

MAGNETRON CHANGLATISH USULIDA CdTe YUPQA QATLAMINI OLISH: FAZAVIY XOLATI VA MORFOLOGIYASI

Annotatsiya. Ushbu maqolada kremniy plastinasi yuzasiga CdTe (kadmiy tellurid) yupqa qatlamlarini magnetron changlatish usulida qoplama qoplash, hamda hosil bo'lgan qatlamlarning tarkibiy, morfologik va kristallik xususiyatlarini tahlil qilish natijalari keltirilgan. Taglik sifatida p-Si(111) kremniy plastinalari qo'llanildi. Yuzani adgeziyaga tayyorlash argon ionlari ta'siridagi plazma bilan amalga oshirildi. EDX, SEM va XRD tahlillari orqali CdTe qatlamlarining muvozanatdagi tarkibiy taqsimoti, yuqori darajadagi gomogenligi va kubik kristall tuzilmasi tasdiqlandi. Xususan, (111) yo'nalishidagi kuchli difraksion cho'qqilar, kristall donalarining bir xil va yirik ekanligini, hamda ichki stresslarsiz struktura hosil bo'lganini ko'rsatadi. Olingan natijalar CdTe materialining fotogalvanik qurilmalarda samarali qo'llanilishi uchun yuqori salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: CdTe юпка қатлами, магнетрон чанглатиш, кремний таглик, адгезия, плазма билан ишлов бериш, XRD таҳлил, SEM морфология, EDX спектроскопия, кристаллик тuzилма, оптоэлектроника.

Мирзаяров Нумон Джохонгирович
«SINOMA GBM» LLC Китайско-узбекское совместное предприятие

ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ СЛОЕВ CdTe МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И MORFOLOGИЯ

Аннотация. В данной статье представлены результаты магнетронного распыления тонких слоев CdTe (теллурида кадмия) на поверхность кремниевой пластины, а также анализ структурных, морфологических и кристаллических свойств полученных слоев. В качестве подложки использовались пластины кремния p-Si(111). Подготовка поверхности к адгезии проводилась с использованием плазмы под воздействием ионов аргона. Анализы EDX, SEM и XRD подтвердили равновесное распределение состава, высокую степень однородности и кубическую кристаллическую структуру слоев CdTe. В частности, интенсивные дифракционные пики в направлении (111) свидетельствуют о том, что кристаллические зерна однородны и велики, а также формируется структура без внутренних напряжений. Полученные результаты подтверждают высокий потенциал материала CdTe для эффективного использования в фотоэлектрических устройствах.

Ключевые слова: тонкая пленка CdTe, магнетронное распыление, кремниевая подложка, адгезия, плазменная обработка, рентгеновский дифракционный анализ, морфология СЭМ, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, кристаллическая структура, оптоэлектроника.

Mirzayarov Numon .Joxongirovich
“SINOMA GBM” LLC China-Uzbekistan Joint Venture

DEPOSITION OF CdTe THIN LAYERS BY MAGNETRON SPUTTING METHOD: SPATIAL STATE AND MORPHOLOGY

Abstract. *This article presents the results of magnetron sputtering of CdTe (cadmium telluride) thin layers onto the surface of a silicon wafer, as well as the analysis of the structural, morphological and crystalline properties of the resulting layers. p-Si(111) silicon wafers were used as a substrate. Surface preparation for adhesion was carried out using plasma under the influence of argon ions. EDX, SEM and XRD analyses confirmed the equilibrium composition distribution, high level of homogeneity and cubic crystal structure of the CdTe layers. In particular, strong diffraction peaks in the (111) direction indicate that the crystal grains are uniform and large, and a structure without internal stresses is formed. The obtained results confirm the high potential of CdTe material for effective use in photovoltaic devices.*

Keywords: *CdTe thin film, magnetron sputtering, silicon substrate, adhesion, plasma treatment, XRD analysis, SEM morphology, EDX spectroscopy, crystal structure, optoelectronics.*

Kirish

CdTe asosida yupqa qatlamli materiallarni turli fotoelektrik va optoelektron qurilmalarda qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar keng miqyosda olib borilmoqda. Ayniqsa, magnetron changlatish (sputtering) usulida CdTe qatlamlarini sintez qilish jarayonidagi fazaviy tuzilish va morfologiyasini boshqarish masalasi muhim ahamiyatga ega.

Ko'plab tadqiqotlar [1-5] CdTe moddasining yuqori chastotali magnetron changlatish orqali olinganida uning (111) yo'nalishdagi kubik fazali polikristall shaklda xosil bo'lishini ko'rsatgan. Xususan, yuqori chastotali quvvati 90 Vt atrofida bo'lganda yuqori darajadagi kristalllik va yaxshi yuzalik strukturalar qayd etilgan [6].

Yupqa plyonka qoplash vaqti va pastki yotqizish temperaturasi ham qatlamning morfologiyasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Olib borilgan tadqiqotlarda temperaturaning oshib borishi qatlamdagi kristall zarralarining o'sishi va yuza silliqiligi yaxshilanishiga olib kelgan [7-9]. Shuningdek, turli gaz bosimi va argon oqimi ham fazaviy shakllanishda muhim omil ekani aniqlangan.

Fazaviy tuzilishni optimallashtirishda CdCl_2 bilan annealing jarayoni muhim rol o'ynaydi. MDPI Coatings (2024) nashrida berilgan natijalarga ko'ra, CdCl_2 termik ishlovi CdTe qatlamlaridagi kristallikni oshirib, (111) kubik fazani mustahkamlagan. SEM va AFM kabi skanirlovchi metodlar orqali qatlamning donalari o'lchami 30 nm – 300 nm oralig'ida ekani qayd etilgan.

Keyingi tadqiqotlarda [10,11] taglik, ya'ni pastki plastinkaga berilgan iloviy kuchlanish ta'siri ham katta ahamiyat kasb etishi ta'kidlangan. Bu orqali zarralarning kinetik energiyasi o'zgartirilib, morfologiya nazorat qilinadi. Ba'zi tadqiqotlar [12] DC magnetron changlatish orqali Cu elementlari bilan doping qilganda, CdTe qatlamlarining morfologiyasi va elektr xossalari yaxshilanishini ko'rsatgan. Bu esa potensial fotoelektrik qurilmalar uchun yangi imkoniyatlar ochadi. Boshqa alternativ metodlar, masalan CSS (Close Space Sublimation) va PPD (Pulsed Plasma Deposition) bilan olingan CdTe qatlamlari ham ta'riflangan bo'lib, ulardagi fazaviy va morfologik xususiyatlar magnetron changlatish bilan taqqoslanadi. CSS usulida kristall dona hajmi bir necha mikrometrga yetishi mumkin, bu esa foton absorbsiyasi va zaryad tashuvchi doimiyligini oshiradi [13]. Shu bilan birga, turli changlatish parametrlarining (quvvat, vaqt, temperatura, gaz bosimi) fazaviy o'zgarishlarga ta'siri statistik va grafik tahlillar orqali asoslangan bo'lib, bu tahlillardan aniq ma'lumotlar olish mumkin [14,15].

Tahlil etilgan adabiyotlar shuni ko'rsatmoqdaki, CdTe qatlamlarini magnetron changlatish usulida olish jarayonida sintez sharoitlarini aniq boshqarish orqali yuqori sifatli, fazaviy jihatdan barqaror va morfologik jihatdan bir xil yuzalikka ega bo'lgan yupqa qatlamlarni olish mumkin. Ushbu parametrlarning har biri materialning optik va elektr xossalariiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Tadqiqod myetodologiyasi

Ushbu ishda kremniy plastinasi yuzasini CdTe yupqa qatlami yotqizildi tayyorlash plazmasi ta'sirida argon ionlari yordamida amalga oshirildi. Bu jarayonning maqsadi CdTe yupqa qatlamining Si (kremniy) yuzasiga adgeziyasini faollashtirish hamda CdTe qoplamasi bilan kremniy asosi o'rtasida yupqa qatlam hosil qilishdan iborat edi.

CdTe yupqa qatlamlari magnetron ion changlatish manbai bilan jihozlangan UVM-73 vakuum qurilmasi yordamida qoplama qoplandi, bu [16] manbalarda ham ta'riflangan.

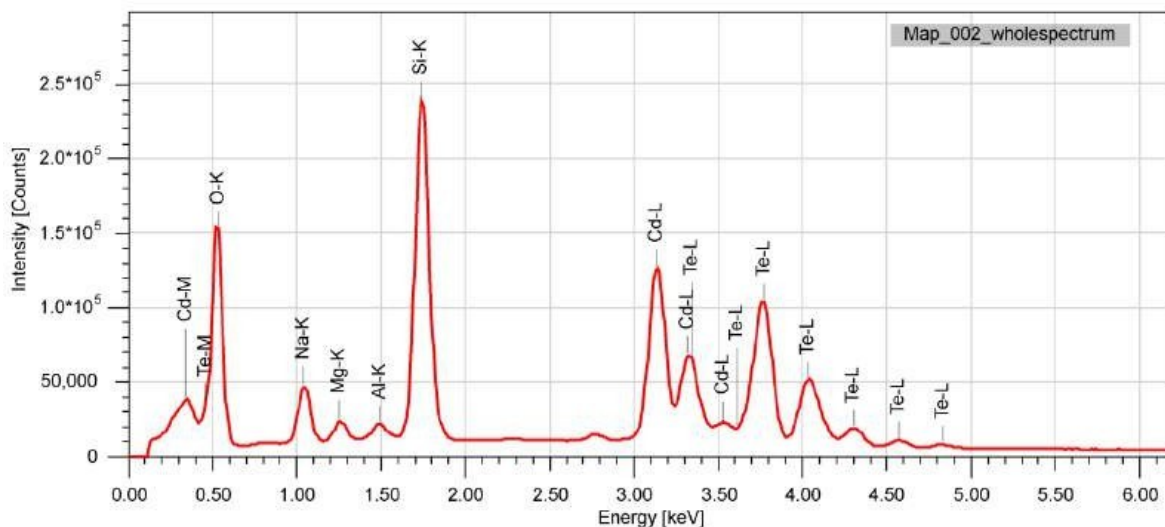
Taglik sifatida, yuzi silliqlangan, kremniy (p-Si (111)) yo'nalishdagi plastinalar ishlatildi. Kremniy va mis materiallari o'rtasidagi o'rtacha atomlararo (yoki bog'lamlararo) masofa farqi 6% ni tashkil etadi (tegishli ravishda 4,75 Å va 4,49 Å), bu esa yo'naltirilgan CdTe qatlamlarini hosil qilish uchun zarur shart hisoblanadi.

Difraksion cho'qqilarini olish uchun Cu $K\alpha$ nurlanishi ($\lambda = 1.540600 \text{ Å}$) qo'llanildi. Olingan yupqa qoplamalar rentgen fazaviy tahlili Shimadzu (Yaponiya)

kompaniyasining XRD-6100 rentgen difraktometri va SEM (Joel-210) morfologiyasi tahlili amalga oshirildi.

Taxlillar va natijalar

Sintez qilingan CdTe yupqa qatlamning tarkibiy tuzilishini aniqlash maqsadida EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) tahlili amalga oshirildi. Rasm 1 da taqdim etilgan spektr namunadagi elementlarning mavjudligini va ularning intensivlik darajasini aniq ko'rsatib turibdi.



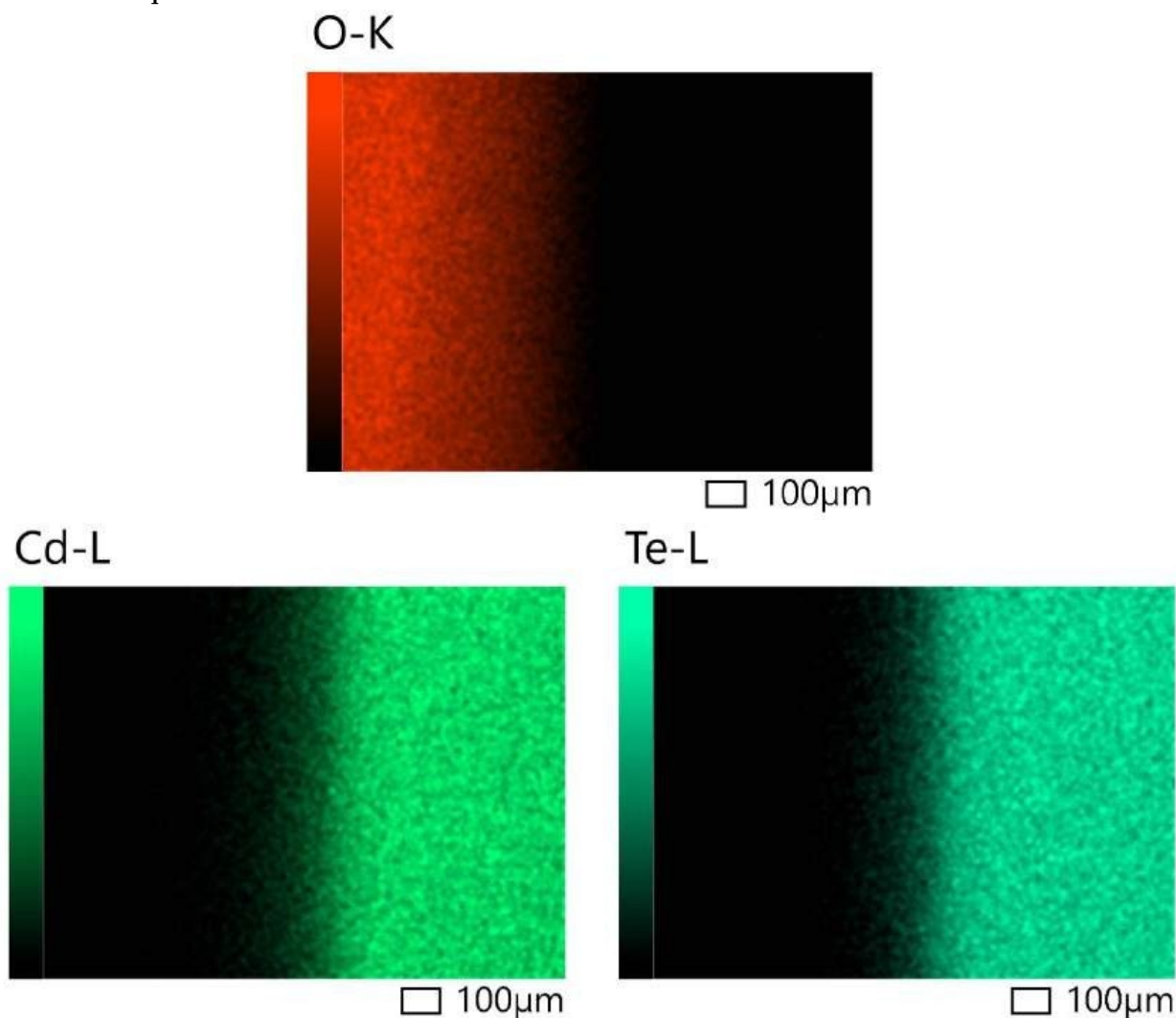
1-rasm. Magnetronli changlatish usulida o'stirilgan CdTe yupqa qoplamasini element tahlili

Spektrdagi eng yirik va aniq cho'qqilar Te-L va Cd-L orqali CdTe materialining asosiy komponentlari - kadmiy (Cd) va tellur (Te) elementlarining mavjudligini tasdiqlaydi. Mazkur cho'qqilarning yuqori intensivligi va to'g'ri energetik pozitsiyasi sintez jarayonida Cd va Te elementlari muvaffaqiyatli ravishda yupqa qatlamda joylashganini anglatadi. Bu holat magnetron changlatish usuli orqali CdTe qatlamini olish muvaffaqiyatli amalga oshirilganini ko'rsatadi.

Spektrda O-K (0.53 keV) va Si-K (1.74 keV) cho'qqilari ham katta intensivlik bilan namoyon bo'lgan. Kislorodning mavjudligi material yuzasidagi oksidlashuv jarayonlari yoki havo ta'siridagi passivlashtiruvchi qatlam shakllanishi bilan izohlanadi. Kremniy esa ehtimol, CdTe qatlami o'rnatilgan (Si asosli) manbasidan kelib chiqqan.

Spektrning 2.5 – 4.5 keV oralig'idagi Cd-L va Te-L cho'qqilarining tiniq ko'rinishi, ularning bir-biriga nisbatan mutanosibligini ko'rsatib, CdTe fazasining yaxshi shakllanganini va sintez sharoitlari optimal tanlanganini bildirmoqda. Bu esa

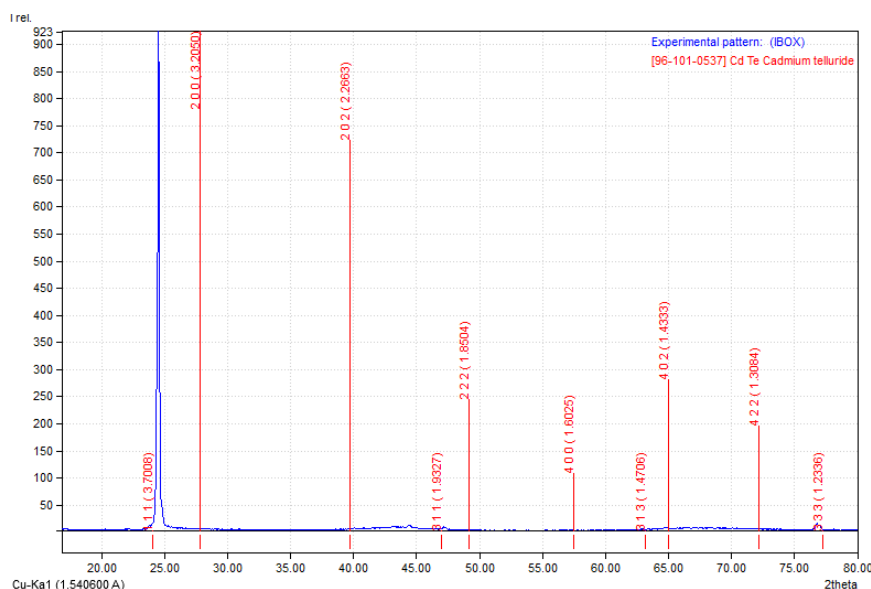
kelgusida fazaviy struktura tahlili (masalan, XRD) va morfologiya tahlili (SEM) bilan tasdiqlandi.



2-rasm. CdTe sirt morfologiyasi

2-rasmda har ikki -Cd-L va Te-L -elementlar deyarli bir xil zonada va bir xil singdirish darajasida namoyon bo'lgan. Bu Cd va Te atomlari yaxshi proporsiyada taqsimlanganini, ya'ni CdTe birikmasi muvozanatda hosil qilinganini ko'rsatadi. Yorug'likning ko'payishi (yashil rang intensivligi) element konsentratsiyasining oshganini anglatadi. Bu yerda gradiyentli tarkib ko'rinadi: chapdan o'ngga qarab kadmiy va tellur miqdori ortib boradi.

Elementlar mutanosib va parallel katlam sifatida taqsimlangan. Bu materialning bir jinsli (gomogen) ekanligidan dalolat beradi. Gomogenlik CdTe fotogalvanik qurilmalar uchun juda muhim, chunki u optik va elektr xossalarga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tasvir ostidagi masshtab (100 μm) ko'rsatadi, tahlil qilingan hudud nisbatan keng va tahlil qilayotgan katlam real qurilmalar o'lchamlariga mos. 3- rasmda o'stirilgan qoplamaning fazaviy difraktogrammasi keltirilgan.



3-rasm. CdTe fazaviy tahlili

CdTe yupqa qatlamining kristallik tuzilishi va fazaviy holatini baholash maqsadida XRD (rentgen difraksiya) tahlili amalga oshirildi. $2\theta = 20^{\circ}$ – 80° diapazonida oʻlchangan difraktsion spektr 3-rasmda keltirilgan. Ushbu grafikda koʻk chiziq orqali eksperimental maʼlumotlar, qizil chiziq orqali esa maʼlum fazaviy maʼlumotlar bazasidan (PDF №96-101-0537) olingan etalon CdTe maʼlumotlari berilgan.

Tahlil natijalariga koʻra, CdTe qatlamida (111), (220), (311), (400), (331), (422) va (511) kabi asosiy difraktsion choʻqqilar kuzatildi. Ularning barchasi kubik tuzilmaga ega CdTe fazasiga mos keladi. Xususan, (111) yoʻnalishi boʻyicha difraktsion choʻqqining aniq va yuqori intensivlikka ega boʻlishi mazkur fazaning yuzaga nisbatan bir xil oʻsish yoʻnalishiga ega ekanligini koʻrsatadi. Bu esa CdTe qatlamining yuqori kristallik darajasiga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Taʼriflangan choʻqqilarning torligi va yuqori intensivligi, hamda fon choʻqqilari yoʻqligi yupqa qatlamdagi kristall donalarining bir xil va ancha katta oʻlchamga ega ekanligidan dalolat beradi. Bundan tashqari, ichki stresslar yoki amorf aralashmalar mavjud emasligiga ishora qiladi.

Bu natijalar CdTe qatlamlarining magnitron changlatish usulida muvaffaqiyatli sintez qilinganini va kristall tuzilmasi kubik va fazaviy holati bir xil ekanligini koʻrsatadi.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda CdTe yupqa qatlamlari p-Si(111) tagliklariga magnitron changlatish usuli orqali muvaffaqiyatli sintez qilindi. Kremniy yuzasini argon ionlari bilan ishlov berish orqali adgeziya kuchaytirildi va kontakt sifatini oshirishga erishildi. EDX va SEM tahlillari orqali Cd va Te elementlarining gomogen taqsimoti, materialning bir jinsliliigi hamda muvozanatda hosil boʻlgan tarkibiy

strukturasi aniqlandi. XRD tahlili qatlamning kubik tuzilmaga ega ekanligini va asosiy o'sish yo'nalishi sifatida (111) tekislikni tasdiqladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari CdTe qatlamlarining tarkibiy va kristallik parametrlari yaxshi ekanligini ko'rsatdi va bu qatlamlarni optoelektronika hamda fotogalvanik qurilmalarda samarali qo'llash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Bonnet D. Cadmium telluride solar cells //Clean electricity from photovoltaics. – 2001. – S. 245-269.
2. Romeo A., Bosio A., et al. "Recent progress on CdTe/CdS thin film solar cells" // Solar Energy, 2004.
3. Britt J., Ferekides C. "Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency" // Applied Physics Letters, 1993.
4. Amin N., Sopian K., Konagai M. Numerical modeling of CdS/CdTe and CdS/CdTe/ZnTe solar cells as a function of CdTe thickness //Solar energy materials and solar cells. – 2007. – T. 91. – №. 13. – S. 1202-1208.
5. McCandless B.E., Sites J.R. "Cadmium telluride solar cells" // Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2011.
6. Compaan A.D. "Photovoltaics: Clean power for the 21st century" // Solar Energy Materials & Solar Cells, 2002.
7. Islam M. A. et al. Fabrication of high efficiency sputtered CdS: O/CdTe thin film solar cells from window/absorber layer growth optimization in magnetron sputtering //Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2017. – T. 172. – S. 384-393.
8. Burgelman M. Cadmium telluride thin film solar cells: characterization, fabrication and modeling //Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications. – 2006. – S. 277-324
9. Kranz L. et al. Tailoring impurity distribution in polycrystalline CdTe solar cells for enhanced minority carrier lifetime //Advanced Energy Materials. – 2014. – T. 4. – №. 7. – S. 1301400.
10. Gorji N. E. Oxygen incorporation into CdS/CdTe thin film solar cells //Optical and Quantum Electronics. – 2015. – T. 47. – №. 8. – S. 2445-2453.
11. Wolden C.A., et al. "Photovoltaic manufacturing: Present status, future prospects, and research needs" // Journal of Vacuum Science & Technology A, 2011.
12. Kulkarni R. et al. Structural and optical properties of CdTe thin films deposited using RF magnetron sputtering //Energy Procedia. – 2017. – T. 110. – S. 188-195.
13. Asabe M. R. et al. Properties of electrochemically deposited CdTe thin films: annealing effect //Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2013. – T. 24. – S. 4655-4661.
14. Lugo J. M. et al. Effects of the applied power on the properties of RF-sputtered CdTe films //Materials Research Express. – 2019. – T. 6. – №. 7. – S. 076428.
15. Sinha T., Lilhare D., Khare A. A review on the improvement in performance of CdTe/CdS thin-film solar cells through optimization of structural parameters //Journal of Materials Science. – 2019. – T. 54. – №. 19. – S. 12189-12205.
16. Kim, J.H. and Chung, K.W., Microstructure and properties of silicon nitride thin films deposited by reactive bias magnetron sputtering, J. Appl. Phys., 1998, vol. 83, no. 11, pp. 137–140.