

УДК 535. 548

НЕРАВНОВЕСНАЯ СИСТЕМА «НИТЕВИДНЫЙ КРИСТАЛЛ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ – РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ»

Паневин Н.А., студент гр. СДб -161, I курс
Серебряков Г.А., студент гр. ВВб-161, I курс
Научный руководитель: Т.В. Лавряшина, к.ф.-м.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Процессы радиационного образования электронных и дырочных центров окраски в щелочно-галогидных кристаллах (ЩГК), кинетика их накопления и разрушения подробно изучены как на монокристаллах, так и на образцах нитевидной формы. Кристаллы нитевидной формы, выращенные по методу Амелинка, отличаются пониженным содержанием исходных точечных и линейных дефектов. При облучении модельных ЩГК ионизирующей радиацией создаются термодинамически неравновесные условия, варьируя которые можно изучать и радиационную устойчивость материалов, и прогнозировать их поведение при внешнем воздействии, и использовать радиационные дефекты для записи и хранения информации в твердых телах (дозиметры, ячейки памяти).

Наиболее полно в ЩГК изучены электронные F -центры (электрон, находящийся в окрестности анионной вакансии удерживается электростатическими силами) и их агрегаты F_2 -центры.

На кинетических кривых радиационного накопления F - и F_2 -центров окраски как в нитевидных кристаллах (НК) (рис. 1), так и макрокристаллах (МК) NaCl проявляются экспоненциальные и линейные участки.

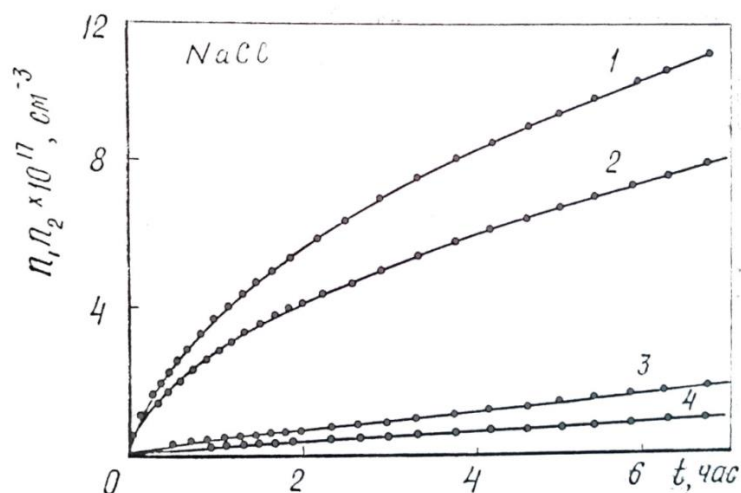


Рис. 1. Кинетика
радиационного накопления
электронных центров окраски
в НК NaCl: F -центры (1, 2),
 F_2 -центры (3, 4); толщина
кристалла $d = 40$ мкм (1, 3),
 $d = 62$ мкм (2, 4); $T = 293$ К

Кинетические кривые радиационного накопления электронных центров окраски в МК и НК NaCl различаются числом экспоненциальных участков: одна

в НК, две и более в МК. Стадия «быстрого» накопления F -центров объясняется возможностью их создания на дорадиационных дефектах.

Воздействие ионизирующего излучения на ШГК создает в них условия для образования повышенной концентрации анионных вакансий и, следовательно, для накопления и коагуляции центров окраски электронного типа. Накопление F -центров связано с судьбой атома Cl^0 или молекулы Cl_2 , ушедших из узла кристаллической решетки. Местом стока этих образований служат дислокации, блоки субструктуры, дорадиационные вакансии и др.

Однако при облучении протонами монокристаллов фтористого натрия были получены кинетические кривые накопления электронных центров иной формы: проявлялась ярко выраженная периодичность [1].

Аналогичные зависимости (рис. 2) были получены нами рентгенизацией тонких (порядка 10–20 мкм) НК NaCl при температурах, выше комнатной (313–333) К. Совершенство НК по сравнению с макрокристаллами очевидно. Однако тонкие кристаллы имеют дефект – большую удельную поверхность. Поверхность тонкого НК может служить местом стока междоузельных атомов Cl^0 . С другой стороны, в приповерхностном слое Лифшица – Гегузина велика концентрация анионных и катионных вакансий [2]. Эти условия способствуют как выживанию F -центров, так и их коагуляции с образованием F_2 -центров. Система, в которой отсутствует возможность создавать равновесные концентрации дефектов в анионной и катионной решетках, является открытой с точки зрения временной упорядоченности.

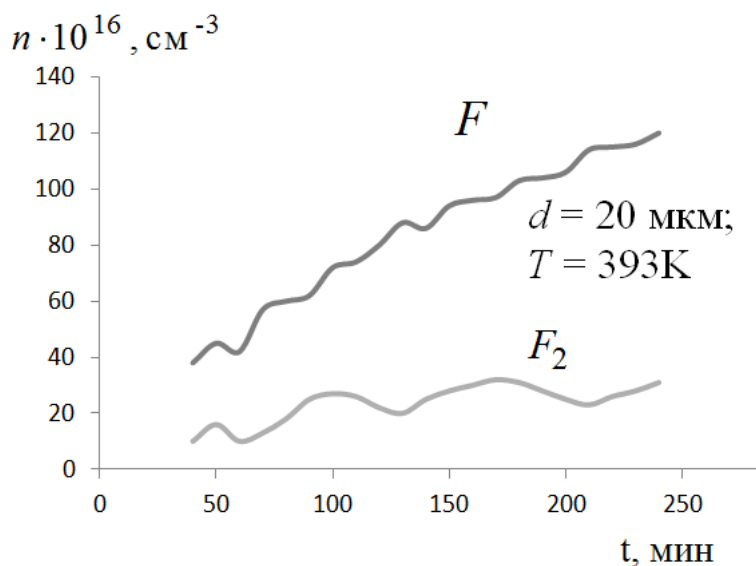


Рис. 2. Кинетика радиационного накопления электронных центров окраски в НК NaCl

На кинетических кривых накопления электронных центров в тонких НК при воздействии двух факторов радиации и температуры отсутствует монотонный характер увеличения концентраций F - и F_2 -центров. Экспериментально установлено, что проявление колебательных процессов при радиационном накоплении электронных дефектов в НК NaCl наиболее выражено в

тех случаях, когда система находится в неравновесных условиях радиационного воздействия. Такими условиями являются и уменьшение толщины образца, обеспечивающее нестихиометрию по анионам из-за их выхода из кристалла, и уменьшение вероятности взаимодействия пары «дефект – антидефект» [3] в приповерхностном слое, обогащенном вакансиями обоих знаков. С увеличением времени облучения в тепловом поле система стремится к некоторому равновесию, приводящему к затуханию осцилляционных процессов.

Термодинамические свойства неравновесной системы «нитевидный кристалл – рентгеновское излучение» обсуждаются с точки зрения модели Лотки – Вольтерры. Модель отбора на основе конкурентных отношений работает при рассмотрении взаимодействий любой природы. С термодинамической точки зрения эта модель описывает промежуточный процесс между устойчивым стационарным состоянием с минимальным производством энтропии и периодическим процессом с предельным циклом.

При изменении условий внешнего воздействия (вариация температуры облучения, обесцвечивание светом F -полосы, повторная рентгенизация) кинетические кривые накопления электронных центров имели вид, подтверждающий колебательный характер конкурирующих процессов образования и разрушения F - и F_2 -центров.

В рамках рассматриваемой модели Лотки – Вольтерры [4] процесс радиационного создания F_2 -центров при уменьшении концентрации F -центров может быть описан следующей системой уравнений.

$$\begin{aligned}\frac{dn_1}{dt} &= a_1 n_1 - b_1 n_1 n_2 \\ \frac{dn_2}{dt} &= -a_2 n_2 + b_2 n_1 n_2,\end{aligned}$$

где n_1, n_2 – концентрации F - и F_2 -центров, a_1, a_2, b_1, b_2 – параметры модели, определяющие характер изменения состояния системы.

Изменяя параметры и решая данную систему уравнений модели (например, с помощью программы MATLAB), можно исследовать закономерности изменения состояния изучаемой системы.

Таким образом, при конкуренции процессов создания и разрушения электронных дефектов в неравновесной термодинамической системе экспериментально наблюдаемая периодичность хода кинетических кривых радиационного накопления электронных F - и F_2 -центров в тонких НК NaCl может быть объяснена в рамках модели Лотки – Вольтерры.

Список литературы

1. Вайсбурд, Д. И. Особенности накопления F_1 и F_2 -центров в кристаллах NaF под действием протонов / Д. И. Вайсбурд, Э. У. Уметов // Известия Вузов. – 1973. – Т. 2. – С. 138–139.

2. Лифшиц, И. М. Поверхностные явления в ионных кристаллах / И. М. Лифшиц, Я. Е. Гегузин // ФТТ. – 1965. – Том 7. – С. 62–74.
3. Мелик-Гайказян, И. Я. Приповерхностный слой, обогащенный вакансиями, в нитевидных кристаллах NaCl / И. Я. Мелик-Гайказян, Д. И. Вайсбург, Т. В. Лавряшина // Докл. АН СССР. – 1977. – Том 235. – С. 1289–1292.
4. Пригожин, И. Порядок из хаоса : новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – Москва, 2003. – 312с.