YARIMO‘TKAZGICHLI MODDALARGA MIS KIRISHMASINI KIRITISH ORQALI YARIMO’TKAZGICHLARNING XUSUSIYATLARINI O‘ZGARTISH

Sobirova Tursunoy Abdipatto qizi
Andijon davlat texnika instituti “Mashinasozlik ishlab chiqarishni avtomatlashtirish” kafedrasi assistenti
E-mail: tursunoy.sobirova.1993@mail.ru
Tel: +998772779353

Annotatsiya: Ushbu maqolada yarimo‘tkazgichli moddalarga mis (Cu) kirishmasini kiritish jarayoni hamda uning kristall panjarasi, elektr o‘tkazuvchanligi, energetik zona tuzilishi va tashuvchilar konsentratsiyasiga ko‘rsatadigan ta’siri keng yoritilgan. Doping jarayonida mis atomlarining kremniy yoki germaniy panjarasida qaysi pozitsiyani egallashi, donor yoki akseptor sifatida ishtiroki, shuningdek, energiya sathlarining siljishi tajribaviy va nazariy manbalar asosida tahlil qilingan. Mis bilan legirlash natijasida yarimo‘tkazgichlarning fizik, elektr va struktur xususiyatlarining o‘zgarishi real amaliyot misolida ko‘rib chiqiladi. Maqola yarimo‘tkazgichlar tayyorlash texnologiyalarida misning roli, uning afzallik va xususiyatlarini tahlil qilishga qaratilgan.

Kalit so‘zlar: Yarimo‘tkazgichlar, mis kirishmasi, legirlash jarayoni, donor va akseptor sathlari, energetik zona, elektr o‘tkazuvchanlik, kremniy, germaniy, kristall panjarasi, nuqsonlar, tashuvchi zarralar konsentratsiyasi.

Аннотация: В данной статье подробно рассматривается процесс легирования полупроводниковых материалов медью (Cu) и его влияние на кристаллическую решетку, электропроводность, зонную структуру и концентрацию носителей заряда. На основе экспериментальных и теоретических источников анализируется положение атомов меди в решетке кремния или германия в процессе легирования, их участие в качестве доноров или акцепторов, а также сдвиг энергетических уровней. Изменения физических, электрических и структурных свойств полупроводников в результате легирования медью рассматриваются на примере реальной практики. Цель статьи — анализ роли меди в технологиях производства полупроводников, ее преимуществ и свойств.

Ключевые слова: Полупроводники, легирование медью, процесс легирования, донорные и акцепторные уровни, зонная структура, электропроводность, кремний, германий, кристаллическая решетка, дефекты, концентрация носителей заряда.

Abstract: This article extensively discusses the process of introducing copper (Cu) doping into semiconductor materials and its effect on the crystal lattice, electrical conductivity, energy band structure, and carrier concentration. The position of copper atoms in the silicon or germanium lattice during the doping process, their

ISSN 3030-3907

participation as donors or acceptors, and the shift of energy levels are analyzed based on experimental and theoretical sources. The changes in the physical, electrical, and structural properties of semiconductors as a result of doping with copper are considered on the example of real practice. The article is aimed at analyzing the role of copper in semiconductor manufacturing technologies, its advantages, and properties.

Keywords: Semiconductors, copper doping, doping process, donor and acceptor levels, energy band, electrical conductivity, silicon, germanium, crystal lattice, defects, carrier particle concentration.

Kirish.

Yarimo‘tkazgichli materiallar zamonaviy elektronika, mikro-elektronika va qurilmalar texnologiyasining asosiy tayanchlaridan biri hisoblanadi. Ularning elektr va fizik xususiyatlarini boshqarish, ayniqsa, legirlash orqali o‘zgartirish, yuqori samaradorlikka ega yarimo‘tkazgich qurilmalarini yaratishda muhim ahamiyatga ega. Yarimo‘tkazgichlarga turli metall va nemetall atomlarni kiritish natijasida materialning energetik zonasi, elektr o‘tkazuvchanligi, panjara tuzilishi va tashuvchi zarralar zichligi sezilarli darajada o‘zgaradi. Shu nuqtayi nazardan mis (Cu) kirishmasining yarimo‘tkazgichli moddalarga kiritilishi alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi. Mis atomlari kremniy (Si) va germaniy (Ge) kabi asosiy yarimo‘tkazgichlarda chuqur darajadagi sathlar hosil qilishi, akseptor markazlarini shakllantirishi, panjarada diffuziya tezligi yuqori bo‘lishi bilan ajralib turadi. Bu esa materialning elektro-fizik xususiyatlarini boshqarishda keng imkoniyatlar yaratadi, biroq bir vaqtning o‘zida ayrim texnologik cheklovlar ham yuzaga keladi.

Kirishma yoki dopant – bu asosiy yarimo'tkazgich materialining kristal panjarasiga ma'lum miqdorda qo'shiladigan, uning elektr xususiyatlarini tubdan o'zgartiruvchi begona atomlar. Masalan, toza silikon (Si) o'zida ko'p miqdorda erkin elektron yoki teshiklarga ega emas va deyarli izolyator kabi harakat qiladi. Lekin uni ma'lum atomlar bilan "ifloslantirganimizda" (masalan, fosfor P yoki bor B), u o'tkazgichga aylanadi. Kirishmalarning asosiy vazifasi – yarimo'tkazgichda zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki teshiklar) sonini oshirish va ularning harakat-chanligini boshqarishdir. Bu jarayon elektronikaning asosi bo'lib, tranzistorlar, diodlar, mikrochiplarning ishlashi shunga bog'liq.

Usullar. Kirishmalar ikkita asosiy turga bo'linadi: donor (n-tip) va akseptor (p-tip). Donor kirishmalar – bu asosiy yarimo'tkazgich atomlariga nisbatan qo'shimcha valent elektroniga ega bo'lgan atomlar. Masalan, silikon atomi 4 ta valent elektrona ega, fosfor atomida esa 5 ta valent elektron bor. Fosfor silikon kristaliga kiritilganda, 4 ta elektroni qo'shni silikon atomlari bilan kovalent bog'lanadi, qolgan 1 ta elektron esa erkin bo'lib, oqim tashishga yordam beradi. Shu tariqa kristalda salbiy zaryadli elektronlar ko'payadi va material n-tip

ISSN 3030-3907

yarimo'tkazgichga aylanadi. Akseptor kirishmalar esa aksincha, asosiy materialga nisbatan valent elektronlari kam bo'lgan atomlardir. Bor atomida 3 ta valent elektron bor. U silikon kristaliga kirganda, barcha 3 ta elektroni qo'shnilar bilan bog'lansa ham, bir joy "bo'sh" qoladi – bu teshik (hole) deyiladi. Teshik musbat zaryad tashuvchi rolini o'ynaydi. Shunday qilib, bor kiritilgan silikon p-tip yarimo'tkazgich bo'ladi. Donor kirishmalarga fosfor (P), arsen (As), surma (Sb); akseptor kirishmalarga esa bor (B), alyuminiy (Al), galliy (Ga) kiradi.

Kirishma kiritishning eng keng tarqalgan usullari: difuziya va ion implantatsiyasi. Difuziya usulida yarimo'tkazgich namunasini yuqori haroratga (800–1200°C) qizdirib, unga kirishma atomlari ta'sir ettiriladi. Yuqori haroratda kirishma atomlari kristal panjaraga kirib borib, asta-sekin tarqaladi. Bu usul nisbatan oddiy, arzon va uzoq yillar davomida qo'llanilgan. Lekin uning kamchiligi – kirishma atomlarining taqsimoti aniq nazorat qilinishi qiyin, chunki ular harorat va vaqtga bog'liq holda "chuqur" kirib boradi. Ion implantatsiyasi esa zamonaviyroq va aniqroq usul hisoblanadi. Bunda kirishma atomlari ionlashtirilib, yuqori energiya bilan (1–200 keV) yarimo'tkazgich sirtiga "otiladi". Bu usulda kirishma kon-sentratsiyasi va chuqurligi juda aniq boshqariladi, hatto atom darajasidagi noziklikka erishish mumkin. Bundan tashqari, ion implantatsiyasi past haroratlarda amalga oshirilishi mumkin, bu materialda qo'shimcha nuqsonlar paydo bo'lishining oldini oladi. Biroq uskuna qimmat va murakkab. Har ikki usul ham zamonaviy yarimo'tkazgich ishlab chiqarishda qo'llaniladi, ko'pincha ularni bir-birini to'ldiruvchi tarzda ishlatiladi.

Yarimo‘tkazgichli moddalardan bo‘lgan kremniy va germaniyga mis kirishmasini kiritib, ularning xususiyatini o‘rganamiz. Kremniy elektronika sanoatining asosiy materiali bo‘lib, uning elektr o‘tkazuvchanligini boshqarish uchun domiantlar qo‘shiladi. Mis (Cu) kremniyga qo‘shilganda u akseptor sifatida harakat qiladi va p-tip yarimo‘tkazgich hosil qiladi. Mis kremniyga teshiklar konsentratsiyasini oshirish, rekombinatsiya jarayonlarini boshqarish, kristall panjaradagi defektlarni kamaytirish, sensor, termoelektr va mikrochip elementlarining sezgirligini oshirish maqsadlarida qo‘shiladi.

Mis atomi kremniy panjarasiga 2 xil yo‘l bilan joylashadi. *Substitutsion joylashuvda* mis atomlari kremniy atomlarining o‘rniga joylashadi, akseptor xususiyatini beradi, valent elektronlar soni kamayadi, teshiklar konsentratsiyasi ortadi. *Interstitsial joylashuvda* mis atomlari panjaradagi bo‘sh joyga kirib boradi, kuchli deformatsiya, mahalliy energiya sathlari paydo bo‘ladi.

Germaniy kremniyga nisbatan pastroq energiya oralig‘iga (Eg = 0.66 eV) ega bo‘lib, yuqori haroratlarda ham sezgir yarimo‘tkazgich sifatida qo‘llaniladi. Mis (Cu) legirlash element sifatida germaniy xossalarini sezilarli o‘zgartiradi. Mis germaniy tarkibida ikki xil vazifani bajaradi:

ISSN 3030-3907

Akseptor (p-tip) domiant sifatida elektron olib qo‘yishi tufayli **teshiklar sonini oshiradi** hamda Ge p-tip yarimo‘tkazgichga aylanadi.

Rekombinatsiya markazlari hosil qiluvchi element sifatida elektron - teshik juft-larining barqarorligini kamaytiradi va fototashuvchi vaqtini qisqartiradi

Shuning uchun Cu-legirlangan Ge asosan **datchiklar, fotodiodlar va tezkor elektronika**da qo‘llaniladi.

Mis atomlari germaniy kristall panjarasida ikki xil pozitsiyani egallaydi:

Substitutsion joylashuvda Cu atomining Ge atomining o‘rnini egallaydi, natijada esa akseptor sathi hosil bo‘ladi hamda p-tip xossalarning kuchayadi.

Interstitsial joylashuvda esa Cu atomining panjaradagi bo‘sh joyga joylashadi. Natijada energetik “tuzoq" sathlari yuzaga keladi, rekombinatsiya tezlashadi hamda o‘tkazuvchanlikning barqarorligi pasayishi mumkin. Ge panjarasi Si panjarasiga nisbatan yumshoq bo‘lgani uchun mis tez diffuziya qiladi.

Natijalar va tahlil. Misning aynan qaysi pozitsiyani egallashi kiritilish haroratiga va diffuziya tezligiga bog‘liq. Mis kiritilganda kremniy p-tip yarimo‘tkazgichga aylanadi. Buning sababi: Cu^{1+} yoki Cu^{2+} ionlari kremniyning 4-valentlik panjarasida elektron yetishmasligini yuzaga keltiradi. Bu esa "teshiklar" (pozitiv zaryad tashuvchilar) miqdorini oshiradi. O‘tkazuvchanlikning umumiy o‘zgarishi quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval

Cu konsentratsiyasi (ppm)	**O‘tkazuvchanlik (S/m)**
10 ppm	2.3×10^{-3}
50 ppm	1.1×10^{-2}
100 ppm	6.4×10^{-2}
500 ppm	3.5×10^{-1}

Mis konsentratsiyasi oshgan sari o‘tkazuvchanlik 10–100 martagacha oshadi. Mis ionlari sababli kremniyning elektr qarshiligi kamayadi. Bu p-tip kremniy asosidagi diod va tranzistorlar samaradorligini oshiradi. Kremniyning taqiqlangan (Eg = 1.12 eV) doirasida mis quyidagi sathlarni hosil qiladi:

- E_V (valent zona)ga yaqin akseptor sathi $E_A \approx 0.15 – 0.23$ eV. Bunda teshiklar oson hosil bo‘ladi hamda p-tip kuchayadi.
- Taqiqlangan zona ichida chuqur darajalar, bu sathlar rekombinatsiyani kuchaytirishi mumkin, ammo sensor va fotodetektorlar uchun yaxshi foyda beradi.

Mis atom radiusi kremniynikidan kattaroq panjara cho‘ziladi. Natijada esa mahalliy ichki zo‘riqish paydo bo‘ladi. Dislokatsiya nuqtalari ortadi, tarqalish (diffuziya) osonlashadi. Mis kremniy ichida juda tez diffuziya qiladi. 700–900°C haroratda 1–2 daqiqada yuz nanometr chuqurlikgacha kirib boradi. Bu xususiyat misni tez legirlanadigan dominant qiladi.

ISSN 3030-3907

Mis kiritilishi kremniyning optik xossalariga ham ta’sir qiladi. Bunda quyidagi o‘zgarishlar sodir bo‘ladi: absorbsiya koeffitsienti ortadi, fotorekombinatsiya jarayonlari kuchayadi, infraqizil nurlarga sezgirlik ortadi. Shuning uchun Cu–Si aralashmalari ya’ni fotodiod, termodatchik, quyosh batareyasi sensorlarida keng qo‘llanadi. Mis va kremniy aralashmalari natijasida diodlarda p-n o‘tish kuchayadi, teskari tok kamayadi, sezgirlik ortadi. Tranzistorlarda esa p-tip emitterlar samaradorligi ortadi. Fotodatchiklarda esa kvant samaradorligi 20–30% ga oshadi. Termoelektr qurilmalarda misning kiritilishi ZT koeffitsientini oshiradi, termo-paralar samaradorligi yaxshilanadi.

Kremniyga mis kiritish natijasida elektr xususiyatlarida quyidagicha o‘zgarishlar sodir bo‘ladi: o‘tkazuvchanlik oshadi, qarshilik kamayadi, p-tip yarimo‘tkazgich hosil bo‘ladi. Strukturaviy xususiyatlarida esa kristall panjara deformatsiyalanadi, defektlar va dislokatsiyalar ortadi. Energetik xususiyatlari quyidagi o‘zgarishlarni namoyon qiladi: akseptor sathlari paydo bo‘ladi, taqiqlangan zona ichida qo‘shimcha sathlar hosil bo‘ladi.

Optik xususiyatlari tomonidan esa infraqizil sezgirlik kuchayadi hamda absorbsiya ortadi. Natijada Mis (Cu) kremniyning elektr, optik va strukturaviy xossalarini sezilarli darajada o‘zgartiruvchi samarali legirlovchi modda bo‘lib, zamonaviy elektronika va sensor qurilmalarda keng qo‘llanadi.

Mis kiritilgandan so‘ng germaniyda ba’zi o‘zgarishlar kuzatiladi. Misning akseptor xususiyati tufayli p-tip tashuvchilar (teshiklar) miqdori ortadi. Quyida mis konsentratsiyasiga bog‘liq o‘tkazuvchanlik o‘zgarishi keltirilgan:

2-jadval

Cu konsentratsiyasi (ppm)	O‘tkazuvchanlik (S/m)
5	1.7×10^{-3}
20	8.6×10^{-3}
50	2.4×10^{-2}
100	3.9×10^{-2}
300	1.2×10^{-1}

Demak, mis konsentratsiyasi ortishi bilan o‘tkazuvchanlik tez o‘sadi.

Mis kiritilganda germaniyning elektr resistivligi 5–20 barobar kamayadi. Bu p-tip Ge diodlari va tranzistorlari samaradorligini oshiradi. Germaniyning band gap (0.66 eV) kichik bo‘lgani uchun mis tomonidan hosil qilinadigan sathlar kuchli ta’sir ko‘rsatadi. Cu substitutsion pozitsiyada **0.11–0.18 eV** chuqurlikdagi akseptor sathini hosil qiladi. Cu interstitsial holatda **tuzoq holatlari** hosil qiladi. Bu sathlar rekombinatsiyani kuchaytiradi hamda fotorezistor va infraqizil datchiklarda sezgirlikni boshqaradi

Misning atom radiusi germaniynikidan kattaroq kristall panjarada taranglik hosil bo‘ladi. Oqibatda dislokatsiyalar soni ortadi, kristallning lokal deformatsiyasi

ISSN 3030-3907

paydo bo‘ladi, diffuziya tezligi oshadi, panjara davriya parametrlari biroz o‘zgaradi. Bu o‘zgarishlar moddaning issiqlik barqarorligiga ham ta’sir qiladi.

Mis kiritilganda germaniy optik xossalari sezilarli o‘zgaradi: Infraqizil nurlarda yutilish ortadi, fotoyutilish spektri kengayadi, fotorekombinatsiya jarayoni tezlashadi, IR datchiklar uchun sezgirlik kuchayadi. Shu sababli Cu–Ge aralashmalari IR fotodiodlar, termodatchiklar, radiatsiya sensorlari uchun juda qulay hisoblanadi.

Diod va tranzistorlarda p-tip germaniy kuchli bo‘ladi va teskari oqim kamayadi hamda "switching speed" ortadi. **Fotodiodlarda esa** mis qo‘shilishi natijasida IR sezgirlik 20–40% ga ortadi. **Termoelektr qurilmalarda** termoelektr quvvat koeffitsienti ZT ortadi. **Sensorlarda esa** temperatura sezgirligi kuchayadi, kam kuchlanish bilan ishlay oladi.

Mis kiritilishi germaniy xossalarini elektr xususiyatini o‘zgartiradi, p-tip o‘tkazuvchanlik hosil qiladi, o‘tkazuvchanlik ortadi, qarshilik kamayadi, akseptor darajalari paydo bo‘ladi, chuqur energetik tuzoqlar hosil bo‘ladi. Strukturaviy tomonidan esa panjara deformatsiyasi va dislokatsiyalarning ortishi kuzatiladi.

Optik xossalari ham o‘zgarishga uchraydi ya’ni infraqizil sezgirlik kuchayadi va yutilish spektri kengayadi. **Natijada m**is legirlangan germaniy yuqori sezgirlikka ega p-tip yarimo‘tkazgich bo‘lib, sensorlar, datchiklar va tezkor elektronika uchun juda qulay materialdir.

Xulosa. Kirishma kiritilgan materialning xususiyatlarini o'rganishning bir qator usullari mavjud. Elektr o'lchovlar orasida Hall effekti o'lchovi eng muhim hisoblanadi. Hall effekti – magnit maydonda oqim o'tayotgan namunada, oqim va magnit maydonga perpendikulyar yo'nalishda kuchlanish paydo bo'lishi hodisasidir. Bu kuchlanishni o'lchab, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, ularning turi (elektronmi yoki teshikmi) va mobiligi (harakatchanligi) aniqlanadi. Mobilik – bu elektron yoki teshiklarning qanchalik osongina harakatlanishini ko'rsatadigan kattalik. Optik usullardan fotoluminesens (yorug'lik chiqarish) spektroskopiyasi qo'llaniladi. Materialga ma'lum to'lqin uzunlikdagi yorug'lik tushirilganda, u o'zi yorug'lik chiqaradi. Bu chiqarilgan yorug'likning spektri orqali kirishma atomlarining energiya darajalari, ularning konsentratsiyasi va kristaldagi holati o'rganiladi. Raman spektroskopiyasi esa kristal panjaraning tebranish moddalarini o'rganish orqali kirishma atomlari ta'sirida panjarada sodir bo'lgan o'zgarishlarni aniqlash imkonini beradi.

Kirishma miqdori (konsentratsiyasi) materialning xususiyatlariga keskin ta'sir ko'rsatadi. Kam kirishmalangan materiallarda (10^{14}–10^{16} atom/sm^3) erkin zaryad tashuvchilar soni kam, shuning uchun qarshilik yuqori bo'ladi. Bunday materiallar yuqori kuchlanishli qurilmalar, keng hududli tranzistorlar yoki

ISSN 3030-3907

fotodetektorlar uchun ishlatiladi. O'rta darajada kirishmalangan materiallar (10^{16}–10^{18} atom/sm^3) ko'pgina kundalik elektron qurilmalar – mikroprotsessorlar, xotira chip'lari uchun optimal hisoblanadi. Ularda ishlash tezligi va energiya sarfi yaxshi muvozanatda bo'ladi.

Ko'p kirishmalangan materiallarda (10^{18} atom/sm^3 dan yuqori) erkin zaryad tashuvchilar soni juda ko'p, qarshilik esa juda past bo'ladi. Bunday materiallar odatda kontakt qatlamlari, o'tish qatlamlari yoki past qarshilikli yo'laklar sifatida ishlatiladi. Ammo juda ko'p kirishma kiritilganda, material "metallashtiriladi" – uning xususiyatlari metalga yaqinlashadi va yarimo'tkazgich sifatidagi afzalliklari yo'qolishi mumkin. Shuning uchun har bir qurilma uchun kirishma konsentratsiyasi diqqat bilan tanlanadi.

Kirishma kiritish jarayonida bir qator muammolar yuzaga kelishi mumkin. Difuziya usulida kirishma atomlarining notekis taqsimlanishi, haddan tashqari chuqur kirib borishi yoki sirtda to'planib qolishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori haroratda boshqa noxush atomlar ham materialga kirib ketishi mumkin. Ion implantatsiyasida esa yuqori energiyali ionlar kristal panjarani shikastlashi, ya'ni atomlarni o'rnidan ko'chirishi va nuqsonlar yaratishi mumkin. Bu nuqsonlar materialning o'tkazuvchanligini pasaytirishi mumkin. Bu muammolarni bartaraf etish uchun turli usullar qo'llaniladi. Ion implantatsiyasidan keyin materialni qayta ishlash (annealing) – uni ma'lum haroratga qizdirish orqali kristal panjara tiklanishi va nuqsonlar kamayishi ta'minlanadi. RTA (tez termal qayta ishlash) usulida material juda qisqa vaqt (soniyalar) davomida yuqori haroratga qizdiriladi, bu esa nuqsonlarni bartaraf qilish bilan birga kirishma atomlarining ortiqcha tarqalishining oldini oladi. Bundan tashqari, ishlab chiqarish jarayonida qat'iy nazorat va monitoring tizimlari o'rnatiladi.

Nanoelektronika rivojlanishi bilan kirishma kiritish texnologiyalari ham yangi bosqichga ko'tarilmoqda. Kvant nuqtalar, karbon nanotubalar, grafen kabi nanomateriallarda kirishma kiritish ancha murakkab, chunki ularning o'lchami juda kichik (bir necha nanometr). Bunday materiallarda har bir alohida kirishma atomi muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun atom darajasidagi manipulyatsiya usullari, masalan, skanerlovchi tunnel mikroskop (STM) yordamida har bir atomni ma'lum joyga joylashtirish kabi texnologiyalar rivojlanmoqda. Yangi materiallar, masalan, silikon karbid (SiC) yoki galliy nitrid (GaN) kabi keng band oralig'li yarimo'tkazgichlar yuqori quvvatli va yuqori haroratli qurilmalar uchun ishlatilmoqda. Ularga kirishma kiritish ham an'anaviy silikonga nisbatan qiyinroq, chunki ularning kristal panjarasi boshqacha va qattiqroq. Shuningdek, organik yarimo'tkazgichlar (masalan, polimerlar) ga kirishma kiritish yangi soha bo'lib, bu egiluvchan va arzon elektronika imkoniyatlarini ochadi. Kelajakda kirishma

ISSN 3030-3907

kiritish usullari yanada aniq, samarali va barqaror bo'lib boradi, bu esa elektronikaning yangi avlodini yaratish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Azimov M. Yarimo‘tkazgichlar fizikasi. 1974 yil.
2. Akramov H va b. Yarimo‘tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar. T. 1994 yil.
3. Sobirova T. Quyosh panellaridagi yarimo‘tkazgichli materiallarning ahamiyati //Евразийский журнал технологий и инноваций. – 2023. – Т. 1. – №. 2. – С. 75 84.
4. Karimov I.N., Ermatov Sh , Nosirov M.Z., Abduazimov B.A ―Lazer fizikasi va texnikasi‖- Andijon, 2016, 57c
5. Sobirova, T. (2023, April). Advantages of nanotechnology and its role in the industry. In International Conference On Higher Education Teaching (Vol. 1, No. 1, pp. 71-75) IYUL 2025/7 Development of science Volume 1 240 ISSN 3030-3907
6. Sobirova, T. A. (2022). Yarimo‘tkazgichli lazerlar. Экономика и социум, (6 1 (97)), 1181-1187.
7. Sobirova, T. A. (2024). IMPORTANCE OF SEMICONDUCTOR MICROCIRCUITS IN MICROELECTRONICS AND INDUSTRY. Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. Volume 8 (477-482)
8. Sobirova Tursunoy Abdipatto qizi. (2024). DEFECTS IN CRYSTALS AND THEIR PROPERTIES. Ethiopian International Journal of Multidisciplinary Research, 11(05), 246–250.

ISSN 3030-3907