

KREMNIY ASOSIDAGI FOTOELEMENTLARDA TEKSTURALAR OLIŞ TEXNOLOGIYASI

Q.A.Ismaylov – fizika-matematika fanlari doktori, professor

B.Q.Ismaylov – fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

SH.Z.Ollamberganov - tayanch doktorant

X.U.Kamalov – fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

A.Z.Maylibaeva - talaba

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti

X.F.Zikrillaev – fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

A.A.Sattorov – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

N.Norqulov – fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

O'zbekiston milliy universiteti

Tayanch so'zlar: tekstura, kremniy, fotoelement, fosfor, kirishma atom, diffuziya.

Ключевые слова: текстура, кремний, фотоэлемент, фосфор, примесный атом, диффузия.

Key words: texture, silicon, photocell, phosphorus, impurity atom, diffusion.

Kremniy monokristallari asosidagi fotoelementlarni sanoat miqiyosida ishlab chiqarishda kremniy plastinkalarining sirtiga teksturalarni olish juda keng tarqalgan texnologik jarayondir [1,2]. Teksturalarni hosil qilishda odatda suv, kaliy gidroksidi (KOH) va izopropil spirt (IPA) dan foydalaniladi hamda kimyoviy usullar bilan ham teksturalarni olish amalga oshiriladi. Bu usul kremniy plastinkasining anizotropiyasi tufayli kremniy plastinkalar sirtida kichik o'lchamdagi teskari piramidalar (piramidasi-mon) shakldagi teksturalarni hosil qiladi [3,4]. Bu o'z navbatida fotoelementning qisqa tutashuv toki (I_{qt}) ni o'rishiga olib keldi. Katta yoki juda kichik o'lchamdagi piramida shaklidagi teksturalar fotoelementning foydali ish ko'ffisientini kamaytirishi aniqlandi. Peramidalarning balandligi 15 μm dan katta o'lchamdagi piramidalar hosil qilingan kremniy asosidagi fotoelementlarga mexanik ishlov berish jarayonida ulardagi p-n o'tish qatlamini yo'q bo'lishiga olib kelishi mumkin [5]. Ikkinchi tomondan, balandligi 0,3 μm dan kam bo'lgan juda kichik o'lchamdagi piramidalar shaklidagi tekstura plastinka sirtiga tushayotgan yorug'likni aks ettirish xususiyatini o'rishiga olib keladi, chunki yorug'lik diffraksiyasi quyosh nurlarining katta to'lqin uzunligida sezilarli bo'ladi.[6]. Kremniy asosidagi fotoelementlarning sirtida piramidalarning balandligini o'lchami 3 μm dan 12 μm gacha bo'lgan teksturalarni olish texnologik jarayonining vaqtiga bog'liqligi tajribalar natijalari asosida aniqlandi. Kremniy plastinkalarining sirtiga kimyoviy ishlov berib tekstura hosil qilish jarayonidan so'ng, yorug'lik nurini aks ettirish holatini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar o'tkazildi va skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida olingan fotoelementlarning sirtining topologiyasi tasvirlari olindi. Fotoelementlarni olish uchun teksturali monokristall kremniy plastinkalarga fosfor kirishma atomlari diffuziya qilindi. Olingan fotoelementlarning qisqa tutashuv toki (I_{qt}) va salt yurish kuchlanishlari ($U_{s, yul}$) o'lchanib tekstura qilinmagan fotoelementlarning parametrlari bilan o'zaro solishtirildi.

Namunalarni olish texnologiyasi.

Kremniy plastinkalarni kesishda hosil bo'lgan mexanik nuqsonlarni yo'qotish uchun ularning sirti karbit kremniy suspenziyasida sayqallanib mexanik ishlov berildi. Kremniy plastinkalarning sirtini organik va texnik yog'lardan tozalashda sovun eritmasida yuvildi. Plastinkalarning sirtida hosil bo'lgan oksid qatlamni ketkazish maqsadida HF kimyoviy eritmasida tozalandi [7].

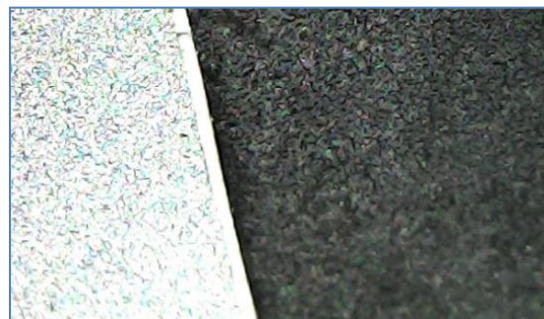
Tajriba uchun 4x4 sm² o'lchamdagi (100) kristall yo'nalishidagi boshlang'ich p - turdagi kremniy plastinkalaridan (Cz - Si) foydalanildi, ularning solishtirma qarshiligi $p = 0.5 \div 3 \text{ Om sm}$ oralig'ida bo'ldi. Plastinkalarning sirtini tozalash jarayoni quyidagicha amalga oshirildi. Kremniy plastinkalari T=80°C da 10% li natriy gidroksidi (NaOH) eritmasida t=4 min davomida qizdirilib kimyoviy tozalandi. Kremniy plastinkalari deionizatsiyalangan suv, kaliy gidroksidi (KOH) va T=100°C haroratdan yuqori haroratda qaynaydigan spirt (IPA) eritmasida T=80÷85°C haroratda kimyoviy ishlov berildi. Hosil bo'lgan

piramidalarning o'lchamini o'zgartirishda kimyoviy ishlov berish vaqti t=10 dan t= 60 daqiqa oralig'ida amalga oshirildi.

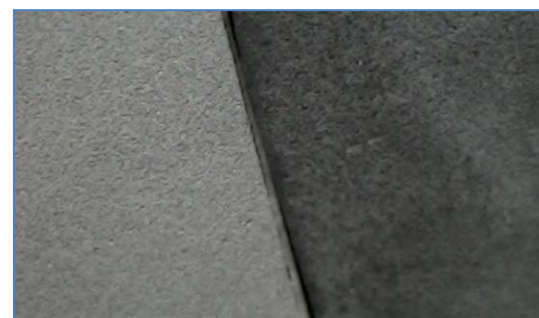
Kremniy plastinkalar sirtida hosil qilingan piramidali teksturalarni holatini o'rganish Digital mikroskopi va skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida amalga oshirildi. Tekstura olish jarayonini fotoelementlarning elektrofizik parametrlariga ta'sirini o'rganish maqsadida, teksturali hamda teksturasiz kremniy plastinkalariga fosfor kirishma atomlari bir xil sharoitda diffuziya qilindi. Diffuziya jarayoni T=1100 °C haroratda va t=1 soat davomida elektr pechda amalga oshirildi. Olingan fotoelementlarning ikki tarafidagi omik kontaktlar kimyoviy usul bilan metal nikel qatlamlarni kremniy plastinkalarining sirtiga o'tqazilib so'ngra haroratli ishlov berish asosida olindi hamda ularning elektrofizik parametrlari o'lchandi.

Tajriba natijalarini tahlili

Digital mikroskopi yordamida olingan tasvirlar 2 va 3-rasmlarda berildi.

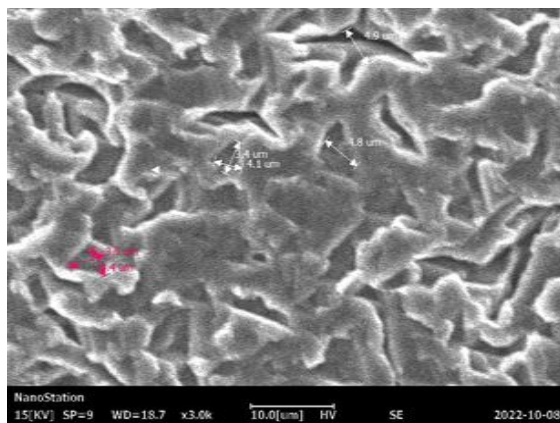
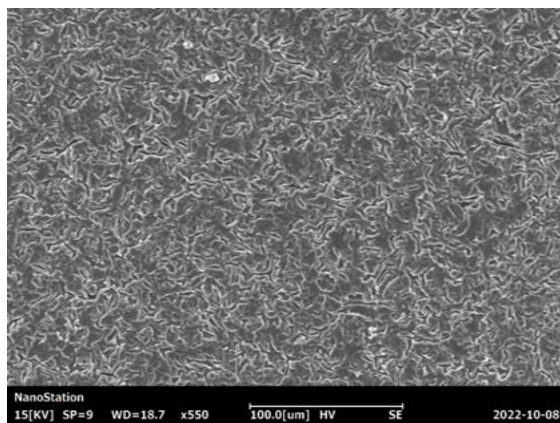


2 – rasm. Digital mikroskopida olingan kremniy plastinkalarining sirtini yorug'likda olingan tasvirlar (rasmni chap tomonida teksturasiz, o'ng tomonida tekstura olingan kremniy plastinkalarining sirtini tasvirlari).

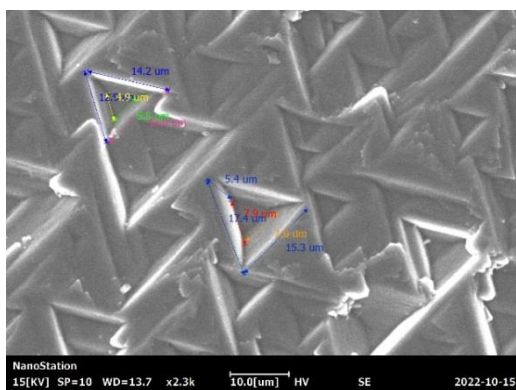
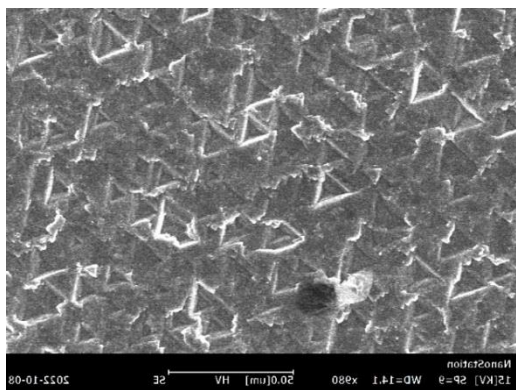


3- rasm. Digital mikroskopida qorong'uligida olingan tasvirlari (rasmni chap tomonida teksturasiz, o'ng tomonida tekstura qilingan kremniy plastinkalarini tasvirlari).

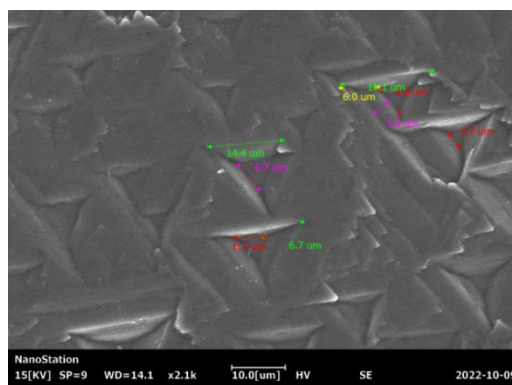
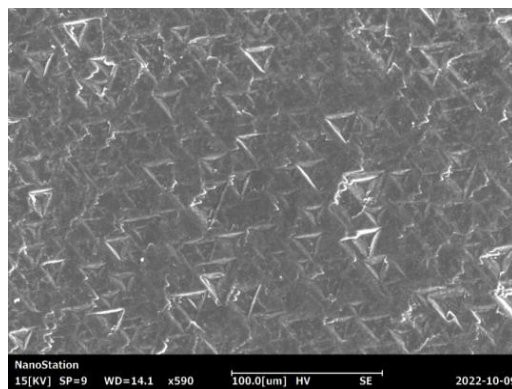
Kremniy plastinkasi sirtida hosil qilingan teksturalarni yanada aniqroq o'rganish maqsadida Coxem CX-200 markali skanerlovchi elektron mikroskop yordamida tadqiqotlar amalga oshirildi.



4-rasm. Kremniy plastinkasi sirtida hosil qilingan teksturani SEM da olingan tasvirlari (kremniy plastinkasi sirtida 2.5 gr KOH + 3 ml IPA + 30 mL H₂O tarkibidagi eritmada t=10 daqiqa davomida tekstura olinganda).



6-rasm. Kremniy plastinkasi sirtida hosil qilingan teksturaning SEM da olingan tasvirlari (kremniy plastinkasi sirtida 2.5 gr KOH + 3 ml IPA + 30 mL H₂O tarkibidagi eritmada t=30 daqiqa davomida tekstura olinganda).



9-rasm. Kremniy plastinkasi sirtida hosil qilingan teksturaning SEM da olingan tasvirlari (kremniy plastinkasi sirtida 2.5 gr KOH + 3 ml IPA + 30 mL H₂O tarkibidagi eritmada t=60 daqiqa davomida tekstura olinganda).

2.5 gr KOH + 3 ml IPA + 30 mL H₂O tarkibidagi eritmada T=80°C÷85°C haroratda turli xil vaqtda kimyoviy ishlov berib olingan teksturalarni balandligi 1- jadvalda berildi.

1-jadval

Eritmaning tarkibi	Vaqt	Uchburchak asosdagi piramidaning balandligi
2.5 gr KOH + 3 ml IPA + 30 mL H ₂ O	10 minut	1-3 μ m
	20 minut	3-6 μ m
	30 minut	5-9 μ m
	40 minut	10-12 μ m
	50 minut	12-15 μ m
	60 minut	15-19 μ m

Yaratilgan texnologik jarayonlarda olingan fotoelementlarning elektrofizik parametrlari 2-jadvalda keltirildi.

2-jadval

Namuna	Qisqa tutashuv toki, I_{qtb} , mA (teksturasiz)	Salt yurish kuchlanishi, $U_{s yu k}$, mV (teksturasiz)	Qisqa tutashuv toki, I_{qtb} , mA (teksturali)	Salt yurish kuchlanishi, $U_{s yu k}$, mV (teksturali)
1	30	480	30.8	484
2	30	485	32.1	490
3	32	475	33.2	479
4	31	468	31.9	475
5	30	483	29.2	480
6	31	481	29.6	478

Xulosa. Monokristall kremniy asosidagi fotoelementlarning sirtida teksturalarni hosil qilish va ularning o'lchamlarini boshqarish hamda teskturalarni yaratilgan fotoelementlarning elektrofizik parametrlariga va foydali ish ko'effitsentiga ta'sirini o'rganish natijalarining tahlili asosida quyidagilar aniqlandi.

1. Kremniy sirtida o'stirilgan teksturaning tuzilishi va o'lchami kremniy plastinkasining kristall yo'nalishiga bog'liq bo'lishi aniqlandi.

2. Kaliy gidroksid eritmasida kremniy plastinkasining sirtida hosil qilingan tekstura yaratilgan fotoelementlarning elektrofizik parametrlarini yaxshiladi hamda FIKni oshirishga olib keldi.

3. Skanerlovchi elektron mikroskop yordamida tekstura balandligini fotoelementlarning elektrofizik parametrlari va foydali ish ko'effitsientiga ta'siri o'rganilganda uning eng yaxshi ko'rsatkichlari $h=3-12 \mu m$ balandlikda bo'lishi aniqlandi hamda olishning termodinamik shart-sharoitlari va texnologik bosqichlari aniqlandi.

Adabiyotlar

1. Wijekoon K. et al., "Production Ready Novel Texture Etching Process for Fabrication of Single Crystalline Silicon Solar Cells", 35th IEEE PVSC, 2010, -P. 3635-3641.
2. Зикриллаев Н.Ф., Ковешников С.В., Исамов С.Б., Абдурахмонов Б.А., Кушиев Г.А. Спектральная зависимость фотопроекции варизонных структур типа Ge_xSi_{1-x} полученных диффузионной технологией // Журнал полупроводников Т. 56, № 5. -С. 495-497, 2022
3. Bakhadyrkhanov M.K., Isamov S.B., Kenzhaev Z.T., Koveshnikov S.V. Studying the Effect of Doping with Nickel on Silicon-Based Solar Cells with a Deep p-n Junction. Technical Physics Letters, 2019, vol. 45, no. 10, -P. 959-962
4. Грибов Б.Г., Зиновьев К.В. «Новые технологии получения поликристаллического кремния для солнечной энергетики» Издательство вузов, Электроника, Т.2, № 3, -С. 10-17. 2008.
5. Болтакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. -Москва: «ФИЗМАТГИЗ». 1961 -С. 264-288.
6. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. «Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики» Физика и техника полупроводников. -Санкт-Петербург: Россия. 2004.Т. 38, №8, -С. 937-948.
7. Ismaylov K.A., Kenjayev Z.T. The factors influencing to the efficiency using of photoconversions. //Vestnik, KKOANR.Uz, 2017, №-3, -P. 11-14.

REZYUME. Kremniy monokristall plastinkasini sirtida tekstura hosil qilindi. Teksturani hosil qilish jarayoni boshqarish orqali fotoelementlarning foydali ish ko'effitsientini oshirish mumkinligi aniqlandi. Vaqtni boshqarish orqali aniq balandlikdagi tekstura olish texnologiyasi yaratildi. Hosil qilingan teksturalar balandligi $3 - 15 \mu m$ oralig'ida bo'lganda fotoelementning qisqa tutashuv toki va salt yurish kuchlanishi ortishi aniqlandi.

РЕЗЮМЕ. На поверхности пластины монокристалла кремния была создана текстура. Было обнаружено, что эффективность фотоэлектрических элементов можно повысить, управляя процессом формирования текстуры. Была создана технология получения точной текстуры высоты путем контроля времени. Установлено, что ток короткого замыкания и напряжение холостого хода фотоэлемента увеличиваются, когда высота создаваемых текстур находится в диапазоне 3-15 мкм.

SUMMARY. A texture was created on the surface of a silicon single crystal wafer. It has been discovered that the efficiency of photovoltaic cells can be improved by controlling the texture formation process. A technology was created to obtain an accurate height texture by controlling time. It was found that the short circuit current and open circuit voltage of the photocell increase when the height of the created textures is in the range of 3-15 microns.

IRRIGACIYA KANALLARINDA SUWDI OPTIMAL BOLISTIRIWDIN ZARURLI SHARTLERIN KONVEKCIYA-DIFFUZIYA MODELI TIYKARINDA ISLEP SHIG'IV

A.A.Qudaybergenov – *texnika ilimleri boyunsha filosofiya doktori, docent*

A.E.Ametova – *assistent oqituvshi*

A.J.Eshbaev – *magistrant*

Berdaq atindagi Qaraqalpaq mamleketlik universiteti

Tayanch so'zlar: optimal boshqaruv, optimallikning zaruriy shartlari, suv taqsimoti, matematik model.

Ключевые слова: оптимальное управление, необходимые условия оптимальности, водораспределение, математическая модель.

Key words: optimal control, necessary conditions for optimality, water distribution, mathematical model.

Kirisiw. Irrigaciya kanallarında tutınıwshılarga suw jetkizip beriwde suw resursların optimal bolistiriwdin zárurli shártlerin jaratıw zárurli wazıypa esaplanadı. Laytxıl hám Uıtxemlar tárepinen kiritilgan kinematikalıq tolqın modelleri tiykarında ashıq kanallarda suwdın turaqsız háreketiniń ápiwayılastırılğan modelleri járdeminde suwdı optimal bolistiriw máselesiniń zárurli shártlerin alıw ushın shegaralıq shártlerin esapqa alıw sheshimniń zárurli wazıypası esaplanadı. Berilgen máseleniń sheshimi suwdı bolistiriwdin optimal basqarıw máselesiniń diskret suw jetkerip beriw jaǵdaylarında suwdı bolistiriwdin optimal basqarıwın jaratıw, optimallıqtın zárurli shártlerindegi nátiyjeleri keltirilgen.

Modeller hám nátiyjeler. Bul jaǵdayda máseleniń tiykarǵı maqseti kanal uchastkasınıń basında suw sarıpın basqarıw járdeminde qaptaldaǵı suw alıw jaylarına diskret suw jetkizip beriwde kanal uchastkasındaǵı suw sarıpınıń ózgeriwini minimallastırıw bolıp tabıladı, yaǵnıy [1, 2:213-219, 3 4, 5]

$$I = \int_0^T \int_0^l [Q(x, T) - Q^*]^2 dx dt + \sum_{j=1}^N \int_0^T (q_j(t) - q_j^*)^2 dt \rightarrow \min_{u(t) \in [u_{\min}; u_{\max}]}, \quad (1)$$

Bulınday sheshimdi tabıwda tómendegi shártler qoyıladı:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{\partial Q}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial h} \right) \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{K^2}{2B[Q]} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} &= q, \\ Q &= K\sqrt{h}, \\ K &= \omega C \sqrt{R}, \quad C = \frac{1}{n} R^y, \quad y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1), \\ q(x, t) &= -\sum_{i=1}^N q_i \delta(x - a_i) \theta(t - T), \\ Q(x, 0) &= Q_0(x), \quad \omega(x, 0) = \omega_0(x), \quad x \geq 0, \quad t \geq 0, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Bul jerde: $Q(x, t)$ – kanal uchastkasında suw sarıpı ózgeriwi; K – sarf moduli; h – shuqırlıq; B – aǵım erkin qáddiniń eni; $q(x, t)$ – kanal uchastkasında qaptaldaǵı aǵımlardan kiriwshi hám shıǵıwshi suw sarıpınıń ózgeriwi; q_i – kanal uchastkasındaǵı qaptaldaǵı i – aǵımlardan kiriwshi yamasa shıǵıwshi suw sarıpınıń ózgeriwi; δ – Diraktın delta funkciyası; a_i – kanal uchastkası basından qaptaldaǵı i – aǵımǵa shekemgi aralıq; θ – Xweisaydtın birlik funkciyası; T – belgilengen waqt; $\omega(x, t)$ – aǵımning kese kesimi maydanı; C – kanal uchastkasındaǵı aǵıstın Shezi ko'effitsienti; R – kanal uchastkasındaǵı aǵıstın gidravlikalıq radiusi; i – kanal uchastkası jatıqlıǵı; n – kanal uchastkasınıń gedir-Buldırlıq ko'effitsienti; y – gedir-Buldırlıq ko'effitsienti hám