

СОЗДАНИЕ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В КРИСТАЛЛАХ ФЛЮОРИТА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Е.Е. ТРУЩЕНКО, В.В. ШТЕЙНМАРК

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: tee11@tpu.ru

В качестве голографической среды широко используются кристаллы флюорита с центрами окраски. Распространенными способами создания этих центров являются аддитивное окрашивание и закаливание – стабилизация высокотемпературного разупорядочения кристалла CaF_2 [1]. Термическое разупорядочение анионной подрешетки сопровождается переходом в суперионное состояние. Аномалия удельной теплоемкости, насыщение ионной проводимости и резкое уменьшение упругих постоянных описываются как результат взаимодействия точечных дефектов и образования кластеров, время жизни которых уменьшается с ростом температуры [2]. Применение методики оптической спектроскопии с наносекундным разрешением [3] позволяет выявить особенности электронной структуры кластеров в предварительно нагретых кристаллах CaF_2 , что имеет большое значение для дальнейшего совершенствования технологии голографических сред.

Спектры поглощения кристалла CaF_2 , измеренные с разной задержкой относительно окончания импульса ускоренных электронов, показаны на рисунке 1. Разложение спектра 1 позволяет выделить полосы гауссовой формы на 3.2, 2.5, 4.0 и 4.6 эВ. Полоса на 3.2 эВ отнесена к поглощению F центров, комплементарными являются H центры (4.0 эВ). Согласно теоретическим данным люминесценция F центров в CaF_2 должна наблюдаться в ИК области спектра (~ 1.5 мкм), однако, не обнаружена до сих пор.

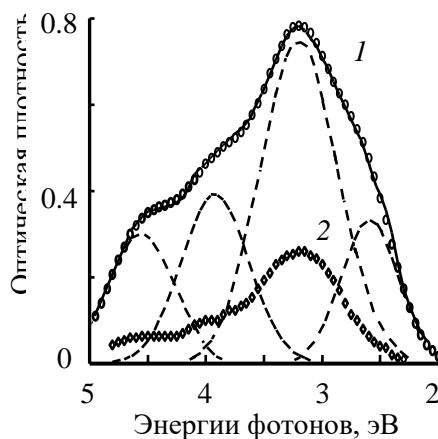


Рисунок 1 – Спектры поглощения кристалла CaF_2 , измеренные спустя 10 нс (1) и 10 мкс (2) после окончания импульса радиации при 500 К

Температурные зависимости эффективности создания (ЭС) F центров и неизвестных дефектов, поглощающих на 2.5 эВ, показаны на рисунке 2. ЭС всех центров окраски возрастает с ростом температуры облучения. Энергия активации процесса образования F центров окраски равна 0.4 эВ. Температурная зависимость ЭС неизвестных дефектов имеет вид кривой с максимумом при 500 К. Спектр люминесценции кристалла CaF_2 , измеренный при 500 К представляет собой широкую полосу с максимумом ~ 4 эВ. Наилучшая подгонка экспериментальных и расчетных данных получена в предположении, что релаксация наведенного поглощения и люминесценции происходит по реакции второго порядка.

Наличие инерционных стадий в затухании люминесценции свидетельствует о пост-радиационном механизме образования АЭ при рекомбинации электронов F центров с дырочными центрами.

Окраска аддитивно окрашенных кристаллов CaF_2 возникает в результате суперпозиции полос F и F -агрегатных центров окраски. По спектральному положению полоса на 2.5 эВ близка к положению длинноволновой полосы поглощения F_2 центров.

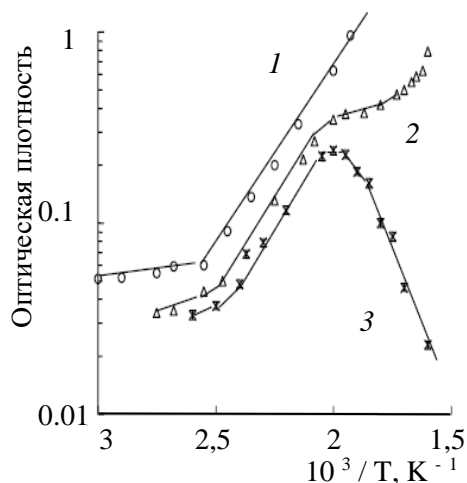


Рисунок 2 – Температурные зависимости ЭС F центров (1) и дефектов, поглощающих на 2.5 эВ (2).

Кривая 3 получена с учетом вклада F полосы

Концентрация F центров оценена по формуле Смакулы-Декстера, при 500 К она равна $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Это соответствует среднему интервалу между дефектами $\sim 40 \text{ \AA}$, т.е., расстоянию, на котором взаимодействие двух F центров с образованием F_2 центра вряд ли возможно. Также низка вероятность процесса образования F_2 центра при распаде на структурные дефекты двух экситонов в локальном месте кристаллической структуры.

Выше было отмечено, что нагрев кристаллов CaF_2 сопровождается разупорядочением анионной подрешетки. Вследствие взаимодействия между смещенными атомами образуется кластер типа $2|2|2$, состоящий из анионных вакансий, интерстициалов и дополнительно релаксированных, частично смещенных со своих узлов, анионов.

В рамках кластерной модели механизм радиационного повреждения кристалла CaF_2 можно представить следующим образом. Образующийся при ионизации интерстициала атом фтора образуют ковалентную связь с решеточным анионом в виде молекулярного иона типа F_2^- . Электроны захватываются на анионных вакансиях с образованием F подобных центров окраски.

Увеличение ЭС центров окраски с ростом температуры (рисунок 2) обычно описывается в рамках термоактивированного процесса распада экситонов на структурные дефекты – как добавка к кинетического энергии подвижного компонента. В рамках кластерной модели – это энергия термического разупорядочения анионной подрешетки и образования кластеров.

Список литературы

1. Ryskin A.I., Angervaks A.E., Veniaminov A.V. Fluorite crystals with color centers: A medium for recording extremely stable but broadly transformable holograms. // Holographic Materials and Optical Systems. – 2017. – P. 405–433.
2. Hutchings M.T., Clausen K., Dickens M.H., Hayes W., Kjems J.K., Schnabel P.G., Smith C. Investigation of thermally induced anion disorder in fluorites using neutron scattering techniques. // J. Phys. C: Solid State Phys. – 1984. – №17. – P.3903–3940.
3. Алукер Э.Д., Гаврилов В.В. и др. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галоидных кристаллах. Рига: Зинатне. – 1987. – 183 с.