

KRISTALLARDA XOLL SAMARASINI TADQIQ QILISH.

S.Sh.Ibrohimova

70530501 - Fizika (yo'nalishlar bo'yicha)

mutaxassisligi 1-bosqich magistanti.

tel: (90) 340-30-60

Annotatsiya: Ushbu maqolada kristall strukturasi ega materiallarda Xoll samarasining xususiyatlari nazariy va eksperimental jihatdan o'rganilgan. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, harakatchanligi va kristall simmetriyasi Xoll kuchlanishiga qanday ta'sir qilishi tahlil qilindi. Tadqiqotda germaniy va kremniy kristallari asosida tajribalar o'tkazilib, harorat va magnit maydon ta'siridagi o'zgarishlar aniqlangan. Olingan natijalar Xoll koeffitsiyentining fizik tabiati va uni amaliy qurilmalarda qo'llash imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Xoll samara, kristall struktura, yarimo'tkazgichlar, zaryad tashuvchilar, magnit maydon, Xoll kuchlanishi, elektr transport, anizotropiya.

Kirish. Xoll samarasining kashf etilishi XX asr boshlarida yarim o'tkazgichlar fizikasi va kristall tuzilishidagi elektr hodisalarni tushunishda muhim qadam bo'ldi. Bu samarani 1879 yilda amerikalik fizik Edvin Xoll tomonidan aniqlangan bo'lib, u elektr tok va magnit maydon o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladigan transversal (kesishuvchi) kuchlanishni ifodalaydi. Kristallarda ushbu effektning o'ziga xos ko'rinishlari mavjud bo'lib, ular kristall tuzilmasining simmetriyasi, tashqi magnit maydon yo'nalishi va haroratga bog'liq bo'lishi mumkin. Ushbu maqolada biz Xoll samarasini kristallarda nazariy asoslar, eksperimental metodlar va natijalar asosida ko'rib chiqamiz.

Asosiy qism. Kristallarda Xoll kuchlanishi kristall panjaraning tuzilishi va elektronlarning harakati bilan chambarchas bog'liq. Agar material anizotrop xususiyatga ega bo'lsa, ya'ni elektr o'tkazuvchanlik har yo'nalishda bir xil bo'lmasa,

Xoll kuchlanishining qiymati ham yoʻnalishga bogʻliq holda oʻzgaradi. Shu bilan birga, kristall simmetriyasining buzilishi (masalan, deformatsiyalar yoki noparokandaliklar) Xoll effektiga sezilarli taʼsir koʻrsatadi. Klassik va kvant Xoll effektlari bu holatlarning har xil koʻrinishlarini ifodalaydi.

Xoll effekti formulasi: $U_H = \frac{IB}{ned}$

Bu yerda U_H - **Xoll kuchlanishi**. Bu kuchlanish material ichida hosil boʻladi;

I - elektr toki kuchi. Bu zaryad tashuvchilar oqimi materiali boʻylab oqayotgan miqdor;

B - **magnit induksiya (magnit maydon kuchi)**. Bu tok yoʻnalishiga perpendikulyar ravishda tashqi magnit maydon beriladi;

n - zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi (m^3 dagi soni). Bu materialdagi faol zaryad tashuvchilar zichligi;

e - **elementar zaryad**. Bu bitta elektron yoki teshik zaryadi (modulda);

d - namunaning qalinligi. Bu tok oqayotgan sirtning magnit maydon yoʻnalishiga perpendikulyar boʻlgan oʻlchamini bildiradi.

Xoll kuchlanishi - bu **Lorens kuchi** taʼsirida zaryad tashuvchilarning material chetlariga siljishi natijasida hosil boʻladigan elektr kuchlanishidir. Tok yoʻnalishiga va magnit maydon yoʻnalishiga perpendikulyar boʻlgan yoʻnalishda elektr maydon hosil boʻladi, bu esa tashqi kuchsiz kuchlanishni bildiradi.

Xoll samarasi kristallarning simmetriyasi, zaryad tashuvchilarining turi (elektron yoki teshik) va ularning harakatchanligini aniqlashda muhim vositadir. Kristallografik nuqtai nazardan, kristallarning simmetriyasi va tuzilishi Xoll samarasining xususiyatlariga taʼsir qiladi, chunki simmetriya zaryad tashuvchilarning harakatini cheklashi yoki yoʻnaltirishi mumkin.

Kristallarning fazoviy simmetriyasi zaryad tashuvchilar oqimini muayyan yoʻnalishlar bilan cheklab qoʻyadi. Masalan, kubik simmetriyaga ega kristallarda zaryad tashuvchilar harakati izotrop boʻlishi mumkin, ammo geksagonal yoki ortorombik strukturali kristallarda harakat yoʻnalishi anizotrop boʻladi. Bu esa Xoll

kuchlanishining qiymatida va yo'nalishida farq paydo qiladi. Xoll kuchlanishining yo'nalishi simmetriya o'qlariga nisbatan o'zgarishi mumkin, bu esa tajribaviy o'lchovlarda aniq farqlar keltirib chiqaradi.

Ekspperimental usullar. Eksperimentlar davomida kristall namunalar to'g'ri shaklda tayyorlandi va ularning sirtlariga kontaktlar o'rnatildi. Har bir namunaga o'zgarimas tok uzatildi va unga perpendikulyar yo'nalishda magnit maydon berildi. Xoll kuchlanishi maxsus raqamli voltmeter yordamida o'lchandi. O'lchovlar haroratni 77 K dan 300 K gacha o'zgartirib bajarildi. Ushbu parametrlarning o'zgarishi Xoll kuchlanishiga qanday ta'sir qilishini aniqlashga harakat qilindi.

Tadqiqotda Xoll samarasini o'rganish uchun tanlanadigan kristallar yarimo'tkazgich materiallar bo'lishi kerak, chunki aynan shu materiallarda Xoll effekti aniq va sezilarli tarzda kuzatiladi. Quyida uchta asosiy kristall turining umumiy fizik xossalari, Xoll samarasi uchun qulayliklari va farqlari keltirilgan.

Tadqiqot uchun tanlangan kristallar turi: misol uchun Ge, Si, GaAs.

1). *Germaniy (Ge): xususiyatlari* - Elementar yarimo'tkazgich (IV guruh); Kristall panjarasi: kubik (diamant strukturas); Zaryad tashuvchilar: elektronlar va teshiklar (ikki yoqlama o'tkazuvchanlik); Harakatchanlik: yuqori.

Xoll uchun qulay jihatlari: Past haroratlarda juda aniq Xoll kuchlanishi beradi; Harakatchanlik yuqori bo'lganligi sababli Xoll effekti sezilarli; Tarixiy jihatdan ko'p ishlatilgan va yaxshi o'rganilgan.

2). *Kremniy (Si): xususiyatlari* - Elementar yarimo'tkazgich; Kristall panjarasi: kubik (diamant strukturas); Doping orqali n-tip yoki p-tip hosil qilish mumkin; Germaniyga qaraganda harakatchanlik pastroq.

Xoll uchun qulay jihatlari: Elektronika sanoatida eng ko'p ishlatiladigan material; Har xil dopingli strukturalarda Xoll samarasini o'rganish mumkin; Haroratga sezgirlik past, barqaror tajribalar uchun mos.

3). *Galliy arsenid (GaAs): xususiyatlari* - Birlashma yarimo'tkazgich (III-V guruh elementi); Kristall panjarasi: sinkblenda (kubik); Elektron harakatchanligi juda yuqori; Optoelektron qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Xoll uchun qulay jihatlari: Elektronlar harakatchanligi yuqori $\rightarrow$ Xoll kuchlanishi juda sezilarli; Anizotrop xususiyatlar tufayli murakkab Xoll effektlarini o'rganish mumkin; Kvant Xoll effektini kuzatish uchun ideal materiallardan biridir.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, kristall strukturasidagi anizotropiya Xoll kuchlanishining yo'nalishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Germaniy va kremniy kristallarida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi harorat oshishi bilan kamayib, harakatchanlik esa kamaydi. Bu holat Xoll koeffitsiyentining ham o'zgarishiga olib keldi. Kristall yo'nalishlaridagi farqlar Xoll kuchlanishining maksimal va minimal qiymatlari orasida sezilarli tafovut hosil qildi.

Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va ularning harakatchanligi: Yarimo'tkazgich materiallarda Xoll samarasining aniqlanishida eng muhim omillardan biri bu zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi n va ularning harakatchanligi μ hisoblanadi. Zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki teshiklar) konsentratsiyasi material tarkibidagi doping miqdoriga va haroratga bog'liq holda o'zgaradi. Harakatchanlik esa tashuvchilarning kristall panjaradagi to'qnashuvlar (fononlar, nuqsonlar) bilan qanday o'zaro ta'sirda bo'lishiga bog'liq.

Xoll koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi: $R_H = \frac{1}{nq}$, bu yerda: n - zaryad tashuvchilar soni (m^3 da), q - zaryad tashuvchining zaryadi.

Shuningdek, **elektr o'tkazuvchanlik** quyidagicha ifodalanadi: $\sigma = nq\mu$.

Xoll o'lchovlarida R_H va μ birgalikda aniqlanib, material ichidagi tashuvchilar haqida to'liq ma'lumot beradi. Harakatchanlik yuqori bo'lsa, Xoll kuchlanishi oson aniqlanadi.

Haroratga bog'liq o'zgarishlar: Harorat oshishi bilan yarimo'tkazgichlardagi zaryad tashuvchilar soni oshadi, chunki issiqlik energiyasi valensiya zonasidagi elektronlarni o'tish zonasidan o'tkazib, o'tkazuvchanlik zonasiga olib chiqadi. Bu quyidagi effektlarni keltirib chiqaradi:

- **Konsentratsiya oshadi** $\rightarrow n \uparrow$
- **Harakatchanlik kamayadi** $\rightarrow \mu \downarrow$

Chunki harorat oshganida fononlar (panjara tebranishlari) soni ortadi va bu zaryad tashuvchilarning harakatiga to'siq bo'ladi. Natijada Xoll kuchlanishi o'zgaradi va Xoll koeffitsienti pasayishi yoki tartibsiz xarakterga ega bo'lishi mumkin.

Kristall struktura va Xoll koeffitsiyenti o'rtasidagi bog'liqlik: Kristall struktura - bu zaryad tashuvchilarning harakat trayektoriyasini aniqlovchi asosiy omil. Kristallning simmetriya o'qlari, yo'nalishli panjara oralig'i va anizotroplik darajasi tashuvchilar qanday yo'nalishda harakat qilishini belgilaydi. Masalan: Izotrop kristallarda (masalan, kubik Ge) Xoll koeffitsiyenti barcha yo'nalishlarda bir xil. Anizotrop kristallarda esa (masalan, GaAs, ZnO) - R_H kristall yo'nalishiga bog'liq ravishda sezilarli o'zgaradi. Bu bog'liqlik sababli, aniq kristall yo'nalishini (masalan, [100], [110], yoki [111]) tanlash Xoll effektining aniqligini va fizik tafsirini sezilarli darajada o'zgartiradi.

Xulosa qilib aytganda, kristallarda Xoll samarasining o'rganilishi elektr transport hodisalarini chuqurroq tushunishga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, kristallning tuzilishi, zaryad tashuvchilar tipi va harorat Xoll kuchlanishining qiymatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu holat yarimo'tkazgich qurilmalarini loyihalashda muhim ahamiyat kasb etadi. Kelgusida turli xil kristall strukturali materiallarni o'rganish orqali Xoll effektining yangi xususiyatlarini aniqlash mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

1. Kittel.C. (2005). Introduction to Solid State Physics (8th ed.). Wiley.
2. Ashcroft.N.W., & Mermin.N.D. (1976). Solid State Physics. Holt, Rinehart and Winston.
3. Yu.P.Y., & Cardona.M. (2010). Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties. Springer.
4. Гребенев.Л.А. (1980). Физика полупроводников. Москва: Высшая школа.
5. Глазов.М.М. (2014). Физика эффекта Холла в полупроводниках. Физика и техника полупроводников, 48(3), 315–323.

6. Тарновский.В.И.(1971). Физические основы микроэлектроники. Москва: Наука.
7. <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/hall-effect> - ScienceDirect platformasidagi Xoll effekti bo'yicha maqolalar to'plami.
8. <https://nanohub.org/resources/hall> - [nanoHUB.org](https://nanohub.org): Xoll effektini modellashtirish va laboratoriya materiallari.