

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), 56 – 60

**INFLUENCE OF LASER TREATMENT  
ON THE PROPERTIES OF POLYCRYSTALLINE SILICON**

**T. Kosherov, A. Serik, A. Seitov**

Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tkosherov@mail.ru

**Keywords:** laser treatment, recrystallization, oxidation of silicon.

**Abstract.** In this work an influence of laser treatment on the structural and morphological properties of (c) Si silicon, which was pre-thermally processed at  $T = 800^{\circ}\text{C}$  and different warm-up time, was investigated. It has been shown that laser treatment changes the topology of surface, performs recrystallization of layer surface and do not cause oxidation of interstitial atoms on silicon.

УДК 621.373:537.312

**ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ**

**Т. С. Кошеров, А. С. Серик, А. Сеитов**

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** лазерное воздействие, рекристаллизация, окисление кремния.

**Аннотация.** В данной работе исследовано влияние лазерного воздействия на структурно-морфологические свойства (с) Si кремния предварительно термически обработанного при  $T = 800^{\circ}\text{C}$  и в различном времени прогрева. Показано, что лазерное воздействие изменяет топологию поверхности, осуществляет рекристаллизацию поверхностного слоя и не вызывает окисления межузельных атомов кремния.

Воздействие достаточно мощного лазерного излучения широко используется в современных технологических процессах обработки полупроводниковых материалов. Известно, что при воздействии лазерных лучей на поверхность кристаллических твердых тел возможна генерация в поверхностном слое структурных дефектов: вакансий и междоузлий (1), концентрация которых в течение лазерного воздействия может меняться по сравнению с исходной на несколько порядков. Наличие значительной концентрации дефектов может существенно и неконтролируемо изменять процессы лазерной обработки, что затрудняет получение материалов с заданными свойствами. Необходимо поэтому определение условий и механизма образования дефектов при лазерном воздействии.

Воздействие лазерного излучения приводит к возбуждению электронной подсистемы и образованию в приповерхностном слое полупроводника повышенной концентрации свободных носителей. Переход электронов в возбужденное состояние уменьшает энергию возбуждения дефекта и, в конечном счете, приводит к нагреву решетки.

Неоднородное распределение возбужденных электронов и нагрев решетки приводит к сильной деформации приповерхностного слоя материала. В определенных режимах на поверхности образуются либо периодические структуры дефектов, либо начинается пороговое образование протяженных дефектов (пор или дислокационных петель) (2), а их объединение может

инициировать начало образование микротрещин и разрушение поверхности еще до начала плавления.

Действие лазерного излучения, как правило, приводит к разогреву поверхностного слоя. Одновременно активируются диффузия газов в поверхностный слой и интенсивная генерация структурных дефектов: вакансий, междоузлий, а также начинается зарождение и рост дислокаций и диффузия газов вдоль дислокационной трубки вглубь кристалла.

Нагрев и высокая концентрация точечных дефектов приводит к деформации (к выпучиванию) поверхности. Следовательно, одной из причин решения зондирующего излучения может быть как выпучивания и рост игольчатых и конусообразных образований на поверхности за счет совместного действия нагрева лазерным лучом и накопления точечных дефектов, так и рост в поверхностном слое локальных неоднородностей (макродефектов).

Воздействие лазерного излучения на поверхность полупроводника может привести и к изменению ее структурно-морфологических и электрофизических свойств. Эти изменения зависят от характера лазерного излучения, а именно от длины волны излучения, длительности и энергии лазерного воздействия (3). При этом измененные структурно-морфологические и электрофизические свойства, при использовании лазерного излучения, наблюдались не только при энергиях сравнимых или больше энергии плавления поверхности кремния (4), но и при значительно меньшей энергии плавления поверхности кремния (5).

В данной работе исследовано влияние непрерывного лазерного излучения на структурно-морфологические изменения (с) Si кремния после предварительного термического отжига образца при  $800^{\circ}\text{C}$  и при различном времени прогрева ( $t = 10, 30, 60, 120, 240$  и  $360$  минут).

**Методы и материалы.** В качестве исследуемого материала использовали полупроводниковый кремний (с) Si с удельным сопротивлением  $10 \text{ Ом см}$  в виде пластин размером  $1 \text{ см}^2$ . Температурная обработка кремневых пластин проводилась на воздухе при температуре  $800^{\circ}\text{C}$  в течение  $10, 30, 60, 120, 240$  и  $360$  минут. После термообработки образцы подвергались лазерному облучению в течение  $t = 60$  минут и исследовались на рентгеновском дифрактометре X'PertPRO фирмы Phillips. Спектрограммы образцов кремния, предварительно термообработанного при различном времени прогрева, а затем подвергшегося лазерному воздействию получены на растровом электронном микроскопе. Анализ топографии поверхности предварительно термоотожженного и подвергшегося действию лазерного луча осуществлялась на воздухе с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) производства компании NANOEDUCATOR и INTEGRA PRIMA. Источником излучения явился лазер типа LCS-DTL-317-50, мощность которого составила  $50 \text{ мВт}$ , работающий в непрерывном режиме. Эффективный диаметр сфокусированного лазерного пятна составил  $1,3 \text{ мм}$ .

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 1 приведены АСМ и 3Д-АСМ-изображения поверхности (с) Si полученные после лазерного воздействия на образцы кремния предварительно отожженных на воздухе при  $800^{\circ}\text{C}$  и различном времени прогрева. На АСМ-изображениях, где проявляется наличие межзеренных границ и нанорельефа, хорошо видно чередование темных и светлых выступов, конусов, пор наноразмерных областей, что свидетельствует об изменении высоты поверхностного рельефа. В процессе увеличения времени предварительного прогрева образца (от  $10$  до  $360$  минут) и последующего действия лазерного излучения рельеф поверхности заметно изменяется (рисунок 1). Действие лазерного излучения инициирует формирование поверхностных напряжений, активацию диффузии, изменение дислокационной структуры и фазового состояния. Результатом взаимодействия лазерного излучения с поверхностного (с) Si, формирующего разнообразный рельеф, является постепенное сплавление, сначала локально, а затем всей поверхности образца (рисунок 1, б).

Анализ 3Д-АСМ-изображений, как результат указанных выше процессов, показывает, что в нашем случае влияние лазерного воздействия на образцы (с) Si предварительно термоотожженных на воздухе, при различном времени прогрева, тесным образом влияли на эволюцию формирования рельефа поверхности и характеризуются процессами изменения фазового состава при поверхностных слоях, рекристаллизации, появлением участков с пониженным уровнем напряжения, что приводит к модификации рельефа в виде системы наноструктурированных выступов (рисунок 1).

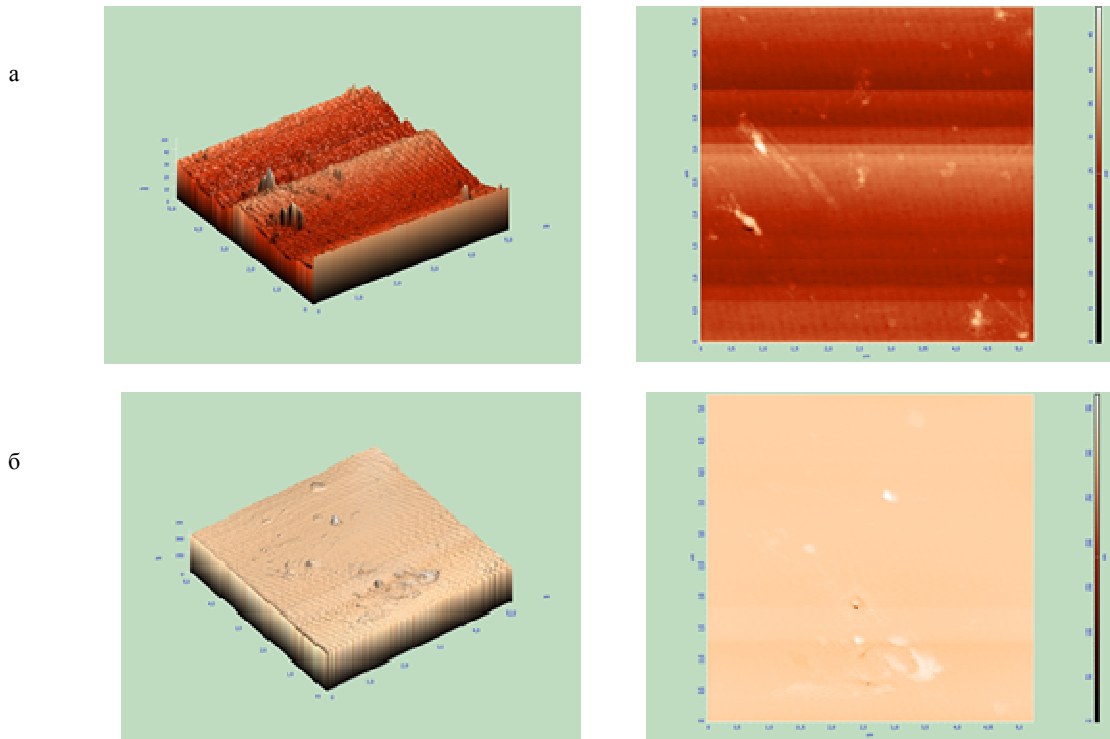


Рисунок 1 – АСМ-изображения поверхности кремния после лазерного воздействия ( $t = 60$  мин). Температура предварительного отжига  $800^{\circ}\text{C}$  и время прогрева: а)  $t = 120$  мин, б)  $t = 360$  мин.

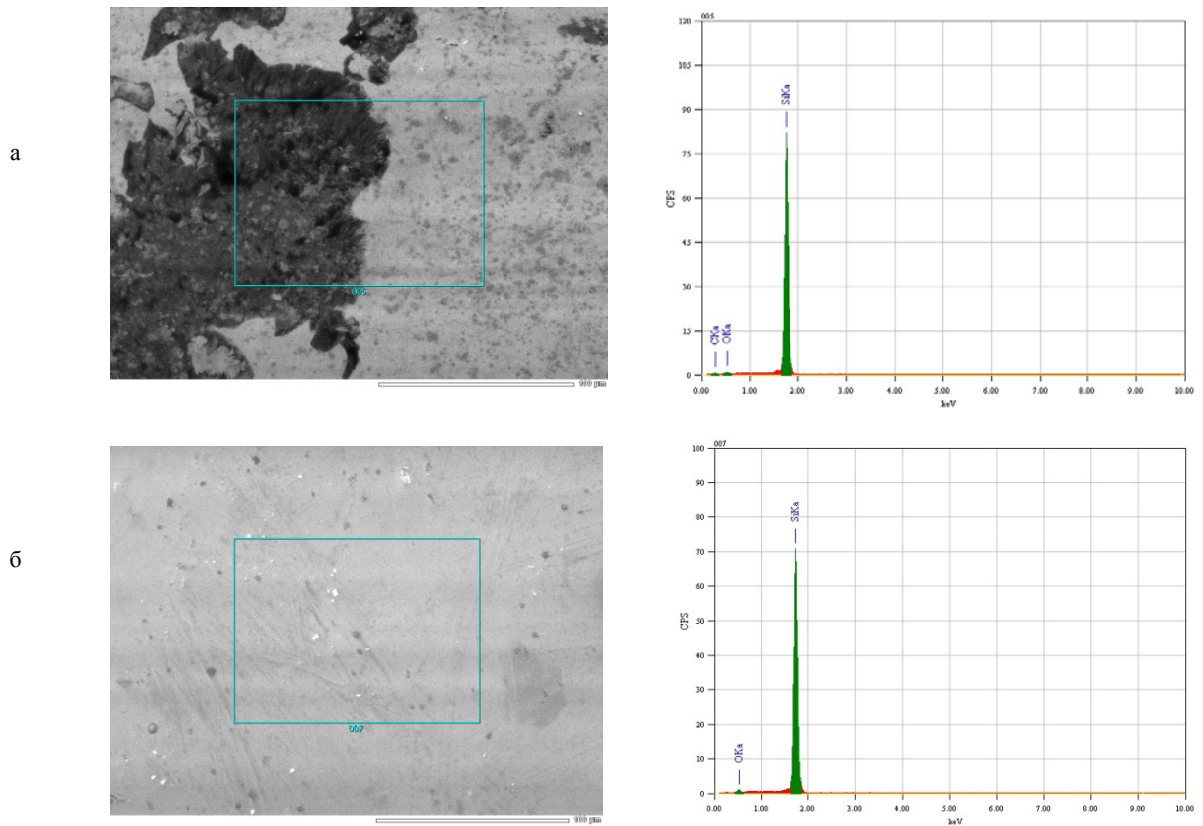


Рисунок 2 – Спектрограмма образцов (с) Si после лазерного воздействия ( $t = 60$  мин). Температура предварительного отжига  $800^{\circ}\text{C}$  и время прогрева: а)  $t = 120$  мин, б)  $t = 360$  мин.

Анализ спектров (с) Si, предварительно термоотожженных при  $800^{\circ}\text{C}$ , при различном времени отжига и подвергшихся действию лазерного излучения показали, что происходит изменение линий интенсивности кремния в зависимости от времени предварительной термообработки образца (рисунок 2). Соответствующие изменения наблюдаем со скопившимися массами кислорода, причем максимальное содержание масс кремния соответствует минимальным массам кислорода (рисунок 3). Начиная с 120-минутного предварительного термоотжига, лазерное воздействие на кремний несколько «сглаживает» наблюдавшиеся изменения в их содержании. Надо отметить, что появление кислорода не вызывает высокотемпературное окисление поверхности кремния и образование оксидных пленок на поверхности образца. А появившиеся атомы углерода в достаточном количестве на образце, предварительно прогретых при  $600^{\circ}\text{C}$  в течении 120 минут и последующем лазерном воздействии, не вызывали появления на поверхности карбида кремния (SiC) (рисунок 3, точка С). Как видно, из рисунка 1 действия лазерного излучения приводят к процессам частичного и полного плавления поверхности, к образованию повышенной концентрации дефектов и соответствующих градиентов температуры на поверхности, концентрации точечных дефектов.

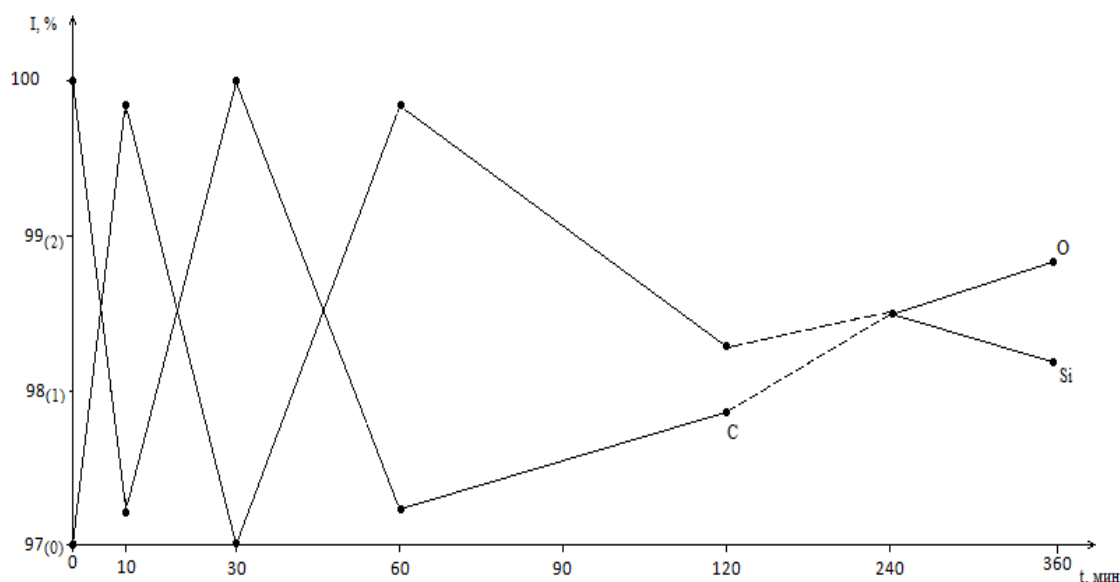


Рисунок 3 – Результаты полуколичественного анализа содержащих кремния (Si), кислорода (O<sub>2</sub>) и углерода (C) при непрерывном действии лазера (t = 60 мин); образцы предварительно прогретые при T =  $600^{\circ}\text{C}$  и времени (t = 10, 30, 60, 120, 240 и 360 минут)

В частности, нагрев и высокая концентрация точечных дефектов, а также дислокаций приводят к образованию систем наноструктурированных выступов, пор, наноразмерных областей (рисунок 1). Не исключено, что причиной образования дефектов при лазерном облучении, на образцы предварительно термоотожженных при различном времени отжига, может быть одновременное действие трех факторов: возбуждение электроно-дырочных пар в приповерхностной области полупроводника, нагрев этой области за счет электрон-фононного взаимодействия, а также возникновение термоупругих напряжений на приповерхностном слое. При лазерном воздействии неоднородность характера процессов плавления и остывания кремния приводит к образованию дефектов, и она существенна (6).

Возможно также, что действие лазерного излучения на образцы предварительно отожженного при  $800^{\circ}\text{C}$  приводит к рекристаллизации поверхностного слоя кремния, а полное его плавление соответствует понижению температуры внутри слоя, что в свою очередь, вызывает снижение скорости рекристаллизации (7).

**Заключение.** Установлено, что действие лазерного излучения на образцы предварительно отожженного при различном времени ее прогрева приводит к изменению структурно-морфоло-



гического рельефа поверхности кремния, постепенному плавлению поверхности, что сопутствует в последующем к рекристаллизации ее поверхностного слоя. Выяснено также, что действие лазерного излучения не способствует появлению термического диоксида кремния, хотя появление структурного кислорода тесным образом связано с генерацией межузельных атомов кремния.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Байко В.Н., Лукьянчук Б.С., Казев Е.Р. // Труды ИОФАН, 1991. Т.30. С.6.
- [2] Banishev A.A., Emelyanov V.I., Novikov M.M. // *Lasar Physics*, 1992. Vol.2. №2. P.178.
- [3] Готра З.Ю., Осередько С.А. // *Зарубежная электронная техника*. 1985. №12. С. 3-52.
- [4] Hlavka I., Jelenková H., Namal K., Prochocký V. / Pulsed laser induced recombination centers in silicon // *Journal Applied Physics*, 1984. V. 56. №4. P. 1245-1246.
- [5] Кашкаров П.К., Киселев В.Ф. Нетермические процессы в полупроводниках при лазерном облучении. // *Изв. АН СССР. Сер.Физическая*, 1986. Т.50.№3. С. 435-439.
- [6] Малевич В.Я., Ивлев Г.Д. // *Поверхность*. 1990. №5. С. 157-158.
- [7] Arguirov T., Mchedlidze T., Akhmetov V.D. // *Applied Surface Science*. 2007. V.254v P. 1083-1086.

#### REFERENCES

- [1] Bajko V.N., Luk'janchuk B.S., Kazev E.R. // *Trudy IOFAN*, 1991. V.30. p.6. (in Russ.).
- [2] Banishev A.A., Emelyanov V.I., Novikov M.M. // *Lasar Physics*. 1992. Vol.2. №2. P.178.
- [3] Gotra Z.Ju., Osered'ko S.A. // *Foreign electronic appliances*. 1985. №12. p. 3-52. (in Russ.).
- [4] Hlavka I., Jelenková H., Namal K., Prochocký V. / Pulsed laser induced recombination centers in silicon // *Journal Applied Physics*. 1984. V. 56. №4. P. 1245-1246.
- [5] Kashkarov P.K., Kiselev V.F. Non-thermal processes in semiconductors by laser irradiation // *News of AS USSR. Ser. Physics*. 1986. V.50. №3. p. 435-439. (in Russ.).
- [6] Malevich V.ya., Ivlev G.D. // *Surface*. 1990. №5. p. 157-158. (in Russ.).
- [7] Arguirov T., Mchedlidze T., Akhmetov V.D. // *Applied Surface Science*. 2007. V.254, P. 1083-1086.

### ЛАЗЕРЛІК ЫҚПАЛДЫҢ ПОЛИКРИСТАЛДЫ КРЕМНИЙ ҚҰРЫЛЫМЫНА ӘСЕРІ

Т. С. Көшеров, А. С. Серік, А. Сеитов

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** лазерлік ықпал, рекристаллизация, кремнийдің тотығуы.

**Аннотация.** Берілген жұмыста тұрақталған  $T = 800^{\circ}\text{C}$  температуралық өндеудің ықпалынан және ауыспалы қыздыру уақытындағы (с) Si кремнийдің лазерлік әсерінің құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктері зерттелді. Лазерлік ықпал беттің топологиясын өзгертіп, жоғарғы қабаттың рекристаллизациясын жүзеге асырылды және кремний атомдарының түйінаралық тотығуына әкелмейтіні көрсетілді.

*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.