

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

7 447

18-88-193

**Беянина Р.Г.*, А.Ю.Дидык, Ж.И.Иевлева*,
В.И.Кузнецов, В.Б.Кутнер, И.М.Саратов*,
В.А.Скуратов, Ю.П.Третьяков**

**ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КСЕНОНА
НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО
И МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО
ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

Направлено в журнал "Поверхность. Физика, химия,
механика"

*Физико-энергетический институт, Обнинск

1988

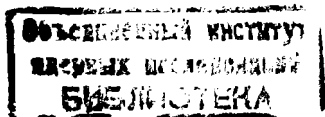
Важной и актуальной задачей радиационной физики твердого тела является исследование изменений механических свойств и структуры поверхности облученных различными видами излучений, в особенности нейтронами, кристаллов и поликристаллов. Одним из перспективных, с точки зрения практического применения, служит оксид алюминия, используемый в реакторах и других установках и испытывающий воздействие высоких уровней облучения /нейтронами, гамма-квантами и т.д./. Поэтому выяснение детального поведения свойств такого материала при облучении представляется необходимым.

Для моделирования нейтронного воздействия на различные материалы применяются электроны, легкие ионы /протоны, альфа-частицы/, а также тяжелые ионы высоких энергий^{/1/}. Основными преимуществами при изучении радиационных эффектов с использованием тяжелых ионов являются: высокая скорость создания точечных дефектов, относительно большие пробеги таких ионов, отсутствие активации и надежно контролируемые условия облучения /интенсивность пучка ионов, флюенс, температура/.

Как известно^{/1-4/}, облучение нейтронами с энергиями более 0,1 МэВ и тяжелыми ионами создает в материалах точечные дефекты /вакансии и межузельные атомы/, которые в процессе эволюции могут образовывать кластеры радиационных дефектов /межузельные и вакансионные петли, микропоры и другие/, приводящие в ряде случаев к возникновению микротрещин, а также за счет радиационно-стимулированной диффузии к перераспределению примесей, особенно при повышенных температурах облучения. Исследование влияния всех вышеперечисленных факторов на механические и поверхностные свойства материалов представляет значительный интерес.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния облучения тяжелыми ионами ксенона на механическую прочность при осевом сжатии поликристаллического и монокристаллического оксида алюминия, а также на изменения структуры поверхности и облученного слоя.

Облучение образцов осуществлялось на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ ионами Xe_{129}^{+8} с энергией 124 МэВ до дозы $2,5 \cdot 10^{15}$ ион/см², при средней интенсивности пучка $2 \cdot 10^{11}$ ион/см².с. На рис.1 приведены профили точечных дефектов и залегания внедренных ионов ксенона. Доза повреждений при входе в образцы оксида алюминия составляла 0,096 смещ/ат.,



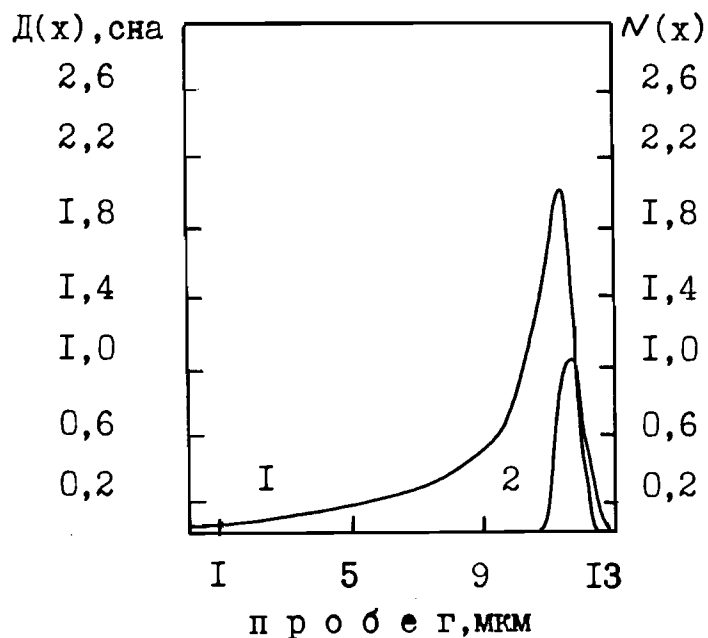


Рис.1. Профиль повреждений, создаваемых в Al_2O_3 ионами ^{129}Xe с энергией 124 МэВ при дозе $2,5 \cdot 10^{15}$ ион/см² /пороговая энергия смещения $E_d = 40$ эВ/ - кривая 1, профиль залегания внедренных ионов Хе - кривая 2.

что соответствует $\sim 3 \cdot 10^{21}$ нейтрон/см² / $E > 0,1$ МэВ/. Из рис.1 видно, что средний проективный пробег ионов ксенона указанной энергии составляет 11,6 мкм.

Образцы поликристаллического и монокристаллического оксида алюминия, выращенные по методике, описанной в работе^{5/}, представляли собой диски диаметром 6 мм и толщиной 2 мм и стержни цилиндрической формы диаметром 3,5 мм и длиной 7 мм.

Облучение образцов в виде дисков проводилось в неподвижном состоянии, причем пучок ионов падал нормально к плоской поверхности. Для улучшения теплообмена образцы приклеивались теплопроводящим клеем к охлаждаемой проточной водой поверхности, что позволяло поддерживать температуру облучения близкой к комнатной.

Образцы в виде стержней были облучены с четырех направлений через 90° до дозы $2,5 \cdot 10^{15}$ ион/см² для каждого направления, что позволяет считать облучение достаточно однородным по боковой поверхности.

Механические испытания образцов /стержней/, облученных и необлученных, были выполнены на гидравлической испытательной

машине типа ПД-4 /ГДР/. Нагрузку прикладывали с торцов образцов через медные прокладки толщиной 0,05 мм со скоростью 20...40 кгс/с.

Предел прочности при осевом сжатии $\sigma_{-в}$ вычислялся по формуле:

$$\sigma_{-в} = \frac{4P}{\pi d^2},$$

где P - разрушающая нагрузка, d - диаметр образца.

Результаты измерений приведены в таблице. Как видно из таблицы, исходный монокристаллический оксид алюминия имеет больший разброс предела прочности от образца к образцу, чем поликристаллический. Это же сохраняется и для облученных образцов. Уровень прочности в исходном состоянии поли- и монокристаллов практически одинаков. После облучения наблюдается резкое снижение /более чем в 2 раза/ предела прочности образцов монокристаллического оксида алюминия и небольшой подъем предела прочности поликристаллического оксида алюминия.

Таблица. Прочностные характеристики поликристаллов и монокристаллов оксида алюминия при осевом сжатии

Материал	Плотность, г/см ³	Состояние материала	Предел прочности при сжатии $\sigma_{-в}$, кгс/мм ²
Поликристалличес. Al_2O_3	3,97	До облучения	2700±300
Поликристалличес. Al_2O_3	3,97	После облучения	2800±200
Монокристалличес. Al_2O_3	3,99	До облучения	2500±600
Монокристалличес. Al_2O_3	3,99	После облучения	1200±400

Исследования изменений на поверхности образцов были выполнены на металлографических микроскопах при различных увеличе-

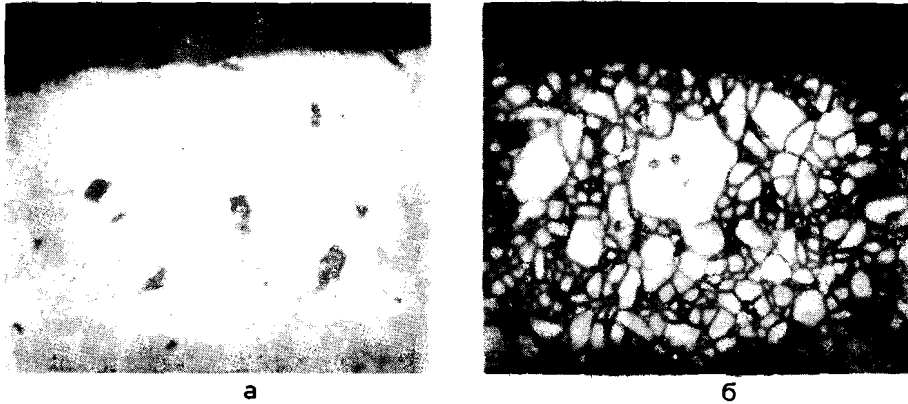


Рис.2. Фрагменты фотографий исходного поликристаллического Al_2O_3 до вакуумного травления /а/ и после него /б/. Увеличение 450.

ниях в отраженном свете. После облучения боковая цилиндрическая поверхность и поверхность дисков поликристаллического оксида алюминия улучшилась и приобрела глазурованный вид, в то же время для монокристаллических образцов на поверхности появились неровности, возможно, связанные с исходной дефектной структурой, возникшей при выращивании монокристаллов.

Из образцов были изготовлены шлифы по методике, принятой для керамических материалов. Микроструктура образцов выявлялась вакуумным травлением при температуре $1800^{\circ}C$.

На рис.2 приведены фрагменты фотографий структуры поликристаллического оксида алюминия до травления и после него, образец не облучен. На рис.3 показаны фрагменты фотографий облученного поликристаллического оксида алюминия до травления и после него. На рис.4 изображена микроструктура облученного монокристаллического оксида алюминия.

Сравнение микроструктуры облученного и необлученного оксида алюминия позволяет сделать вывод о том, что, во-первых, даже до травления шлифов четко проявляется слой поликристалла, подвергнутый воздействию ионов ксенона /см.рис.3а/, шириной 6,7 мкм /теоретический пробег таких ионов составляет 11,6 мкм, см. рис.1/, во-вторых, после травления, когда проявляется зернистая структура, наблюдается значительное измельчение размеров зерна в облученном слое; для сравнения, исходный размер зерна у поверхности /рис.2б/ составляет примерно $6 \div 7$ мкм, тогда как после облучения он уменьшается до $2 \div 3$ мкм, в-третьих,

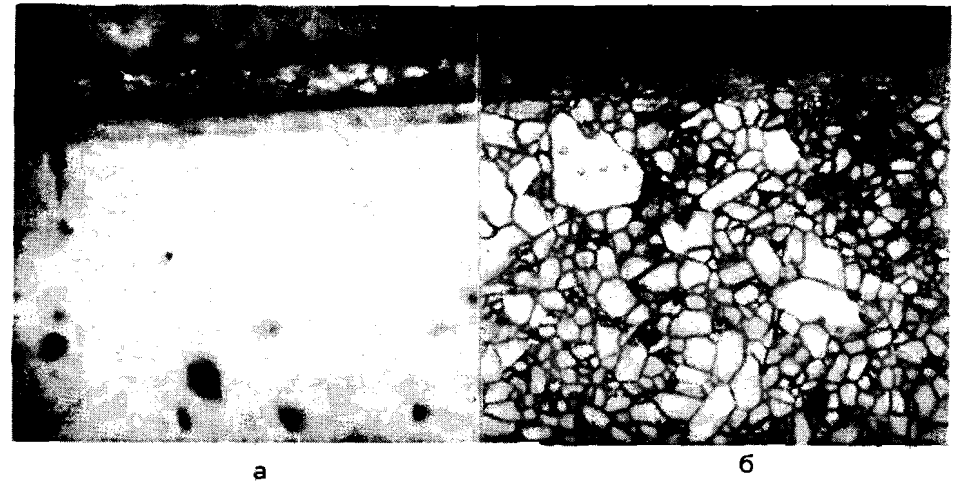


Рис.3. Фрагменты фотографий микроструктуры облученного ионами ^{129}Xe поликристаллического Al_2O_3 до вакуумного травления /а/ и после него /б/. Стрелками указана облученная зона. Увеличение 450.

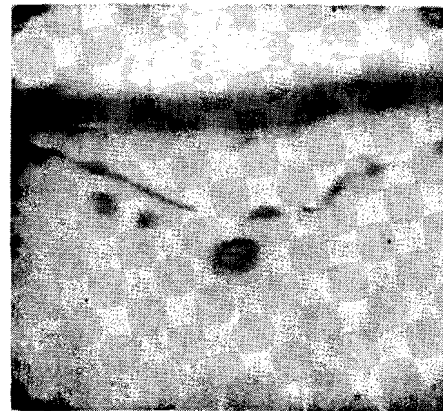


Рис.4. Фрагмент фотографии микроструктуры облученного ионами ^{129}Xe монокристаллического Al_2O_3 . Увеличение 450.

наблюдается поверхностная полировка и исчезновение неровностей. В то же время изучение структуры шлифов монокристаллического оксида алюминия показывает, что облучение приводит к образованию поверхностных микротрещин, которые могут служить местами концентрации напряжений.

ВЫВОДЫ

1. Облучение ионами ксенона с энергией 124 МэВ до дозы 0,096 смещ/атом на входе в образцы оксида алюминия приводит в случае монокристаллов к образованию микротрещин в облученном слое и к полировке поверхности с уменьшением размеров зерна в облученной зоне для поликристаллов.

2. Расчетное значение проективного пробега ионов ксенона^{16/} в оксиде алюминия в 1,73 раза превышает измеренное. Выяснение причин указанного отличия требует проведения дальнейших исследований.

3. Практически при одинаковых исходных пределах прочности для моно- и поликристаллических образцов оксида алюминия облученные образцы обнаруживают в случае монокристаллов снижение предела прочности в 2,1 раза, что по-видимому, можно объяснить образованием в облученной зоне микротрещин, являющихся концентраторами напряжений, и небольшому /в 1,04 раза/ увеличению предела прочности поликристаллов. На основании полученных экспериментальных данных можно сказать, что поликристаллический оксид алюминия обладает большей радиационной стойкостью, чем монокристаллический при облучении ионами ксенона.

В заключение авторы выражают признательность академику Г.Н.Флерову за полезные обсуждения и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтовский И.В. В кн.: Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. Том 21. Москва ВИНТИ, 1987, с.3.
2. Новая керамика. Под редакцией П.П.Будникова. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969, с.256.
3. Clinard F.W. et al. Structural Performance of Ceramics in a High-Fluence Fusion Environments. J.Nucl.Mat., 122, 1984, p.1386.
4. Ziegler J.P. Nucl. Instr. and Meth; in Phys.Res. B6, 1985, p.270.
5. Антонов П.И., Затуловский Л.М., Костычев А.С. и др. Получение профилированных монокристаллов и изделий способом Степанова. Л.: Наука, 1981, с.280.
6. Davisson C.M., Manning I. Comp. Phys. Commun., 1986, 42, p.137.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 марта 1988 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика