RUHSAT ETILGAN VA TAQIQLANGAN ENERGETIK ZONALAR, YARIMO‘TKAZGICHLAR VA DIELEKTRIKLARNING ZONAVIY STRUKTURASI

Xonazarova Salomatxon Abdurahmon qizi
QDU 70530510 – Fizika va astronomiya 2-bosqich magistranti
E-mail: xonazarovasalomatxon@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.21847371

Annotatsiya. Ushbu maqolada xususiy (aralashmasiz) yarimo‘tkazgichlarda harorat va kirishmalar konsentratsiyasining elektronlar hamda kovaklarning harakatchanligiga ko‘rsatadigan ta’siri tahlil qilingan. Tashqi elektr maydoni bo‘lmaganda zaryad tashuvchilarning xaotik issiqlik harakati va nolga teng bo‘lgan yig‘indi tok holati tushuntirilgan. Maydon qo‘llanilganda esa dreyf harakati yuzaga kelib, elektr toki elektron va kovak tashkil etuvchilaridan iborat bo‘lishi ko‘rsatilgan. Shuningdek, matnda atomlarning o‘zaro ta’siri natijasida energetik sathlarning zonalar bo‘linishi (valent zona va o‘tkazuvchanlik zonasi) kvant nazariyasi asosida yoritilgan. Harorat ta’sirida elektronlarning valent zonadan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi va bu orqali juft zaryad tashuvchilar (elektron-kovak) hosil bo‘lib, elektr o‘tkazuvchanlikni ta’minlashi asoslab berilgan.
Kalit so‘zlar: Xususiy yarimo‘tkazgich, o‘tkazuvchanlik zona, energiya zona, valent zona, kovak kontsentratsiyasi, taqiqlangan zona, n tipli yarimo‘tkazgich, donor aralashma, *p* - tip yarim o‘tkazgich.

Аннотация. В этой статье проанализировано влияние температуры и концентрации примесей на подвижность электронов и дырок в частных (неразбавленных) полупроводниках. Объяснено состояние, когда внешнего электрического поля нет: хаотическое тепловое движение носителей заряда и нулевой суммарный ток. При наличии поля возникает дрейфовое движение, и показано, что электрический ток состоит из электронов и образующих дырки. Кроме того, в тексте на основе квантовой теории освещено разделение энергетических уровней на зоны (валентная зона и зона проводимости) в результате взаимодействия атомов. Показано, что под влиянием температуры электроны переходят из валентной зоны в зону проводимости, образуя пары зарядовых носителей (электрон-дырка) и обеспечивая электрическую проводимость.
Ключевые слова: Частный полупроводник, зона проводимости, зона энергии, валентная зона, концентрация вакансий, запрещённая зона, n-типа полупроводник, донорная примесь, р-типа полупроводник.

Abstract. This article analyzes the effect of temperature and impurity concentration on the mobility of electrons and holes in intrinsic (pure) semiconductors. It explains the random thermal motion of charge carriers and the condition of zero net current when there is no external electric field. When a field is applied, drift motion occurs, and it is shown that the electric current is formed by electrons and holes. Additionally, the text covers the splitting of energy levels into zones (valence band and conduction band) due to atomic interactions, based on quantum theory. The effect of temperature on electrons moving from the valence band to the conduction band is also explained, leading to the formation of paired charge carriers (electron-hole) and enabling electrical conductivity.

Keywords: Private semiconductor, conduction band, energy band, valence band, vacancy concentration, forbidden band, n-type semiconductor, donor impurity, p-type semiconductor.

Kirish. Zamonaviy mikro va nanoelektronika, yarimo‘tkazgichli asbobsozlik hamda muqobil energetika yo‘nalishlarining jadal rivojlanishi to‘g‘ridan-to‘g‘ri qattiq jismlar va yarimo‘tkazgichli materiallarning elektrofizik xossalarini chuqur o‘rganishni talab etadi. Yarimo‘tkazgichli integral sxemalar, fotodetektorlar va datchiklarning ish unumdorligi hamda haroratga chidamliligi bevosita ulardagi zaryad tashuvchilarning dinamikasiga bog‘liq. Shu sababli xususiy yarimo‘tkazgichlarda elektronlar va kovaklarning hosil bo‘lishi, ularning sochilishi hamda energetik zonalar bo‘ylab taqsimlanish mexanizmlarini fundametal darajada tahlil qilish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Xususiy (aralashmasiz) yarimo‘tkazgichlarda harorat, kirishmalar konsentratsiyasi va tashqi elektr maydoni ta’sirida zaryad tashuvchilar harakatchanligini hamda energetik zonalar nazariyasi asosida elektro‘tkazuvchanlik mexanizmlarini tadqiq etishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA MUNOZARA

Temperatura ko‘tarilganda kristall panjara tugunidagi ionlarning issiqlik tebranishlari va natijada elektronlarning sochilishi kuchayadi, bu xarakatchanlikni kamaytiradi. Kirishmalar kontsentratsiyasi yuqori bo‘lmaganda, ular elektronlarni xarakatchanligiga ta’sir ko‘rsatmaydi. Ammo yuqoriroq kontsentratsiyalarda temperatura past bo‘lgan xolda xam zaryad tashuvchilar xarakatchanligi susayadi. Teng miqdordagi erkin elektron va kovaklarga ega bo‘lgan yarimo‘tkazgich **xususiy yarimo‘tkazgich** deyiladi.

Temperatura ortishi bilan valent bog‘dan elektronlar uzilishi kuchayadi, natijada yarimo‘tkazgichda erkin elektronlar va erkin kovaklar kontsentratsiyasi ortadi. Erkin zaryad tashuvchilar issiqlik energiyasi hisobiga yarimo‘tkazgich kristalli bo‘ylab xaotik harakatlanadi. Ular xarakatlanishi davomida kristall panjara nuqsonlari bilan to‘qnashadilar, natijada harakat yo‘nalishlarini o‘zgartiradilar. Tartibsiz issiqlik harakat tufayli istalgan yo‘nalishda harakatlanuvchi elektronlar soni qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlanuvchi kovaklar soniga teng. Shuning uchun tashqi elektr maydon qo‘yilmaganda erkin elektronlar va kovaklarni istalgan yo‘nalish bo‘ylab olib o‘tadigan yig‘indi zaryadi nolga teng va tok hosil bo‘lmaydi.

Xususiy yarimo‘tkazgichni elektr maydoniga joylashtiramiz. Maydon ta’sirida erkin elektronlar tezlashadi va maydon yo‘nalishiga qarama-qarshi harakatlanadi. Natijada kristallda elektronni xarakati tartibsiz issiqlik harakat va tashqi elektr maydon tufayli yuzaga keladigan tartibli harakatdan tashkil topadi. Erkin zaryad tashuvchilarni elektr maydondagi yo‘nalgan harakati dreyf harakat, bu harakat tezligi dreyf tezligi deyiladi.

Huddi elektronlarga o‘xshab, lekin ularga qarama-qarshi yo‘nalishda valent bog‘dagi vakant o‘rinlar-kovaklar xham elektr maydon ta’sirida tartibli harakatlanadi.

Shunday qilib, xech qanday aralashmasiz, toza yarimo‘tkazgichda elektronli va kovakli o‘tkazuvchanlik qaror topadi. Natijada, xususiy yarimo‘tkazgichda elektr toki ikkita tashkil etuvchidan-elektron va kovak toklardan iborat bo‘ladi. Xususiy yarimo‘tkazgichdagi elektro‘tkazuvchanlikni energetik tasavvurlardan foydalanib tushuntirish mumkin. Kvant nazariya ko‘rsatadiki, izolatsiyalangan atom energiyani diskret qiymatlariga ega. Qattiq jism hosil bo‘lishida qo‘shni atomlar tashki elektron qobiqlar bir-birini berkitguncha, ya’ni atomlar taxminan 10^{-8} sm masofagacha yaqinlashadi. Natijada, bitta atomni qandaydir energetik sathida joylashgan elektronlar energiya sarflamasdan qo‘shni atomni tegishli energetik satxiga utish imkoniyatiga ega bo‘ladilar va shunday qilib butun qattiq jism bo‘ylab erkin ko‘cha oladilar.

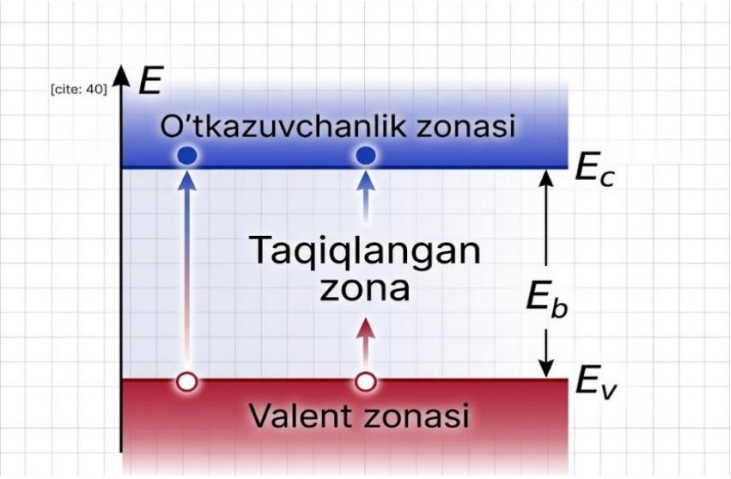
Qo‘shni atomlarni maydoni ta’siri natijasida valent elektronlarni energetik satxlari zonaga parchalanadi. Bu zona **valent zona** deyiladi. Kristallarni elektro‘tkazuvchanligi asosan valent zonani to‘ldirilish darajasi va uni keyingi bo‘sh zonagacha bo‘lgan masofasi bilan aniqlanadi. Energiya zonasi elektronlar bilan to‘la to‘ldirilgan, chala to‘ldirilgan yoki butunlay to‘ldirilmagan bo‘lishi mumkin. Agar energiya zonasi to‘la to‘ldirilgan bo‘lsa, undagi elektronlar elektr toki xosil bo‘lishida qatnasha olmaydi, chunki bu elektronlar qarama-qarshi yo‘nalishlarda harakatlanadilar va ularni yig‘indi toki nolga teng bo‘ladi. Elektr tokida qatnashtirish uchun ularni bir qismini yuqorigi bo‘sh satxlarga chiqarish kerak. Ammo to‘la to‘ldirilgan zonada bo‘sh satxlar yo‘q. Agar energiya zonasi elektronlarga chala to‘ldirilgan bo‘lsa, uni **o‘tkazuvchanlik zonasi** deyiladi. Undagi elektronlar tokda qatnasha oladi, ular erkin elektronlar deyiladi. Chala to‘ldirilgan zonani yuqorigi qismida bo‘sh satxlar bo‘ladi, pastki satxdagi elektronlar elektr maydon ta’sirida tezlashib, yuqorigi bo‘sh satxlarga ko‘tariladi va ularni yo‘nalgan harakati elektr tokini xosil qiladi.

Odatdagi temperaturalarda xususiy yarimo‘tkazgichni o‘tkazuvchanlik zonasida har doim valent zonadan bu zonaga termik uyg‘otish usuli bilan o‘tkazilgan ma’lum mikdordagi elektronlar, valent zonada esa teng miqdorda musbat zaryadli kovaklar bo‘ladi. Elektr maydon ta’sir qildirilganda erkin elektronlar va kovaklar yarimo‘tkazgich bo‘ylab elektr zaryadi ko‘chirishni amalga oshiradilar. Umuman aytganda, yarimo‘tkazgichlarda ikki turdagi erkin zaryad tashuvchilar –erkin elektronlar va kovaklar mavjud bo‘lib, elektr o‘tkazuvchanlik:

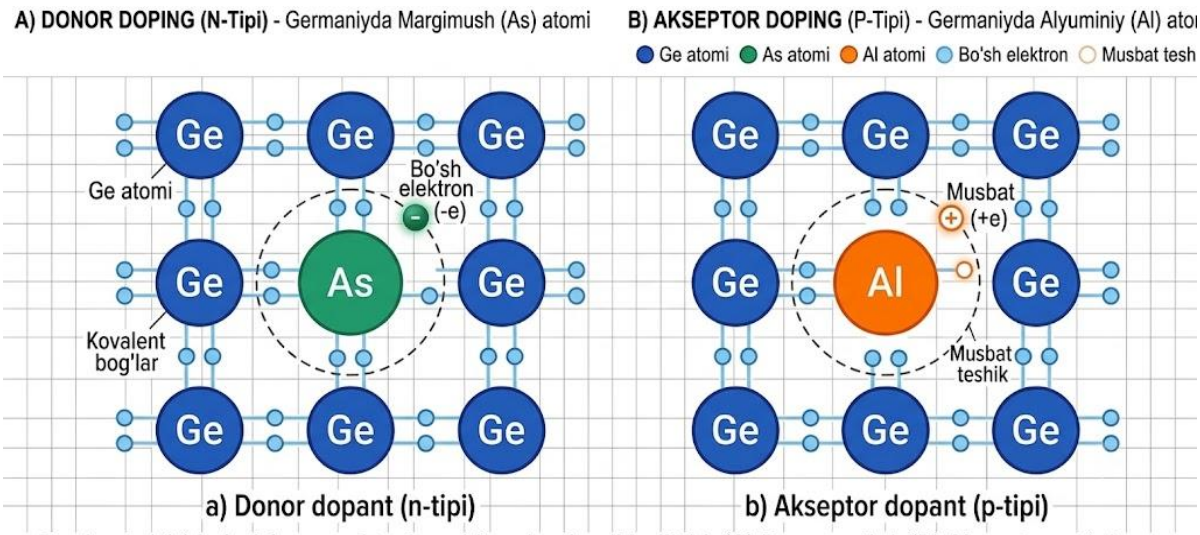
$$\sigma = e(\mu_n n + \mu_p p)$$

ko‘rinishda ifodalanadi. Bu yerda n va p –elektronlar va kovaklarning kontsentratsiyalari, μ_n, μ_p- ularning harakatchanliklari.

Valent zona va o‘tkazuvchanlik zonasi bir-biridan **taqiqlangan zona** bilan ajratiladi. Taqiqlangan zona kengligi E_g ximiyaviy bog‘lanish turiga, kristall panjarani hosil qiluvchi atomlar tipiga bog‘liq bo‘ladi. (1-rasm)



1-rasm



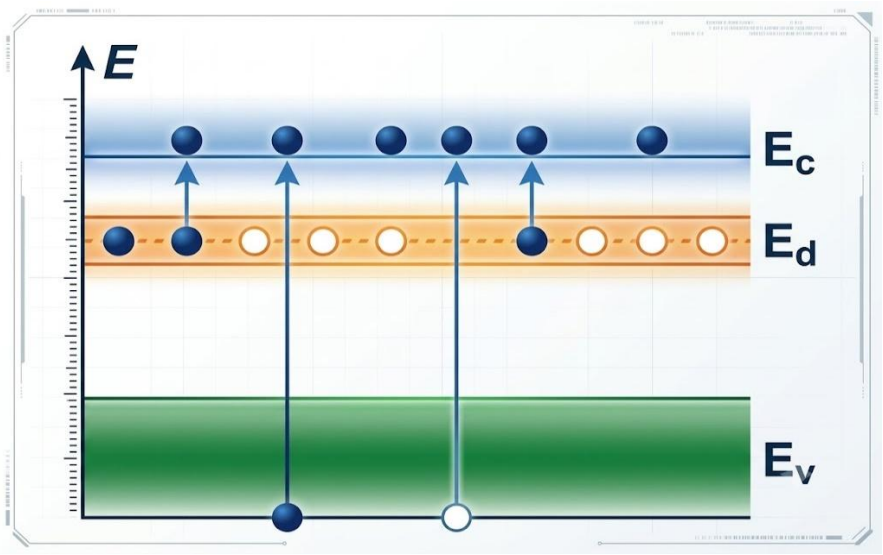
Doping ta'sirida bo'sh zaryad tashuvchilarning hosil bo'lishi: (A) Donor n-tipi, (B) Akseptor p-tipi

2-rasm

Rasmda xususiy yarimo‘tkazgich uchun energetik diagramma keltirilgan. Aralashmali yarimo‘tkazgichlarda elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmini ko‘rib o‘tamiz. Olmos tipidagi panjarali yarimo‘tkazgichda atomlardan biri V guruh elementi atomi bilan almashgan bo‘lsin, masalan, kremniy panjarasi tugunida mishyak atomi joylashgan bo‘lsin. Mishyakda elektronlar holatlar bo‘yicha quyidagicha taqsimlangan:

$$Si^{(33)}\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3)$$

Mishyak atomida besh valent elektron 4s va 4p xolatlarda joylashgan. Kremniy kristall panjarasida mishyak atomini to‘rtta valent elektroni yaqin kremniy atomlarini to‘rtta valent elektronlari bilan birgalikda kovalent bog‘lanish xosil qilishda qatnashadi (2-rasm). Mishyakni beshinchi elektroni bog‘lanishda ishtirok etolmaydi. U mishyak atomi bilan zaif bog‘langan, chunki unga atrofidagi kremniy atomlari ham ta’sir qiladi. Yuqori temperaturalarda bu elektron mishyak atomidan ajralib chiqib, kristall bo‘ylab erkin harakatlanishi mumkin. Bu jarayon natijasida yarimo‘tkazgichda erkin elektronlar kontsentratsiyasi ortadi va ular o‘tkazuvchanlikda asosiy zaryad tashuvchilar bo‘lib qoladi, kovaklar esa noasosiy zaryad tashuvchilar bo‘lib qoladi. Bunday yarimo‘tkazgich **elektronli** yoki **n tipli yarimo‘tkazgich**, ortiqcha elektronlar berayotgan aralashma **donor aralashma** deyiladi. Rasmdagi energetik diagrammada yarimo‘tkazgichdagi aralashmalarni taqiqlangan zonada lokal satxlarni yuzaga kelishi tasvirlangan. Mishyak atomi ionlashganda erkin elektron xosil bo‘ladi va buning uchun zarur bo‘ladigan energiya kremniydagi valent bog‘larni uzish uchun kerak bo‘ladigan energiyadan kichik bo‘ladi, donor aralashmani energetik satxi E_d taqiqlangan zonada o‘tkazuvchanlik zonasini tubidan uncha katta bo‘lmagan masofada joylashadi (3-rasm).

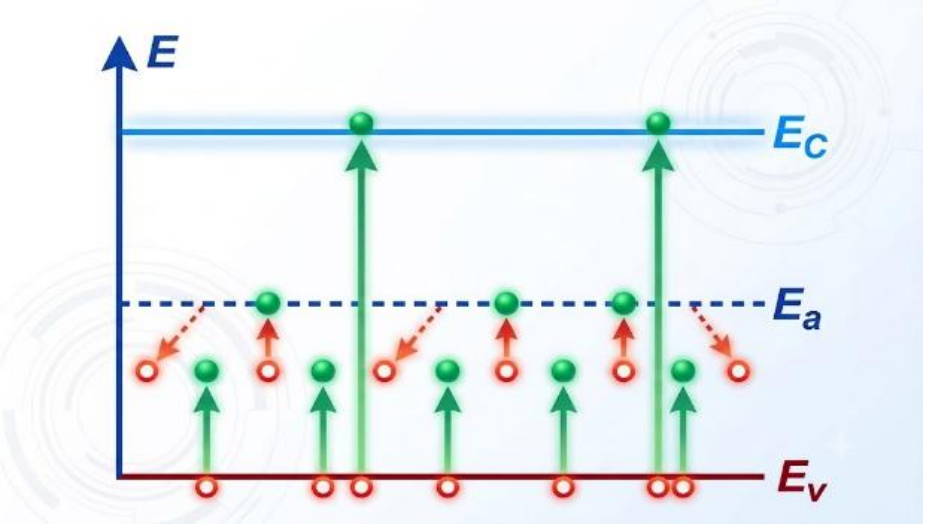


3-rasm

Yarimo‘tkazgich kristall panjarasiga aralashma sifatida davriy sistemani uchinchi gruppasidan masalan, aluminiy atomlari kiritilgan bo‘lsin. Aluminiyda elektronlar holatlar bo‘yicha quyidagicha taqsimlangan:

$$Al^{(13)}\ (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p)$$

Aluminiy atomida uchta valent elektron 3s va 3p holatlarda joylashgan. Shuning uchun kremniy atomida bitta bog‘lanish tugallanmay qoladi. Aluminiy atomi yaqinidagi to‘ldirilmagan bog‘lanishga issiqlik energiyasi hisobiga kremniy atomidan elektron o‘tadi. Elektron ketgan joyda musbat zaryadlangan kovak xosil bo‘ladi. Yarimo‘tkazgich kristall panjarasidan elektron oladigan aralashma aktseptor aralashma deyiladi. Asosiy modda atomidan aralashma atomiga elektron berilishi hisobiga erkin kovakni xosil bo‘lishi uchun zarur bo‘ladigan energiya kremniyni valent bog‘larini uzish uchun sarf qilinadigan energiyaga nisbatan kichik bo‘ladi, Shuning uchun kovaklar miqdori elektronlar miqdoriga nisbatan sezilarli katta bo‘ladi va kristallni elektrutkazuvchanligi kovakli buladi. Bunday yarimutkazgichda asosiy zaryad tashuvchilar kovaklar, asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar elektronlar xisoblanadi. Aktseptor aralashmali yarimo‘tkazgich kovakli yoki r-tipli yarimo‘tkazgich deyiladi. Energetik diagrammada aktseptor aralashma asosiy yarimo‘tkazgichni taqiqlangan zonasida valent zonani shipidan uncha katta bo‘lmagan masofada E_a energetik satx xosil qiladi. (4-rasm).



4-rasm

Aktseptor aralashma ionlashganda elektron valent zonadan E_a satxga o‘tadi, valent zonada esa vakant o‘rin-kovak xosil bo‘ladi. Shu tufayli kovaklar miqdori erkin elektronlarga nisbatan katta bo‘ladi va kristallda kovakli utkazuvchanlik paydo bo‘ladi. Bunday yarimo‘tkazgichda asosiy zaryad tashuvchilar kovaklar, asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar elektronlar hisoblanadi. Aktseptor aralashmali yarimo‘tkazgich **kovakli yoki** p **- tip yarim o‘tkazgich** deyiladi.

Xulosa. Ushbu tadqiqot ishlari shuni ko‘rsatadiki, xususiy yarimo‘tkazgichlardagi elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari harakatchanlik va harorat bog‘liq. Harorat ko‘tarilishi bilan kristall panjara tugunlaridagi tebranishlar va sochilishlar kuchayishi oqibatida zaryad tashuvchilar harakatchanligi kamayishi tasdiqlandi. Yuqori konsentratsiyalarda esa past haroratlarda ham harakatchanlik susayishi aniqlash mumkin. Bundan tashqari dreyf va issiqlik harakati mutanosibligi tashqi elektr maydoni bo‘lmaganda erkin elektron va kovaklarning xaotik issiqlik harakati tufayli yig‘indi tok nolga teng bo‘ladi. Elektr maydoni qo‘llanilganda esa tartibsiz harakatga yo‘nalgan (dreyf) harakat ustama bo‘lib, qarama-qarshi yo‘nalgan elektron va kovak toklari hisobiga umumiy elektr toki shakllanadi. Bunda Zonalar nazariyasining o‘rni orni muhim ahamiyatga ega. Kvant nazariyasiga ko‘ra, qo‘shni atomlarning o‘zaro ta’siri natijasida energetik sathlar valent va o‘tkazuvchanlik zonalariga ajraladi. Xususiy yarimo‘tkazgichda termik uyg‘otish hisobiga elektronlarning o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi bir vaqtning o‘zida valent zonada teng miqdordagi kovaklarni hosil qiladi va ikki turdagi zaryad tashuvchilar ishtirokidagi o‘tkazuvchanlikni ta’minlaydi. Amaliy jihatdan esa yarimo‘tkazgichli diod va tranzistorlarning haroratga bog‘liq ish rejimlarini modellashtirish hamda yangi avlod yarimo‘tkazgichli sensorlarni loyihalashda nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. U. Asatova “Yarimo’tkazgichlar va dielektriklar fizikasi”. Uslubiy qo‘llanma. Urganch-2012
2. E.N. Nazirov, D.E. Nazirov, A.T. Teshaboyev “Yarimo’tkazgichlar fizikasi lug‘ati”. Toshkent-2008
3. A.Teshaboyev, S. Zaynobiddinov, S. Vlasov, I. Karimov, V. Abduazimov “Yarimo’tkazgichlar sirti fizikasi”. O‘quv qo‘llanma. Toshkent-2010
4. A.Teshaboyev, S. Zaynobiddinov, E.A. Musayev “Yarimo’tkazgichlar va yarimo’tkazgichli asboblar texnologiyasi”. O‘quv qo‘llanma. Toshkent-2006
5. Zaynobiddinov S. Z., Teshaboev A. “Qattiq jism fizikasi”. Tashkent: Moliya, 2001