



**SCIENTIFIC BULLETIN**  
**PHYSICAL AND**  
**MATHEMATICAL RESEARCH**

**ILMIY HABAR NOMA**  
**FIZIKA-MATEMATIKA**  
**TADQIQLARI**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<u>Физика</u>
<b>С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.С. САИДОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ</b> Получения, морфология и фотоэлектрические свойства гетероструктуры $n\text{-Si}-p\text{-}(\text{Ge}_2)_{1-x-y}(\text{GaAs})_x(\text{ZnSe})_y$ .....	7
<b>Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, К.А. ИСМАЙЛОВ, С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, З.Т. КЕНЖАЕВ, Б.К. ИСМАЙЛОВ</b> Влияние легирования никелем на спектральную чувствительность кремниевых солнечных элементов .....	16
<b>М.Ш. ИСАЕВ, А.Т. МАМАДОЛИМОВ, Ш.К. АКБАРОВ</b> Структура приповерхностного слоя диффузионно-легированного кремния атомами хрома и кобальта.....	21
<b>М.В. TAGAEV, А.А. ABDREYMOV, U.D. BAIRAMOV</b> Kremniyli p-n o'tishda mikroplazmalarning shakllanishi.....	27
<b>М.В. FOZILJONOV, I.N. KARIMOV, A.E. ABDIKARIMOV</b> Influence of the local trapped charge in oxide to the gate - drain capacitance in a FinFET .....	33
<b>Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, И.М. СОЛИЕВ, Х.Ж. МАНСУРОВ</b> Рентгеноструктурные исследования кремния марки КДБ-20 с участием кислорода.....	37
	<u>Техника</u>
<b>Р.А. МУМИНОВ, В.Г. ДЫСКИН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Н. БУТУНБАЕВ, К.А. ДЖУМАМАРУТОВ</b> К вопросу применения гидрофобных плёнок для пассивной очистки фронтальной поверхности фотоэлектрических модулей.....	42
<b>С. ЗАЙНАБИДИНОВ, Б. УРМАНОВ, С. АЛИЕВ</b> Разработка конструкции нового солнечного осветительного устройства.....	47
<b>С.С. НАСРИДДИНОВ, А.К. ХАМРАКУЛОВ, Н.Т. МОВЛОНОВ, М.И. МАННАНОВ</b> Метод определения удельного сопротивления почвы.....	53
<b>Ш.А. ГУЛАМОВ, Г.М. МҮМИНОВА</b> Легирланган ва лнгирланмаган қўға ўсимлиги толаларини тайорлаш хамда уларнинг оптоэлектроник хоссалари тадқиқ қилиш усуллари.....	58
	<u>Математика</u>
<b>А.К. УРИНОВ, Д.А. УСМОНОВ</b> Нелокальная задача для вырождающегося уравнения второго порядка, содержащего интегро-дифференциальный оператор дробного порядка с функцией бесселя в ядре.....	64
<b>N. UMRZAQOV, I.S. ZAYNABIDDINOV</b> On a pursuit differential game with integral constraints in $\mathbf{R}^n$ .....	75
<b>Д.Д. АХМЕДОВА</b> Динамические системы симплекса квадратичных гомеоморфизмов.....	83

<b>Ф.А. ЮСУПОВ, Д.Д. АХМЕДОВА</b>	
Инвариантность некоторых стохастических квадратичных операторов неволтеррного типа в двухмерном симплексе.....	87
<b><u>Информатика</u></b>	
<b>Р.К. АЗИМОВ, Б.Р. АЗИМОВ</b>	
Машинали ўқитишда регрессия усуллари.....	90
<b>М.К.МАХКАМОВ, Х.А.МАМАДАЛИЕВ, Ш.Ш.ХОЖИКУЛОВ</b>	
Метод Фурье для исследования распространения волны уплотнения в трубопроводах установленном демпфером.....	96
<b>Ғ.О. ТАЖИБАЕВ, М.М. МИРЗАЕВА, Ш.О. ТЎРАХОНОВА.</b>	
Юпқа пластина эгилиши масаласини интегралли усулда ечишда чегаравий шартларга боғлиқ бўлган маҳсусликни эътиборга олиш.....	104
<b><u>Персоналии</u></b>	
Академиг М.Мусахонов 80 ёшда.....	111
<i>Правила оформления статьи</i> .....	113

## Рентгеноструктурные исследования кремния марки КДБ-20 с участием кислорода

Ш.Х. Йўлчиев<sup>1</sup>, И.М. Солиев<sup>2</sup>, Х.Ж. Мансуров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Андижанский государственный педагогический институт, ул. Дуслик д. 4, 170100 г. Андижан Узбекистан

<sup>2</sup>Андижанский государственный университет им. З.М Бобура, Андижан, 170100

Получена 18 мая 2023 г. Принята к печати 15 июня 2023 г.

**Аннотация:** Показаны, что исследованные монокристаллические  $Si_{(100)}$  и  $Si_{(111)}$  имеют совершенную структуру с субкристаллитами (блоками) размерами 94 и 78 нм, также определены их параметры решеток из экспериментальных данных рентгенограммы, которые равны 0,54292 нм и 0,54359 нм соответственно. Установлены, что в объеме субкристаллитов кремния расположены только атомы кремния и их кристаллическая структура имеет высокую симметрию, а между субкристаллитами атомов кремния и междуузельного кислорода самообразуются низко симметричные фрагменты с размерами 76 нм с участием примесной фазы –  $SiO_2$ . Обнаружено, что в приповерхностных областях кремния образуется структурный фрагмент  $SiO_x$ , благодаря не насыщенным связям между атомами кремния.

**Ключевые слова:** кремний, кислород, рентгенограмма, монокристалл, субкристалл, параметр решеток, структурный фрагмент.

**Annotation:** It is shown that the studied single-crystal  $Si_{(100)}$  and  $Si_{(111)}$  have a perfect structure with subcrystallites (blocks) 94 and 78 nm in size, their lattice parameters are also determined from the experimental X-ray data, which are equal to 0.54292 nm and 0.54359 nm, respectively. It has been established that only silicon atoms are located in the volume of silicon subcrystallites and their crystal structure has a high symmetry, and low-symmetry fragments with a size of 76 nm with the participation of an impurity phase -  $SiO_2$  are self-formed between the subcrystallites of silicon atoms and interstitial oxygen. It has been found that a  $SiO_x$  structural fragment is formed in the near-surface regions of silicon due to unsaturated bonds between silicon atoms.

**Keywords:** silicon, oxygen, X-ray diffraction pattern, single crystal, subcrystal, lattice parameter, structural fragment.

**Annotatsiya.** O'rganilayotgan monokristalli  $Si_{(100)}$  va  $Si_{(111)}$  o'lchamlari 94 va 78 nm bo'lgan subkristallitlar (bloklar) bilan mukammal tuzilishga ega ekanligi ko'rsatilgan, ularning panjara parametrlari ham eksperimental rentgen ma'lumotlaridan aniqlanadi. mos ravishda 0,54292 nm va 0,54359 nm ga teng. Kremniy subkristallitlari hajmida faqat kremniy atomlari joylashganligi va ularning kristall tuzilishi yuqori simmetriyaga ega ekanligi va nopolik fazasi -  $SiO_2$  ishtirokida 76 nm o'lchamdag'i past simmetriyali fragmentlar o'z-o'zidan hosil bo'lishi aniqlandi. kremniy atomlarining subkristallitlari va interstitial kislород. Kremniy atomlari orasidagi to'yinmagan bog'lanishlar tufayli kremniyning sirtga yaqin hududlarida  $SiO_x$  strukturaviy fragment hosil bo'lishi aniqlangan.

**Kalit so'zlar.** Kremniy, kislород, rentgen naqsh, monokristal, subkristal, panjara parametri, strukturaviy fragment.

PACS number(s): 73.40. Lq, 78.20. -e, 81.05. Hd

### Введение

Известно, что кислород в монокристаллическом кремнии является одной из основных фоновых примесей, определяющий природу термодоноров, термостабильности, времени жизни носителей заряда, образования микродефектов. Эффективность генерации и транспорта носителей тока определяется во основном технологией получения выращиваемого кристалла, концентрацией примесных атомов кислорода, углерода и собственных дефектов структуры в кремнии. Управление количеством различных микродефектов и совершенством структуры

криスタллов можно достичь, регулируя режимом выращивания и последующих термообработок полупроводника [1-3]. Таким образом в процессе роста кристалла по мере его охлаждения на поверхность монокристалла и фронта кристаллизации образуются различные дефекты типа вакансии, собственные и примесные атомы внедрения, ассоциаты атомов примеси друг с другом и другими точечными дефектами. Все эти процессы в объеме и на поверхности кристалла и являются причиной образования микро- и нанообъединений т.е. неоднородностей в монокристалле. Для исследований образования таких дефектов и

неоднородностей в монокристаллах полупроводников наряду с другими часто используют рентгенодифракционные методы. В связи с этим в данной работе приводятся экспериментальные результаты по исследованию структурных неоднородностей образованных с участием кислорода в монокристаллическом кремнии *p*-типа марки КДБ-20.

### Методика эксперимента

Объектом исследования являлось монокристаллический кремний *p*-типа марки КДБ-20, выращенный методом Чохральского с удельным сопротивлением  $\rho \approx 18,7 \Omega \cdot \text{см}$ , концентрацией дырок  $n \approx 9 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ , подвижностью дырок  $367 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  и содержащий атомы оптически активного кислорода  $\approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Из слитков монокристалла кремния алмазным диском вырезали образцы в виде параллелепипеда с размерами  $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$  ориентированных длинной гранью вдоль основных кристаллографических направлений (100). Поверхность образцов перед измерением подвергалась механической шлифовке абразивным порошком M10, затем химико-механической обработке до достижения высокого структурного совершенства и атомарной гладкости поверхности с шероховатостью на уровне десятых долей нанометра.

Контроль структурных и фазовых состояний, исследуемых образцов проводилось на рентгеновском дифрактометре третьего поколения типа Empyrean Malvern. Для определения максимума пика отражений использовалась программа OriginPro2019. Рентгенодифракционные исследования проводились в геометрии пучка Брэгга – Брентано в диапазоне  $2\theta_B =$  от  $15^\circ$  до  $120^\circ$  непрерывно со скоростью сканирования  $0.33 \text{ градуса/мин}$  и угловым шагом  $0.0200$  (град).

### Экспериментальные результаты и их обсуждения

На рис.1 представлена рентгенограмма монокристаллического кремния марки КДБ-20 (с кристаллографической ориентацией (100)), которая показывает образование селективных структурных линий с различной, по величине интенсивностью. Присутствие на дифракционной картине диффузного отражения в интервале углов по  $2\theta$  от  $12$  до  $53^\circ$ . Анализ показал, что поверхность пластин кремния соответствует кристаллографической ориентации (100). Этот вывод подтверждается также присутствием на рентгенограмме серии

селективных структурных линий типа  $\{H00\}$ , где ( $H = 2, 4$ ): интенсивные линии (200) с  $d/n = 0,2717$  ( $2\Theta = 32,97^\circ$ ), (400) с  $d/n = 0,1357$  ( $2\Theta = 69,23^\circ$ ). Бета ( $\beta$ ) составляющая основной структурной линии (400) наблюдается при угле рассеяния  $2\Theta = 61,75^\circ$ . Большая интенсивность ( $1,82 \cdot 10^5 \text{ имп}\cdot\text{сек}^{-1}$ ) и узкая ширина ( $\text{FWHM} = 2,73 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$ ) дифракционного отражения (400) свидетельствуют о достаточно высоком степени совершенства кристаллической решетки использованной нами кремния марки КДБ-20. Только рефлекс (400) из всех других структурных линий, наиболее подходит для определения параметра решетки образцов кремния, который составлял  $a_{Si} = 0,54292 \text{ нм}$ . Однако присутствие на рентгенограмме так же структурных линий с другими индексами (111), (220), (311), (531) малой интенсивности и их не большая ширина по сравнению с (400)<sub>Si</sub>, указывают на наличие также поликристаллических участков в объеме пластин кремния [4]. Кроме того, на рентгенограмме на серии отражений  $\{H00\}$  присутствует еще один селективный рефлекс с кристаллической ориентацией (200). По законам погасания, эти рефлексы не должны появляться на рентгенограмме от неискаженной решетки алмазоподобной структуры кремния [4].

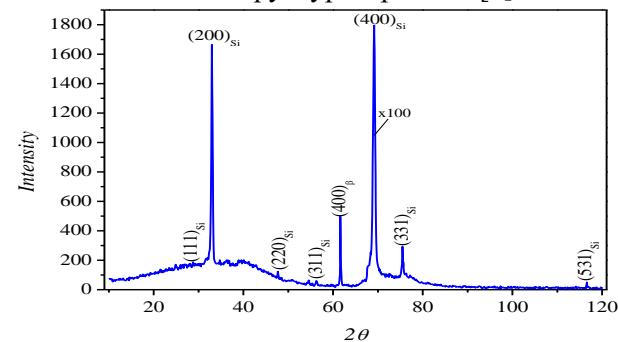


Рис.1. Рентгенограмма монокристаллического кремния марки КДБ-20 с кристаллографической ориентацией (100).

Запрещенный (200) и дополнительные (111), (220), (311) и (531) рефлексы появляются при наличии искажений в решетке Si, связанные с термоупругими напряжениями, возникающие в технологических процессах при их выращивании и напряжений, связанных с неоднородным распределением одного из основных фоновых примесей – кислорода в решетке кремния [5]. Характерные размеры образующихся при этом субкристаллитов кремния, определялись из ширина рефлекса (400)<sub>Si</sub> по формуле Селякова-Шеррера :

$$D = K\lambda / (\beta \cos\theta),$$

где  $D$  – размер кристаллитов в нм,  $\lambda$  – длина волны излучения, в нашем случае 0.154 нм,  $\theta$  – угол рассеяния (половина угла дифракции  $2\theta_B$ ),  $\beta$  – физическое уширение линии на дифрактограмме (ширина рефлекса на половине максимума интенсивности) в радианах, коэффициент  $K \approx 0,94$  [6]. Расчеты значений  $D$  по приведенной формуле показали, что размеры субкристаллитов кремния составляют 94 нм

В интервале углов по  $2\Theta$  от 12 до  $53^\circ$  на рентгенограмме наблюдается широкое (FWHM = 0,348 рад) диффузное отражение, обусловленное структурными фрагментами  $\text{SiO}_x$  в приповерхностных слоях с не насыщенными химическими связями [7]. Известно, что в монокристаллах кремния, выращенных по методу Чохральского, кислород может находиться не только в межузельном положении в виде квазимолекул  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ , но и в виде различных преципитатов  $\text{SiO}_x$ , которые образуются в процессе выращивания слитка. Так, в работе [8] было показано, что в некоторых выращенных кристаллах содержание кислорода в различных преципитатах может достигать до 20 % от общей концентрации кислорода.

На рис. 2 представлена рентгенограмма марки КДБ-20 (с кристаллографической ориентацией (111)), откуда видно, что на рентгенограмме наблюдается дифракционные отражения с различными значениями по интенсивности селективные рефлексы, серии (ННН) (где  $H=1,2,3,\dots$ ). Это свидетельствуют о там, что поверхность образцов обладает кристаллографической ориентацией (111) и на дифрактограмме присутствуют селективные рефлексы  $(111)_{\text{Si}}$  с  $d/n = 0,3141$  ( $2\theta = 28,4^\circ$ ),  $(222)_{\text{Si}}$  с  $d/n = 0,1570$  ( $2\theta = 58,8^\circ$ ) и  $(333)_{\text{Si}}$  с  $d/n = 0,1046$  нм ( $2\theta = 94,9^\circ$ ). ( $\beta$ ) составляющие структурных рефлексов  $(111)_{\text{Si}}$  и  $(333)_{\text{Si}}$  наблюдаются при углах рассеяний  $25,7^\circ$  и  $83,3^\circ$  соответственно. Значительная полуширина (FWHM =  $3.49 \times 10^{-3}$  рад) и высокая интенсивность ( $2 \cdot 10^5$  имп·сек $^{-1}$ ) этих структурных линий  $(111)_{\text{Si}}$  свидетельствуют о высокой степени совершенства кристаллической решетки исследуемых образцов кремния. Однако, немонотонный характер уровня неупругого фона на дифрактограмме в углах рассеяния (в пределах от 10 и  $60^\circ$ ), также, слабое расщепление структурной линии  $(111)_{\text{Si}}$  по  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  излучениям (рис.3- а) свидетельствует о наличии упругого напряжения ростового характера в кристаллической решетке монокристалла Si.[8 ]

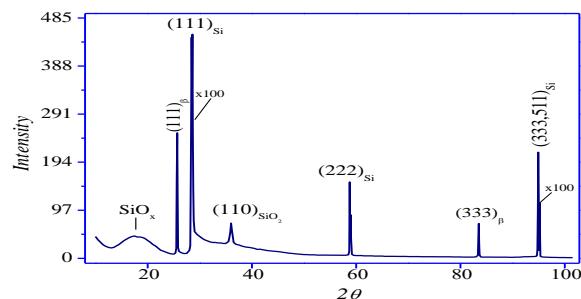


Рис.2. Рентгенограмма монокристаллического кремния КДБ-20 с кристаллографической ориентации (111).

Кроме того на дифрактограмме присутствует запрещенная при таких исследованиях структурная линия от плоскости  $(222)_{\text{Si}}$  в  $d/n = 0,1570$  нм ( $2\theta = 58,8^\circ$ ) для кристаллической решетки кремния. Обычно по правилам погасания рефлексов структурная линия  $(222)_{\text{Si}}$  не должна присутствовать на дифрактограмме неискаженной кристаллической решетки алмазоподобной кремниевой структуры. Такие дифракционные отражение наблюдаются только при наличие микроискажений термического характера в кристаллической решетке. Поэтому, нами были рассчитаны относительное значение интенсивности селективных рефлексов  $(222)_{\text{Si}}/(111)_{\text{Si}}$  с помощью соотношения  $I(222)/I(111)$ , которое оказалось равно  $3.42 \times 10^{-3}$ . Видно, что значение  $(222)_{\text{Si}}/(111)_{\text{Si}}$  больше чем  $10^{-4}$ , а это свидетельствует о наличии локальных областей с микроискажениями также о неравномерном распределении в кристаллической решетке кремния атомов кислорода [10]. Значительное расщепление структурной линии  $(333)_{\text{Si}}$  (рис.3-б) и более слабое расщепление структурной линии  $(111)_{\text{Si}}$  (рис.3-а) по  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  коэффициентам свидетельствует о том, что образованные микроискажения находятся на приповерхностной области монокристалла кремния. Оно может быть вызвано различием ионных радиусов кремния ( $r_{\text{Si}}^{4+} = 0.42 \text{ \AA}$ ) и кислорода ( $r_o^{-2} = 1.40 \text{ \AA}$ ) [1], а также наличием термического напряжения ростового характера [2]. Из-за разницы ионных радиусов кислорода и кремния на  $0.58 \text{ \AA}$ , атомы кислорода в основном размещены в междоузлиях кристаллической решетки или приграничных областях, где атомы кремния имеют ненасыщенные химические связи и часть атомов смешены из идеальных положений между субкристаллитами монокристалла кремния [3]. Это позволяют предположить, что в объеме субкристаллитов расположены только атомы кремния и их

кристаллическая структура имеет высокую симметрию, а между такими субкристаллитами атомов кремния и междуузельного кислорода самообразуются низко симметричные фрагменты. Подтверждением такого вывода является наблюдаемые в средних углах рассеяния ( $d/n = 0,2503$  нм,  $2\theta = 35,9^\circ$ ) рентгенограммы подложки кремния наблюдаемые структурные линии от плоскости (110), обусловленные формированием структурного фрагмента с размерами  $\sim 76$  нм с участием примесной фазы –  $\text{SiO}_2$  на границах разделах блоков (субкристаллитов) в кремнии. Достаточная широкая полуширина ( $\text{FWHM} = 2,33 \times 10^{-3}$  рад) структурной линии (110) свидетельствует о кристаллическом происхождении этой линии. Это означает наличие микроискажений связанных с неравномерным распределением кислорода в кристаллической решетке кремния.

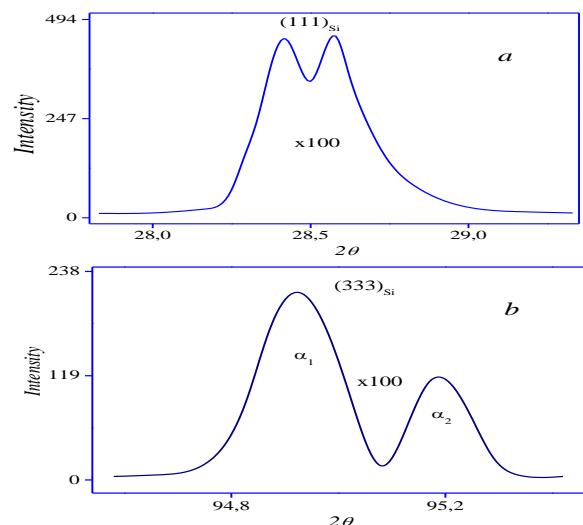


Рис.3. Формы рефлексов монокристаллического кремния КДБ-20 с кристаллографической ориентации (111)

Кроме того, при углах рассеяния  $2\theta \approx 15^\circ$  рентгенограммы кремния присутствует диффузное отражение с полушириной ( $\text{FWHM} = 1,25 \times 10^{-1}$  рад), вызванной структурным фрагментом  $\text{SiO}_x$ . Эти фрагменты образуются в основном в приповерхностных областях, где имеются не насыщенные связи между атомами кремния. Широкая полуширина этого отражения свидетельствует, что в этих фрагментах расположены атомы кремния и кислорода которые не имеют дальний порядок расположения, также их размеры, рассчитанные из экспериментальных данных рентгено дифракционных отражений очень малы  $\sim 1$  нм, т.е. они являются нано кристаллитами. Такие кластеры, и приводят к дополнительному

возникновению микроискажений кристаллической решетки кремния. Поэтому объемная доля искаженной области решетки приводит к увеличению параметра решетки монокристаллического кремния КДБ-20 с кристаллографической ориентации (111). Нами были определены параметр такой решетки кремния из экспериментальных данных, которые оказались равными  $a_{\text{Si}} = 0,54359$  нм, и эти значения немного больше я чем их табличные значения  $a_{\text{Si}} = 0,54359$  нм [9].

### Заключение

Показаны, что исследованные монокристаллические  $\text{Si}_{(100)}$  и  $\text{Si}_{(111)}$  имеют совершенную структуру с субкристаллитами (блоками) размерами 94 и 78 нм, также определены их параметры решеток из экспериментальных данных рентгенограммы, которые равны 0,54292 нм и 0,54292 нм соответственно. Установлены, что в объеме субкристаллитов кремния расположены только атомы кремния и их кристаллическая структура имеет высокую симметрию, а между субкристаллитами атомов кремния и междуузельного кислорода самообразуются низко симметричные фрагменты с размерами 76 нм с участием примесной фазы –  $\text{SiO}_2$  на границах разделов блоков (субкристаллитов) кремния. Обнаружено, что в приповерхностных областях кремния образуется структурный фрагмент  $\text{SiO}_x$ , благодаря не насыщенным связям между атомами кремния. Также в этих фрагментах расположения атомов кремния и кислорода не имеет дальний порядок взаимодействия, их размеры, рассчитанные из экспериментальных данных этого отражения очень малы, которые равнялись  $\sim 1$  нм, т.е. они являются кластерами, которые приводят к дополнительному возникновению микроискажений кристаллической решетки кремния. Таким образом, в монокристаллах кремния, выращенных по методу Чохральского в областях примесно-дефектных скоплений, происходят образования низкоразмерных дефектных состояний с участием кислорода.

### Литература

1. К. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. // Под ред. С. Н. Горина, пер. с англ. –М.: Мир, 1984. – 475 с.
2. М.Ю. Ташметов, М.Каланов, Ш.Махкамов, Ф.Т. Умарова,. Медь кислородные нанокристаллиты в монокристаллах кремния, легированных медью //Узбекский физический журнал. –Ташкент, 2018, –Т.20, №2, с. 90-97.

3. Newman R.S., Binns M.J., Brown W.P., Livingston F.M., Messoloras S., Precipitation of Oxygen in Silicon: Kinetics, Solubility, Diffusivity and Particle Size // *Physica B*. 1983., P. 264 -270.

4. А. Бобоев, И.Солиев. Структурные неоднородности, образованные с участием кислорода в монокристаллическом кремнии. "Научный вестник НамГУ" 2022. №10.

5. Бабич В.М., Блецкан Н.И., Венгер Е.Ф. Кислород в монокристаллах кремния. Киев. Interpres LTD, 1997. – 240 с.

6. . Валикова Г., Витман Р.Ф., Лебедов А.А., Мухаммедов С. К вопросу о поведении кислорода в кремнии //ФТП, 1982. Т.16, №12

7. Б.М. Абдурахманов, М.Х. Ашурев, Х.Б. Ашурев1, М.У. Калано. Некоторые характеристики кремниевых плёночных структур, полученных вакуумным осаждением. Узбек. физич. журн.2018 №3

8. С.З. Зайнабидинов, Физические основы образования глубоких уровней в кремнии. Т. "Фан". 1984. 160с

9. С.З. Зайнабидинов, А.Й. Бобоев. Физика и технология многокомпонентных тонкослойных гетероструктур на основе полупроводников  $A^3B^5$ . Издательство "Фан". 2022.

10. С.З. Зайнабидинов, Х.С. Далиев. Дефектообразование в кремнии. Т. "Университет". 1993. 200 стр.

## X-Ray Structural Studies of KDB-20 Silicon with the Participation of Oxygen

Sh.X. Yo'lchiyev<sup>1</sup>, I.M.Soliyev<sup>2</sup>, X.J. Mansurov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Andijan State Pedagogical Institute, st. Duslik d. 4, 170100 Andijan Uzbekistan

<sup>2</sup> Andijan State University. Z.M. Bobura, Andijan, 170100

**Summary:** It is shown that the studied single-crystal Si(100) and Si(111) have a perfect structure with subcrystallites (blocks) 94 and 78 nm in size, their lattice parameters are also determined from the experimental X-ray data, which are equal to 0.54292 nm and 0,54359 nm, respectively. . It has been established that only silicon atoms are located in the volume of silicon subcrystallites and their crystal structure has a high symmetry, and low-symmetry fragments with a size of 76 nm with the participation of an impurity phase - SiO<sub>2</sub> are self-formed between the subcrystallites of silicon atoms and interstitial oxygen. It has been found that a SiO<sub>x</sub> structural fragment is formed in the near-surface regions of silicon due to unsaturated bonds between silicon atoms.

**Keywords:** silicon, oxygen, X-ray diffraction pattern, single crystal, subcrystal diffraction pattern, single crystal, subcrystal, lattice parameter,

structural fragment.

## References

1. K. Rejvi. Defekty i primesi v poluprovodnikovom kremnii. // Pod red. S. N. Gorina, per. s angl. – M.: Mir, 1984. – 475 s.
  2. M.Ju. Tashmetov, M.Kalanov, Sh.Mahkamov, F.T. Umarova,. Med' kislorodnye nanokristallity v monokristallah kremnija, legirovannyh med'ju // Uzbekskij fizicheskij zhurnal. –Tashkent, 2018, – T.20, №2, s. 90-97.
  3. Newman R.S., Binns M.J., Brown W.P., Livingston F.M., Messoloras S., Precipitation of Oxygen in Silicon: Kinetics, Solubility, Diffusivity and Particle Size // *Physica B*. 1983., P. 264 -270.
  4. А. Бобоев, И.Солиев. Структурные неоднородности, образованные с участием кислорода в монокристаллическом кремнии. "Научный вестник НамГУ" 2022. №10.
  5. Babich V.M., Bleckan N.I., Venger E.F. Kislorod v monokristallah kremnija. Kiev. Interpres LTD, 1997. – 240 s.
  6. . Valikova G., Vitman R.F., Lebedov A.A., Muhammedov S. K voprosu o povedenii kisloroda v kremnii //FTP, 1982. Т.16, №12
  7. B.M. Abdurahmanov, M.H. Ashurov, H.B. Ashurov1, M.U. Kalano. Nekotorye harakteristiki kremnievyh pljonochnyh struktur, poluchennyh vakuumnym osazhdniem. Uzbek. fizich. zhurn.2018 №3
  8. S.Z. Zaynabidinov, Fizicheskie osnovy obrazovanijam glubokih urovnej v kremnii. T. "Fan". 1984. 160s
  9. S.Z. Zaynabidinov, A.Y. Boboyev. Fizika i tehnologija mnogokomponentnyh tonkoslojnyh geterostruktur na osnove poluprovodnikov A3V5. Izdatel'stvo "Fan". 2022.
  10. S.Z. Zaynabidinov, H.S. Daliev. Defektoobrazovanie v kremnii. T. "Universitet". 1993. 200 str.
- Сведкния об авторов**
- Йўлчиев Шахриёр Ҳусанович-** к.ф-м.н профессор Андижанский государственный педагогический институт, ул. Дуслик д. 4, 170100 г. E-mail: [shyulchiyev1970@mail.ru](mailto:shyulchiyev1970@mail.ru)
- Солиев Иқболжон Махаммаджонович-** Докторант Андижанского государственного университета Узбекистан, 170100 г. Андижан, ул. Университетская, д. 129; E-mail: [soliyeviqbol620@gmail.com](mailto:soliyeviqbol620@gmail.com)
- Мансуров Хотамжон Жўраевич-** к.ф-м.н доцент Андижанского государственного университета Узбекистан, 170100 г. Андижан, ул. Университетская, д. 129; E-mail: [hjmansurow@mail.ru](mailto:hjmansurow@mail.ru)