

## YARIMO'TKAZGICHLARDA ICHKI NUQTAVIY NUQSONLARINING TERMODINAMIKASI



<https://doi.org/10.24412/2181-1784-2022-4-231-240>

**Tolaboyev Dilmuhammad Xayitali o'g'li,  
Mirzayev Valijon To'lqinovich,  
Axmadjonov Mexriddin Faxridinovich,  
Abdullayev Sherzod Shuhratjon o'g'li,  
Raximjonov Jahongir Saydaxmat o'g'li**  
Farg'ona politexnika instituti assistentlari  
[dilmuhammad00056@gmail.com](mailto:dilmuhammad00056@gmail.com)

### ANNOTATSIYA

*Kremniy panjarada ichki nuqsonlarning paydo bo'lishi, odatda, panjaraning ichidagi atomlarning tasodifiy issiqlik harakati natijasida yuzaga keladi. Xona haroratida, issiqlik energiyasi panjaraning bog'lanish energiyasiga nisbatan kichik, shuning uchun juda kam nuqsonlar hosil bo'ladi; ammo, bu raqam nolga teng emas, shuning uchun nuqsonlarning o'z-o'zidan paydo bo'lishi termodinamika bilan tavsiflanishi mumkin.*

**Kalit so'zlar:** yarimo'tkazgich, entropiya, konfiguratsion entropiya, energiya, erkin energiya, vakansiya.

### ТЕРМОДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

### АННОТАЦИЯ

*Появление внутренних дефектов в решетке кремния обычно является результатом случайного теплового движения атомов внутри решетки. При комнатной температуре тепловая энергия мала по сравнению с энергией связи сетки, поэтому образуется очень мало дефектов; однако это число не равно нулю, поэтому самопроизвольное возникновение дефектов можно охарактеризовать термодинамикой.*

**Ключевые слова:** полупроводник, энтропия, конфигурационная энтропия, энергия, свободная энергия, вакансия.

## **THERMODYNAMICS OF INTERNAL POINT DEFECTS IN SEMICONDUCTORS**

### **ABSTRACT**

*The appearance of internal defects in a silicon lattice usually occurs as a result of accidental thermal motion of the atoms inside the lattice. At room temperature, the heat energy is small compared to the bonding energy of the grid, so very few defects are formed; however, this number is not zero, so the spontaneous occurrence of defects can be characterized by thermodynamics.*

**Keywords:** semiconductor, entropy, configuration entropy, energy, free energy, vacancy

### **KIRISH**

Davom ettirishdan oldin ba'zi bir asosiy termodinamik atamalarni aniqlash muhim ahamiyatga ega. Xususan, to'rtta klassik termodinamik holat funksiyasi mavjud. Bular potensial energiya,  $E$ , ichki energiya,  $H$ , entalpiya va erkin energiya,  $A$  va  $G$  mos ravishda Gelmgols va Gibbsning erkin energiyalari deb ataladi. Umuman olganda,  $E$  va  $A$  hajmi doimiy bo'lgan termodinamik tizimlarga taalluqlidir. Xuddi shunday,  $H$  va  $G$  ham bosim doimiy bo'lgan termodinamik tizimlarga taalluqlidir. Faqat kondensatsiyalangan fazalarni o'z ichiga olgan tizimlar uchun, masalan, kristalli qattiq moddalar, bu farq ahamiyatsiz  $E$  va  $H$  ni  $A$  va  $G$  kabi bir xil deb hisoblash mumkin, shuning uchun kristalli qattiq jismlarning xatti-harakatlarini ko'rib chiqishda potensial yoki ichki energiyaga murojaat qilish mumkin.  $E$ ,  $H$ ,  $G$  va  $A$  dan tashqari yana ikkita qo'shimcha termodinamik miqdor muhim ahamiyatga ega. Bular mutlaq yoki termodinamik harorat,  $T$  va entropiya,  $S$ . Harorat, albatta, tanish tushunchadir, ammo entropiya unchalik tanish emas. Keng kontekstda entropiya bu jismoniy tizimga xos bo'lgan tartibsizlik yoki tasodifiylik o'lchovidir. Masalan, harorat doimiy bo'lib qolsa ham, qattiq materialning erishi paytida entropiya ko'payadi.

### **MUHOKAMA VA NATIJALAR**

Kristalli material uchun bu miqdorlarni qanday aniqlash mumkin? Kutilganidek, ichki energiyani kristalning umumiy bog'lanish energiyasi bilan aniqlash mumkin. Biroq, erkin energiyaning o'ziga xosligi shunchalik ravshan emas. Ta'rifga ko'ra, erkin energiya - bu "ish qilish", ya'ni ba'zi jismoniy jarayonlarni boshqarish uchun mavjud bo'lgan termodinamik tizim bilan bog'liq bo'lgan energiya miqdori. Jismoniy jihatdan, harorat va entropiya mahsuloti  $TS$  ichki energiya va erkin energiyani o'zaro

bog'laydi. Xususan, erkin energiyani olish uchun ichki energiyadan TS ni chiqarib tashlash kerak.

$$A \square E \square TS$$

Shunday qilib, TS ichki energiyaning tasodifiy issiqlik harakatiga to'g'ri keladigan qismi, shuning uchun tashqi tomondan mavjud emasligi aniqlanadi. Bundan tashqari, nuqta nuqsonlari haqida aniq bir munozarani davom ettirishdan oldin, shuni ta'kidlash kerakki, ko'pgina termodinamik tizimlar uchun termodinamik funktsiyalarning mutlaq qiymatlari mavjud emas. Biroq, ba'zi bir mos yozuvlar holatiga nisbatan termodinamik funktsiyalardagi o'zgarishlar ham xizmat qiladi. Shuning uchun E, H, G, A va S ning mutlaq qiymatlari o'rniga, E,  $\Delta E$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta A$  va  $\Delta S$  sifatida belgilangan nisbiy qiymatlar ishlatiladi, shuning uchun:

$$\Delta A = \Delta E - T\Delta S$$

Ushbu ibora kremniy kristalidagi nuqsonlarni hosil qilishda osonlikcha qo'llaniladi. (Qattiq jism uchun qulay termodinamik mos yozuvlar holati nuqsonli kristaldir.)

Vakansiyalarni ishlab chiqarishni hisobga olgan holda, N - atom panjaralari joylari va M - kristalning ba'zi bir birlik hajmlarida mavjud bo'lgan bo'sh joylar soni. Shubhasiz, N olmos kubik kristalli tuzilishini tekshirish orqali osonlikcha aniqlanadi. Shuning uchun M ni N va T funktsiyalari sifatida ko'rsatish maqsadga muvofiqdir, shuning uchun agar  $\Delta E_v$  bitta bo'shliqning hosil bo'lish energiyasi (taxminan 2,3 eV) bo'lsa, unda kristalning birlik hajmini hisobga olgan holda erkin energiya o'zgaradi M vakansiyalarining shakllanishi quyidagi ifodaga to'g'ri keladi:

$$\square A_{Mv} \square \square \square M \square E_v \square \square \square T \square S_{Mv}$$

Bu erda  $\square A_{Mv}$  - M vakansiyao'rinlarini shakllantirishning erkin energiyasi va  $\square S_{Mv}$  - bu bog'liqdir

Entropiya o'zgarishi. Jismoniy jihatdan, entropiya o'zgarishini rasmiy ravishda  $\Delta S_{Mv}^C$ , "konfiguratsion" entropiya va  $\Delta S_{Mv}^X$ , "ortiqcha" entropiya kabi ikki qismga bo'lish mumkin. Konfiguratsion entropiya M vakansiyalarini mukammal kristalli panjaraga kiritish bilan bog'liq tartibsizlikning kuchayishidan kelib chiqadi. Konfiguratsion entropiyani aniqlash uchun Boltsmanning entropiyani tubdan belgilaydigan mashhur munosabati esga olinadi:

$$S = k \cdot \ln W$$

Bu yerda entropiya, S, mutlaq ma'noda, ma'lum bir jismoniy tizim bilan bog'liq bo'lgan, ekvivalent sonining tabiiy logarifmi bilan bog'liq, ammo ajralib turadigan

mikroskopik tartibga solish,  $W$ . Mutanosiblik konstantasi Boltsmanning doimiysi,  $k$ . (Darhaqiqat, aynan Boltsmanning munosabati  $k$  ning asosiy ta'rifini beradi.) Boshlang'ich ehtimollik nazariyasidan  $N$  panjara joylaridagi  $M$  bo'shliqlarining mumkin bo'lgan ajratilgan tartiblari soni  $W_{Mv}$ , shunchaki binomial koeffitsientga to'g'ri kelishini kuzatadi:

$$W_{Mv} = \frac{N!}{(N-M)!M!}$$

Shubxasiz, mukammal kristal uchun konfiguratsion entropiya, ya'ni vakansiyao'rinlari bo'lgan kristal, yo'q bo'lib ketadi, chunki faqat bitta ajralib turadigan tartib mavjud. Shunday qilib, Boltsmanning munosabati va oldingi formulani konfiguratsion entropiyaning o'zgarishini aniqlash uchun  $\Delta S_{Mv}^C$  ni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta S_{Mv}^C = k \ln W = k \ln \left( \frac{N!}{(N-M)!M!} \right) = k \ln N! - k \ln M! - k \ln (N-M)!$$

Oddiylik uchun,  $\Delta S_{Mv}^X$ -sonli entropiyani e'tiborsiz qoldirish mumkin, bu  $M$  vakansiyalarining kiritilishi sababli kristalning mavjud tebranish holatlari sonining o'zgarishi bilan bog'liq deb o'ylash mumkin. ( $\Delta S_{Mv}^X$  odatda kichikdir.) Shunday qilib, erkin energiya o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta A_{Mv} = M \Delta E_v - kT \ln N! + kT \ln M! + kT \ln (N-M)!$$

Ushbu iborani katta faktoriallar uchun Stirlingning taxminiy funksiyasi yordamida qo'shimcha ravishda o'zgartirish mumkin:

$$\ln N! \cong N \ln N - N$$

Shundan kelib chiqadiki:

$$\Delta A_{Mv} = M \Delta E_v - NkT \ln N + MkT \ln M + (N-M)kT \ln (N-M)$$

Shunday qilib,  $M$  vakansiyao'rinlari hosil bo'lishining erkin energiyasi haroratga, bitta bo'shliqni shakllantirish energiyasiga, panjara joylari soniga va vakansiyao'rinlariga bog'liqdir.

Jismoniy jihatdan, ba'zi bir aniq haroratli termodinamik jarayonlar uchun erkin energiya o'zgarishi katta va salbiy o'z-o'zidan paydo bo'ladi. Aksincha, erkin energiya o'zgarishi katta va ijobiy bo'lganlar o'z-o'zidan paydo bo'lmaydi va sodir bo'lmaydi, ya'ni teskari jarayon o'z-o'zidan bo'ladi. Agar erkin energiya o'zgarishi aynan yo'q bo'lib ketsa, ya'ni oldinga va teskari jarayonlar sodir bo'lish tendentsiyasiga ega bo'lsa, unda jarayon muvozanat holatida bo'ladi. Shubhasiz, yuqorida aytib o'tilganidek,  $\Delta A_{Mv}$  mukammal kristaldagi  $M$  vakansiyalarining shakllanishiga to'g'ri keladi. Vakansiya

o'rinlari soni barqaror bo'ladi, ya'ni muvozanat sharoitida, agar erkin energiya o'zgarishi qo'shimcha vakansiya o'rinlarini shakllantirish yoki mavjud vakansiya o'rinlarini yo'qotish uchun ijobiy bo'lsa. Bu shuni anglatadiki, yana bitta vakansiya joyini qo'shish yoki vakansiyani olib tashlash bo'sh energiyani o'zgartirmaydi. Matematik jihatdan, bu  $\Delta A_{Mv}$  ekstremumda ekanligini anglatadi; shuning uchun vakansiyao'rinlari soniga nisbatan olingan  $\Delta A_{Mv}$  ning qisman hosilasi M:

$$\frac{\partial}{\partial M} \Delta A_{Mv} = \Delta E_v + kT \ln M - kT \ln(N - M)$$

Shubhasiz, muvozanat sharti  $\Delta A_{Mv}$  qiymatining M ga nisbatan minimal bo'lishini talab qiladi, shuning uchun yuqoridagi chap tomonda paydo bo'lgan hosila yo'qolishi kerak; shuning uchun kimdir buni topadi:

$$\ln\left(\frac{M}{N - M}\right) = -\frac{\Delta E_v}{kT}$$

Umuman olganda, M N ga nisbatan taqqoslaganda yetarlicha kichik, shuning uchun  $N \gg M$  ni N bilan almashtirish va yakuniy natijaga erishish uchun eksponentni quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$M = N \exp\left(-\frac{\Delta E_v}{kT}\right)$$

Istalgancha, ushbu formula vakansiyao'rinlari soni (yoki zichligi) uchun funktsional munosabatlarni N va T bo'yicha ifodalaydi. U haroratga bog'liqlikni o'z ichiga olgan eksponensial omil mahsuloti shakliga ega (ya'ni "Boltsman faktori") va materialga xos bo'lgan "pre-eksponent" omil (bu holda, bu N, atom panjarasi joylarining soni yoki zichligi). To'liqlik uchun, agar ortiqcha entropiya muddati "tuzatish" sifatida kiritilgan bo'lsa, avvalgi formulaga quyidagicha o'zgartirish kiritiladi:

$$M = N \exp\left(-\frac{\Delta E_v - T \Delta S_{Mv}^x}{kT}\right)$$

Odatda, termal faollashtirilgan jarayonlar ushbu shaklning ifodalari bilan tavsiflanadi.

Kremniy o'zaro interstitsial nuqsonlarini o'xshash davolash mumkin. Shunday qilib, M intervallarini hosil qilish uchun erkin energiyaning o'zgarishi quyidagicha:

$$\Delta A_{Mi} = M \Delta E_i - T \Delta S_{Mi}$$

Bu erda  $\Delta E_i$  - bu interstitsialning hosil bo'lish energiyasi. Shubhasiz,  $\Delta A_{Mi}$  - bu erkin energiya

M interstitsialining shakllanishi va  $\Delta A_{Mi}$  bu bog'liq entropiyaning o'zgarishi. Shunga qaramay, entropiya o'zgarishini konfiguratsion va ortiqcha qismlarga bo'lish mumkin. Kutilganidek, konfiguratsion qism quyidagi shaklda bo'ladi:

$$\Delta S_{Mi}^C = k \ln W_{Mi}$$

Shu bilan birga, konfiguratsion entropiyaning o'zgarishini baholash uchun panjara joylari sonini emas, balki birlik hajmidagi  $N'$  oraliq bo'shliqlar sonini hisobga olish kerak. Albatta,  $N$  va  $N'$  osongina olmos kub birligi xujayrasida sakkizta panjara joylari borligini, ammo faqat beshta interstitsial joylar mavjudligini ta'kidlash bilan osonlikcha bog'liqdir:

$$N' = \frac{5}{8} N$$

Shu nuqtai nazardan, quyidagicha yozish mumkin:

$$W_{Mv} = \frac{N!}{(N'-M)!M!}$$

Tahlil xuddi vakansiyao'rinlaridagi kabi davom etadi, shuning uchun:

$$M = N' \exp\left(-\frac{\Delta E_i}{kT}\right) = \frac{5}{8} N \exp\left(-\frac{\Delta E_i}{kT}\right)$$

Shubhasiz, ortiqcha entropiya yana tuzatish sifatida ko'rib chiqilishi mumkin. Tabiiyki, Frenkel nuqsonlari konsentratsiyasini ham xuddi shunday tahlil yordamida olish mumkin. Albatta, shakllanish energiyasi  $\Delta E_f$ , Frenkel nuqsonlariga mos kelishi va entropiya muddatiga ozgina o'zgartirish kiritilishi kerak; ammo, natija, avval vakansiya o'rinlari bo'lgan taqdirda,  $\Delta E_f$  o'rniga  $\Delta E_v$  o'rnini egallash bilan bir xil bo'ladi.

Shu nuqtai nazardan, avvalgi natijalardan to'g'ridan-to'g'ri bo'shliq-interstitsial termodinamik muvozanat konstantasi,  $K_{eq}$  tuzilishi mumkin:

$$K_{eq} = \frac{5}{8} N^2 \exp\left(-\frac{\Delta E_v + \Delta E_i}{kT}\right)$$

Vakansiya oraliq muvozanat va teshik-elektronlar muvozanati o'rtasidagi o'xshashlik aniq ko'rinib turibdi. Shubhasiz, ajratilgan vakansiya va ajratilgan interstitsialni yaratish uchun zarur bo'lgan energiya atigi  $\Delta E_v + \Delta E_i$  ga teng. Bu mobil aloqa operatorlari uchun tarmoqlar oralig'i energiyasiga o'xshashdir. Bundan tashqari, panjara uchastkasi zichligi va oraliq joy zichligi mahsuloti,  $5N^2/8$ , holatlarning samarali zichligi mahsuloti bilan bir xil rol o'ynaydi. Kutilganidek,  $K_{eq}$  haroratga bog'liq, ammo nuqson konsentratsiyasi emas.

## **XULOSA**

Nuqta nuqsonlarini ko'rib chiqishni yakunlash uchun, vakansiyaning mavjudligi nazariy jihatdan to'rtta qoniqarsiz bog'lanishni keltirib chiqaradi, odatda bo'sh panjara maydonidagi atomni yaqin qo'shnilariga bog'laydi. Ushbu "osilib turadigan" bog'lanishlarni normal valentlik zonasidan to'rttadan ortiqcha elektronni qabul qilishga qodir bo'lgan (nazariy jihatdan, hech bo'lmaganda) yarim to'ldirilgan  $sp^3$  orbitallar deb qarash mumkin. Bunday holda, bo'shliq salbiy zaryadga ega bo'lib, valentlik zonasida teshiklarni qoldiradi. Tarmoqli bo'shliqqa nisbatan ushbu lokalizatsiya qilingan holatlarning energiyasiga qarab, vakansiyadopant atomiga o'xshab harakat qilishi mumkin. Agar atom konfiguratsiyasi osilgan  $sp^3$  orbitallarining bir qismini yoki barchasini bir-birining ustiga chiqishiga imkon bersa, vakansiyalar elektronlarni o'tkazuvchanlik zonasiga berishi mumkin. Darhaqiqat, bo'shliqning energiyasini kamaytirish uchun turli xil atom tuzilmalari yuzaga kelishi mumkinligi sababli, vaziyat ancha murakkablashishi mumkin. vakansiyalar elektrga aylanib, akseptor yoki donor kabi harakat qilishi mumkinligini aytish kifoya. Bundan tashqari, interstitsial nuqsonlar elektrda ham faollashishi mumkin, chunki ular kristalning umumiy simmetriyasini mahalliy darajada buzadi. Interstitsiallar odatda ijobiy zaryadga ega bo'lib, donorlarga o'xshash xatti-harakatlarni namoyish etadi. (Ushbu xatti-harakatlar diffuziya mexanizmlari bilan bog'liq holda batafsilroq muhokama qilinadi.)

## **REFERENCES**

1. Yusupov, F. T. O. G. L., Rakhmonov, T. I., O'G'Li, T. D. X., & Sherqoziyevich, X. D. (2021). Use of vernier digital laboratory in lessons and lesson activities. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(10), 86-94.
2. Маматов, О., Нурматов, О. Р., Рахмонов, Т. И., & Юлдашев, Н. Х. (2019). Фото-и тензоэлектрические свойства тонких пленок халькогенидов кадмия, полученных методом порционных испарений в вакууме.
3. Nasirov, M. X., Tolaboyev, D. X., & Yulchiyev, I. I. (2021). INSON SO 'LAGINING KRISTALLOGEN XUSUSIYATLARINI BAHOLASH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(11), 510-516.
4. Сулаймонов Х. М. и др. Фотоэлектрические свойства полупроводниковых поликристаллических пленочных структур CdTe: Sn при статических механических деформациях //Известия Ошского технологического университета. – 2019. – №. 3. – С. 180-186.

5. Толабоев Д., Расулов Р. Я. ЭФФЕКТ ФОТОННОГО УВЛЕЧЕНИЯ В р-Те //НАУКА И НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ-ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО. – 2018. – С. 12.
6. Султанов Н. А. и др. ВЛИЯНИЕ ФОТОТЕРМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОМ СЕЛЕНОМ //ADVANCED SCIENCE. – 2018. – С. 18-22.
7. Tolaboyev, D. X. (2021). KRISTALL PANJARADA ATOMLAR BIR O'LCHAMLI ZANJIRINING TEBRANISHLARINI TEKSHIRISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(11), 141-150.
8. Юлдашев Н. Х., Ахмаджонов М. Ф., Мирзаев В. Т. Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe: Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape\* MERGEFORMAT //Евразийский Союз Ученых. – 2019. – №. 3-4. – С. 60.
9. Rakhmonov T. I., Siddikov R. U., Mirzaaxmedov A. Influence of mechanical deformation on the photo-voltaic properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films manufactured by portional evaporation in vacuum //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – С. 11-21.
10. Полвонов Б. З., Насиров М. ТЕМПЕРАТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПЛЕНОК //Редакционная коллегия. – 2018. – С. 60.
11. Султанов Н. А. и др. ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ГЛУБОКИЕ УРОВНИ ПРИМЕСЕЙ И РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ //ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ). – 2019. – Т. 46.
12. Tolaboyev, D. X., Abdullayev, S., & Xidirov, D. S. (2021). STANDART KO 'RINISHDAGI IZOTROP JISMLARNING O 'TKAZUVCHANLIGI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(11), 565-570.
13. Zaylobidinovich P. B. et al. SPECTRUM OF THE SHORT CIRCUIT PHOTO CURRENT OF CDTE, CDTE: INPHOTOLOLATIC FILMS DEPENDING ON THE TEMPERATURE //European science review. – 2018. – Т. 1. – №. 11-12. – С. 108-110.
14. Rakhmonov T. I., Yuldashev N. K. Photo-tensoelectric properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films obtained by portional thermal evaporation in a vacuum //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 4. – С. 25-34.
15. Joboraliyevich A. B. Specific features of the dispersion of mixed exciton-polariton modes in uniaxial crystals of the cds type //European science review. – 2021. – №. 1-2. – С. 25-29.



16. Ruzimatova, B. S., & Yulchiyev, I. I. (2021). KREATIV PEDAGOGIKA–PEDAGOGIKAGA YANGICHA YONDASHUV. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(10), 1096-1103.
17. Юлдашев Н. Х., Ахмадалиев Б. Ж. 02 ФКС СИЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ СМЕШАННЫХ МОД В ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ЭКСИТОНА //Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129. – №. 9.
18. Ахмадалиев Б. Ж., Юлдашев Н. Х. Сильная интерференционная люминесценция смешанных мод в окрестности критического значения затухания экситона //Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129. – №. 9. – С. 1137-1141.
19. Yuldashev N. K. et al. The spectral characteristics of CdTe: Ag photoelectrical films in the areas own and impurite absorption //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 23. – №. 2. – С. 9-17.
20. Nurmatov O. et al. Phototenzoelectric properties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum //Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering. – 2020. – Т. 2. – №. 5. – С. 10.
21. Rasulov V. R. et al. PHOTON DRAG EFFECT IN p-Te //European Science Review. – 2018. – №. 9-10-1. – С. 249-252.
22. Yuldashev N. K. et al. The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semiconductor polycrystalline film structures CdTe: Sn //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 23. – №. 3. – С. 9-14.
23. Rakhmonov T. I., Yuldashev N. K. Photo-tensoelectric properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films obtained by portional thermal evaporation in a vacuum //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 4. – С. 25-34.
24. Raxmonov T. I., Mamasoliev M. S., Yuldashev N. K. Time kinetics of polariton luminescence of semiconductor crystals under resonant excitation of excitons //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – С. 64-68.
25. Юлдашев Н. Х. и др. Фотоэлектретные пленки CdTe: Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape\* MERGEFORMAT //Евразийский Союз Ученых. – 2019. – №. 3-4 (60). – С. 72-78.
26. Эргашев С. Ф. и др. Разработка автоматизированной системы измерений энергетических характеристик солнечных энергетических установок //Точная наука. – 2019. – №. 43. – С. 22-27.

27. Rakhmonov Tokhirbek Imomalievich, Mamadieva Dilkhumor Tolibjonovna, Yuldashev Nosirjon Khaydarovich PHOTOELECTRIC PHENOMENA IN THIN POLYCRYSTALLINE CDTE, CDSE, CDS FILMS UNDER MECHANICAL DEFORMATION // European science review. 2021. №11-12.
28. Фото- и тензoeлектрические свойства тонких поликристаллических пленок CdTe, CdSe, ZnTe на прозрачных диэлектрических подложках, полученных методом дискретного испарения в вакууме / Т. И. Рахмонов, Х. Э. Мухаммадюкубов, Х. М. Сулаймонов, Н. Х. Юлдашев // General question of world science : Collection of scientific papers on materials VII International Scientific Conference, Brussel, 30 марта 2019 года. – Brussel: "Наука России", 2019. – С. 42-47. – DOI 10.18411/gq-30-03-2019-36.
29. Tokhir, Rakhmonov, Yusupov Fakhriddin, and Tolaboyev Dilmuhammad. "A study in showing logical strategy and demeanor in the middle school." *International Engineering Journal For Research & Development* 5.7 (2020): 7-7.
30. Ahmadaliev B. J. et al. The dispersion and photoluminescence spectrum of mixed excitons at critical damping values //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 1. – С. 9-14.
31. Юлдашев, Н. Х., Ахмаджонов, М. Ф., Мирзаев, В. Т., & Нурматов, О. Р. У. (2019). Фотоэлектретные пленки CdTe: Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape\* MERGEFORMAT. *Евразийский Союз Ученых*, (3-4 (60)), 72-78.
32. Polvonov, Bakhtiyor Zaylobidinovich; Nasirov, Mardonbek Haldarbekovich; Akhmadjonov, Mehriddin Fakhridinovich; and Abdulazizov, Bakhrom Toshmirza o'g'li (2021) "THE THERMAL FIELD MIGRATION AND ELECTRODIFFUSION OF CHARGED POINT DEFECTS IN POLYCRYSTALLINE FILMS," *Scientific Bulletin of Namangan State University*: Vol. 2 : Iss. 2 , Article 7. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu/vol2/iss2/7>
33. Nasirov, M. X., Axmadjonov, M. F., Nurmatov, O. R., & Abdullayev, S. (2021). О 'LCHAMLI KVANTLASHGAN STRUKTURALARDA KVAZIZARRALAR. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(11), 166-174.
34. Nurmatov, O. R., Yulchiyev, I. I., Axmadjonov, M. F., Xidirov, D. S., & Nasirov, M. X. (2021). TALABALARGA "МАТЕМАТИК МАЙАТНИКНИНГ ТЕБРАНISH QONUNI" MAVZUSINI МАТЕМАТИК USULLAR BILAN TUSHUNTIRISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(11), 133-140.