

УДК 537.9

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ПРОЦЕССА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЩГ КРИСТАЛЛОВ ПОД НЕПРЕРЫВНЫМ ПОТОКОМ β -ЧАСТИЦ

© Г.В. Новиков, А.В. Чиванов, К.О. Нестеров, В.А. Федоров

Ключевые слова: импульсная люминесценция; электрический пробой; центры окраски.

В работе исследовано влияние низкоэнергетического потока электронов на щелочногалоидные кристаллы. Обнаружена импульсная люминесценция кристаллов в видимом и ультракоротком диапазоне длин волн. Выявлена зависимость люминесценции от потенциала кристалла и центров окраски.

Щелочногалоидные кристаллы (ЩГК) являются классом веществ, характеризующимся высокой упорядоченностью атомов в решетке. Основные ценные свойства это высокая прозрачность и высокая диэлектрическая проницаемость. Несмотря на изученность многих свойств данного класса материалов, до сих пор ведутся исследования в области воздействия радиации и высоких электрических полей.

Цели работы: исследование морфологических особенностей развития пробоя по поверхности в результате облучения ЩГК потоком β -частиц; исследование процессов, происходящих при зарождении кинетических центров окраски в ЩГК при радиационном воздействии и их релаксации.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Источником электронов служил электронный микроскоп ЭМВ 100-Л. Флюенс радиационного излучения составлял $\sim 1,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$, энергия квантов излучения 50 или 75 кэВ. Эксперимент проходил в условиях высокого вакуума при давлении $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па. В качестве объекта исследований использовали монокристаллы LiF, NaCl и KCl, примесное содержание которых не превышало 10^{-3} %вес. Радиационному воздействию подвергали кристаллы, подготовленные следующим образом: использовали свежевыколотые кристаллы (полученные непосредственно перед облучением) - I; использовали кристаллы предварительно облученные β -частицами в течение часа и затем выдержанные в течение недели при нормальных условиях - II. Подробная методика эксперимента изложена в работах [1–3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Было установлено, что наряду с постоянным свечением кристаллы LiF дают световые вспышки в видимом диапазоне, а кристаллы NaCl, KCl в коротковолновом диапазоне. Наряду с импульсной люминесценцией было обнаружено, что ее разгорание и тушение сопровождается накоплением и сбросом потенциала кристалла. Следует отметить, что степень выхода импульсной люминесценции и ее частота зависит от времени облучения и от методики подготовки образцов.

Так, для кристаллов I при малых временах облучения частота вспышек достигает 10 импульсов в секунду, но с меньшей интенсивностью, а при облучении в течение 1 часа частота вспышек снижается до двух раз, но при этом интенсивность вырастает в среднем до 1,5 раз. При облучении кристаллов II интенсивность и частота вспышек остаются постоянными с течением времени. В работах [1–3] явление импульсной люминесценции было рассмотрено более подробно.

Отмечено, что облучение кристалла LiF (I) сопровождается особенностями люминесценции. Спектр вспышек в течение облучения изменяется от коротковолнового к длинноволновому, в пределах видимого света. Кристалл LiF (II) в течение всего времени облучения излучал в длинноволновом диапазоне.

В результате облучения ЩГ кристаллы радиационно окрашивались, так, кристаллы LiF имели максимум в полосе поглощения при люминесценции, равный длине волны ~ 570 нм, KCl ~ 420 нм, NaCl ~ 710 нм [4]. После отжига в печи при некоторой критической температуре T_k кристаллы становятся полностью прозрачными для видимого диапазона длин волн. Для кристаллов LiF $T_k = 700$ °C, для KCl $T_k = 400$ °C, для NaCl $T_k = 500$ °C.

При облучении непрерывным потоком β -частиц ионных кристаллов создается благоприятная ситуация для развития пробоя по поверхности. При облучении кристалла LiF (методика I) в течение длительного времени пробой по поверхности не наблюдается. В кристаллах KCl (методика I) с первой минуты облучения образуются пробои по поверхности (рис. 1б), для кристаллов NaCl (методика I) необходимо время порядка 15 минут для их возникновения (рис. 1в). Для тех же кристаллов, но подготовленных по методике II, имеет место пробой по поверхности с момента начала облучения (рис. 1а, 1г). Следует отметить, что интенсивность излучения при возникновении пробоя является пренебрежимо малой величиной по сравнению с интенсивностью импульсной люминесценции кристаллов.

При исследовании морфологических особенностей поверхности кристаллов LiF обнаружены дендритные образования, распространяющиеся вдоль направлений развития пробоев (рис. 1а). Количественный элементный состав разрядного канала и поверхности рядом с

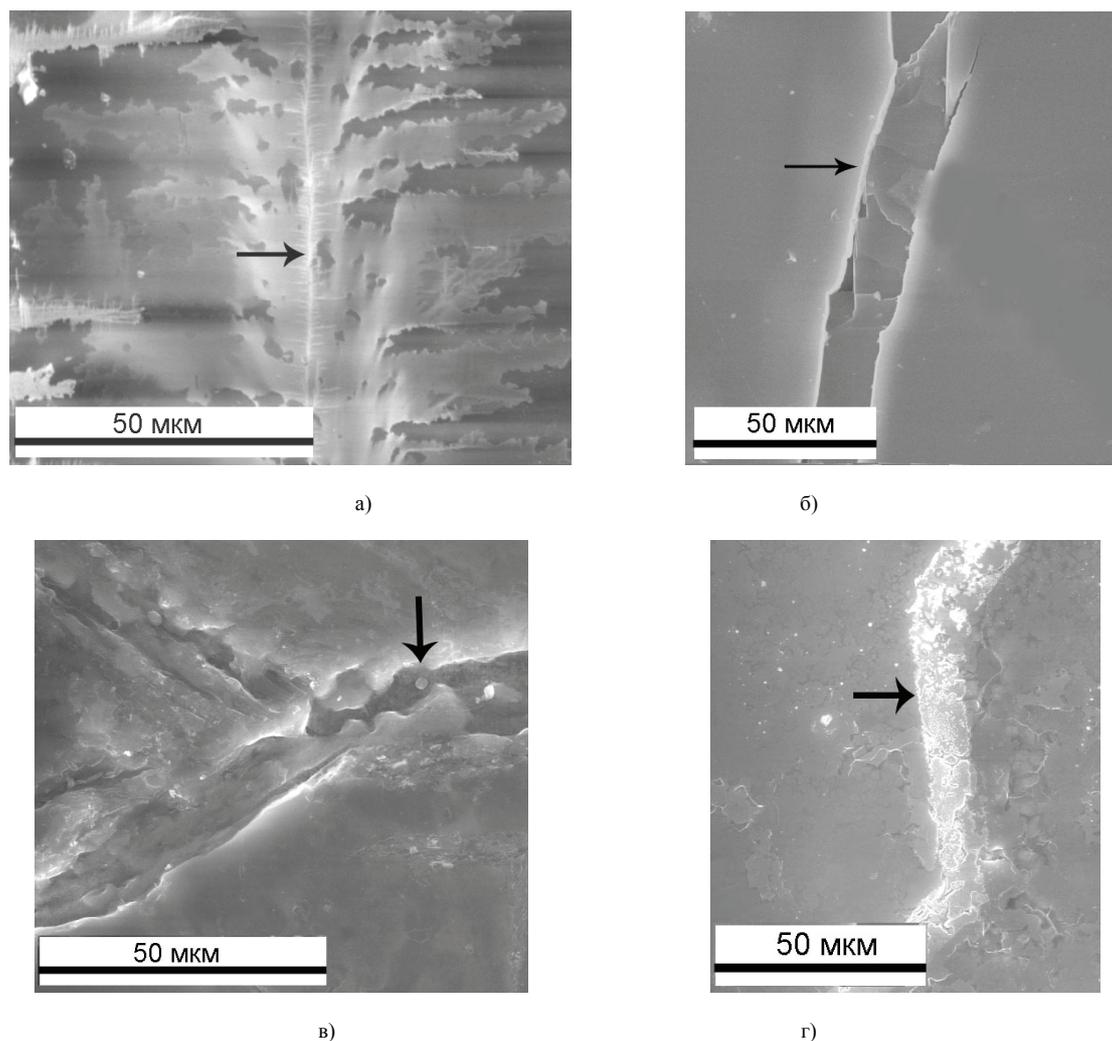


Рис. 1. Поверхность ЦГ кристаллов после облучения потоком β -частиц с энергией 75 кэВ в течение 1 часа: а) LiF «I», б) KCl «I», в) NaCl «I», NaCl «II». Стрелками показано разрушение поверхности при электрическом пробое кристалла

ним показал незначительное увеличение катионов Li^+ , K^+ и Na^+ на поверхности соответствующих кристаллов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Передача кристаллу некоторой энергии, превышающей пороговую величину энергии запрещенной зоны у ЦГК, приводит к появлению свободных электронов и дырок, неравновесных носителей заряда. Наряду с появлением неравновесных носителей заряда при облучении кристалла образуются кинетические центры окраски. При накоплении центров окраски и их последующей рекомбинации с образованием электронов происходит рост электронных концентраций [5–9]. После того как центры окраски под действием излучения переходят в возбужденное состояние, они спонтанно и безизлучательно релаксируют в состояние, начиная с которого кристалл импульсно излучает. Затем центры рекомбинируют с неравновесными носителями и возвращаются в основное состояние. Далее процесс повторяется. Переход от коротковолнового к длинноволновому излучению в спектре излучения кристаллов LiF (I) означает, что энергия выхода импульс-

ной люминесценции с течением времени падает. Это связано с тем, что не все центры окраски, образующиеся в процессе облучения кристалла, характеризуются высоким квантовым выходом импульса. Уменьшение частоты импульсов люминесценции связано с увеличением вероятности безизлучательного перехода, вероятность образования которого зависит от многих факторов, например от повышения температуры, от концентрации люминесцирующих молекул или примесей [5, 7].

Радиационное окрашивание кристаллов связано с образованием в поверхности кинетических центров окраски, причем существуют различные комбинации центров, и для каждого характерен свой диапазон длин волн и температура релаксации. Величина окрашенного слоя напрямую зависит от энергии частиц. При данных значениях энергии излучения в выбранных ЦГ кристаллах образуются в поверхностном слое в основном F -центры. Это подтверждено тем, что при определенной температуре центры окраски испытывают релаксацию вплоть до их полного исчезновения, что приводит к восстановлению изначальных оптических свойств. В результате отжига были установлены характерные температуры релаксации для облученных ЦГ

кристаллов, и они согласуются с литературными данными [10].

В постоянном электрическом поле, инициируемом потоком β -частиц поверхность кристалла стареет за счет перемещения ионов разного знака к разным электродам. Ионы металла, будучи заряженными положительно, передвигаются к катоду и формируют вблизи катода металлические, проводящие структуры, способствующие инициированию электрического пробоя. Непрерывный поток β -частиц оказывает воздействие на диэлектрик за счет термоэлектрических напряжений на его поверхности, что приводит к развитию микротрещин, кратеров, разрядных каналов. На морфологические картины разрушения поверхности ЩГК влияет энергия излучения, причем картины разрушения поверхности имеют не только внешние различия, но и отличаются по количественному элементному составу. Так, количественная оценка элементного состава поверхности облученных и необлученных ЩГ кристаллов показала, что в отличие от необлученных кристаллов в облученных происходит явление металлизации поверхности, что подтверждает изложенные выше результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Г.В., Гриднев А.В., Чиванов А.В., Федоров В.А. Проводимость поверхности диэлектрика в вакууме под действием потока β -частиц // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1090-1092.
2. Чиванов А.В., Новиков Г.В., Федоров В.А., Гриднев А.В. Поведение щелочно-галлоидных кристаллов при β -облучении // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1097-1098.
3. Новиков Г.В., Гриднев А.В., Чиванов А.В., Федоров В.А. Влияние монохроматического β -излучения на ионные кристаллы // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1238-1241.
4. Кочубей В.И. Формирование и свойства центров люминесценции в щелочно-галлоидных кристаллах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 192 с.
5. Мотт Е., Генри Р. Электронные и ионные процессы в ионных кристаллах. М.: Изд-во ИЛ, 1951. 304 с.
6. Войтович А.П., Калинов В.С., Науменко Н.Н., Ступак А.П. Радиационные центры окраски в приповерхностном слое кристаллов фтористого лития // Журнал прикладной спектроскопии. 2006. Т. 73. Вып. 6. С. 775-781.
7. Луцкич Ч.Б., Луцкич А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М.: Наука, 1989. 263 с.
8. Лисицын В.М., Сигимов В.И., Яковлев В.Ю. Распад электронных возбуждений на пары френкелевских заряженных дефектов в кристалле КJ // Физика твердого тела. 1982. Т. 24. № 9. С. 2747-2752.
9. Иванов В.А., Копышев М.Е. Безэлектродный электрический пробой диэлектрических кристаллов LiF в поле микроволнового излучения // XXIX Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС. Звенигород, 2002.
10. Синельников Б.М. Физическая химия кристаллов с дефектами: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2005. 134 с.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.

Novikov G.V., Chivanov A.V., Nesterov K.O., Fedorov V.A. Changes of surface and process condition of luminescence SCHG crystals under continuous β -particles flow

In the work the influence of low energy flow of electrons on alkali halide crystals is investigated. The pulsed luminescence of crystals in visual and ultra short diapason of wave lengths is found. The dependence of luminescence from crystals potential and color centers is made.

Key words: pulsed luminescence; electrical breakdown; color centers.