

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физики твёрдого тела и нанотехнологий**

ХОЛОД
Валентина Михайловна

**ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ
ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

Дипломная работа

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой физики твёрдого
тела и нанотехнологий БГУ, профессор
Углов Владимир Васильевич

Рецензент:
доцент кафедры ядерной физики,
кандидат технических наук, доцент
Левко Иван Аркадьевич

Допущен к защите

«__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой физики твёрдого тела и нанотехнологий

Профессор, доктор физ.-мат. наук

Углов Владимир Васильевич

Минск 2024

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	3
РЭФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	8
1.1 Структурно-фазовое состояние карбида кремния.....	8
1.2 Изменение морфологии карбида кремния	14
1.3 Влияние облучения и отжига на механические свойства карбида кремния	16
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	20
2.1. Объект исследования.....	20
2.1.1. Общие представления о карбиде кремния.....	20
2.1.2. Кристаллические модификации SiC	20
2.1.3. Плотность SiC.....	21
2.1.4. Оптико-электрические свойства.....	21
2.1.5. Методы получения карбида кремния.....	21
2.1.6. Подготовка образца.....	23
2.2. Характеристики параметров ионного облучения образцов и отжига...	23
2.3. Методы исследования	24
2.3.1. Рентгенофазовый анализ	24
2.3.2. Наноиндентирование	26
2.3.3. Моделирование ионных пробегов и потерь энергий с помощью программы SRIM.....	28
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ...	30
3.1. Структурно-фазовое состояние.....	30
3.2. Механические свойства.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А	45

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 46 страниц, 3 главы, 27 рисунков, 17 источников, 1 приложение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КАРБИД КРЕМНИЯ, ОБЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ, ИОНЫ ГЕЛИЯ, ИОНЫ КРИПТОНА, ОТЖИГ.

Объектом исследования является композит на основе карбида кремния.

Цель дипломной работы – изучение структурно-фазового состояния композита на основе карбида кремния, облучённого ионами гелия с энергией 40 кэВ дозами 1×10^{14} , 1×10^{15} , 1×10^{16} , 5×10^{16} , 2×10^{17} см⁻² и криптона с энергией 280 кэВ дозами 1×10^{13} , 1×10^{14} , 1×10^{15} , 5×10^{15} см⁻² после отжига при 600⁰С и 900⁰С.

Методы исследования: рентгеноструктурный анализ, наноиндентирование.

Рассчитаны параметры решетки для фазы 6Н карбида кремния и изучены зависимости параметров от дозы облучения и температуры отжига. С увеличением температуры параметры решетки увеличиваются, что связано с накоплением кислорода в решетке. При температуре в 900⁰С параметры решетки уменьшаются, так как происходит термический отжиг дефектов.

Для образцов облученных ионами гелия наблюдается флекинг при температуре 600⁰С, что подтверждается снимками с оптического микроскопа.

На основании результатов наноиндентирования выявлено, что с увеличением дозы и температуры отжига твёрдость увеличивается, что связано с закреплением дислокаций и восстановлением ковалентных связей.

По теме дипломной работы были опубликованы 2 статьи в журналах «High Temperature Material Processes» и «Физика и химия обработки материалов». По итогам участия в конференциях имеется 13 научных публикаций, из них 9 материалов конференций и 4 тезисов.

РЭФЕРАТ

Дыпломная работа: 46 старонак, 3 раздзелы, 27 малюнкаў, 17 крыніц, 1 прыкладанне.

КЛЮЧАВЫЯ СЛОВА: КАРБІД КРЭМНІЯ, АПРАМЯНЕННЕ, РАДЫЯЦЫЙНЫЯ ДЭФЕКТЫ, ІЁНЫ ГЕЛІЯ, ІЁНЫ КРЫПТОНУ, АДПАЛ.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца кампазіт на аснове карбіду крэмнію.

Мэта дыпломнай працы – вывучэнне структурна-фазавага стану кампазіта на аснове карбіду крэмнія, апрамененага іёнамі гелія з энергіяй 40 кэВ дозамі 1×10^{14} , 1×10^{15} , 1×10^{16} , 5×10^{16} , 2×10^{17} см⁻² і крыптону з энергіяй 280 кэВ дозамі 1×10^{13} , 1×10^{14} , 1×10^{15} , 5×10^{15} см⁻² пасля адпалу пры 600⁰С і 900⁰С.

Метады даследавання: рэнтгенаструктурны аналіз, нанаіндэнціраванне.

Разлічаны параметры рашоткі для фазы 6Н карбіду крэмнія і вывучаны залежнасці параметраў ад дозы апраменьвання і тэмпературы адпалу. З павелічэннем тэмпературы параметры рашоткі павялічваюцца, што звязана з назапашваннем кіслароду ў рашотцы. Пры тэмпературы ў 900⁰С параметры рашоткі памяншаюцца, так як адбываецца тэрмічны адпал дэфектаў.

Для узораў апрамененых іёнамі гелія назіраецца флекінг пры тэмпературы 600⁰С, што пацвярджаецца здымкамі з аптычнага мікраскопа.

На падставе вынікаў нанаіндэнціравання выяўлена, што з павелічэннем дозы і тэмпературы адпалу цвёрдасць павялічваецца, што звязана з замацаваннем дыслакацый і аднаўленнем кавалентных сувязяў.

Па тэме дыпломнай працы былі апублікаваныя 2 артыкулы ў часопісах «High Temperature Material Processes» і «Физика и химия обработки материалов». Па выніках удзелу ў канферэнцыях маецца 13 навуковых публікацый, з іх 9 матэрыялаў канферэнцый і 4 тэзісаў.

ABSTRACT

Thesis: 46 pages, 3 chapters, 27 figures, 17 sources, 1 application.

KEY WORDS: SILICON CARBIDE, IRRADIATION, RADIATION DEFECTS, HELIUM IONS, KRYPTON IONS, ANNEALING.

The objects of study are a silicon carbide composite.

The aim of this thesis is to study the structural-phase state of silicon carbide-based composite irradiated by helium ions with 40 keV energy at doses of 1×10^{14} , 1×10^{15} , 1×10^{16} , 5×10^{16} , 2×10^{17} cm⁻² and krypton ions with 280 keV energy at doses of 1×10^{13} , 1×10^{14} , 1×10^{15} , 5×10^{15} cm⁻² after annealing at 600⁰C and 900⁰C.

Research methods: X-ray diffraction analysis, nanoindentation.

The lattice parameters for the 6H phase of silicon carbide have been calculated and the dependences of the parameters on the irradiation dose and annealing temperature have been studied. With increasing temperature, the lattice parameters increase, which is due to the accumulation of oxygen in the lattice. At a temperature of 900⁰C the lattice parameters decrease as thermal annealing of defects occurs.

For samples irradiated with helium ions, flecking is observed at 600⁰C, which is confirmed by optical microscope images.

Based on the results of nanoindentation it is revealed that with increasing dose and temperature of annealing hardness increases, which is associated with the pinning of dislocations and restoration of covalent bonds.

On the subject of the diploma work 2 articles were published in the journals "High Temperature Material Processes" and "Physics and chemistry of materials treatment". As a result of participation in conferences there are 13 scientific publications, including 9 conference proceedings and 4 theses.