

путем подбора параметров разряда можно добиться квазиоднородного профиля коэффициента усиления.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что для описания полученных распределений КУ недостаточно упрощенного рассмотрения профилей поступательной температуры $T(r)$ и концентрации CO_2 . Восстановленная зависимость $T(r)$ не удовлетворяет стандартному уравнению теплопроводности, и необходим учет диффузионных процессов, определяющих связанные распределения температуры и концентраций возбужденных молекул CO_2 и N_2 . Для уточненного расчета профилей КУ необходимо рассматривать нарушение концентрационной однородности среды за счет термодиффузии [6] и связанный с этим перенос тепла в сопутствующих химических процессах, эффективность которых различна по сечению капилляра. Представленные экспериментальные данные могут служить основой подробного теоретического анализа, результаты которого будут опубликованы позднее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ачасов О. В., Кудрявцев Н. Н., Новиков С. С. и др. Диагностика неравновесных состояний в молекулярных лазерах. Минск, 1985.
2. Васильев А. Б., Одинцов А. И., Спажакин В. А. // Квантовая электроника. 1989. 16. С. 1806.
3. Велихов Е. П., Ковалев А. С., Рахимов А. Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М., 1987.
4. Горднец Б. Ф., Осипов А. И., Шелепин Л. А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М., 1980.
5. Shaгр R. C. // J. Appl. Phys. 1987. 61. P. 5184.
6. Колчин А. В., Спажакин В. А. // ТВТ. 1989. 27. С. 820.

Поступила в редакцию
23.12.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 4

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.226.4:548.73

ВЛИЯНИЕ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ ДКДП

В. М. Авдюхина, А. А. Кацнельсон, Н. С. Колесова, Г. П. Ревкевич, Б. Н. Кодеcs
(кафедра физики твердого тела)

Проведены исследования *in situ* влияния облучения монохроматизированным рентгеновским излучением с энергией квантов 8 кэВ на структуру кристаллов ДКДП. Показано, что после 6 ч облучения происходят следующие обратимые явления: период решетки увеличивается на $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$, несколько уширяются и усиливаются дифракционные максимумы. Обсуждается природа обнаруженных явлений, вероятно связанных со смещением протонов в междоузлия решетки и последующим их коагулированием.

Влияние облучения на кристаллы сегнетоэлектриков с водородными связями изучалось многими авторами начиная с [1—3]. Для многих кристаллов, в том числе и КДП, была установлена сильная чувствительность диэлектрической поляризации к сравнительно слабым дозам γ -облучения [4]. Структурные исследования проводи-

лись с помощью оптической микроскопии [5], резонансными [6, 7] и рентгенографическими методами [8, 9]. Рентгеноструктурные исследования, проведенные на γ -облученных кристаллах сегнетовой соли и облученных в реакторе образцах КДП и АДП, выявили заметные структурные изменения в них. Эти изменения состояли в усилении остроты брэгговских максимумов после малых доз γ -облучения и размытии этих же максимумов после больших доз. После реакторного облучения было зафиксировано увеличение параметров решетки кристалла, а после больших доз — разрушение кристаллов. Было также установлено, что по крайней мере степень обнаруживаемых структурных изменений зависит от типа кристалла. Обнаруживаемые экспериментально большие изменения структуры кристаллов АДП означают, что слабым элементом структуры АДП является комплекс NH_4 .

В связи с этим представляет интерес выявление структурных изменений в кристаллах типа КДП после существования более слабых радиационных воздействий. Естественно, что для установления этих изменений было необходимо использовать более чувствительную методику.

Методика исследования

Наиболее прямой и чувствительный метод исследования структурных нарушений при облучении является метод *in situ*, при котором радиационное воздействие осуществляется при проведении рентгенодифракционного эксперимента тем же рентгеновским пучком, который после генерирования в рентгеновской трубке и последующей монохроматизации попадает на исследуемый и одновременно облучаемый образец. Образцами служили поликристаллы ДКДР, приготовленные путем растирания монокристалла и отбора фракции с размерами частиц 150—200 мкм. Исследование проводилось на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ-2 на монохроматизированном монокристаллом кремния Si K_α -излучении (энергия монохроматических квантов — 8 кэВ). Было проведено 4 серии измерений, каждая из которых включала измерения интенсивности, положения и профиля ряда рентгеновских линий, в том числе наиболее сильной (200), а также более слабых (220), (004), (440), (044) и др. через 1 и 5 ч после включения рентгеновского аппарата. Интенсивность первичного пучка рентгеновского излучения практически не менялась в течение рабочего дня, контроль проводился с помощью эталонного образца из отожженной меди.

Результаты эксперимента

Результаты измерений верхней части дифракционного максимума линии (200) до и после облучения рентгеновскими квантами приведены на рисунке. Отчетливо видны два эффекта: а) интенсивность дифракционного максимума в результате облучения растет примерно на 5—7%, что, безусловно, превышает ошибку измерений; б) интенсивность точек на профиле дифракционного максимума (в окрестности половины высоты максимума) понижается при $\theta > \theta_{\text{max}}$ и растет при $\theta < \theta_{\text{max}}$, и это может быть объяснено смещением дифракционного максимума в сторону меньших углов θ .

Величину этого смещения можно найти, исходя из следующих соображений. Профиль дифракционного максимума может быть записан в виде

$$I = I_0 e^{-(\chi - \chi_0)^2 / \delta^2}.$$

В этом выражении, вообще говоря, три неизвестных: I_0 , χ_0 и δ , которые могут быть определены, если воспользоваться значениями I в нескольких (не менее трех) точках на профиле линии. Прямой расчет показал, что в результате облучения максимум линии смещается на $0,4'$ по 2θ в сторону меньшего значения θ , расширяясь на 1—3%, а его интегральная интенсивность увеличивается на 5—7%. Обнаруженное этим способом смещение дифракционного максимума соответствует увеличению периода решетки в результате облучения на $1,5 \cdot 10^{-3}$ Å.

Изменение периода решетки оказалось несколько меньше той величины, которая была получена ранее [8] для кристалла КДП после облучения потоком нейтронов. Столь же интересно, что это изменение вполне обратимо, и после нескольких часов «отдыха» образца от воздействия рентгеновских лучей положение линии возвращается к прежнему.

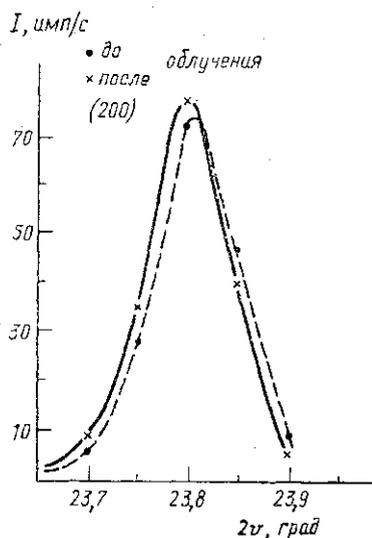
Представляет интерес также обратимый рост интенсивности дифракционного максимума после облучения. Известно, что рост интенсивности дифракционных максимумов может быть связан либо с уменьшением степени дефектности образцов, либо с уменьшением экстинкционных эффектов. Поскольку для дифракционных максимумов, расположенных под большими углами θ , изменения интенсивности отсутствуют, обнаруженный рост интенсивности определяется последним из упомянутых факторов. Полученные данные могут быть объяснены тем, что при рентгеновском, как и при γ -облучении [8], образуются вторичные электроны, которые в свою очередь производят смещения протонов в водородных связях. Вероятно, что в результате этих смещений образуются межузельные атомы, которые и приводят к увеличению периода решетки. Из-за высокой подвижности протонов межузельные атомы образуют коагуляты в виде дислокационных стенок, что и приводит к расширению и возрастанию дифракционных максимумов. После прекращения радиационного воздействия та же высокая подвижность протонов вызывает рассасывание возникших при облучении дефектов.

Таким образом, в данной работе показано, что структурные изменения в кристаллах ДКДП происходят и после облучения мягкими рентгеновскими лучами, энергия которых существенно меньше ранее использовавшегося γ - или реакторного облучения.

Данная работа частично финансировалась Российским фондом фундаментальных исследований по проекту «Фаза» (№ 9303-18-530).

ЛИТЕРАТУРА

1. Seidee F., Huber E. // Z. f. Phys. 1935. 97. P. 671.
2. Желудев И. С., Проскурнин М. А., Юрин В. А., Баберкин А. С. // ДАН СССР. 1955. 103. С. 207.



Профиль линии (200) до и после облучения

3. Желудев И. С., Юрин В. А.//Изв. АН СССР, сер. физ. 1956. 20. С. 211.
4. Пешиков Е. В.//Радиационные эффекты в сегнетоэлектриках. Ташкент, 1986.
5. Okada K.//Japan J. Appl. Phys. 1963. 2. P. 613.
6. Moulton G. C., Moulton W. E.//J. Chem. Phys. 1961. 35. P. 208.
7. Suzuki J., Awa R.//J. Phys. Soc. Japan. 1968. 25. P. 783.
8. Пешиков Е. А., Мухтарова Н. Н.//Изв. АН СССР, сер. физ. 1971. 35. С. 1939.
9. Krueger H. H. A., Cook W. R., Sartain C. C., Vockey H. R.//J. Appl. Phys. 1964. 34. P. 218.

Поступила в редакцию
09.12.94