

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**

3 (301)

МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж.

МАЙ – ИЮНЬ 2015 г.

MAY – JUNE 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 **Байғұнчеков 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 / 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 / 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 3, Number 301 (2015), 137 – 144

**MODIFICATION OF A SURFACE OF SILICON
AT TEMPERATURE AND LASER EFFECTS****T. S. Kosherov, G. K. Turlybekova, K. K. Nurakhmetova, A. Seitov**

Satpayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Gulzhan1980mail.ru

Key words: thermal annealing, subsequent laser irradiation, structural changes, the lattice parameters, surface damage.

Abstract. The article investigates temperature and laser effects on structural changes and surface morphology of the silicon Si, and physical and chemical processes occurring on the surface. It was found that the thermal annealing is observed structural changes in the parameters and the destruction of the surface layer. Laser action has little effect on the lattice parameters, affects the oxidation and the formation of defects in the oxidative processes of melting and crystallization. Express, possible physical and chemical processes occurring on the surface of silicon.

Analysis of the totality of the experimental data showed that the heat treatment of silicon (c) Si leads to a change in its nano structures, participate uncontrolled impurities, mainly oxygen and carbon in the formation of silicon oxide SiO₂ which is obviously distinguished along dislocations and become the laser radiation on samples of pre-thermal annealed at different annealing time in the atmosphere causes a significant obstacle in the solid-state electronics.

УДК 623.21:573.12

**МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ
ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ И ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ****Т. С. Кошеров, Г. К. Турлыбекова, К. К. Нурахметова, А. Сеитов**

Национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: термоотжиг, последующее лазерное воздействие, структурные изменения, параметры решетки, разрушение поверхности.

Аннотация. Исследовано влияние температурного и лазерного воздействия на структурного изменения и морфологию поверхности (с) Si кремния, а также физико-химические процессы, протекающие на ее поверхности. Установлено, что при термоотжиге наблюдаются структурные изменения параметров и разрушение поверхностного слоя. Лазерное воздействие слабо влияет на параметры решетки, оказывает влияние на окисление и формирование окислительных дефектов на процессы плавления и кристаллизации. Выказаны возможные физико-химические процессы, протекающие на поверхности кремния.

Анализ всей совокупности полученных экспериментальных данных показал, что термическая обработка кремния (с) Si приводит к изменению ее наноструктуры, участию неконтролируемой примеси, в основном, кислорода и углерода в образовании оксида кремния SiO₂ которые, очевидно, выделяются вдоль дислокаций и становятся действия лазерного излучения на образцы предварительно термоотожженного при различном времени отжига в атмосфере приводит существенным препятствиям в работе твердотельной электроники.

1. Влияние термической обработки на структуру, содержание оксидных образований и морфологию поверхности кремния. Одним из способов изменений электрофизических свойств и параметров полупроводникового кремния является термическая обработка. При термическом

отжиге полупроводника протекают процессы окисления, изменение электронных состояний на границе раздела Si-SiO₂, что влияет не только в технологии изготовления полупроводниковых приборов [1], но и при их эксплуатации. В процессе термического отжига система в зависимости от времени и температуры отжига образуются на поверхности оксидные фазы не только самого образца (Si), но и металлообразующих примесных элементов, причем с большим содержанием кислорода.

В связи с этим представляется определенный интерес проведение исследований влияние температурного воздействия в зависимости от времени термоотжига, а также кислорода атмосферы и приповерхностного слоя образца, на рельеф поверхности, фазовый состав оксидов на поверхности и, возможные, структурные изменения.

Исследование проводилось с образцами (с) Si с удельным сопротивлением 10 Ом·см. Образцы подвергали предварительно термической обработке в атмосфере воздуха при температуре 400°C и времени 10, 30, 60, 120, 240 и 360 минут. Полуколичественный анализ содержания элементов и электронно-микроскопические снимки были получены на растровом электронном микроскопе, а морфология поверхности образца кремния после термической обработки и лазерном воздействии исследовалось методов атомной силовой микроскопии.

Исследование динамики изменений процентного содержания кремния исходного образца и образовавшихся в процессе температурной обработки Si и оксида кремния при температуре 400°C и времени отжига в атмосфере воздуха привели к установлению зависимости увеличения процентного содержания образовавшихся на поверхности оксидов, приводящих к аналогичному уменьшению процентного содержания кремния в образце.

Если проанализировать полуколичественный анализ Si и SiO₂, то видно, что по мере увеличения времени температурного прогрева образца образование оксидного плёнка на поверхности Si происходит по разному (рисунок 1). До 60 минутного прогрева образца образование SiO₂ идет монотонно достигая своего максимального значение. Практически это процентное значение SiO₂ на образце сохраняется до 120 минутного термоотжига. В последующем образовании SiO₂ резко падает и только после 240 минутном времени термоотжига вновь мы видим достаточный рост SiO₂ (рисунок 1). Других оксидов металлообразующих примесей, присутствующих в образце, не выявлено.

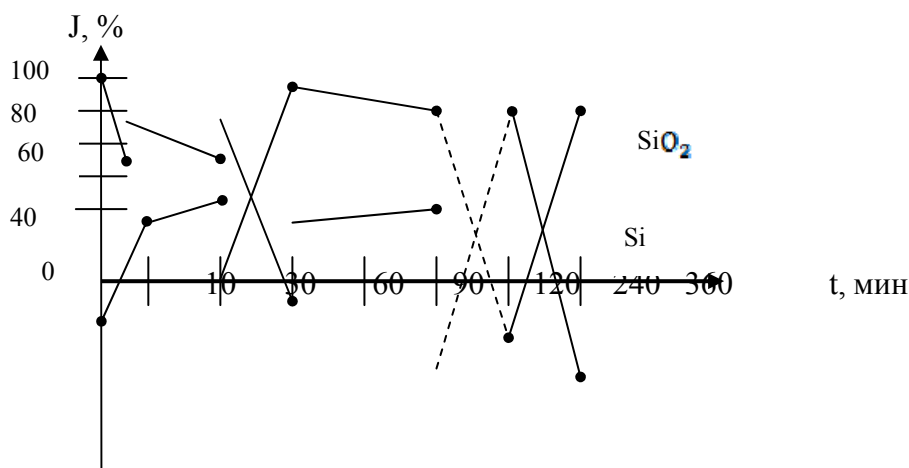


Рисунок 1 – Изменение процентного содержания Si и SiO₂ в зависимости от времени термоотжига (T = 400°C)

Проведенные исследования позволили получить зависимость структурных параметров ω , d и s от температуры прогрева образца и при различном времени температурного воздействия (рисунок 2). С увеличением времени прогрева образца при температуре 400°C параметры d -межплоскостное расстояние и ω -степень возникшихся напряжений в структуре образца (полуширина пика Si) заметно изменяются при $t = 60$ минут (рисунок 2). Поскольку параметр ω характеризует структурное состояние приповерхностного слоя и соответственно связанных с дефектами внутренних

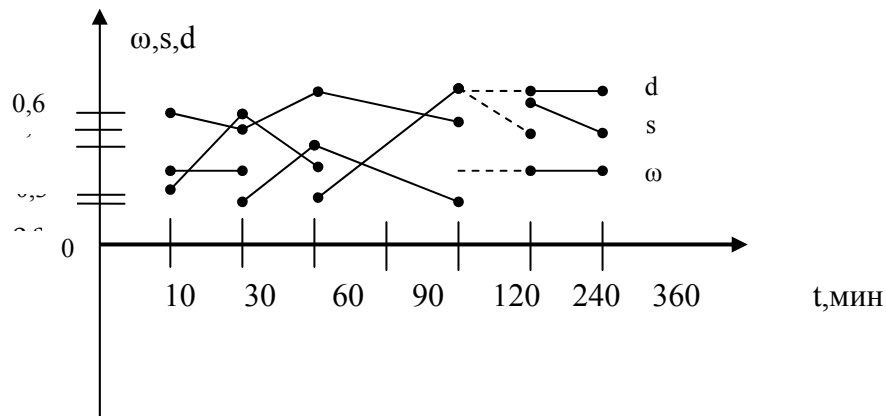


Рисунок 2 – Зависимость параметров d, s, ω кремния от времени прогрева образца ($T = 400^\circ\text{C}$)

напряжений, возникших в образце при термоотжиге, то можно предполагать, что небольшие структурные изменения в Si возникают при наших условиях термоотжига образца Si в пределах 60 минут.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что при прогреве образца при 400°C в ней возникают неустойчивые стабильные дефекты, которые распадаются и отжигаются. В свою очередь уменьшение концентрации указанных дефектов сопровождается снижением связанных с этими дефектами сжатия, и тем самым приводит к уменьшению, а затем и к исчезновению внутренних напряжений в приповерхностных слоях кремния и соответствующему убыванию, и стабилизации структурных параметров d и ω .

Несколько иная картина наблюдается при немономонном прогреве образца в зависимости от времени ее прогрева (рисунок 3). На рисунке 3 видно, что такие основные параметры кристаллической решетки, как a и d также меняются. Заметное изменение d наблюдается при $t = 60$ минут до 120 минут, далее идет стабилизация значение d-характеристики вновь образовавшейся структуры Si после термоотжига.

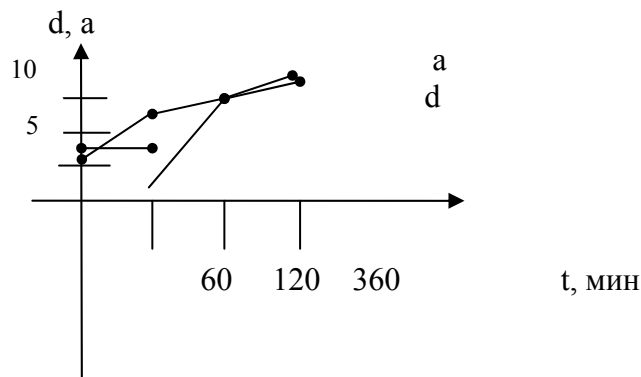


Рисунок 3 – Зависимость параметров структур Si от времени термоотжига образца ($T = 400^\circ\text{C}$)

Таким образом, 60 минутной прогрев при $T = 400^\circ\text{C}$ является точкой – началом структурного изменения Si, приводящем в дальнейшем и к образованию SiO_2 (рисунок 1).

Морфология поверхности образцов (с) Si, по данным АСМ при температурной обработке 400°C и длительности от 10 до 360 минут в начале, имеет однородную структуру с небольшими пирамидальными выступами по всей поверхности исследуемого образца по оси z высотой до 15 нм, а затем поверхность трансформируется в более мелкие образования по фазовому составу. Низкая величина среднеквадратичной шероховатости и отсутствие кристаллических образований

указывают на аморфизацию поверхности кремния в процессе термоокисления. По мере увеличения продолжительности термообработки размеры пирамидальных выступов сглаживаются, а в некоторых местах поверхности обнаруживаются объединения этих образований, приводящее к большим пирамидальным образованиям, размеры которых достигают по высоте до 200-300 нм и по площади в несколько десятков квадратных нм (рисунок 4). Это островки оксидов кремния сформировавшиеся в результате термоотжига. Если обратиться к рисункам 1 и 2, то можно предположить, что при $t = 60$ минут термоотжига образца приводит к максимальному образованию SiO_2 на поверхности кремния и соответственно к изменению параметров решетки (рисунок 3). С другой стороны, эти результаты показывают, что при этих условиях температурной обработки Si происходит сдвиговые напряжения, а также высокие концентрации, точечных дефектов и их градиенты могут привести к реализации условий для появлений дислокаций и их роста [2]. Нагрев и высокая концентрация точечных дефектов приводят к деформации и образованию объединенных пирамидальных выступов больших размеров (рисунок 4) на поверхности. После установления термодинамического равновесия (до $t = 120$ минут) весь процесс вновь повторяется, но уже с частичной кристаллизацией.

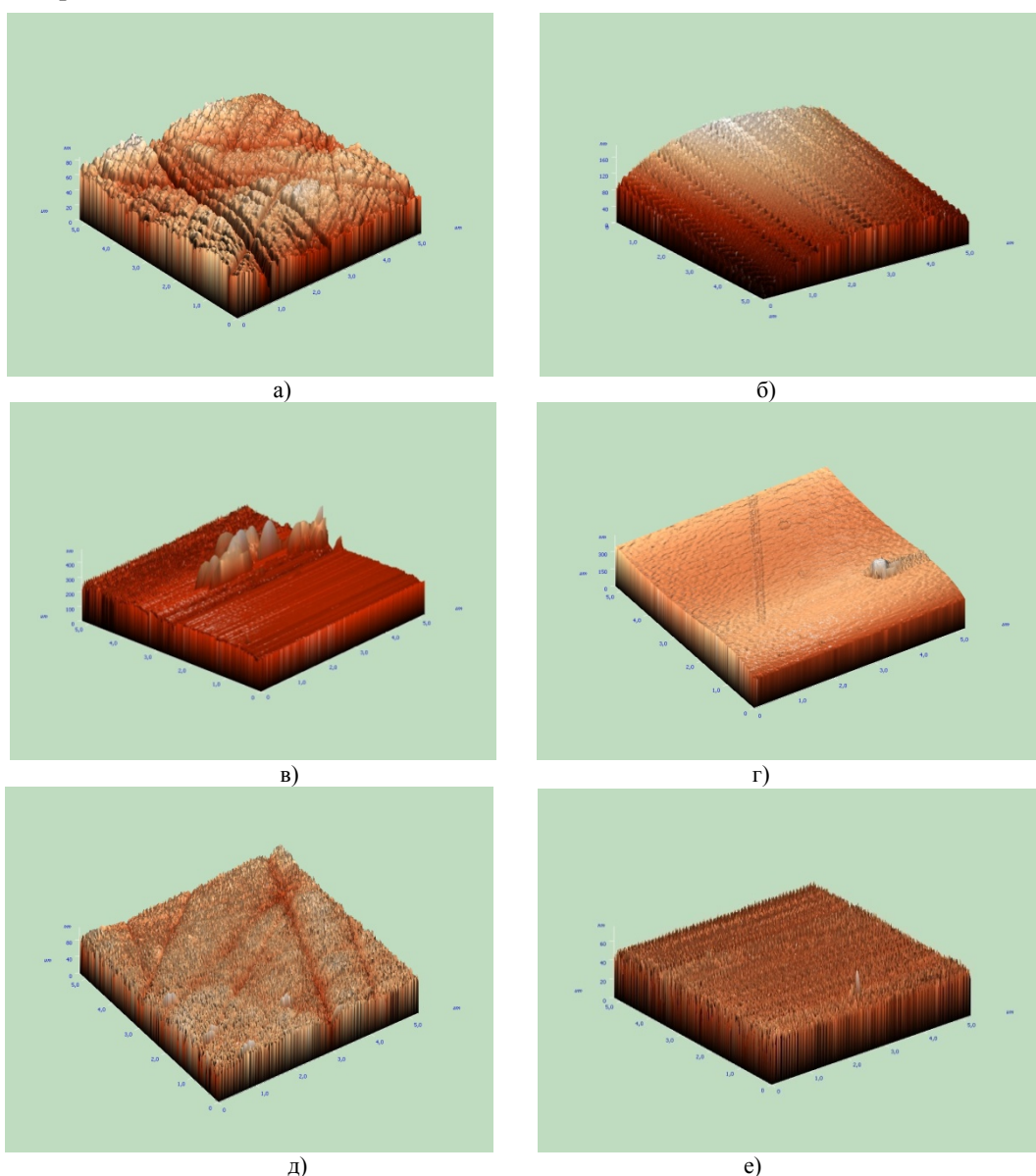


Рисунок 4 – АСМ изображение термоотожженного при 673°К образца (с) Si при различном времени ($t = 60$ мин): а) 10 мин; б) 30 мин; в) 60 мин; г) 120 мин; д) 240 мин; е) 360 мин

2. Влияние лазерного воздействия на структуру и морфологию поверхности кремния.

Процессы плавления и перекристаллизацию кремния, инициируемые лазерными импульсами, исследовались во многих работах [3, 4]. При этом выяснение основных закономерностей лазерного воздействия решались как в условиях неравновесности протекающих процессов, так и в условиях сильной неравновесности [5, 6]. Интересны работы, посвященные плавлению и кристаллизации в результате гомогенного зародышеобразованию по двумерному механизму послойного роста [7].

Воздействие лазерного излучения на полупроводники может приводить к различным изменениям их кристаллической структуры, электрофизических и оптических свойств [8]. Кроме того, изучение воздействия лазерной обработки на полупроводниковые структуры позволяют определить характеристики их дефектной структуры. Все это дает возможность использовать лазерный отжиг для создания пленок поликристаллического кремния как перспективного материала за счет рекристаллизации аморфных пленок.

Например, выделяют два аспекта лазерного влияния на диффузию атомов: термический и нетермический. Термическое влияние связывается с возможностью создания огромных градиентов температуры и термонапряжений – причина ускоренной диффузии. Нетермические действия лазерного излучения связывается с возбуждением электронных состояний, а также связывают с локальным плавлением поверхности. Процесс разрушения поверхности наблюдается только при многоимпульсном воздействии, носит накопительный характер и связан с генерацией и ростом дислокаций.

Результаты этих работ однозначно указывают на то, что лазерное воздействие на поверхности Si не однозначно в результатах, полученных экспериментом и поэтому исследование процесса дефектообразования и диффузии, разрушение поверхности кремния, образование локальных неоднородности в приповерхностном слое кремния, плавление и перекристаллизация при лазерном воздействии представляет огромный интерес.

Исследование проводилось с образцами (с) Si с удельным сопротивлением 10 Ом·см. Образцы подвергались предварительно термической обработке в атмосфере воздуха при температуре $T = 400^\circ\text{C}$ и времени 10, 30, 60, 120, 240 и 360 минут. Затем эти образцы подвергались непрерывному лазерному воздействию в течение 60 минут, мощность которого составил 50 МВт, эффективный диаметр сфокусированного пятна – 1,3 мм.

Исследование динамики процентного содержания кремния исходного образца и образовавшихся в процессе температурного отжига кремния и последующего лазерного воздействия в зависимости от времени прогрева в атмосфере воздуха привели к установлению зависимости увеличения процентного содержания образовавшихся на поверхности образца оксидов (термооксиды), приводящих к аналогичному уменьшению процентного содержания кремния в образце. Так, на рисунке 6 видно, что по мере увеличения времени термоотжига образца от 10 до 360 минут при температуре 400°C на поверхности, в основном, образуются диоксид кремния. Причем, своего

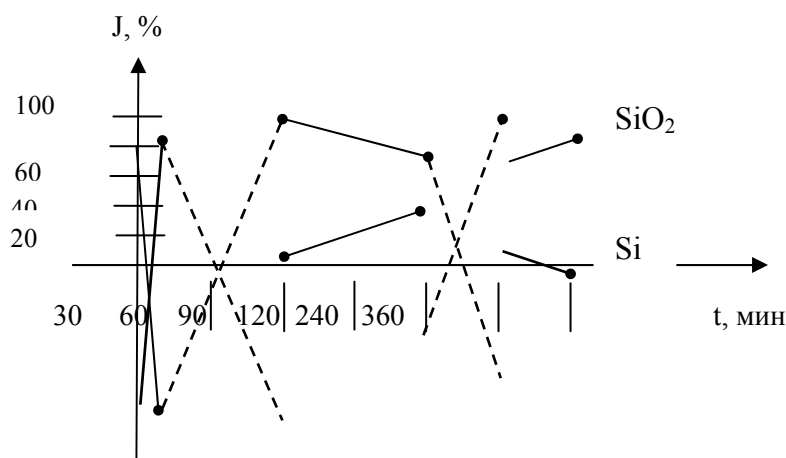


Рисунок 6 – Изменение процентного содержания Si и SiO₂ в зависимости от времени предварительного термоотжига и последующего лазерного воздействия ($T = 400^\circ\text{C}$)

максимального значения она достигает при 10-минутном и при 240-минутной времени термообработки образца. Анализ содержания кремния и возможных металлообразующих элементов в образце показал, что по мере увеличения времени термоотжига, когда температура прогрева образца 400°C остается постоянной, металлообразующие элементы не проявляются, не проявляются и силициды этих элементов. Поэтому симметрия образовавшихся SiO_2 и оставшихся кремния соблюдается.

Проведенные исследования позволили получить зависимость структурных параметров d и a от времени прогрева при термоотжиге образца 400°C в последующем лазерном воздействии. С увеличением времени термоотжига образца параметр d уменьшается, тогда как параметр кристаллической решетки a увеличивается по величине (рисунок 7).

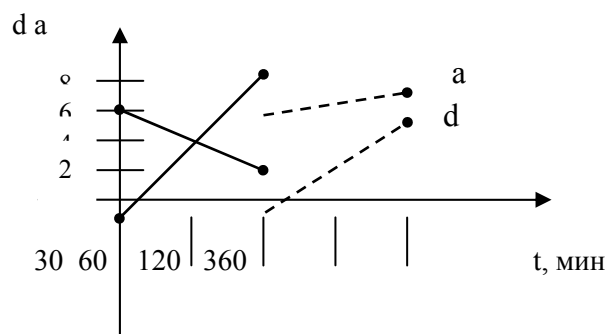


Рисунок 7 – Зависимость параметров решетки d и a от времени предварительного термоотжига и последующего лазерного воздействия ($t = 60$ минут)

Предварительное увеличение времени нагревания и последующего лазерного воздействия приводит к практически восстановлению значений d , а параметр решетки a не меняется. Все это говорит о том, что прогревание при 400°C и дальнейшем воздействии лазерного излучения структура кремния претерпевает некоторые изменения в следствии термоокисления атомов решетки кремния, которые затем стабилизируются (рисунок 6).

Анализ АСМ изображений морфологии поверхности образцов (с) Si при лазерном воздействии после предварительной температурной обработки 400°C и длительности от 10 до 360 минут показывают, что уже при 10-минутном предварительном термоотжиге лазерное облучение вызывает образование на поверхности кремния ее диоксида, поверхность покрывается пирамидальными выступами по оси z высотой до несколько десятков нм (рисунок 8). Если время предварительного термоотжига образца увеличить до 60 минут, дальнейшее лазерное воздействие приводит к сглаживанию, термоокисления приостанавливаются и остаются только небольшие островки пирамидальных выступов (рисунок 8).

При дальнейшем увеличении времени термоотжига до 120 минут процесс сглаживания поверхности кремния продолжается, укрупняя оставшиеся островки диоксида кремния (рисунок 8). При длительном предварительном термоотжиге образца ($t = 240$ минут) и последующем лазерном облучении мы замечаем, вновь идет процесс термоокисления – пирамидальные образования, причем не исключено, что поверхность пирамидальных образований частично плавится (рисунок 8). При $t = 360$ минут термоотжига и последующего лазерного воздействия поверхность образца покрывает игольчатые образования, а пирамидальные выступы постепенно сглаживаются (рисунок 8).

Как известно, при получении полупроводниковых материалов, используемых для создания электронной техники, часто используют технологическую операцию введения примесей, приводящую к нарушению структуры (аморфизации) поверхностного слоя. Восстановление кристаллической структуры и электрической активации введенных примесей осуществляется термической обработкой полупроводникового материала, что является нежелательным фактом, приводящим иногда к необратимому изменению электрофизических параметров исходного материала. Лазерный отжиг поверхностных слоев - один из наиболее результативных способов активации таких

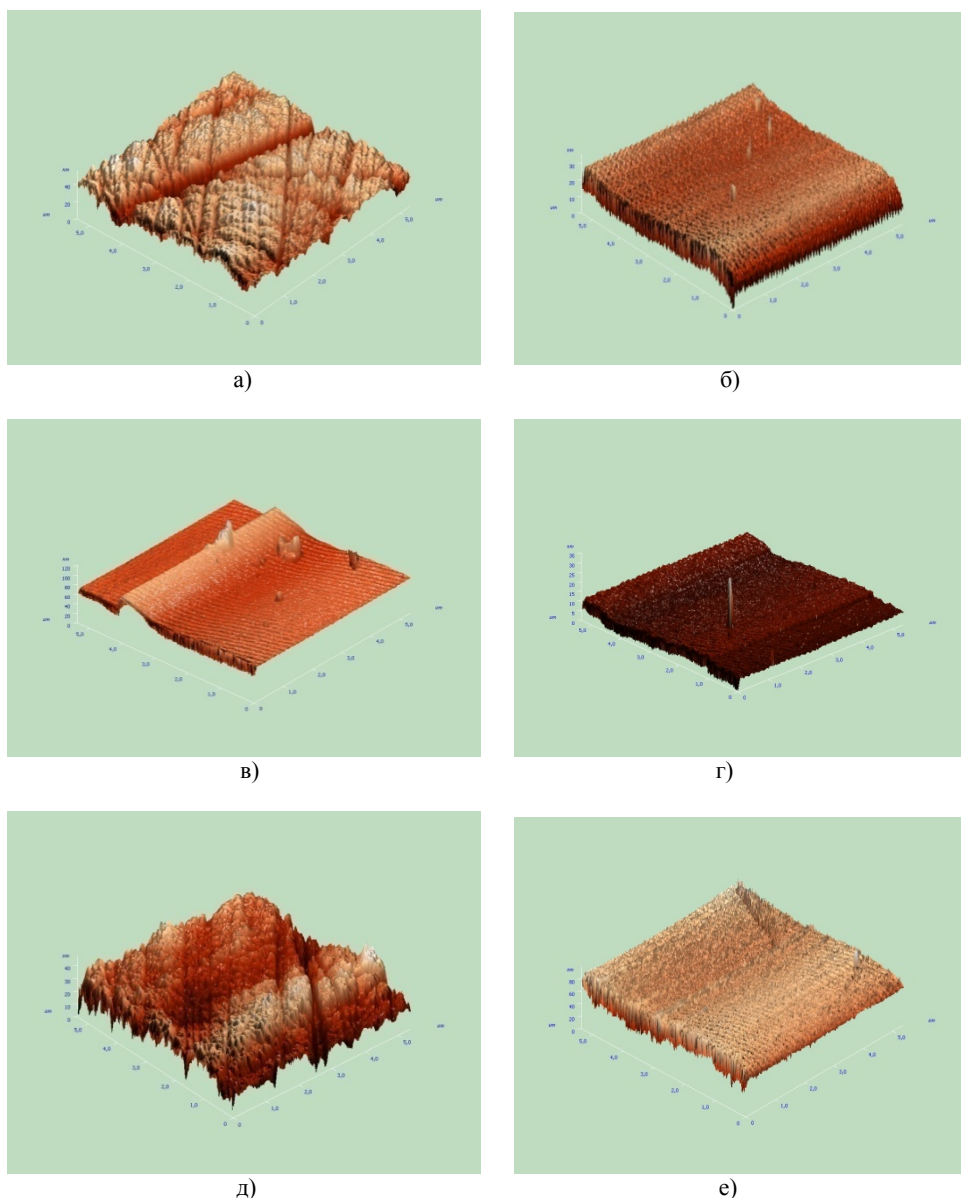


Рисунок 8 – АСМ изображение термоотожженного при 673°К образца (с) Si при различном времени отжига и последующем непрерывном лазерным воздействием ($t = 60$ мин):
 а - $t = 10$ мин; б - 30 мин; в - 60 мин; г - 120 мин; д - 240 мин; е - 360 мин

материалов. Ведь преимуществом такого способа обработки является возможность проведения отжига в атмосферных условиях и локализация участка отжига. Этот вид отжига связан также с локальным расплавлением активируемого объема или поверхности образца, при котором происходит кристаллизация с возрастанием коэффициента диффузии основных примесей приводящих к их высокой активации в несколько раз и возможностью получения бездефектных слоев. Наши эксперименты подтверждают эту трактовку (рисунок 8).

Термический отжиг, являющейся одной из составляющих лазерного воздействия, приводит к релаксации механических напряжений на границе раздела кремний – (естественный) окисел, что сопровождается образованием дефектов. Поскольку центрами адсорбции газов на реальной поверхности кремния являются, как правило, дефекты увеличения их концентрации после термообработки и последующего лазерного воздействия должно приводить к увеличению чувствительности структур поверхностного слоя к кислороду, природа появления которого разнообразна.

Если рассмотреть изменение слоев окисла, его рост и уменьшение, то можно предположить, что рост толщины SiO_2 с увеличением времени предварительного термоотжига и последующего

действия лазерного луча является следствием увеличения скорости окисления, а уменьшение толщины пленки связано с разложением SiO_2 , что подтверждается результатам наших экспериментов (рисунок 6).

Таким образом, сопоставляя рис.6 и рисунок 8, мы видим, что образование термоокисленных диоксидов кремния (SiO_2) идет в два этапа: при $t = 10$ минут и $t = 240$ минут. При этом лазерное воздействие убыстряет этот процесс. Одновременно идет процесс частичного плавления оксидной пленки, что может повлиять на структуру образца, а следовательно, на электрофизические характеристики кремния.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Под ред Дис. Поута. – М.: Мир, 1982. – 576 с.
- [2] Банищев А.Ф., Голубев В.С., Крокев А.Ю. Разрушение поверхности кремния при импульсном воздействии лазерных импульсов // Сб. трудов ИПЛИТ РАН. – 2001.
- [3] Wood R/F& Giles G.E. // Phys Rev. B. – 1981. – Vol. 23. – P. 2923-2942.
- [4] Пиликович В.А., Малевич В.Л., Ивлев Г.Д., Шидков В.В. // ИФЖ. – 1985. – Т. 48, № 2. – С. 306-312.
- [5] Аверьякова М.Ю., Карков С.Ю., Ковальчук Ю.В. и др. // Письма в ЖТФ. – 1986. – Т. 12, вып. 18. – С. 1119-11123.
- [6] Cullis A.G., Weber H.C., Chew N.G. e/al. // Phys. Rev. Lett. – 1982. – Vol. 49. – P. 219-221.
- [7] Александров Н.П. кинетика кристаллизации и перекристаллизации полупроводниковых пленок. – Новосибирск: Наука, 1985. – 224 с.
- [8] Карачинов В.А. // ФТП. – 1997. – Т. 31, № 1. – С. 53-55.

REFERENCES

- [1] D. Pout. *Thin-films. Interdiffusion and reactions*, M.: Mir, 1982. 576 p. (in Russ.).
- [2] Banishev A.F., Golubev V.S., Krokev A.J. *Destruction of surface of silicon at impulsive influence of laser impulses*, IPLIT RAN. 2001. (in Russ.).
- [3] Wood R/F& Giles G.E. *Phys Rev.B*. 1981. Vol. 23. P. 2923-2942
- [4] Pilikovish V.A., Malevich V.L., Ivlev G.D., Schidkov V.V. *IFJ*, 1985. T. 48, № 2. P. 306-312. (in Russ.).
- [5] Averyakova M.Y., Karkov S.Y., Kovalshuk Y.V. *Letters are in ShTF*. 1986. Vol. 12, N 18. P. 1119-11123. (in Russ.).
- [6] Cullis A.G., Weber H.C., Chew N.G. e/al. *Phys. Rev. Lett*. 1982. Vol. 49. P. 219-221.
- [7] Александров Н.П. *Kinetics of crystallization and recrystallization of semiconductor tapes*. Novosibirsk: Nauka, 1985. 224 p. (in Russ.).
- [8] Karashinov V.A. *FTP*. 1997. Vol. 31, N 1. P. 53-55. (in Russ.).

ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ЖӘНЕ ЛАЗЕРЛІК ӘСЕР ЕТУ КЕЗІНДЕГІ КРЕМНИЙ БЕТІНІҢ МОДИФИКАЦИЯСЫ

Т. С. Кошеров, Г. Қ. Тұрлыбекова, К. Қ. Нұрахметова, А. Сеитов

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

Тірек сөздер: термоқыздыру, біртіндеп лазерлік әсер ету, құрылымдық өзгерістер, тор параметрлері, беттің бұзылуы.

Аннотация. Si (с) кремний бетінің құрылымдық өзгерістері мен морфологиясына лазерлік және температуралық әсерді және кремний бетінде өтетін физика-химиялық процестерді зерттеу. Термоқыздыру барысында беттік қабаттың бұзылуы және параметрлердің құрылымдық өзгерістері байқалған. Лазерлік әсер ету тор параметрлеріне әлсіз әсер етіп, балқыту және қатайту (кристаллизация) процестері кезінде тотығуға және тотығу ақауларының қалыптасуына әсер етеді. Кремний бетінде мүмкін болатын физика-химиялық процестер жайында айтылған.

Барлық алынған тәжірибелік мәліметтердің жиыны, Si (с) кремнийді термиялық өңдеу, оның наноқұрылымының өзгеруіне, яғни, қоспалардың қатысуынан, негізінен дислокация бойында пайда болатын, оттегі мен көміртегінің SiO_2 кремний оксидінің пайда болуынан болады. Атмосферада әртүрлі уақытта қыздырылған үлгілерге лазерлік әсер ету қатты денелер электроникасының жұмыс жасауына кедергі келтіреді.

Поступила 25.02.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

physics-mathematics.kz

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 9.06.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.