

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XVIII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**PROCEEDINGS
of the XVIII International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**2023
Астана**

УДК 001+37
ББК 72+74
G99

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2023» студенттер мен жас ғалымдардың
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясы = XVIII
Международная научная конференция студентов и молодых
ученых «GYLYM JÁNE BILIM – 2023» = The XVIII International
Scientific Conference for students and young scholars «GYLYM JÁNE
BILIM – 2023». – Астана: – 6865 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

ISBN 978-601-337-871-8

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001+37
ББК 72+74

ISBN 978-601-337-871-8

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2023**

11. S. Giniyatova, A. Dauletbekova, Z. Baimukhanov, L. Vlasukova, A. Akilbekov, et al. Structure, electrical properties and luminescence of ZnO NCs deposited in SiO₂/Si track templates // Radiation Measurements. 2019 125. P. 52-56
12. Комаров Ф.Ф. Дефектообразование и трекообразование в твердых телах при облучении ионами сверхвысоких энергий // Успехи физических наук, Т. 173, №12, 2003
13. N. Itoh, A.M. Stoneham Excitonic model of track registration of energetic heavy ions in insulators // Nucl. Instrum. Meth. B. 1998 V.146. P. 362-366
14. A.K. Dauletbekova, A.Ye. Alzhanova, A.T. Akilbekov, et al. Synthesis of Si/SiO₂/ZnO nanoporous materials using chemical and electrochemical deposition techniques // Technologies and Innovation (PTI-2016) AIP Conf. Proc. 2016 1767. 020005

УДК 538.9

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ПЬЕЗОСПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ В Si₃N₄, AlN И 4H-SiC
ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ Вi.**

Жумажанова Айнаш Турлыбековна

ainashzhumazhanova@gmail.com

PhD студент кафедры «Техническая физика»

Физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – А.Т. Акылбеков

Профессор, д.ф.-м.н кафедры «Техническая физика»

Физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Зарубежный научный консультант – В.А. Скуратов

д.ф.-м.н., начальник сектора Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ,

г.Дубна, Московская обл., Российская Федерация

Аннотация: Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света были исследованы профили рамановских спектров в монокристаллическом карбиде кремния, а так же в поликристаллических нитридах кремния и алюминия, облученные ионами Вi с энергиями 670 МэВ и 710 МэВ. Полученный результат свидетельствует о низком уровне остаточных механических напряжений в приповерхностном слое монокристалла 4H-SiC, а так же подтверждает высокую радиационную стойкость монокристалла 4H-SiC и нитрида алюминия (AlN), в сравнении с поликристаллическим нитридом кремния (β-Si₃N₄). Данный эффект объясняется разной структурной чувствительностью керамик к воздействию облучения тяжелыми ионами – образованием аморфных треков в β-Si₃N₄ и их отсутствием в поликристаллическом AlN и в монокристалле 4H-SiC.

Ключевые слова: карбид кремния; нитрид алюминия; нитрид кремния; быстрые тяжелые ионы; спектры комбинационного рассеяния; механические напряжения; пьезоспектроскопия.

1. Введение

Воздействие тяжелых заряженных частиц на твердые тела, как правило, сопровождается генерацией в облучаемом слое механических напряжений, которые, в свою очередь оказывают влияние на процессы дефектообразования. Оценка уровня напряжений и установление взаимосвязи между характером радиационных повреждений и деформационными искажениями очень важны для корректного описания эволюции дефектной структуры в различных экспериментальных условиях. Прежде всего, такие задачи

рассматривались для низкоэнергетической ионной имплантации для полупроводниковых материалов. В наименьшей степени эти вопросы изучены для высокоэнергетического ($E > 1$ МэВ/а.е.м.) ионного облучения, возможности которого для решения практических задач начинают быть востребованными только в последнее время. Исследования в этом направлении представляют, в частности, значительный интерес и для прогноза долговременной радиационной стабильности керамических и оксидных материалов, используемых в ядерно-энергетических установках, по отношению к воздействию осколков деления. В качестве основных экспериментальных методов измерения механических напряжений обычно применяются следующие – метод измерения кривизны, методы рентгеновской, электронной и нейтронной дифракции, электромагнитные методы, ультразвуковой метод [1].

Уровень напряжений в целом ряде материалов может быть определен с помощью метода, основанного на использовании пьезоспектроскопического эффекта, основы которого представлены в работах [2, 3, 4]. В нашем исследовании, этот подход был использован для измерения профилей напряжений в Si_3N_4 , облученном высокоэнергетическими ионами ксенона и висмута, результаты представлены в работе [5]. Как известно, нитрид кремния является единственной нитридной керамикой, в которой были обнаружены латентные треки быстрых тяжелых ионов [6-11]. В то же время, треки не были обнаружены в нитриде алюминия и карбиде кремния даже при очень высоких уровнях удельных ионизационных потерь энергии. В данной работе представлены результаты сравнительного анализа профилей остаточных механических напряжений в 4H-SiC с полученными ранее данными по Si_3N_4 [5] и AlN [12] – керамиках с разным структурным откликом на воздействие тяжелых ионов высоких энергий.

2. Детали эксперимента

Материалы и методы

Объектами исследования в данной работе были монокристаллические образцы карбида кремния 4H-SiC, а также поликристаллические образцы нитридов алюминия (AlN) и кремния ($\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$) производства MPT Corporation (США) с размерами зерен от нескольких сотен нанометров до нескольких микрон.

Образцы облучались ионами ^{209}Bi с энергией 670 МэВ и 710 МэВ при комнатной температуре на циклотронах ИЦ-100 и У-400 в ЛЯР ОИЯИ (Дубна, Россия). Физические свойства и параметры облучения: плотность, энергия, флюенс и потери энергии (S_e , S_n), а также проективный пробег ионов (R_p), рассчитанные с использованием кода SRIM [13], приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физические свойства и параметры ионного облучения для AlN, Si_3N_4 и 4H-SiC.

Объект/ Ион	Кристаллическая структура	ρ , г/см ³	S_e , кэВ/нм	S_n , кэВ/нм	R_p , мкм	E_d , эВ		Флюенс, см ⁻²
AlN Bi 710 МэВ	Гексагональная (вюрцит)	3.28	33.6	1.75	29.8	Более 50		1×10^{12} , 2×10^{12} , 1×10^{13}
Si_3N_4 Bi 710 МэВ	Гексагональная (P63 пространственная группа)	3.21	33.6	1.73	29.7	40		1×10^{11} , 6×10^{11} , 1×10^{12} , 2×10^{12} , 1×10^{13}
SiC	Гексагональная	3.21	23.9	1.2	39.7	Si	41	3×10^{11} ,

Bi 670 МэВ	(4Н -политип)				41.3	С	16	6×10^{11} , 1×10^{12} , 1.17×10^{12}
---------------	---------------	--	--	--	------	---	----	---

Спектры комбинационного рассеяния (КР) облученных образцов были измерены с использованием лазерного конфокального сканирующего микроскопа Solver Spectrum, NT-MDT. Спектры возбуждались на длине волны $\lambda=473$ нм (синий лазер) размер лазерного пятна и шаг сканирования составляли 1 мкм и 0,25 мкм соответственно. Время измерения было оптимизировано для максимальной интенсивности и составляло 60 секунд.

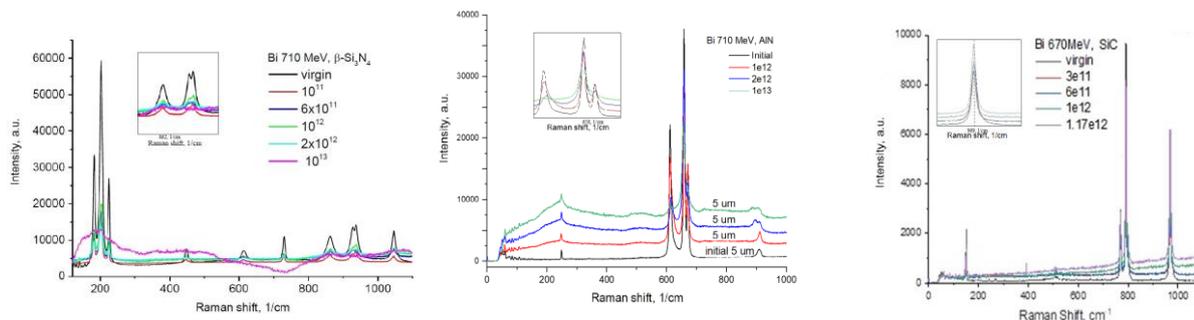
3. Результаты и обсуждение

В данной работе спектры комбинационного рассеяния исходного образца карбида кремния имеют 8 пиков, как видно из таблицы 2, где также представлены литературные данные [14-16].

Таблица 2. Экспериментальные данные по спектрам КР в 4Н-SiC

Фоновная мода	$E_2(TA)$	$E_2(TA)$	$E_1(TA)$	$A_1(LA)$	$E_2(TO)$	$E_1(TO)$	$A_1(LO)$	$A_1(LO)$
Работа [14]	196	204	266	610	776	796	838	964
5. Работа [15]	196	204	266	610	764	796	838	964
6. Работа [16]	-	204	-	610	777	797	-	967

Спектры КР исследуемых образцов β -Si₃N₄, AlN и 4Н-SiC, облученных ионами Bi с энергией 670 МэВ и 710 МэВ при возбуждении на длине волны 473 нм представлены на рисунке 1.



а)

Спектры КР β -Si₃N₄ в зависимости от дозы облученного ионами Bi 710 МэВ в диапазоне флюенсов $1 \times 10^{11} \div 1 \times 10^{13}$ см⁻². На вставке показана область спектра вблизи линии 862 см⁻¹.

б)

Спектры КР измерены на глубине 5 мкм от поверхности AlN, облученной ионами Bi 710 МэВ в диапазоне флюенсов $1 \times 10^{12} \div 1 \times 10^{13}$ см⁻². На вставке показана область спектра вблизи линии 658 см⁻¹.

в)

Спектры КР 4Н-SiC в зависимости от дозы облученного ионами Bi 670 МэВ в диапазоне флюенсов $3 \times 10^{11} \div 1,17 \times 10^{12}$ см⁻². На вставке показана область спектра вблизи линии 969 см⁻¹.

В работе [5] было установлено, что в облученном слое β -Si₃N₄ накапливаются как сжимающие, так и растягивающие механические напряжения. Сжимающие напряжения регистрируются в области образования латентных треков. Растягивающие напряжения

обнаруживаются до глубин, превышающих проективный пробег ионов висмута. Линия 862 см^{-1} была выбрана для оценки уровня напряжений, поскольку она характеризуется наибольшим пьезоспектроскопическим коэффициентом $2,22\text{ ГПа/см}^{-1}$ [17]

В случае нитрида алюминия в работе [12] было установлено, что механические напряжения в AlN находятся в пределах ошибки, только при флюенсе ионов висмута $1 \times 10^{13}\text{ см}^{-2}$ выходят за пределы погрешности эксперимента. Данный эффект связывают с отсутствием латентных треков при воздействии ионизации высокой плотности на дефектную структуру AlN. Облучение висмутом до флюенса и $2 \times 10^{13}\text{ см}^{-2}$ не вызывает аморфизацию образцов AlN. Линия 658 см^{-1} в AlN является наиболее значимой, поскольку она демонстрирует наибольшую чувствительность к напряжению. Данная линия характеризуется пьезоспектроскопическим коэффициентом 2 ГПа/см^{-1} [17].

Метод РС был использован для изучения радиационных повреждений и связанных с ними внутренних остаточных механических напряжений в 4H-SiC, вызванных ионами висмута (670 МэВ) в интервале флюенсов до $1,17 \times 10^{12}\text{ см}^{-2}$. Как видно из рисунка 1в, в облученном монокристалле 4H-SiC с ростом флюенса ионов существенных уширений спектров либо резкого изменения интенсивности спектров не наблюдается. В указанном интервале ионных флюенсов сдвиг спектрального положения полосы с максимумом $\sim 969\text{ см}^{-1}$, соответствующей $A_1(\text{AO})$ колебательной моде, не превышает 1 см^{-1} вставка на рисунке 1в. Данный результат говорит о низком уровне остаточных механических напряжений в приповерхностном слое образца. Таким образом, данные РС также подтверждают выводы структурного анализа о высокой радиационной стойкости монокристаллов карбида кремния.

Анализируя полученные результаты, наиболее выраженные изменения спектров, а также накопление напряжений наблюдаются в нитриде кремния, связано это с механизмами трекообразования и аморфизацией поврежденного слоя, которые подтверждены результатами рамановских спектров по глубине пробега иона [5].

4. Заключение

В ходе проведенных исследований было установлено, что наименее устойчивым к высокоэнергетическому облучению тяжелыми ионами являются керамики Si_3N_4 , для которых изменения рамановских спектров выражаются в снижении интенсивности спектральных линий, характерных для аморфизации поврежденного слоя. В случае AlN и 4H-SiC керамик высокоэнергетическое облучение тяжелыми ионами не приводит к явно выраженным процессам аморфизации, что свидетельствует о высокой устойчивости данных типов керамик к радиационным повреждениям и их накоплению при высокодозном облучении.

Список используемой литературы

1. P.J. Withers, H.K. Bhadeshia. Residual stress. Part 1 - Measurement techniques // Materials Science and Technology. 2001 V.17. №. 4. P.355-465
2. Q. Ma, D. R. Clarke. Stress measurement in single-crystal and polycrystalline ceramics using their optical fluorescence // Journal of the American Ceramic Society. 1993 V. 76. № 6. P. 1433-1440
3. L.C. Ciacchi, G. Gregori, V. Lughì, A. Rossi and V. Sergo. Piezo-spectroscopy: A materials science perspective // Recent Res. Devel. Applied Spectroscopy. 1999 V. 2. P. 243 - 272
4. N. Murari, V. Sergo, G. Pezzotti, G. Katagiri, S. Meriani, T. Nishida. Raman Piezo-Spectroscopic Behavior of Aluminum Nitride // Appl. Spectrosc. 1997 № 51, P. 1761–1765
5. A. Zhumazhanova, A. Mutali, A. Ibrayeva, V. Skuratov, A. Dauletbekova, E. Korneeva, A. Akilbekov, M. Zdorovets. Raman Study of Polycrystalline Si_3N_4 Irradiated with Swift Heavy Ions // Crystals 2021 V. 11. P. 1313

6. S.J. Zinkle, V.A. Skuratov and D.T. Hoelzer. On the conflicting roles of ionizing radiation in ceramics // Nucl. Instr. Meth. 2002 V. 191. P. 758-766
7. T. Kitayama et al. Formation of ion tracks in amorphous silicon nitride films with MeV C₆₀ ions // Nucl. Instr. and Meth. B 2015 V. 356. P. 22-27
8. B. Canut et al. Ion-induced tracks in amorphous Si₃N₄ films // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2008 V. 266. №. 12-13. P. 2819–2923
9. A.J. van Vuuren, A. Ibrayeva, V. Skuratov, M. Zdorovets. Analysis of the microstructural evolution of silicon nitride irradiated with swift Xe ions // Ceramics International. 2020 V. 46. №. 6. P. 7155-7160
10. A.J. van Vuuren, V. Skuratov, A. Ibrayeva, M. Zdorovets. Microstructural Effects of Al Doping on Si₃N₄ Irradiated with Swift Heavy Ions // Acta Physica Polonica A. 2019 V. 136. P.241-244
11. Morita Y. et al. Surface effect on ion track formation in amorphous Si₃N₄ films // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2013 V. 315. P. 142-145
12. A. Zhumazhanova et al. Piezospectroscopic analysis of mechanical stresses in Si₃N₄ and AlN irradiated with high-energy bismuth ions // Вестник. Серия Физическая (ВКФ). Recent Contributions to Physics. Т. 81, № 2, 2022, С. 53-59
13. J.F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack. SRIM—The stopping and range of ions in matter // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. 2010 V. 268. №. 11-12. P.1818–1823
14. Аксянов И.Г., Компан М.Е., Кульков И.В. Комбинационное рассеяние света в мозаичных пленках карбида кремния // Физика твердого тела, Т. 52, №9, 2010, С. 1724-1728
15. S. Nakashima, H. Harima. Raman Investigation of SiC Polytypes // Physica status solidi (a). 1997. V. 162. №1. P. 39-64
16. J.C. Burton, F.H. Long, I. T. Ferguson. Resonance enhancement of electronic Raman scattering from nitrogen defect levels in silicon carbide // Journal of applied physics. 1999. V. 86. №4. P. 2073-2077
17. N. Muraki, G.Katagiri, V. Sergo, G. Pezzotti, T. Nishida. Mapping of residual stresses around an indentation in β-Si₃N₄ using Raman spectroscopy // Journal of materials science.1997 V. 32. P. 5419–5423

ОӘК 538.91

ҚҰРАМЫНДА W-O КОМПЛЕКСІ БАР ФОСФОРЛАРДЫ РЕНТГЕНДІК ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТАЛДАУ

Қабдрашов Жандос Жанатұлы

fanataryj@gmail.com

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ «7М05323 - Техникалық физика» білім беру

бағдарламасы бойынша 2 курс магистранты, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі – Аралбаева Г.М., Phd, доцент м.а.

Рентген құрылымын талдау (РҚТ) әдістері металдар, қорытпалар, минералдар, бейорганикалық және органикалық қосылыстар, полимерлер, аморфты материалдар, сұйықтықтар мен газдар, ақуыз молекулаларын, нуклеин қышқылдарын және т.б. зерттеуде қолайлы. Кристалдарды зерттеу кезінде бұл әдіс, яғни РҚТ ең көп ақпарат бере алады. Бұл кристалдар құрылымның қатаң жиілігіне ие екендігіне және рентген сәулелеріне арналған дифракциялық тор болып табылатындығына байланысты. Рентгендік құрылымдық талдау барысында зерттелетін үлгі рентген сәулелерінің жолына орналастырылады және сәулелердің затпен өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын дифракциялық суретті тіркейді. Зерттеудің келесі кезеңінде олар дифракциялық суретті талдайды және осы суреттің пайда