

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТУ ХАБАРШЫСЫ _____

_____ **ВЕСТНИК КазНУ**

VESTNIK KazNRTU _____

№ 4 (134)

operating modes of an object. The novelty of the statement of the problem of choosing the optimal operating mode of the control object and the method of its solution lies in the fact that the problem is posed and not transforming it into equivalent deterministic tasks (as in well-known methods) is solved in a fuzzy environment by adapting to work in a fuzzy environment of different optimality principles. Thus, the proposed method provides an adequate solution of real production problems in a fuzzy environment based on a more complete use of the collected fuzzy information.

Key words delayed coking unit, mathematical model, fuzzy model, fuzzy information, membership function, Pareto principle of optimality, method of the main criterion.

УДК 539.217.1/5

Sh.A. Zhumatova, S.M. Manakov, Ye. Sagidolda, R.M. Azamat
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)

DEPENDENCE OF MORPHOLOGY AND OPTICAL PROPERTIES OF POROUS SILICON FILMS ON THE TECHNOLOGICAL MODES OF MANUFACTURING

Abstract. The structure and optical properties of porous silicon films obtained by the method of electrochemical etching of p-type crystalline silicon in a mixture of hydrofluoric acid and ethyl alcohol are investigated. The samples were studied using the methods of scanning probe and electron microscopy, Raman spectroscopy and photoluminescence. It is shown that by changing the technological parameters and conditions of the etching process, it is possible to control the morphology and optical properties of nanostructured porous silicon films.

Keywords: porous silicon, electrochemical etching, optical properties, photoluminescence, nanocrystallites.

Ш.А. Жуматова, С.М. Манаков, Е. Сагидолда, Р.М. Азамат
(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан
shyryn.zhumatova@gmail.com)

КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ ҚАБЫҚШАЛАРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН МОРФОЛОГИЯСЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМДЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Түйіндеме. Кеуекті кремний қабықшаларының құрылымы мен оптикалық қасиеттері еріткіштік қышқыл мен этил спиртінің қоспасындағы р-типті өткізгіштегі монокристалды кремнийді электрохимиялық еріту әдісімен алу арқылы зерттелді. Жасалған үлгілер сканерлеуші зондтық және электронды микроскопия, Раман спектроскопия және фотолюминесценция әдістерін қолдану арқылы зерттелді. Технологиялық параметрлері мен еріту үрдісінің шарттарын өзгерту арқылы нанокұрылымды кеуекті кремний қабықшаларының морфологиясы мен оптикалық қасиеттерін бақылауға болатындығы көрсетілді.

Түйінді сөздер: кеуекті кремний, электрохимиялық еріту, оптикалық қасиеттері, фотолюминесценция, нанокристаллитер.

Кіріспе. Кеуекті кремний (КК) өзінің ерекше құрылымдық қасиеттеріне және оның химиялық құрамы мен өндіру технологиясының өзгеруіне байланысты қажетті қасиеттерге ие болу мүмкіндігіне қарасты кеңінен пайдаланып, зерттеледі [1]. Сонымен қатар, КК-дің әртүрлі қасиеттерін кеңінен зерттеу фотовольтаика, фотоника, биотехнология, сенсорика сияқты көптеген салаларда қолдануға мүмкіндік берді [2,3]. Кремнийді өңдеудің электрохимиялық еріту әдістері оның физикалық қасиеттерін оңтайландыру үшін кеуекті қабат параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді. Кеуекті кремний қабықшаларының морфологиясы, құрылымдық және оптикалық қасиеттері бастапқы кремний төсенішіндегі қоспаның концентрациясы мен типіне, электролиттің құрамы мен температурасына, анодтау тоғының шамасы мен оның өңдеу ұзақтығына және басқа да факторларға байланысты [4].

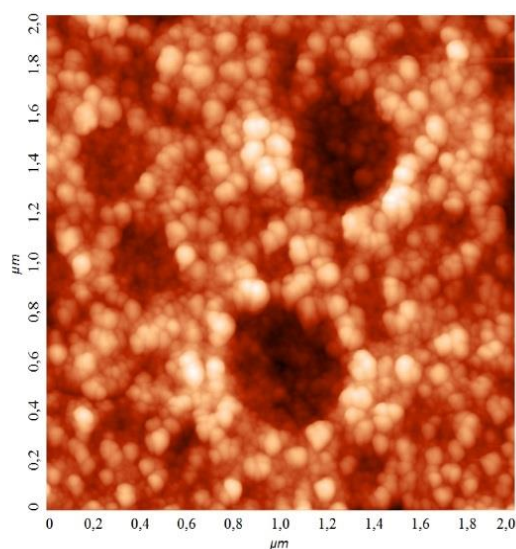
Раман әдісі кеуекті кремнийдегі нанокристаллитерге тән өлшемдерді және олардың КК дайындаудың технологиялық режимдеріне тәуелділігін бағалауға мүмкіндік береді. Жартылайөткізгіш қабықшалардың морфологиясы туралы толығырақ ақпаратты атомдық күштік микроскопия әдісімен алуға болады [5, 6].

Жұмыста анодтау тоғының ұзақтығы мен шамасының әр түрлі мәндеріндегі р-типті кристаллдық кремний (с-Si) төсеніштерінде өсірілген кеуекті кремний қабықшаларының құрылымын, морфологиясын және фотолюминесценттік қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. КК дайындау үшін концентрациясы 10^{15} см^{-3} және кристаллографиялық бағдары (100)бормен қапталған р-типті монокристалды кремний төсеніштері қолданылды. КК алу алдында кремний қабықшалары трихлорэтиленде майсыздандырылып, деионизацияланған суда жуылды, содан кейін 10 минут бойы

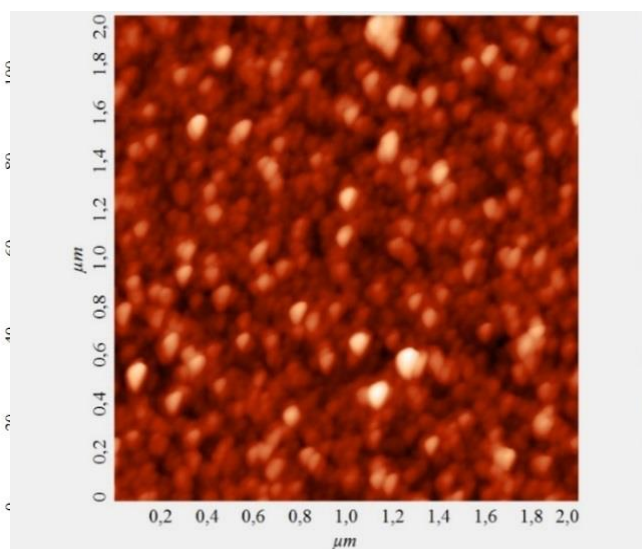
температурасы 90°C H_2SO_4 : H_2O_2 (4:1) ерітіндісіне батырылып, HF және H_2O (1:50) қоспасында 10 секунд ерітіліп, деионизацияланған суда мұқият жуылды. Еріту 1:1.5 қатынасындағы еріткіштік қышқыл мен этил спиртінен тұратын электролитте жүргізілді.

КК құрылымы мен қасиеттерінің айырмашылығын анықтау үшін анодтаушы токтың тығыздығы мен өңдеу ұзақтығы әртүрлі кезіндегі үлгілердің үш тобы дайындалды: 1 – $J = 1 \text{ mA/cm}^2$, $t = 20$ минут; 2 – $J = 10 \text{ mA/cm}^2$, $t = 2$ минут және 3 – $J = 20 \text{ mA/cm}^2$, $t = 1$ минут. Үлгілердің барлық топтары үшін қорек көзінің кернеуі өзгеріссіз 10 В құрады. Бұл режимдер КК $\sim 250 \text{ нм}$ тең бірдей қалыңдықты қамтамасыз етті. КК үлгілерінің құрылымы мен қасиеттерін өлшеу оларды ауада 10 күн сақтағаннан кейін жүзеге асырылды.

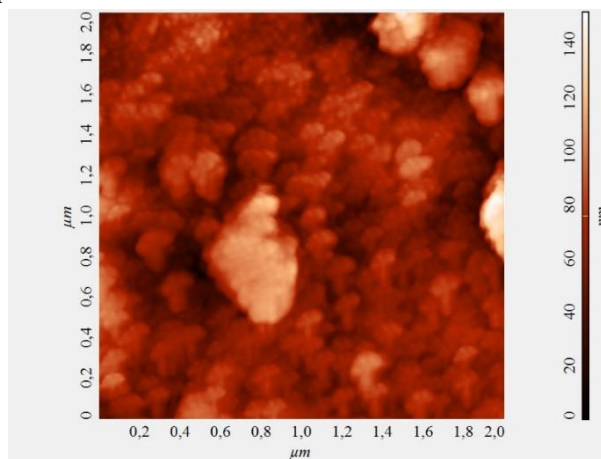
Тәжірибелік нәтижелер және оларды талқылау. Қабықшалардың морфологиясы NT-MDT NtegraTherma сканерлеуші зондтық микроскоптың көмегімен зерттелді. КК морфологиясын сканерлеуші зондтық микроскопия (СЗМ) әдісімен зерттеу өңдеу режимдерінен айтарлықтай өзгерістер байқамады. 1 суретте 20 минут ішінде 1 mA/cm^2 кезінде өсірілген зерттелетін КК қабықшасының бет бейнесі көрсетілген. Орталық сызық бойымен қима пішіні 1в суретте көрсетілген.



1а

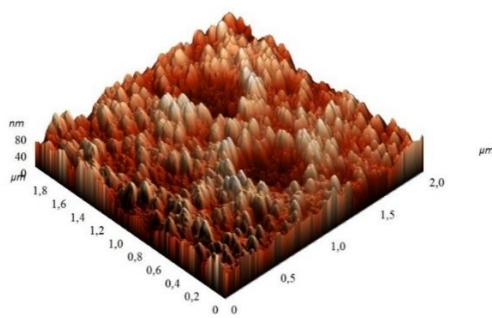


2а

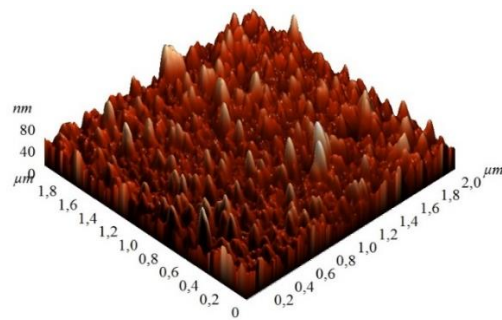


3а

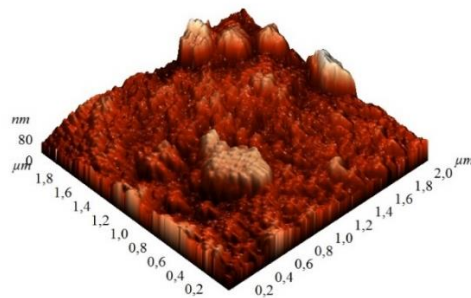
а)



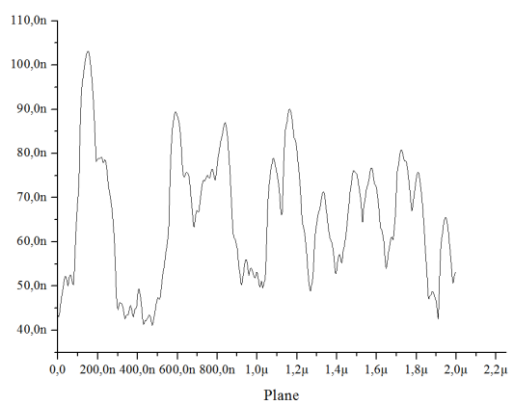
1б



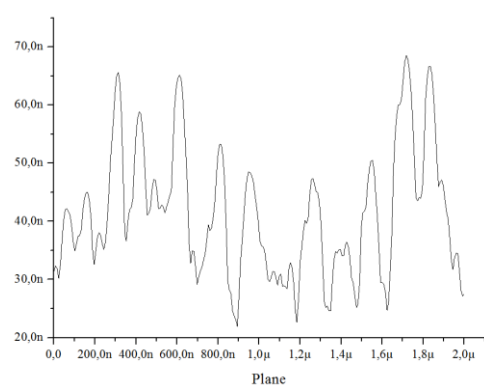
2б



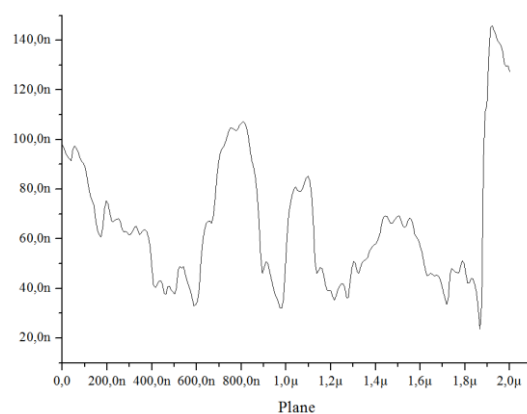
3б
б)



1в



2в



3в
в)

1-сурет. СЗМ кеуекті кремний үлгісінің бейнесі:

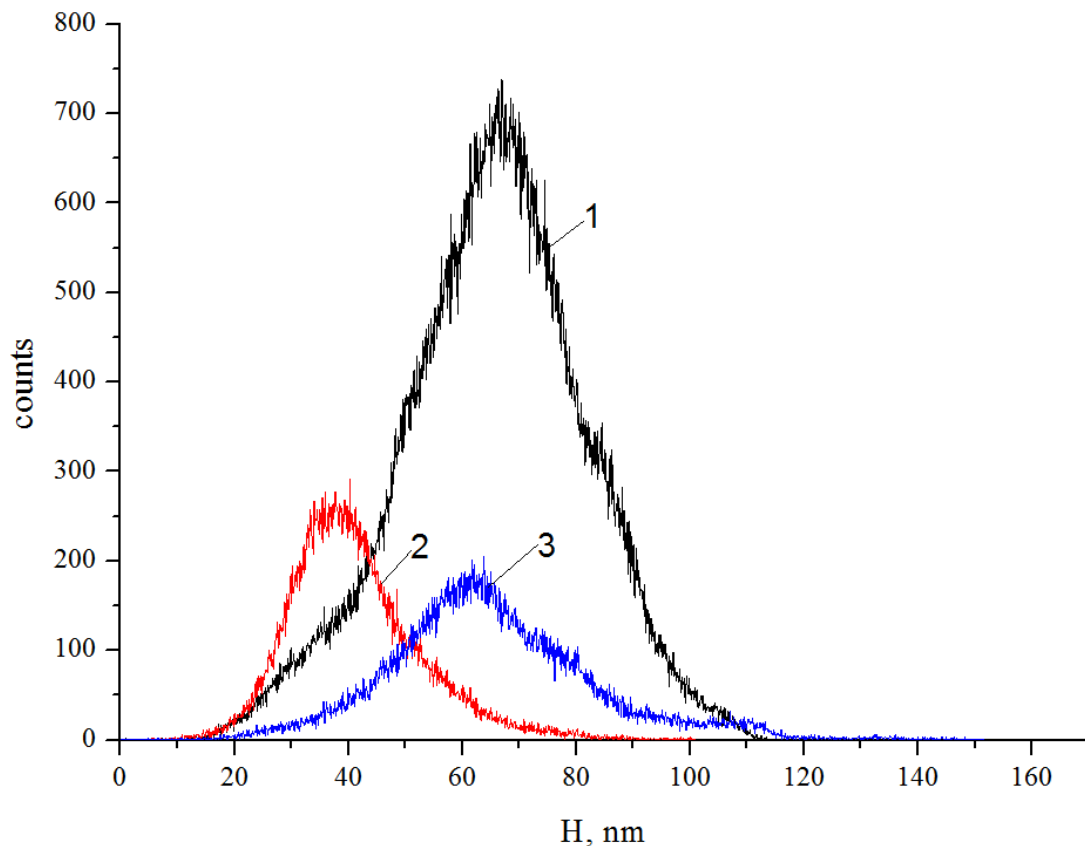
а) екі өлшемді сурет; б) үш өлшемді сурет; в) орталық сызықбойымен қим апішіні

Кеуекті кремний морфологиясы мен ерітудің электрлік режимдері арасындағы корреляцияны орнату үшін S_q орташа квадраттық кедір-бұдырлығы қолданылды:

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}{N}}, \quad (1)$$

мұндағы N - өлшенген нүктелер саны, $\bar{H}$ - орташа биіктік (нөлдік деңгей), H_i - i нүктесінің биіктігі. Өлшеу нәтижелері 1 топтағы үлгі үшін орташа квадраттық кедір – бұдырлықтың $S_q=16,1$ нм, 2 - $S_q=28,55$ нм, 3 - $S_q=20,9$ нм құрағанын көрсетті.

СЗМ кескінін өңдеу модулін пайдалана отырып, 2-суретте зерттелетін КК қабықшалары үшін профиль биіктігін бөлу функциясы құрылған. Есептеу өлшемі 2×2 мкм көлеміндегі беткі аудандар үшін орындалды.



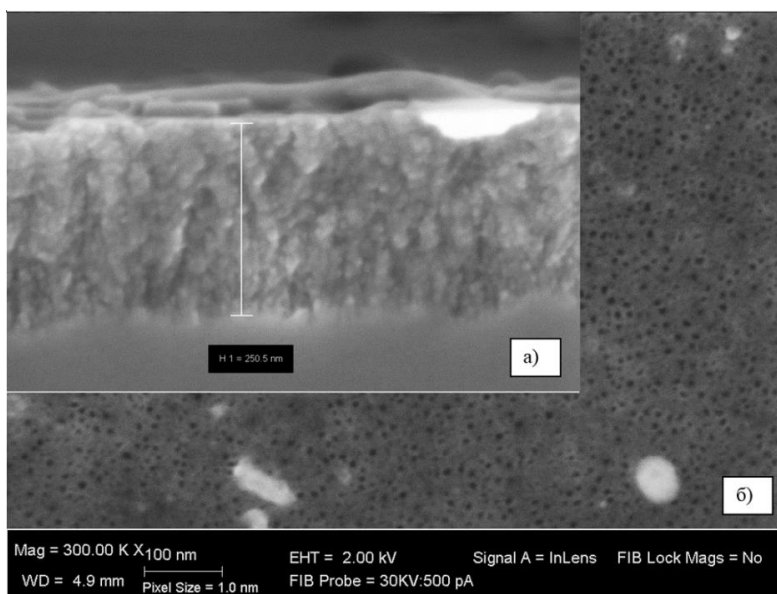
1 - $J = 1 \text{ мА/см}^2$, $t = 20$ мин; 2 - $J = 10 \text{ мА/см}^2$, $t = 2$ мин; 3 - $J = 20 \text{ мА/см}^2$,
 $t = 1$ мин

2-сурет. КК қабықшалар профилінің биіктігін таралу функциясы

Зерттелетін үлгілер бетіндегі біртектіліктің таралуы 1, 2, 3 үлгілері үшін $H_1=65$ нм, $H_2=39$ нм, $H_3=62$ нм максимумдарымен гаусстық қисықтармен жақсы аппроксимацияланды. 2 үлгі үшін біркелкі емес өлшем аз болды.

КК беттік кескіндерін СЗМ зерттеуі көрсетілген шектерде КК еріту режимдерінің өзгеруі жасалған қабықшалардың беткі құрылымының елеулі айырмашылықтарына әкеп соқтырмайтынын көрсетті.

FEI Quanta 200i 3D электронды микроскоптың көмегімен КК үлгілерінің беті мен көлденең қимасының микросуреттері алынды. 3суретте тоқ тығыздығы аз режимінде өсірілген көлденең қима (а) мен КК (б) беті көрсетілген. 3суретте көрсетілгендей, КК кеуекті құрылымға ие. Кеуектердіңбеті бойынша шоғырлануы біркелкі, ал кеуектердіңөлшемдері 7 - 9 нм аралығында өзгереді. Токтың үлкен тығыздығы кезінде алынған үлгілер КК бетіндегі кеуектердің аз шоғырлануымен сипатталады.

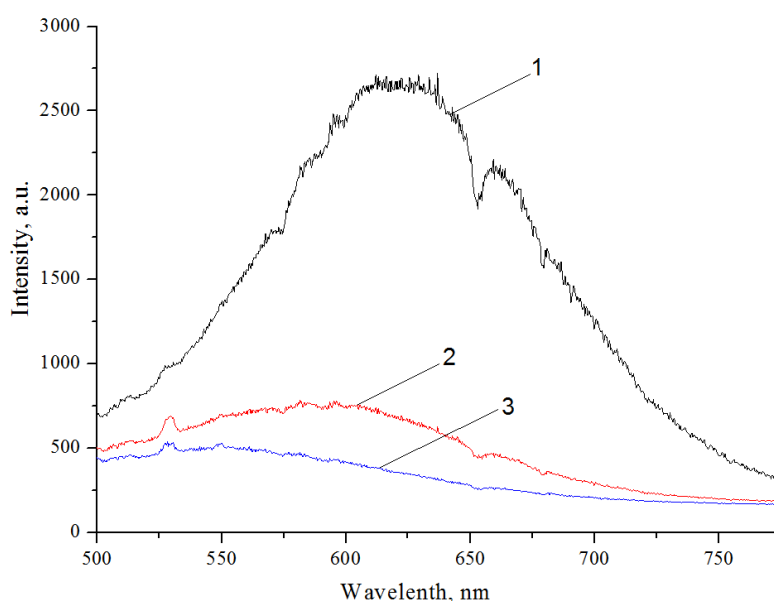


а - үлгінің қырынынан алынған микросурет; б-үлгінің бетінен алынған микросурет

3-сурет. Кеуекті кремнийдің 20 мин ішінде $J = 1 \text{ mA/cm}^2$ өсірілген СЭМ бейнесі

Қабырғалардың бойында кеуектерді қалыптастыратын наноөлшемді кремний кластерлерінің болуына байланысты КК тыйым салынған аймағы ұлғаяды, оған дәлел КК фотолюминесценциясы болып табылады. Фотолюминесценция спектрлері бөлме температурасында NT-MDT NtegraSpectra спектрометрін пайдалана отырып, 477 нм толқын ұзындығында қуаты 20 мВт лазермен өлшенген. Үлгідегі лазерлік дақтың диаметрі шамамен 2 мм. 4-суретте КК үлгілерінің үш түріне арналған фотолюминесценция (ФЛ) спектрлері көрсетілген. Суретте көрсетілгендей, ең аз тоқ тығыздығы кезінде алынған 1 үлгі үшін ФЛ қарқындылығы барынша жоғары, 2 және әсіресе 3 үлгі үшін ФЛ қарқындылығы айтарлықтай төмен. 1 үлгінің максимум сәулеленуі 620-630 нм диапазонында жатыр, бұл $\approx 2 \text{ эВ}$ (спектрдің қызыл аймағы) фотон энергиясына сәйкес келеді және кванттық шектеу моделінің негізінде түсіндіріледі [9].

ФЛ шындығының қарқындылығы еріту ұзақтығына байланысты, ең жоғары қарқындылығы 1 үлгіде байқалды, бұл үлкен кеуектілікпен, беттің неғұрлым дамыған морфологиясымен және кремний матрицасында оқшауланған нанокристаллдардың концентрациясының ұлғаюымен түсіндіріледі.



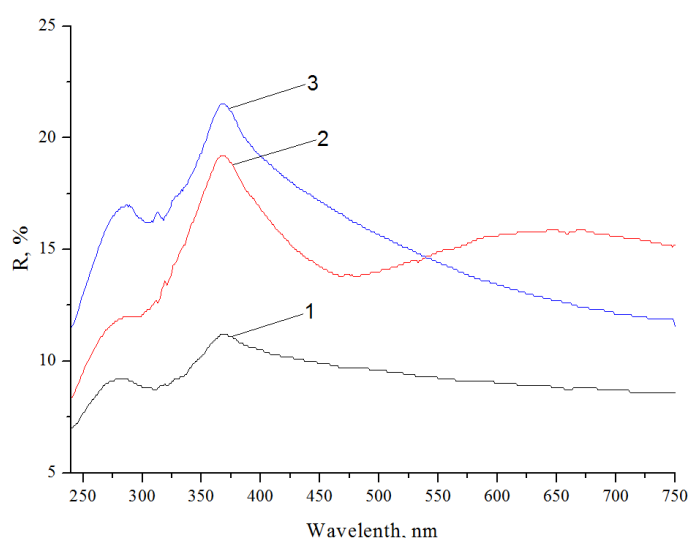
1 - $J = 1 \text{ mA/cm}^2$, $t = 20 \text{ мин}$; 2 - $J = 10 \text{ mA/cm}^2$, $t = 2 \text{ мин}$; 3 - $J = 20 \text{ mA/cm}^2$, $t = 1 \text{ мин}$

4-сурет. Әртүрлі режимдерде алынған КК үлгілерінің фотолюминесценция спектрлері

Үлгілердің барлық үш тобына арналған спектрлер Shimadzu UV-3600 спектрофотометрінде түсірілді және нәтиже 5-суретте көрсетілген. Интерференция минимумы мен максимумдарының позициялары барлық үлгілер үшін жеткілікті түрде сәйкес келмейді, бұл олардың бірдей қалыңдықта емес екенін көрсетеді. 1 үлгі үшін спектрдің көрінетін аймағында ($< 10\%$) ең аз көрініс байқалатынын атап өткен жөн.

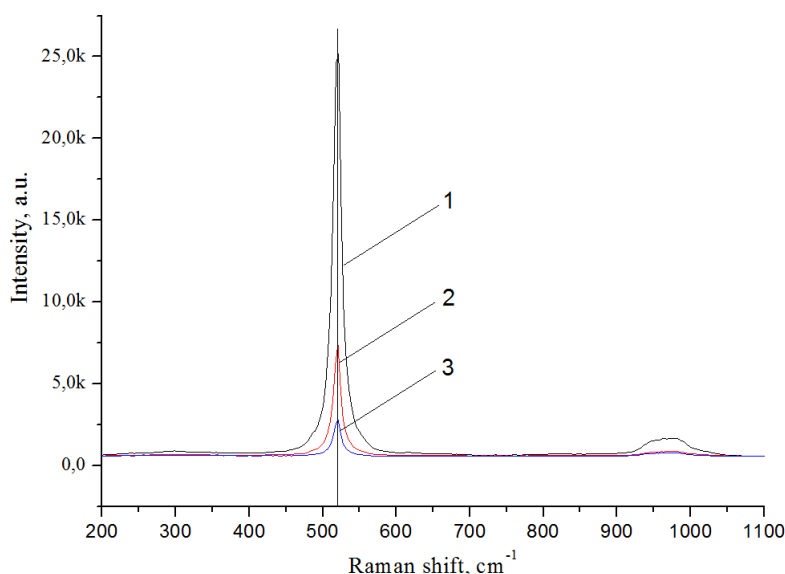
Кеуекті кремнийдің Раман спектрлері КК құрылымдық фазаларды зерттеуде жақсы диагностикалық құрал болып табылады және нанокристаллиттерге тән өлшемдерді бағалауға мүмкіндік береді. Осыған орай, бойлық оптикалық режимдерімен байланысты Раман шыңының спектрінің төменгі энергетикалық аймағына ығысуын монокристалды кремнийде 520 см^{-1} жиіліктегі тар шыңға қатысты өлшейді. Алынған үлгілердің Раман спектрі NT-MDT-NtegraSpectra спектрометрмен алынып, 6-суретте көрсетілген.

520 см^{-1} шыңы үлгілердің барлық үш тобы үшін монокристалды кремний сияқты өзгеріссіз қалды. Раман спектрінде кеңею және максималды ығысу байқалмады, бұл зерттелген КК үлгілерінің қалыңдығының жеткіліксіз екенін көрсетеді. Сондай-ақ фотолюминесценция спектрлері сияқты, Раман спектрі үшін де шыңның қарқындылығы ұзақ уақытқа созылған үлгі үшін максималды болды.



1 - $J = 1\text{ мА/см}^2$, $t = 20\text{ мин}$; 2 - $J = 10\text{ мА/см}^2$, $t = 2\text{ мин}$; 3 - $J = 20\text{ мА/см}^2$, $t = 1\text{ мин}$

5-сурет. Өртүрлі режимдерде алынған КК үлгілерінің шашырату коэффициентінің спектрлік тәуелділігі



1 - $J = 1\text{ мА/см}^2$, $t = 20\text{ мин}$; 2 - $J = 10\text{ мА/см}^2$, $t = 2\text{ мин}$; 3 - $J = 20\text{ мА/см}^2$, $t = 1\text{ мин}$

6-сурет. Өртүрлі режимдерде алынған КК үлгілерінің Раман спектрі

Қорытынды. Жұмыста кеуекті кремний қабықшаларын алудағы технологиялық режимдерінің оның құрылымдық және фотолюминесценттік қасиеттеріне әсері зерттелді. Кеуекті кремнийдің сканерлеуші зондық микроскоппен алынған суреттерін зерттеу оның 1мА/см^2 -ден 20мА/см^2 -ге дейінгі анодтау тогының тығыздығының өзгеру қалыңдығы шамамен 250 нм болатынын, сонымен қатар, қабықшалардың беткі құрылымында айтарлықтай айырмашылықтар туғызбағанын көрсетті. Бөлме температурасында Раман спектрі мен фотолюминесценция шыңдарының қарқындылығы 20 минут ішінде алынған тоқ тығыздығы 1мА/см^2 тең кеуекті кремнийдің үлгілері үшін максималды мәнге жететіні анықталды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Anil K. Behera, R. N. Viswanath, C. Lakshmanan, K. K. Madapu, T. Mathews Synthesis, microstructure and visible luminescence properties of vertically aligned lightly doped porous silicon nanowalls // *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 273, 1 January 2019, Pages 99-106.
- [2] Mihir Kumar Sahoo, Paresh Kale. Integration of silicon nanowires in solar cell structure for efficiency enhancement: A review // *Journal of Materiomics*, Volume 5, Issue 1, March 2019, Pages 34-48.
- [3] S. Praveenkumar, D. Lingaraja, P. MahizMathi, G. Dinesh Ram., An experimental study of optoelectronic properties of porous silicon for solar cell application, *Optik*, Volume 178, February 2019, Pages 216-223.
- [4] Martha Ramesh, H. S. Nagaraja. Effect of current density on morphological, structural and optical properties of porous silicon // *Materials Today Chemistry*, Volume 3, March 2017, Pages 10-14.
- [5] R. S. Dariani, Z. Ahmadi. Study of porous silicon structure by Raman scattering // *Optik*, Volume 124, Issue 22, November 2013, Pages 5353-5356.
- [6] Manakov S.M., Taurbayev T.I. Morphology and Structural Properties of a-Si:H and a-SiC:H Films Controlled in Nanoscale // *J. Nanoelectron. Optoelectron.* – 2012. – Vol. 7. – P. 619-622.
- [7] Jan Fait, Jan Čermák, Jiří Stuchlík, Bohuslav Rezek, Complex nano-patterning of structural, optical, electrical and electron emission properties of amorphous silicon thin films by scanning probe // *Applied Surface Science*, Volume 428, 15 January 2018, Pages 1159-1165.
- [8] A Daami, G Bremond, L Stalmans, J Poortmans. Efficient luminescence from porous silicon // *Journal of Luminescence*, Volume 80, Issues 1–4, December 1998, Pages 169-172.
- [9] A. S. Lenshin, P. V. Seredin, B. L. Agapov, D. A. Minakov, V. M. Kashkarov. Preparation and degradation of the optical properties of nano-, meso-, and macroporous silicon // *Materials Science in Semiconductor Processing*, Volume 30, February 2015, Pages 25-30.
- [10] Feng Z.C., Tsu R., et. al. (1994). *Porous Silicon*. // Singapore: World Scientific. – 1994. – P. 465.

Жуматова Ш.А., Манаков С.М., Сагидолда Е., Азамат Р.М.

Зависимость морфологии и оптических свойств пленок пористого кремния от технологических режимов изготовления

Резюме. Исследованы структура и оптические свойства пленок пористого кремния, полученного методом электрохимического травления монокристаллического кремния р-типа проводимости в смеси плавиковой кислоты и этилового спирта. Изготовленные образцы исследовались с применением методов сканирующей зондовой и электронной микроскопии, рамановской спектроскопии и фотолюминесценции. Показано, что путем изменения технологических параметров и условий процесса травления можно контролировать морфологию и оптические свойства пленок наноструктурированного пористого кремния.

Ключевые слова: пористый кремний, электрохимическое травление, оптические свойства, фотолюминесценция, нанокристаллиты.

УДК 66.011; 61.35.29; 53.39.31; 87.53.15

M. Utegenova, M. Sadenova, B. Azamatov, D. Dogadkin

(Advanced Development Center «VERITAS», D.Serikbayev East-Kazakhstan State Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; E-mail: mika004@mail.ru)

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL TOOLING FOR SYNTHESIS OF CERAMIC MATERIALS BASED ON MODELING

Abstract: In this work used modeling techniques for the synthesis of ceramic block carriers for catalysts from natural raw materials of the East Kazakhstan region and industrial wastes (metallurgical slags) using powder metallurgy methods. For visualization of the process of synthesis of ceramic materials using the program SolidWorks Flow Simulation module simulated the extrusion process. For calculations, a model of the flow of a non-Newtonian fluid was chosen. On the basis of the obtained data, the technological tooling has been improved. Experimentally obtained prototypes of block ceramics. The results of the study can be used to simulate and optimize the extrusion process.

Key words: Modeling, extrusion, matrix, block ceramics, catalyst carrier

МАЗМҰНЫ

Жер туралы ғылымдар

<i>Шамшихан А.М., Тугельбаев С.С.</i>	
ҰЛЫ ЖІБЕК ЖОЛЫ БОЙЫНДА ТУРИЗМДІ ДАМУ	3
<i>Акашова А.С., Бакирбаева П.А., Аубакирова Г.Б., Екейбаева Д.П., Мукалиев Ж.К.</i>	
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ТУРИСТІК ҚЫЗМЕТТІҢ ДАМУЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ	8
<i>Юсуфи А., Бекботаева А.А., Muszynski A.</i>	
АУҒАНСТАНДАҒЫ ЛОГАР УЛЬТРАБАЗИТТИ МАССИВТИҢ ИНТРУЗИВТИ ЖАРАТЫЛЫСЫ	14
<i>Керімбай Б.С., Джаналеева К.М., Керімбай Н.Н.</i>	
ШАРЫН ӨЗЕНІ АЛАБЫ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ МОНИТОРИНГІ	20
<i>Ауезова З.Т., Исмагулова С.М., Ауезова К.Т., Турмаханбетова Ш.Ш.</i>	
БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІК РЕЙТИНГІСІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСІНЕ СӘЙКЕС ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ДЕМОГРАФИЯЛЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ (IMD)	27
<i>Исмагулова С.М., Ауезова З.Т., Ауезова К.Т., Кизатова Д.С.</i>	
СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ХАЛЫҚТЫҢ КӨШІ-ҚОН ҮРДІСТЕРІНІҢ ТАРИХИ ЖӘНЕ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫ	33
<i>Берденов Ж.Г., Мендыбаев Е.Х., Камкин В.А., Атаева Г.М., Инкарова Ж.И.</i>	
ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫ АҚҚУЛЫ АУДАНЫНЫҢ ӨСІМДІКТЕР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК - УАҚЫТТЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУДЕ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ	40
<i>Кабиев Е.С., Берденов Ж.Г., Мусабаева М.Н., Мендыбаев Е.Х., Атаева Г.</i>	
ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІ АТЫРАУЫ БЕТТІК СУЛАРЫНЫҢ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ	46

Техникалық ғылымдар

<i>Толегенова А.А., Албанбай Н., Жетписбаева А.Т., Медетов Б.Ж., Исимова А.Т., Тайсариева Қ.Н.</i>	
TFBG ТИПТЕС ОПТОТАЛШЫҚТАРДЫ СЕНСОР РЕТІНДЕ ҚОЛДАНУ ҮШІН ҚАЖЕТТІ СПЕКТРАЛДЫҚ СИПАТТАМАЛАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТ ЖҮЗІНДЕ АНЫҚТАУ	55
<i>Босинов Д.Ж., Бекибаев Т.Т., Кудайбергел А.Д.</i>	
ТОҚТАТЫЛҒАН КЕЗДЕГІ ҚҰБЫРДАҒЫ МҰНАЙ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ТӨМЕНДЕУІН АНЫҚТАУ	60
<i>Оспанов Р., Тулебаев А., Мусиралиева Ш.</i>	
ВКОНТАКТЕ ӘЛЕУМЕТТІК ЖЕЛІСІНДЕГІ ҚОЛДАНУШЫЛАР АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫСТЫ АНЫҚТАУ	67
<i>Қуандықов А.А., Қасымханова С.Ж., Мұратова К.Н.</i>	
ӨНЕРКӘСІПТІК ЭКОНОМИКАНЫҢ САНДЫҚ-ӨСІРІЛДІГІНІҢ МІНДЕТТЕРІН ШЫҒУ ТЕХНИКАСЫ	75
<i>Мұратова К.Н., Омаров Б.С., Қасымханова С.Ж.</i>	
ПЕРСОНАЛДЫ БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН CRM ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ МҮМКІНДІКТЕРІН ТАЛДАУ	79
<i>Козак Е.А., Курмашев И.Г., Ушакова Е.В., Долматова Л.В.</i>	
ЖОО ОҚУ ҮРДІСІНДЕ МОБИЛЬДІ ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ МОДЕЛЬДЕРІ	85
<i>Кухаренко Е.В., Шапорева А.В., Копнова О.Л., Григоренко О.В.</i>	
ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНІҢ САПАСЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛДЕУ	91
<i>Пяткова Т.В., Кухаренко Е.В.</i>	
КӘСІПОРЫНДАРДА АТ-ЖОБАЛАРДЫ ЕНГІЗУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ	95
<i>Оразбаев Б.Б., Асанова Б.У., Серимбетов Б.А., Касенова Л.Г., Махатова В.Е.</i>	
БАЯУ КОКСТЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫ ТИІМДІ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТАҢДАУ ЕСЕБІ ЖӘНЕ ОНЫ АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА ШЕШУ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІ	99
<i>Жұматова Ш.А., Манаков С.М., Сагидолда Е., Азамат Р.М.</i>	
КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ ҚАБЫҚШАЛАРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН МОРФОЛОГИЯСЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМДЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ	106
<i>Утегенова М., Саденова М., Азаматов Б., Догадкин Д.</i>	
КАТАЛИЗАТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН БЛОКТЫ КЕРАМИКАЛЫҚ ТАСЫМАЛДАУШЫЛАР СИНТЕЗІНІҢ САПАСЫН БАСҚАРУ ҮШІН ҮЛГІЛЕУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ	112