

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**2 (300)**

**НАУРЫЗ – СӘУІР 2015 ж.**

**МАРТ – АПРЕЛЬ 2015 г.**

**MARCH – APRIL 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 300 (2015), 94 – 97

## PHOTOLUMINESCENCE PROPERTIES OF POROUS SILICON

K. T. Bazhikov, M. Kurmanseit, A. Abenova, A. Serik

KazNU named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bajyk@mail.ru

**Keywords:** porous silicon, photo luminescence, nanocrystal.

**Abstract.** In this work we considered the features of photoluminescence properties of various structures based on porous silicon, their connection with phase composition of the samples and possible ways of their modify. It shows, that the position peak of PL changes in limits 1.85–2.2 eV in depending of excerpt surface time on atmosphere, of the original technology production and the method surface modification.

УДК 621.395.4:004.438

## КЕУЕКТІ КРЕМНИЙДІҢ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

К. Т. Бажиков, М. Құрмансейіт, А. Абенова, А. Серік

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** кеуекті кремний, фотолюминесценция, нанокристалл.

**Аннотация.** Бұл мақалада кеуекті кремний негізінде әртүрлі құрылымның фотолюминесцентті қасиеттерінің ерекшеліктері, олардың үлгінің фазалық құрамымен байланысты қарастырылған және оларды модификациялаудың мүмкін әдістері көрсетілген. ФЛ шыңы 1.85–2.2 эВ аралығында беткі қабатын атмосферада ұстау уақытына байланысты өзгеретіні, бастапқы өндіру технологиясы және беткі қабатты модификациялау әдістері көрсетілген.

Кеуекті кремний (ПК) бірегей физика-химиялық сипатты материал болып табылады. Ол көптеген кеуектерден тұрады және беткі қабаты жақсы дамыған. Салыстырмалы ауданы – 100 м<sup>2</sup>-ден 0,1 см<sup>3</sup>. Кеуектердің көлденең қимасының өлшемі бірнеше нанометрден бірнеше микрометрге дейін жетеді, ал кеуекті қабаттың қалыңдығы өңдеудің ұзақтығына қарай ондаған микрометрге дейін жетеді [1-4].

Кеуекті кремний (por-Si) құрылымы мен қасиеттері уақыт өтуіне қарай өзгеретін көп фазалы күрделі жүйе болып табылады. Қазіргі кезде заманауи материалтану саласындағы көптеген жұмыстар кеуекті кремнийге, оның сенсорлы, каталитикалық және фотолюминесценциялық қасиеттеріне бола арналған. Кеуекті кремнийдің осы аталған қасиеттерін тұрақтау және өзгерту, сонымен қатар кеуекті кремнийдің негізінде жаңа композитті материалдар құру жеке мәселе болып табылады.

Кремнийдің (Si) монокристалды пластинасының беткі қабатында қалыптасқан кеуекті қабат кремнийдің нанометрлі өлшемдегі кластерлері мен кванттық тізбектерінен тұрады. Олардың беткі қабатының кейбір бөліктері тотыққан, ал кейбір бөліктері сутегінің атомдарымен және гидроксильді топтармен қоршалған.

Қазіргі кезде кеуекті кремнийдің фотолюминесценциясының механизмдері мен үлгілері туралы бірнеше ортақ гипотезалар бар. Ертеден келе жатқан және кең қолданылатын үлгілердің бірі кванттық-өлшемді үлгі болып табылады. Люминесценция Si-H байланыстардың болуының

салдары деп қарастырылатын үлгі бар. Ол байланыстар кеуекті кремнийдің бағандарының сыртында (нано) аморфты қабаттың пайда болу үрдісінде және оның сутектену кезінде құрылады. Фотолюминесценцияның кеуекті кремнийдегі Si-SiO<sub>2</sub> шекараларының бар болуына байланысты тағы бір үлгісі белгілі. Ол үлгіде фотолюминесценцияның пайда болуына ақауларға толы Si-SiO<sub>x</sub> шекарасы жауапты деп ұйғарылады. Кеуекті кремнийдің жоғары салыстырмалы беткі қабаты оның едәуір сорбциялық қабілетін қамтамасыз етеді. Ол кеуекті кремнийдің негізінде әртүрлі сенсорларды құру жағынан өте жағымды.

Монокристалды кремнийдегі кеуекті қабат гидрофлорлық қышқылдың негізіндегі спирттік ерітінділерде электрохимиялық өңдеу тәсілі арқылы салыстырмалы түрде оңай алынады. Бұл үрдісте кеуектердің, кеуекті қабаттың өлшемі мен тереңдігін қадағалауға болады (кеуектер алатын көлемнің, кеуекті қабаттың ортақ көлеміне қатынасы), ал электролиттің құрамын өзгерткенде кеуектердің сыртқы қабатының құрамын белгілі деңгейде басқаруға болады. Сонымен қатар, кеуектердің беткі қабатындағы әлсіз кремний-сутегі байланыстардың бар болуы кеуекті кремнийдің қасиеттерінің уақытқа байланысты тұрақсыздығын ескертеді. Кеуекті қабаттың біртіндеп тотығуы Si-H байланыстардың бұзылу есебінен және олардың кремний-оттегі байланыстарымен және гидроксильді топтармен алмастырылуы фотолюминесценцияның төмендеуіне алып келеді, материалдың сорбциялық сипаттамасын нашарлатады [2].

Осыған орай соңғы кездері кеуекті кремнийдің беткі қабатын пассивтеу әдістері қарқынды іздеу үстінде. Бұл кеуектердегі беткі қабаттардың құлдырауын басуға мүмкіндік береді. Алайда, кеуекті кремнийдің сыртқы қабатын өзгерту осы материалдың белгілі бір параметрлерін алуға мүмкіндік береді. Ол параметрлер сенсорлы құралдарды, сонымен қатар микронды және субмикронды өлшемдегі биологиялық объекттердің – бактерияларды, вирустарды, тіпті ДНҚ-ның фрагменттерін бекітуде қолданылатын астарларды құру кезінде маңызды. Кеуекті кремнийді ауада сақтау кезінде беткі қабатының құлдырауын болдырмау үшін беткі қабатты пассивтеудің әртүрлі нұсқалары ұсынылған. Ол нұсқалар оттегі ортасында үлгілердің тез тотығуынан, беткі қабатты жіңішке металлоксидті және полимерлі пленкамен жабудан тұрады.

Кеуекті кремнийдің беткі қабатын әртүрлі органикалық қосылыстарда өңдеу ұсынылған. Онда, авторлардың ойынша, тікелей кеуектердің сыртында, уақытқа қарай тұрақты және материалдың фотолюминесценциялық қасиеттерін нашарлатпайтын Si-C байланыстарға толы қабат пайда болады. Сонымен қатар, кеуекті кремнийдің акрилді қышқылда өңделген нанокристалдарында ұзақ уақыт ішінде тұрақты фотолюминесценция қасиеті сақталатыны көрсетілген [3].

Үлгілердің фазалық құрамы эталонды фазалар спектрлер көмегімен және Оже-спектракопияны қолдану арқылы экспериментті, ультражұмсақ, ренгенді, эмиссионды Si L<sub>2,3</sub> спектрлерді моделдеу арқылы анықталады.

Кеуекті кремний үлгілері балқытылған қышқыл изотропил спирті және сутегі перекисін қолданып, n-типті кремний астарын электрохимиялық жолмен өңдеумен алынды. Кеуекті кремний үлгілері атмосферада 1,3,7,14 және 40 күн ұсталды. 1-ден 40-қа дейінгі күн аралығында атмосферада ұсталған үлгілердің табиғи қартаю кезінде ультражұмсақ, ренгенді, эмиссионды USXES (Ultra Soft X-ray Emission Spectroscopy) электроскопия және фотолюминесцентті қасиетті әдісі арқылы үлгілердің эталондық құрылымына зерттеулер жүргізілді. 3d-металды гальваникалық тұндыру [4] сипатталғандай қалыпты процедураға сәйкес бастапқы кеуекті кремний қабатына сәйкес Fe, Co, Ni тұздарының сульфатты сулы ерітінділерімен жүргізілді.

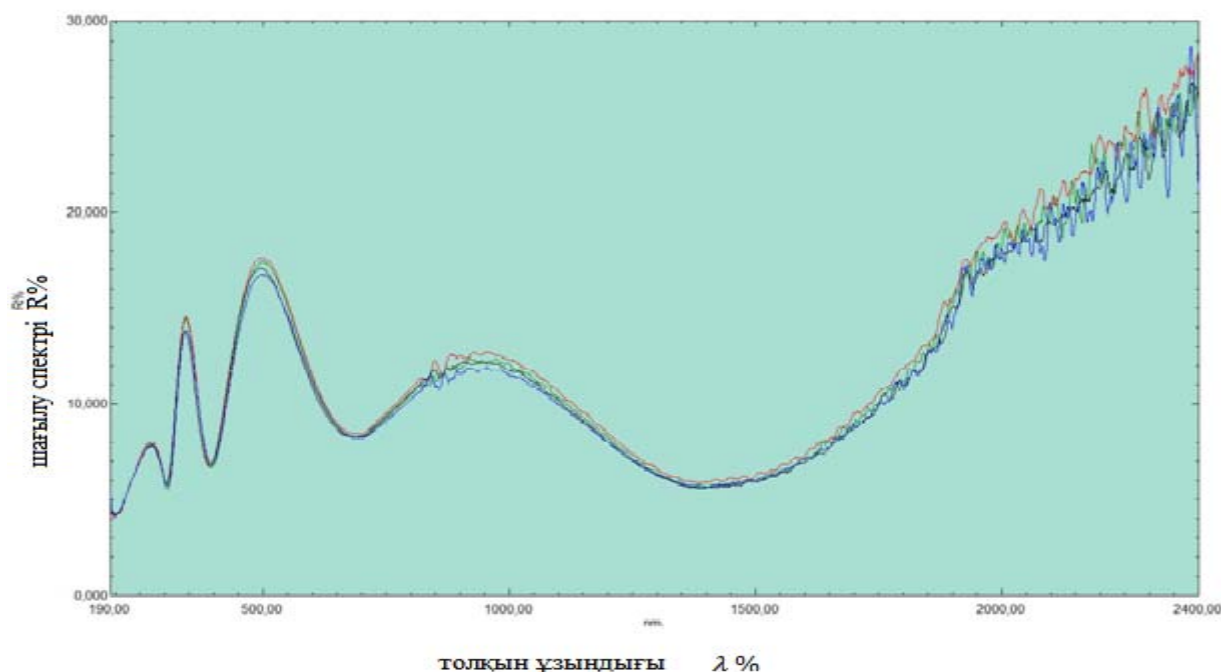
Автоматталған Shimadzu UV-3600 спектрофотометрінің ASR камерасында (сезімталды спектрлік диапазоны 185-3300 нм) 1мВт қуатпен ұзындығы 340 нм толқын шығаратын газды шаммен 3d-металл/por-Si-дің нанокұрылымдарының фотолюминесценциясы өлшенді. Өлшеу бөлме температурасында жүргізілді.

Кеуекті кремний құрамы мен қасиеті уақыт өте өзгертін, жеткілікті күрделі көпфазалы жүйе болып табылатыны белгілі. Кристалды кремний кеуекті қабаты (нано түрде) дефектілі SiO<sub>x</sub> оксидін, SiO<sub>2</sub> кремниінің стехиометрикалық оксиді және де аморфты, реттелмеген кремнидің әртүрлі формаларынан тұрады. Үлгіні атмосферада ұстау уақытын ұлғайту соңғысының пайдасына кристалды фаза, аморфты кремний оксиді мен фазалардың коэффициентінің өзгеруіне әкелетін кеуекті қабаттың қышқылдануы бақыланады [5].

Жұмыста n типті кеуекті кремнийдің фотолюминесценциясы үлгісінің қарқындылығы және шыңы орналасуының, фазалық құрамына тәуелділігі көрсетілген. ФЛ шыңының орналасуы 1.85-2,2 эВ арасында, нанокристалдық немесе қандай да бір кремнийдің аморфтық фазасы басымдылығына байланысты өзгеретіні анықталды. Үлгілердегі дефектті оксидтер салыстырмалы құрамының өсуі ФЛ қарқындылығының әжептеуір төмендеуіне әкеп соғады. Көрсетілгендей, ферромагнетиктері бар кеуекті кремний негізіндегі нанокөпозиттердің оптикалық қасиеттерін белгілі бір өтпелі метал немесе металдар қоспасын кеуекті кремний матрицасына енгізу жолы арқылы өзгертуге болады. Бұл ақпаратты және метаматериалдарды жазудың жаңа құралдарын құрудағы осы көзқарастың келешегі бар екеніне куәландырады.

Жұмыс барысында біз кеуекті кремнийдің электронды құрылымы мен морфологиясын зерттедік. Кеуекті кремний полиакрильді қышқылмен өңдеуге дейінгі және өңделгеннен кейінгі әртүрлі жағдайда электрохимиялық ою арқылы алынды.

Суретте n-типті кеуекті кремнийдің үлгілерінің 485нм толқын ұзындықтағы қоздыру көзі әсерімен полиакрильді қышқылмен өңдегенге дейінгі және өңделгеннен кейінгі фотолюминесценция (ФЛ) спектрлері көрсетілген. ФЛ спектрлері үлгіні алғаннан кейін 2 аптадан соң тіркелді.



n-типті кеуекті кремнийдің (төменгі) және полиакрильді қышқылда өңделгеннен кейінгі (жоғарғы) үлгілердің фотолюминесценция спектрі

n-типті кеуекті кремнийдің ФЛ үлгілерінің жолағы күрделі формалы болып келеді. Ол жерде бірқатар ерекшеліктер бар. Ол кеуекті қабаттағы әртүрлі өлшемдегі люминесценция нанокристалдарымен қатар, беткі қабаттағы сәулелік ФЛ үлгілердің полиакрильдік қышқылда өңделгеннен кейінгі қарқындылығының артуын, дефектті субоксидтің  $\text{SiO}_x$ -тің  $\text{SiO}_2$  дейінгі тотығуы кезіндегі сәулесіз рекомбинация орталықтар санының кемуімен түсіндіруге болады[6].

ПАҚ-та өңделгенге дейінгі және өңделгеннен кейінгі бірдей өлшемдегі және формадағы жағдайындағы ФЛ жолақтары, ФЛ өңделген үлгілерінің максимум жағдайы өңделмеген үлгілерге қатысты ұзын толқындарға қарай ығысқан. Бұл дегеніміз, беткі қабатты өңдеудің жоғарғы қабаттағы люминесценция орталықтарына күрделі әсер ететінін көрсетеді.

**Қорытынды.** Полиакрильді қышқылды (ПАҚ) су ерітіндісінде кеуекті кремнийді өңдеу, оның фотолюминесцентті қасиеттерін жетілдіру мен өңдеудің өте қызықты әдісі болып табылатыны көрсетілген. Бұл жағдайда кеуекті кремний беткі қабаты полиакрильді қышқылдың өзара әрекеттесуінің екі параллельді механизмі бақыланады. Бұлар кремний оксидінің беткі қабатының тотығуы және беткі қабаттан оксидтің еруі мен алып тастауы. Соңғы нәтижеге әсер ету дәрежесі кеуекті

қабаттың морфологиясы мен бастапқы құрамына тәуелді. Изопропил спирті бар HF ерітіндідегі ерітіндімен өңдеу арқылы алынған кеуекті кремнийдің ФЛ интенсивтілігінің артуы нанокристалдар бетінде дефектілі оксид тотығуы кезінде безызлучательді рекомбинация центрінің санының азаюымен байланысты болуы мүмкін. Ал ФЛ-дің үлгілерде пайда болуы, ДМФА-дан алынған оксидті қабатын алып тастау мен нанокристалды кремнийдің беткі қабатта пайда болуы. Өңделген және өңделмеген үлгілердегі ФЛ интенсивтілігі арасындағы қарым-қатынас уақыт өтуіне байланысты сақталады. ПК үлгілері терісінің микрометрлік көлденең өлшемімен фотолюминесценцияны тек ПАК-та өңделгеннен кейін көрсетеді.

Бұл берілген функционалды наноматериалдардың қазіргі заманғы оптоэлектроникада перспективті қолдануын куәландырады.

#### ӘДЕБИЕТ

- [1] Леньшин А.С., Кашкаров В.М., Голошапов Д.Л., Середин П.В., Полуместная К.А., Мараева Е.В., Солдатенко С.А., Юраков Ю.А., Домашевская Э.П. Состав и реакционная способность нанопорошков пористого кремния. Неорганические материалы, 2012. – Т. 48. – № 10. – С. 1-6.
- [2] Н.Е. и др. // Физика и техника полупроводников. Т. 44. – Вып. 1. – С. 82-86. (2010).
- [3] Леньшин А.С., Кашкаров В.М., Туришев С.Ю., Смирнов М.С., Домашевская Э.П. Влияние естественного старения на фотолюминесценцию пористого кремния // Журнал технической физики, 2012. –Т. 82. –Вып 2. –С. 150-152.
- [4] Кашкаров В.М., Леньшин А.С., Попов А.Е. и др. Состав и строение слоев нанопористого кремния с гальванически осажденным Fe и Co // Известия РАН. Серия физическая. – 2008. – Т.72. – №4. – С. 484-490.
- [5] Соцкая Н.В., Макаров С.В., Долгих О.В., Кашкаров В.М., Леньшин А.С., Котлярова Е.А. Модифицирование поверхностей композитов наночастицами металлов // Неорганические материалы, 2010. – Т. 46. – № 11. –С. 1316-1322.
- [6] Леньшин А.С., Кашкаров В.М., Туришев С.Ю., Смирнов М.С., Домашевская Э.П. Влияние естественного старения на фотолюминесценцию пористого кремния // Журнал технической физики, 2012. –Т. 82. –Вып 2. –С. 150-152.

#### REFERENCES

- [1] C. Lenshin, V.M. Kashkarov, D.L. Goloshapov, P.V. Seredin, K.A. Polumestnaya, E.V. Maraeva, S.A. Soldatenko, Y.A. Yurakov, E.P. Domashevskaya. The structure and reaction ability of nanopowders. Inorganic materials, 2012, tom 48, № 10, s. 1 – 6. (in Russ.).
- [2] N. E. et al// The physic and technique of semiconductors, t .44, (in Russ.).
- [3] Lenshin A.S., Kashkarov V.M., Turishev S.Y., Smirnov M. S., Domashevskaya E.P. The influence of natural aging on the photoluminescence of porous silicon. // The magazine of technique physic, 2012, vol. 82, ed 2, p. 150 – 152. (in Russ.).
- [4] V.M Kashkarov, A.S. Lenshin, A.E. Popov et al. The composition and structure of nanoporous silicon layers with galvanic deposition Fe and Co// RAN. The physical seria. – 2008 – vol.72, №4 – p. 484 – 490. (in Russ.).
- [5] N.V. Sotskaya, S.V. Makarov, O.V. Dolgikh, V.M. Kashkarov, A.S. Lenshin, E.A. Kotlyarova. The surface composite modifying with nanoparticles metals. // INORGANIC MATERIALS, 2010, vol.46, №11, p 1316 – 1322. (in Russ.).
- [6] Lenshin A.S., Kashkarov V.M., Turishev S.Y., Smirnov M.S., Domashevskaya E.P. The influence of natural aging to photoluminescence of porous silicon. // The magazine of technique physic, 2012, vol. 82, ed 2, p. 150 – 152. (in Russ.).

### ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

К. Т. Бажиков, М. Құрмансейіт, А. Абенова, А. Серік

КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** пористый кремний, фотолюминесценция, нанокристалл.

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены особенности фотолюминесцентных свойств различных структур на основе пористого кремния, их связь с фазовым составом образцов и предложены возможные способы их модификации. Показано, что положение пика ФЛ меняется в пределах 1.85–2,2 эВ в зависимости от времени выдержки поверхности на атмосфере, исходной технологии изготовления и способа модификации поверхности.

Поступила 17.03.2015 г.



**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 20.03.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
10,5 п.л. Тираж 300. Заказ 2.