

05:07;10;12

Влияние ионизирующей и смещающей компонент протонного облучения на структурные изменения в нитриде бора

© В.А. Степанов, П.А. Степанов

Государственный научный центр РФ
Физико-энергетический институт, Обнинск

Поступило в Редакцию 4 февраля 1997 г.

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния исследованы структурные изменения в пиролитическом нитриде бора, облученного протонами с энергией 7 МэВ. Показано, что ионизирующая составляющая протонного облучения приводит к эффективному уменьшению количества межзеренных границ, а смещающая компонента — к образованию дефектов упаковки в структуре нитрида бора.

Важным вопросом радиационной физики твердого тела является вопрос о слиянии ионизирующей и смещающей компонент радиации на структурные изменения в твердых телах. Механизмы такого влияния, особенно в случае керамических диэлектрических материалов, до сих пор не изучены. Экспериментальное разделение различных вкладов радиации возможно при облучении материалов высокоэнергетичными частицами. В этом случае смещающая компонента радиации проявляется преимущественно в области конца треков частиц в материалах, а для большего участка треков характерно ионизирующее воздействие. В данной работе методом спектроскопии комбинационного рассеяния проведены структурные исследования областей облученного протонами пиролитического нитрида бора, соответствующие различным участкам треков ионов.

Пакет из тонких (60 мкм) 8 образцов был облучен протонами (энергия 7 МэВ, интенсивность $2.5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, доза $5.2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$), проективный пробег которых в нитриде бора составляет ~ 350 мкм. Для каждого образца измерялся профиль линии КР высокочастотных колебаний E_{2g} [1]. Спектры комбинационного рассеяния образцов из облученного пакета показаны на рис. 1. Из рисунка видно, что при

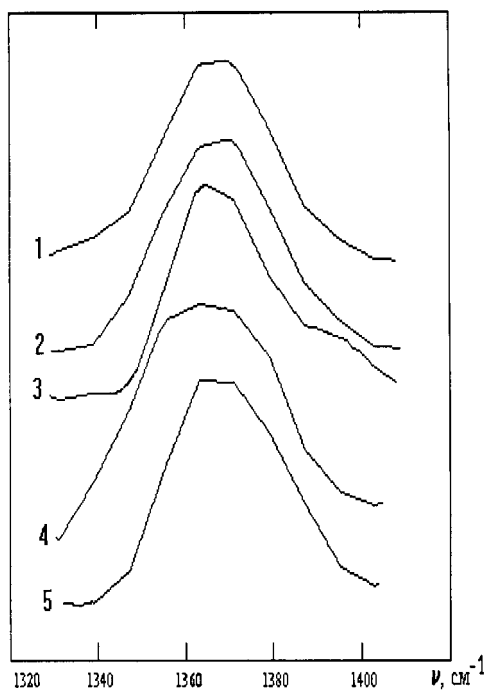


Рис. 1. Спектры комбинационного рассеяния образцов нитрида бора из облученного протонами пакета. 1 — образец N 1 (участок трека 0–60 мкм), 2 — образец N 3 (участок трека 120–180 мкм), 3 — образец N 5 (участок трека 240–300 мкм), 4 — образец N 6 (участок трека 300–360 мкм), 5 — образец N 7.

одинаковом положении максимума ($1365\text{--}1367\text{ см}^{-1}$) с увеличением номера образца (расстояния вдоль треков) происходит постепенное уменьшение ширины линии комбинационного рассеяния и существенное ее увеличение для 6 образца (расстояние 300–360 мкм). Сопоставление с расчетом по модели Кинчина–Пиза (программа TRIM-90) позволяет связать величины ионизирующей и повреждающей компонент протонного облучения с шириной линии комбинационного рассеяния (рис. 2). С увеличением ионизирующей компоненты ширина линии комбинационного рассеяния уменьшается. Области максимального повреждающего действия и накопления водорода (расчетный пробег протонов составил

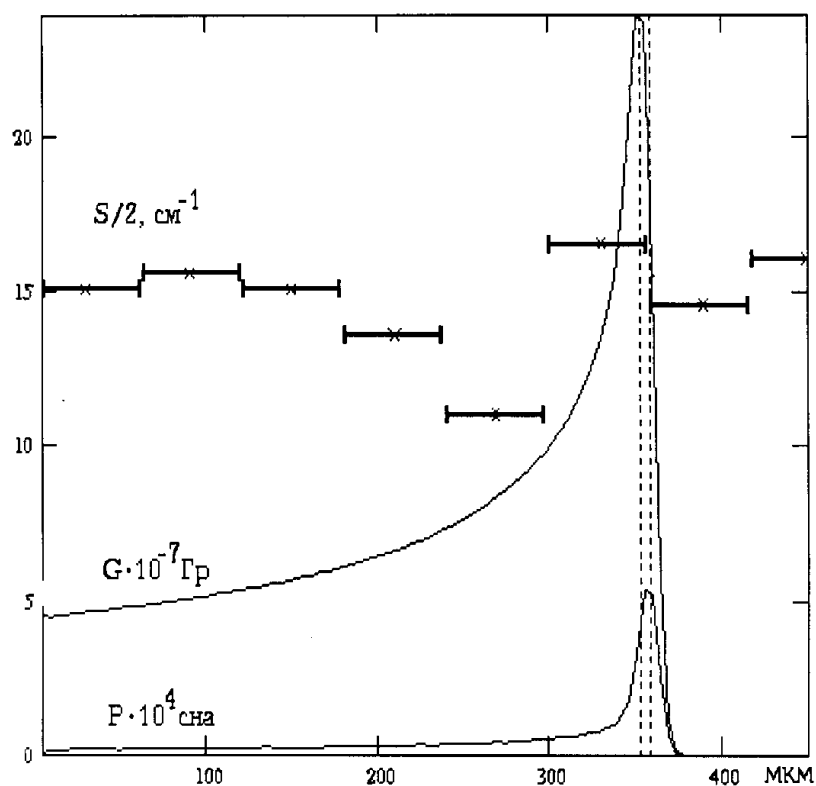


Рис. 2. Зависимость полуширины максимума комбинационного рассеяния ($S/2$) от длины пробега протонов в сравнении с рассчитанными зависимостями ионизационных потерь (G) и атомных смещений (P). Пунктиром отмечена область насыщения водородом.

356.5 мкм с дисперсией 6.2 мкм) соответствует широкая линия комбинационного рассеяния. Уменьшение ширины линии по сравнению с исходной также обнаруживается для более глубоких областей, которые подвержены ионизирующему действию тормозного гамма-облучения.

При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать, что пиролитический ВН является нанокристаллитным материалом с

определенной структурной иерархией [2]. Агрегаты размером до 2000 нм состоят из зерен размером ~ 100 нм, которые в свою очередь состоят из слабо разориентированных кристаллов размером 30–60 нм. Большое количество межзеренных и межкристаллитных границ оказывает значительное влияние на форму линии комбинационного рассеяния, которая в материалах из нитрида бора определяется совокупностью частот, смещенных относительно основной колебательной частоты [1].

Смещения основной частоты вызваны с одной стороны затуханием колебаний на поверхности кристаллов, с другой стороны локальными колебаниями на границах, связанными с примесями (водород, ионы галогенов) или с изменением констант жесткости атомных связей на границах. При затухании $\lambda/2$ на поверхности комплексная частота колебаний атомов в приповерхностной области выражается через основную частоту колебаний ω_0 [3]:

$$\omega = i\lambda/2 + \omega_0 - a\lambda^2/\omega_0, \quad (1)$$

где a — числовой коэффициент (~ 1). Смещение частот колебаний на $\Delta\omega \sim 10 \text{ см}^{-1}$ в BN происходит уже при $\lambda = 100 \text{ см}^{-1}$. При наличии локальных колебаний с частотой ω_n , отличной от собственной частоты ω_0 , убывание амплитуды колебаний атомов на частоте ω_n с ростом номера атома n описывается зависимостью [4]:

$$s_n = s_0 \{ (1 - \varepsilon)/(1 + \varepsilon) \}^n, \quad (2)$$

где $1 - \varepsilon = (\omega_0/\omega_n)^2$. Полагая, что уширение линии КР до 25 см^{-1} связано с наличием спектра локальных колебаний на поверхности кристаллитов, получаем, что сдвиг частот собственных колебаний происходит на расстояниях до 5 нм от поверхности кристаллитов BN. При размерах кристаллитов 30–60 нм до 30% атомов имеют частоты колебаний, отличающиеся от частоты ω_0 .

Уменьшение ширины линии комбинационного рассеяния связано с уменьшением доли атомов, частоты колебаний которых смещены, или с уменьшением количества границ в материале. Возможной причиной уменьшения доли границ при ионизирующем воздействии являются процессы релаксации свободных носителей радиационного происхождения на границах. В результате энергосвободного выделения на границах кристаллитов могут происходить процессы разрыва химических связей с примесями и частичной рекристаллизации.

С возрастанием доли смещающей компоненты облучения линия КР значительно уширяется (рис. 2). Уширение связано с радиационными дефектами и примесью водорода, накапливающимися в объеме кристаллитов и по границам. При этом асимметричное уширение линии комбинационного рассеяния в низкочастотную область (спектр 4 на рис. 1) указывает на образование дефектов упаковки в гексагональной структуре BN [1].

Авторы выражают благодарность Б.Н. Шарупину за любезно предоставленные образцы нитрида бора и Л.М. Крюковой за обсуждение полученных результатов.

Список литературы

- [1] Степанов В.А., Степанов П.А. // Оптика и спектроскопия. 1995. Т. 78. В. 3. С. 431–435.
- [2] Дедков В.С., Иванов Ю.Ф., Лопатин В.В., Шарупин Б.Н. // Кристаллография. 1993. Т. 38. В. 2. С. 217–222.
- [3] Ветров С.Я., Шабанов В.Ф. // Колебательная спектроскопия несовершенных кристаллов. Новосибирск, Наука, 1991. 124 с.
- [4] Madelung O. Festkörperteorie III. Lokalisierte Zustände. Springer-Verlag, 1973. 180 S.