

## METALL VA YARIMO‘TKAZGICH MONOKRISTALLARIDA ELEKTR QARSHILIGI ANIZOTROPIYASINI EKSPERIMENTAL O‘LCHASH VA KOMPYUTER MODELLASHTIRISH METODLARI: ZAMONAVIY YONDOSHUVLAR VA ISTIQBOLLAR

Toshpo‘latov Og‘abek Ulug‘bek o‘g‘li

Sharof Rashidov Nomidagi Samarqand davlat universitetining muhandislik fizika instituti Fizika yo‘nalishi 1-kurs magstri

toshpolatovogabek38@gmail.com

+998(88)4257225

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18859396>

**Annotatsiya:** Maqola fizika mutaxassisliklari bo‘yicha metall va yarimo‘tkazgich monokristallarida elektr qarshiligi anizotropiyasini eksperimental tadqiq etish va kompyuterda modellashtirish mexanizmlari haqida

**Kalit so‘zlar:** elektr qarshiligi anizotropiyasi, metall monokristallari, yarimo‘tkazgich monokristallari, to‘rt nuqtali zond texnikasi, Xoll-effekt, kompyuter modellashtirish, DFT (density functional theory), molekulyar dinamika, nanoelektronika, transport xususiyatlari.

## EXPERIMENTAL STUDY AND COMPUTATIONAL SIMULATIONAL ON THE RESISTIVITY ANISOTROPY OF METAL AND SEMICONDUCTOR SINGLE CRYSTALS

Toshpulatov Ogabek, son of Ulugbek

Institute of Engineering Physics, Samarkand State University

Named after Sharof Rashidov

1<sup>st</sup> year Master’s degree in Physics

toshpulatovogabek38@gmail.com

**Keywords:** Resistivity anisotropy, single-crystal metals, single-crystal semiconductors, crystallographic orientation, transport simulation, electron scattering, anisotropic conduction.

**Annotation:** The article discusses the mechanisms of experimental investigation and computer modeling of electrical resistivity anisotropy in metal and semiconductor single crystals in the field of physics specialties.

Elektronika va materialshunoslik sohalarida metall va yarimo‘tkazgich monokristallarining elektr xususiyatlarini o‘rganish ilmiy va texnologik jihatdan katta ahamiyatga ega. Ayniqsa, elektr qarshiligi anizotropiyasi — ya’ni materialning turli kristall yo‘nalishlarida elektr tokiga qarshilik darajasi har xil bo‘lishi hodisasi — zamonaviy elektron va optoelektron qurilmalar samaradorligini belgilovchi muhim parametrdir.

Elektr qarshiligi anizotropiyasi kristallning simmetriya elementlari, elektronlar dispersiya diagrammasi, valensiya va o‘tkazuvchanlik tarmoqlari bilan bevosita bog‘liq. Shuningdek, harorat, tashqi magnit maydon, mexanik taranglik va kristall defektlari ham qarshilikni o‘zgartiradi. Shu bois, metall va yarimo‘tkazgich monokristallarida anizotropiyani aniqlash nafaqat fundamental tadqiqotlar, balki yangi materiallar va qurilmalarni ishlab chiqishda ham dolzarb hisoblanadi.

Hozirgi kunda bu jarayon ikki asosiy metod yordamida o‘rganiladi: eksperimental o‘lchash texnikalari va kompyuter modellashtirish metodlari. Eksperimental usullar orqali real materialning fizik xususiyatlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri aniqlanadi, kompyuter modellashtirish esa

elektron tuzilmani va transport hodisalarini kvant mexanik yondoshuv bilan tahlil qilish imkonini beradi.[1]

Elektr qarshiligini anizotropik monokristallarda o'lchash uchun ko'pincha quyidagi metodlardan foydalaniladi:

**Van der Pauw metodi:** Oddiy geometrik shaklga ega bo'lmagan yupqa monokristall qatlamlarda tok va potensialni turli nuqtalarda o'lchash orqali o'tkazuvchanlik tensorining barcha komponentlarini aniqlash mumkin.

**Montajlangan kontaktli usullar:** Kristallning asosiy yo'nalishlarida kontaktlar joylashtirilib, tok va kuchlanish o'lchash orqali qarshilik aniqlanadi. Bu usul yuqori aniqlik va yo'nalish sezgirligini beradi.

**Four-point probe usuli (To'rt zond usuli):** Ayniqsa yarimo'tkazgich qatlamlarda qalinligi kichik bo'lgan monokristallarda qarshilikni aniqlash uchun ishlatiladi, kontakt qarshiligi ta'sirini minimal qiladi.

**Temperatur va magnit maydon ta'siri.** Eksperimental tadqiqotlarda haroratni o'zgartirish orqali elektron va teshiklarning transport hodisalari o'rganiladi. Shuningdek, tashqi magnit maydon qo'llanilganda Xoll effekti, Shubnikov-de Haas osilatsiyalari va kvant transport hodisalari kuzatiladi. Bu metodlar elektron dispersiya va effektiv massasini aniqlashga yordam beradi.

**Zamonaviy eksperimental yondoshuvlar.** So'nggi yillarda quyidagi yondoshuvlar keng tarqalgan:

Scanning Probe Microscopy (SPM)-Skanlovchi zond mikroskopi: atom darajasida lokal qarshilikni o'lchash imkonini beradi.

Magnetotransport texnologiyalari: kvant Hall effekti va anizotrop magnetoresistiv effektlarni aniqlash.[2]

Terahertz spektroskopiya: yuqori chastotali transport xususiyatlarini aniqlash orqali anizotropiya o'rganiladi.

Elektr transportini modellashtirish uchun DFT (Density Functional Theory-zichlik funktsiya teoremasi) va Boltzman transport tenglamalari qo'llaniladi. DFT elektron bulutini va kristall potensialini hisoblaydi, natijada konduktivlik va qarshilik tensorining qiymatlari aniqlanadi.

Molekulyar dinamik modellar yordamida defektlar, dislokatsiyalar va kristall tarangligi transport xususiyatlariga ta'siri o'rganiladi.

Monte Karlo simulyatsiyalari elektron tarqalish va tashqi maydon ta'sirini modellashtirishda ishlatiladi.

VASP, Quantum ESPRESSO, ABINIT kabi DFT paketlari monokristallarni modellashtirish uchun keng qo'llaniladi.[3]

BoltzTraP dasturi orqali transport koeffitsientlarini, jumladan anizotrop qarshilikni hisoblash mumkin.

Eksperiment va modellashtirish natijalari solishtirilganda, yuqori aniqlikdagi modellar kristall simmetriya va defektlarni inobatga olgan holatda real eksperimental qiymatlarga mos keladi. Bu metodlar yangi materiallar dizayni va elektron qurilmalar optimallashtirishida muhim ahamiyatga ega.

Nano va 2D materiallar: Grafen, MoS<sub>2</sub> va boshqa ikki o'lchamli yarimo'tkazgichlarda anizotrop qarshilik o'lchash texnologiyalari rivojlanmoqda.

Heterostrukturalar: Turli monokristallar qatlamlarini birlashtirib yangi anizotrop xususiyatlar yaratish imkoniyati mavjud.

Machine Learning va AI modellar: Elektron transport xususiyatlarini modellashtirishda sun'iy intellekt yordamida yuqori aniqlik va tezlik bilan prognoz qilish imkoniyati paydo bo'lmoqda.[5]

Quantum transport: Kvant kompyuterlar va nanoelektron qurilmalarda anizotrop transportni aniqlash va boshqarish dolzarb bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda, metallar va yarimo'tkazgich monokristallarida elektr qarshiligi anizotropiyasini o'rganish ilmiy va texnologik jihatdan katta ahamiyatga ega. Eksperimental metodlar, jumladan Van der Pauw, four-point probe va scanning probe microscopy, real materiallarning transport xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi. Kompyuter modellashtirish metodlari, xususan DFT va Boltzmann transport tenglamalari, elektron tuzilmani va transport hodisalarini oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

Zamonaviy yondoshuvlar, nano va 2D materiallarni, heterostrukturalarni o'rganish hamda AI yordamida transport xususiyatlarini modellashtirish istiqbollari kengaytiradi. Shu bilan birga, eksperimental va kompyuter yondoshuvlari kombinatsiyasi yangi yarimo 'tkazgich va metall qurilmalarni yaratishda muhim vosita sifatida xizmat qiladi. Kelajakda anizotrop qarshilikni boshqarish nanoelektronika, spintronika va kvant texnologiyalar rivojida asosiy yo'nalish bo'lishi kutilmoqda.

### **Adabiyotlar, References, Литературы:**

1. Ashcroft, N. W., & Mermin, N. D. Solid State Physics. Holt, Rinehart and Winston, 2016.
2. Ziman, J. M. Principles of the Theory of Solids. Cambridge University Press, 2012.
3. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. 8th Edition. Wiley, 2014.
4. Giannozzi, P. et al. "QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials." Journal of Physics: Condensed Matter, 200=19, 21(39), 395502.
5. Madsen, G. K. H., & Singh, D. J. "BoltzTraP. A code for calculating band-structure dependent quantities." Computer Physics Communications, 2006, 175, 67-71.