarayon tashqi kuch ta'sirisiz, faqat tizimning ichki energiyasi va harorat bilan bog'liq tasodifiy harakatlar natijasida yuz beradi. Termodinamik nuqtai nazardan diffuziya tizim entropiyasining ortishiga olib keladi va shu sababli u o'z-o'zidan kechuvchi jaryon hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichlarda diffuziya asosan legirlovchi atomlar, shuningdek elektronlar va kovaklarning harakati bilan bog'liq bo'ladi. Harorat oshishi bilan zarrachalarning kinetik energiyasi ortadi va ularning tartibsiz harakati kuchayadi, natijada diffuziya jarayoni tezlashadi. Shu sababli diffuziya hodisasi yarimo'tkazgichlarning termodinamik holati, xususan harorat va ichki energiyasi bilan bevosita bog'liqdir.

Diffuziya oqimi va konsentratsiya gradient orasidagi bog'lanish Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$\vec{J} = -D\nabla n \quad (2)$$

Bu yerda J-diffuziya oqimi zichligi, D- diffuziya koeffitsienti, ∇n -zarrachalar konsentratsiyasining gradienti. Manfiy ishora zarrachalarning har doim konsentratsiyasi katta bo'lgan sohadan kichik bo'lgan sohaga harakatlanishini

ko'rsatadi. Ushbu qonun diffuziyaning asosiy fizik mazmunini ochib beradi va jarayonning yo'nalishini aniqlaydi [3].

Diffuziya koeffitsiyenti haroratga kuchli bog'liq bo'lib, u Arrenius tipidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (3)$$

Bu yerda D_0 -oldindan ko'paytuvchi koeffitsiyen, E_a - aktivatsiya energiyasi, k_B - Boltsman doimiysi, T -mutlaq harorat. Ushbu ifodadan ko'rinadiki, harorat oshishi bilan diffuziya koeffitsiyenti keskin ortadi, chunki zarrachalar panjara to'siqlarini yangib o'tish uchun yetarli energiya oladi.

Yarimo'tkazgichlarda diffuziya hodisasi zaryad tashuvchilarning taqsimotiga bevosita ta'sir qiladi. Elektronlar va kovaklarning diffuziyasi natijasida ichki elektr maydonlari hosil bo'lishi mumkin, bu esa yarimo'tkazgichning elektr xossalrini o'zgartiradi. Ayniqsa, p-n o'tishlar hosil bo'lishida diffuziya muhim rol o'ynaydi, chunki turli xil legirlash natijasida paydo bo'lgan konsentratsiya farqlari diffuziya jarayonini yuzaga keltiradi.

Diffuziya jarayoni issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanlik bilan chambarchas bog'liq. Harorat oshishi bilan tizim ichki energiyasi ortadi, bu esa zarrachalarning harakatini faollashtiradi va diffuziya tezligini oshiradi. Shu sababli diffuziya hodisasi yarimo'tkazgichlarning umumiy termodinamik xatti-harakatlarining ajralmas qismi hisoblanadi. Amaliy jihatdan diffuziya yarimo'tkazgich texnologiyalarida keng qo'llaniladi. Masalan, legirlash jarayonida atomlarning diffuziyasi orqali materialning elektr xossalari boshqariladi. Diffuziya tezligi va chuqurligini nazorat qilish orqali p-tur va n-tur yarimo'tkazgich qatlamlari hosil qilinadi. Agar diffuziya noto'g'ri boshqarilsa, kristall panjarada nuqsonlar paydo bo'lib, qurilmaning ishlash samaradorligi pasayishi mumkin.

Shunday qilib, diffuziya hodisasi yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalari bilan bevosita bog'liq bo'lib, u harorat, ichki energiya va entropiyaning o'zgarishi orqali boshqariladi. Diffuziya jarayonini tushunish yarimo'tkazgich materiallarning fizik mohiyatini chuqur anglashga va ularni amaliyotda samarali qo'llashga imkon beradi.

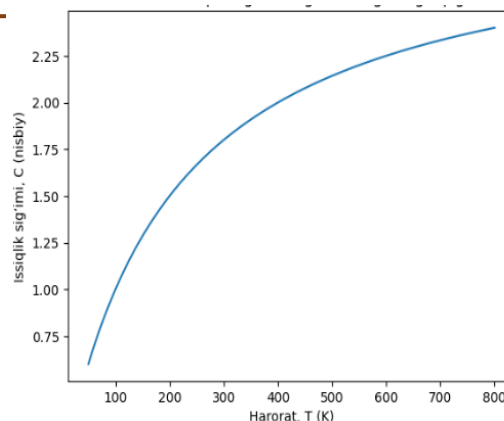
Diffuziya hodisasini o'qitishda asosiy e'tibor jarayonning mohiyatini talabalarga soda va tushunarli tarzda yetkazishga qaratilgan. Bunda "*tushuntir+ko'rsat+misol*" metodikasi qo'llaniladi. Avvalo diffuziya zarrachalarning ko'p konsentratsiyasidan kam konsentratsiyaga tomon o'z-o'zidan harakatlanishi ekanligini oddiy so'zlar bilan tushuntiriladi.

Issiqlik sig'imi. Issiqlik sig'imi yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalrini tushunishda markaziy rol o'ynaydigan kattalik bo'lib, u materialning haroratini bir birlikka oshirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorini ifodalaydi. Yarimo'tkazgichlarda issiqlik sig'imi ikki asosiy komponentdan iborat: birinchisi

kristall panjara tebranishlari(fononlar)hissasi, ikkinchisi esa elektronlar hissasi. Shu sababli umumiy idoda quyidagicha yoziladi:

$$C(T) = C_{\text{panj}}(T) + C_e(T) \quad (4)$$

Kristall panjaraning hissasi Debay modeli orqali aniqlanadi:



$$C_{\text{panj}}(T) = 9Nk_B \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx \quad (5)$$

Bu yerda N-atomlar soni, k_B -Boltsman doimiysi, θ_D - Debay harorati.

Past haroratlarda panjara hissasi dominant bo'lib, tizim energiyasi asosan atomlar tebranishi tashkil qiladi, o'rta va yuqori haroratlarda esa elektronlarning hissasi sezilarli bo'ladi va issiqlik sig'imi asta-sekin oshadi. Bu xatti-harakatlar yarimo'tkazgichlarning harorat o'zgarishiga qarshi barqarorligini ta'minlaydi va qurilmalar ishlashidagi barqarorlikni oshiradi.

Issiqlik sig'imi shuningdek diffuziya jarayonlari va legirlash bilan chambarchas bog'liq. Yuqori issiqlik sig'imi atomlar va elektronlarning faolligini oshiradi, bu esa yarimo'tkazgichlarda p-n o'tishlar hosil qilish va legirlash jarayonlarini tezlashtiradi. Past issiqlik sig'imi esa energiyani uzatadi, natijada harorat o'zgarishi tezlashadi va elektron qurilmalar uchun xavf tug'diradi. Shu sababli, yarimo'tkazgich kristallarini ishlab chiqarishda va yuqori sifatli material olishda issiqlik sig'imi asosiy parameter sifatida olinadi [4].

Issiqlik sig'imi yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalarini tushunishda markaziy ahamiyatga ega bo'lib, u nafaqat materialning energiya saqlash xususiyatini, balki elektron xossalarini va termal barqarorlikni aniqlashga yordam beradi. Shu bilan birga, u yarimo'tkazgich qurilmalarining ishlash samaradorligi va uzoq muddatli barqarorligini ta'minlashda ham muhim parametr hisoblanadi.

Issiqlik sig'imi mavzusini o'qitishda *taqqoslash* metodidan foydalaniladi. Avvalo turli materiallarning bir xil issiqlik ta'sirida har xil qizishi oddiy misollar orqali tushuntiriladi. Masalan, metall va yog'ochning qizishi solishtiriladi. Shundan so'ng bu xossa yarimo'tkazgichlarda harorat o'zgarishi elektronlar harakatiga ta'sir qilishi bilan bog'lab izohlanadi. Ushbu metod issiqlik sig'imining fizik mazmunini chuqur anglashga yordam beradi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik va uning fizik mazmuni. Issiqlik o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarning muhim termodinamik xossalaridan biri bo'lib, u material orqali issiqlikning qanday tezlikda va qanday mexanizm asosida uzatilishini tavsiflaydi. Issiqlik o'tkazuvchanlik harorat gradient mavjud bo'lganda ichki energiyaning modda ichida tarqalishi bilan bog'liq bo'lib, yarimo'tkazgichlarda bu

jarayon asosan kristall panjaradagi fononlar va qisman erkin zaryad tashuvchilar orqali amalga oshiriladi. Termodinamik muqta'i nazardan issiqlik o'tkazuvchanlik ichki energiya oqimi bilan bevosita bog'liq bo'lib, materialning harorat o'zgarishiga bo'lgan javobini ifodalaydi.

Issiqlik oqimi va harorat gradient orasidagi bog'lanish Furrye qonuni bilan ifodalanadi:

$$\vec{q} = -k\nabla T \quad (6)$$

Bu yerda $\vec{q}$ -issiqlik oqimi zichligi, κ -issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, ∇T -harorat gradienti. Manfiy ishora issiqlikning har doim yuqori haroratdan past harorat tomonga oqishini ko'rsatadi. Ushbu tenglama issiqlik o'tkazuvchanlikning termodinamik mohiyatini ochib beradi, ya'ni issiqlik oqimi tizimning entropiyasini oshirishga intiladi.

Yarimo'tkazgichlarda issiqlik o'tkazuvchanlik ikki asosiy qismdan iborat bo'ladi:

$$K = K_{\text{panj}} + K_e \quad (7)$$

Kristall panjara hissasi fononlar orqali amalga oshadi va yarimo'tkazgichlarda asosiy ulushni aynan shu mexanizm tashkil etadi. Fononlar-bu kristall panjaradagi atomlarning kollektiv tebranishlari bo'lib, ular issiqlik energiyasini tashiydi. Elektron hissasi esa erkin zaryad tashuvchilar orqali issiqlik uzatilishi bilan bog'liq bo'lib, yarimo'tkazgichlarda u metallarga nisbatan ancha kichik bo'ladi.

Fononlar orqali issiqlik o'tkazuvchanlik quyidagigi formula bilan tavsiflanadi:

$$K_{\text{panj}} = \frac{1}{3} C_v v l \quad (8)$$

Harorat ortishi bilan fononlar soni ortadi, biroq ularning o'zaro to'qnashuv ehtimoli ham kuchayadi. Natijada fononlarning erkin yugurish yo'li qisqaradi va issiqlik o'tkazuvchanlik kamayadi. Shu sababli yarimo'tkazgichlarda issiqlik o'tkazuvchanlik ko'pincha harorat oshishi bilan kamayuvchi xarakterga ega bo'ladi. Past haroratlarda esa fononlar kam to'qnashadi va issiqlik o'tkazuvchanlik nisbatan katta qiymatlarga ega bo'ladi.

Elektronlarning issiqlik o'tkazuvchanlikka qo'shgan hissasi quyidagi munosabat bilan baholanadi:

$$K_{\text{elektron}} \propto \sigma T \quad (9)$$

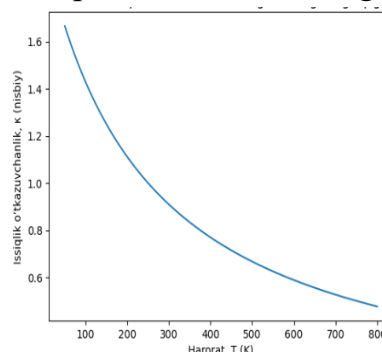
Bu yerda σ -elektr o'tkazuvchanlik. Yarimo'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik haroratga kuchli bog'liq bo'lgani sababli, yuqori haroratlarda elektron hissasi ma'lum darajada ortadi, ammo baribir panjara hissasi nisbatan kichik bo'lib qoladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarning amaliy qo'llanilishida muhim ahamiyatga ega. Elektron qurilmalar ishlash jarayonida ajralib chiqadigan issiqlikni samarali tarzda tarqatish qurilmaning barqarorligi va xizmat muddatini belgilaydi. Issiqlik o'tkazuvchanligi past bo'lgan materiallarda local qizish yuzaga kelib, bu elektr xossalari yomonlashishiga olib keladi. Su sababli issiqlik o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarning termodinamik holatini va ularning ishlash sharoitlarini

baholashda asosiy ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi.

Bundan tashqari, issiqlik o'tkazuvchanlik diffuziya jarayonlari va fazaviy o'zgarishlar bilan ham bog'liq bo'lib, kristall yetishtirish texnologiyalarida muhim rol o'ynaydi. Issilikning notekis tarqalishi kristall panjarada nuqsonlar hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin, bu esa yarimo'tkazgich sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli issiqlik o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalarini chuqur tushunishda va ularni amaliyotda samarali qo'llashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu garfikda yarimo'tkazgich materialining issiqlik o'tkazuvchanligi κ ning harorat oshishi bilan kamayishi ko'rsatilgan. Past haroratlarda kristall panjarada fononlar kam to'qnashadi va issiqlik samarali uzatiladi. Harorat oshgani sari fononlar soni ortadi va ularning o'zaro to'qnashuv ehtimoli kuchayadi, natijada issiqlik oqimi kamayadi. Bu holat yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalarida fonon mexanizmining ustun ekanligini ko'rsatadi.



Issiqlik o'tkazuvchanlikda *sabab – oqibat* metodidan foydalanish maqul. Avvalo issiqlikning yuqori haroratdan past haroratga o'tish sababi tushuntiriladi. Keyin yarimo'tkazgichlarda issiqlik yomon o'tkazilganda qurilmalarda qizib ketish yuz berishi oqibat sifatida kotsatiladi. Talabalar issiqlik o'tkazuvchanlikning amaliy ahamiyatini sabab va natija orqali tushunib oladilar.

Erish va qotish jarayonlari. Erish va qotish jarayonlari yarimo'tkazgichlarning muhim termodinamik hodisalari bo'lib, ular moddaning fazaviy holatining o'zgarishi bilan bog'liqdir. Erish jarayonida yarimo'tkazgich qattiq holatdan suyuq holatga o'tadi, qotish jarayonida esa aksincha, suyuq holatdan qattiq holatga o'tish yuz beradi. Ushbu jarayonlar davomida moddaning kimyoviy tarkibi o'zgarmaydi, biroq ichki energiya, entropiya va kristall tuzilma sezilarli darajada o'zgaradi. Termodinamik nuqati nazardan erish va qotish jarayonlari energiya almashinuvi bilan keskin muvozanat jarayonlaridir.

Yarimo'tkazgich ma'lum bir erish haroratiga ega bo'lib, ushbu haroratda qattiq va suyuq fazalar bir vaqtda mavjud bo'lishi mumkin. Erish jarayonida berilgan issiqlik moddaning haroratini oshishiga emas, balki kristall panjaradagi atomlar orasidagi bog'lanishlarni buzishga sarflaydi. Bu holat yashirin issiqlik tushunchasi bilan ifodalanadi va quyidagi formula orqali yoziladi:

$$Q = \lambda m \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \quad (10)$$

Bu yerda Q - yutilgan yoki ajralgan issiqlik miqdori, λ -erish(yoki qotish) uchun xos yashirin issiqlik, m -moddaning masasi. Ushbu ifoda shuni ko'rsatadiki, erish va

qotish jarayonlarida energiya haroratni o'zgartirmasdan, fazaviy holatni o'zgartirishga sarflanadi.

Erish jarayonida yarimo'tkazgichning ichki energiyasi ortadi va tizim tartibsizligi kuchayadi, natijada entropiya osadi. Qotish jarayonida esa aksincha, atomlar tartibli kristall panjaraga joylashadi va tizim entropiyasi kamayadi. Ushbu holat termodinamikaning ikkinchi qonuni bilan mos keladi, chunki qotish jarayonida ortiqcha issiqlik tashqi muhitga ajralib chiqadi. Erish va qotish jarayonlari yarimo'tkazgichlarning issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanligi bilan chambarchas bog'liq. Erish haroratigayaqinlashganda issiqlik sig'imi keskin o'zgaradi, bu esa modda ichidagi energetik holatlarning qayta taqsimlanishini ko'rsatadi. Issiqlik o'tkazuvchanlik esa erish jarayonida issiqlikning material bo'ylab qanday tarqalishini belgilaydi. Agar issiqlik notekis uzatilsa, kristall anjarada nuqsonlar paydo bo'lishi mumkin. Shuningdek, erish va qotish jarayonlari diffuziya hoisasi bilan ham bog'liq [5]. Suyuqlangan holatda atomlarning harakatchanligi yuqori bo'lib, qotish jarayonida ular kristall panjaraga joylashadi. Bu jarayon davomida legirlovchi atomlar ham taqsimlanadi va natijada yarimo'tkazgichning elektr xossalari shakllanadi.

Erish va qotish jarayonlari *bosqichma-bosqich* metod orqali o'rgatiladi. Avval qattiq holat, so'ng erish jarayoni va undan keyin qotish jarayoni ketma-ket tushuntiriladi. Har bir bosqichda kristall panjara va energiya holatining o'zgarishi qisqacha izohlanadi. Bu metod jarayonlarni chalkashtirmasdan o'zlashtirishga yordam beradi.

Xulosa qiladigan bo'lsak, yarimo'tkazgichlarning termodinamik xossalari ulanrning harorat ta'sirida qanday o'zgarishini va modda Ichida energiya almashinuvhi qanday kechishini tushunishga yordam beradi. Issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarning barqaror ishlashini ta'minlaydi, diffuziya hodisasi esa ularning elektr xossalarini boshqarish imkonini beradi. Erish va qotish jarayonlari kristall tuzilmaning shakllanishida muhim rol o'ynaydi. Shu sababli termodinamik xossalarni o'rganish yarimo'tkazgichlarning fizik asoslarini bilish va ularni amaliyotda samarali qo'llash uchun muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Orifov U. O. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Toshkent:O'qituvchi, 1990.
2. M.Djorayev, E.Qalandarov, E.Xujanov Fizika o'qitish metodikasi Toshkent "Brok class servis" 2023
3. E.Kalandarov, O'.Xushvaqtov "Qattiq jismlar fizikasi" Toshkent - 2023 «Zuxra baraka biznes» nashriyoti . 263 b.
4. E.K. Kalandarov "Qattiq jismlarda issiqlik hodisalarini o'qitishda izchillik tamoyilini qo'llash" Fizika, matematika va informatika jurnali . 2022 yil №2. B. 7-15
5. Ozbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi <https://www.academy.uz>