

## ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ СЕРЕБРА

<sup>2</sup>О.И. Шипилова, <sup>1</sup>В.П. Дресвянский, <sup>1</sup>Е.Ф. Мартынович, <sup>2</sup>А.А. Черных

### LUMINESCENT PROPERTIES OF DIELECTRIC CRYSTALS IMPLANTED WITH SILVER IONS

<sup>2</sup>O.I. Shipilova, <sup>1</sup>V.P. Dresvyansky, <sup>1</sup>E.F. Martynovich, <sup>2</sup>A.A. Chernykh

Исследовались люминесцирующие дефекты, индуцированные облучением кристаллов фторида лития ионами серебра с флюенсом порядка  $10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> и энергией 150 кэВ. Показано, что в спектрах поглощения облученных кристаллов фторида лития наблюдается несколько полос с максимумами поглощения на 250 нм, 441 нм и 410 нм, которые соответствуют F, F<sub>2</sub> и F<sub>3</sub><sup>+</sup> – центрам окраски, и плазмонному резонансу наночастиц серебра, соответственно. В спектрах свечения кристаллов при возбуждении люминесценции лазером с длиной волны 405 нм, наряду с характерными для F<sub>3</sub><sup>+</sup> и F<sub>2</sub> – центров окраски полосами с максимумами на 530 и 680 нм, соответственно, обнаружена полоса свечения с максимумом около 430 нм, устойчивая к процессу отжига образца при температуре 673 К. Изучение кинетики люминесценции показало появление в облученных образцах быстрых компонент с характерными временами затухания 0.2 нс и около 1 нс.

The paper presents the results of studies of luminescent defects induced by irradiation of dielectric crystals with silver ions. The alkali-halide crystals of lithium fluoride and calcium fluoride as the test samples have been used. The samples were irradiated with ions in the following way: fluence of the order of  $10^{18}$  ions / cm<sup>2</sup>, the energy of 150 keV - and then the luminescence centers induced by radiation were studied. The studies have shown that the absorption spectra of lithium fluoride crystals exposed to irradiation by silver ions there are several bands with absorption maxima at 250 nm, 441 nm and 410 nm. The first two bands are characteristic of radiation-colored crystals of lithium fluoride and are responsible for the absorption of F and F<sub>2</sub> (F<sub>3</sub><sup>+</sup>) are the color centers respectively. The third one is the so-called plasmon band due to the implanted silver ions. The emission spectra of the irradiated crystals of lithium fluoride under the luminescence excitation of laser irradiation of 375 nm wavelength along with characteristic F<sub>3</sub><sup>+</sup> color centers and F<sub>2</sub> bands with peaks at 530 and 680 nm, respectively, detected luminescence band with a maximum at 420 nm.

Интерес к изучению центров окраски фторида лития поддерживается многочисленными практическими приложениями этого материала. В частности, центры окраски являются рабочими центрами в термолюминесцентных детекторах радиации [Непомняшчих et al., 1984]. Известно, что введение в матрицу LiF различных примесей (Mg, Cu и др.), увеличивает чувствительность детекторов [Patil et al., 1995]. Недавние исследования показали, что к подобному эффекту приводит также допирование поликристаллической пленки LiF атомами Ag [Alharbi et al., 2013]. Представляет интерес выяснить влияние на люминесцентные свойства монокристаллической матрицы LiF имплантированных высокодозных энергичных ионов серебра.

Исследования спектрально-кинетических характеристик фотолюминесценции облученных ионами серебра образцов фторида лития проводились на высокочувствительном сканирующем конфокальном люминесцентном микроскопе с пикосекундным временным разрешением MicroTime 200 фирмы PicoQuant GmbH с пространственно-селективным время-коррелированным счетом одиночных фотонов. Спектры фотолюминесценции, измеренные при возбуждении пикосекундным лазерным излучением с длиной волны 405 нм, записывались спектрометром Ocean Optics 6500. Для подавления рассеянного на образце возбуждающего излучения люминесценция регистрировалась через светофильтр с длиной волны среза 430 нм. Спектры поглощения, исследуемых образцов, регистрировались на спектрофотометре СФ-56.

Из представленных на рис. 1 спектров поглощения видно, что в спектре поглощения кристалла фторида лития, облученного ионами серебра, наблю-

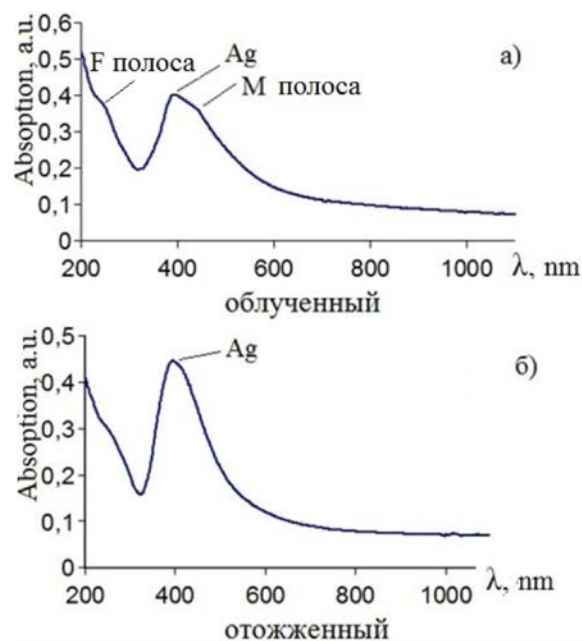


Рис. 1. Спектры поглощения кристалла LiF: а) имплантированного ионами серебра; б) имплантированного ионами серебра с последующим отжигом при  $T=673$  К.

дается широкая неэлементарная полоса поглощения в области 300–900 нм с тремя максимумами. Первый максимум находится в области 400 нм и соответствует поглощению оптического излучения плазмонами. Второй максимум на длине волны 441 нм, соответствует М-полосе поглощения F<sub>2</sub> и F<sub>3</sub><sup>+</sup> – центров окраски, характерной для радиационно окрашенных кристаллов фторида лития. Наблюдаемая на рис. 1 полоса в области 200–300 нм соответствует поглощению F – центров с максимумом на 250 нм.

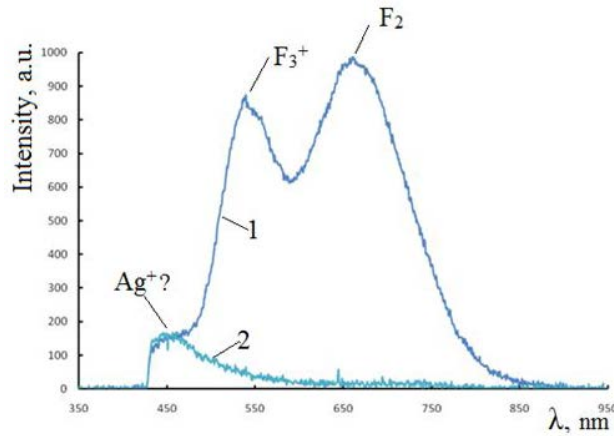


Рис. 2. Спектры люминесценции кристалла LiF 1) имплантированного ионами серебра; 2) имплантированного ионами серебра с последующим отжигом при  $T=673$  К.

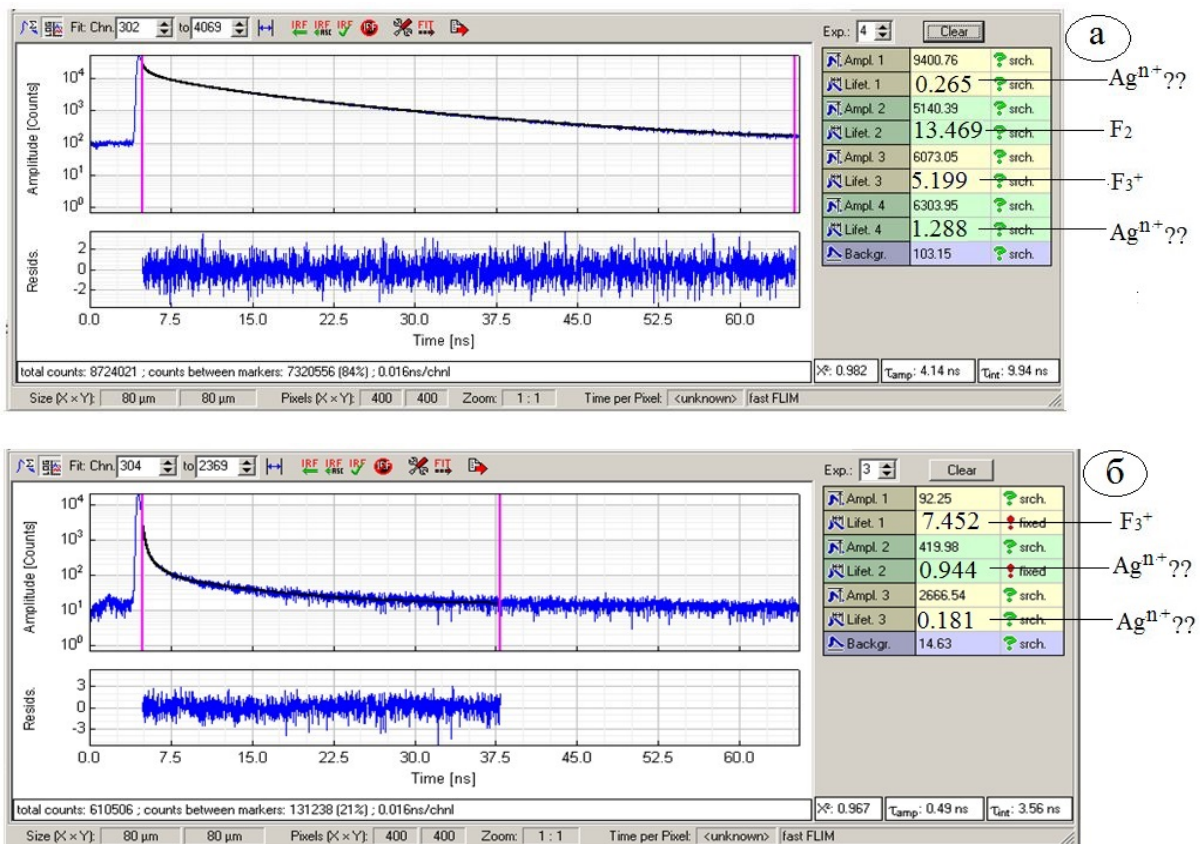


Рис. 3. Кинетика люминесценции кристалла фторида лития, а) имплантированного ионами серебра; б) имплантированного ионами серебра с последующим отжигом при  $T=673$  К.

После температурного отжига при температуре 673 К в течение получаса в спектрах поглощения, исследуемого образца, наблюдается спад F и M – полос поглощения, что свидетельствует о термическом разрушении радиационных центров окраски. При этом ширина полосы, соответствующая области 300–900 нм уменьшилась, приобрела вид элементарной полосы с одним максимумом в области 400 нм. После отжига относительная амплитуда плазмонного резонанса увеличилась, что обусловлено, по видимому, увеличением при отжиге размеров наночастиц [Иванов и др., 2011].

Определены спектрально-кинетические характеристики люминесценции облученных кристаллов. Анализ представленных результатов показывает, что при возбуждении люминесценции лазерным излучением с длиной волны  $\lambda_{\text{в}}=405$  нм (M-полоса поглощения) в спектре люминесценции облученных пикоосекундными лазерными импульсами образцов фторида лития наблюдаются две характерные для радиационно-окрашенных монокристаллов фторида лития полосы свечения F<sub>2</sub>-центров с максимумом длины волны излучения  $\lambda = 680$  нм и F<sub>3</sub><sup>+</sup> – центров с максимумом  $\lambda=540$  нм (рис. 2, кривая 1).

Полученные значения постоянных времени затухания люминесценции 13.5 и 5.2 нс (рис. 3, а), также близки к характерным значениям времен затухания  $F_2$  и  $F_3^+$  – центров в монокристалле фторида лития: 16 нс и 8 нс соответственно [Baldacchini, 2002].

Исследования спектров поглощения (рис. 1, б) и спектрально-кинетических характеристик люминесценции отожженного образца, показывают, что в результате термического отжига произошло практически полное разрушение  $F_2$  и  $F_3^+$  – центров окраски, их свечение не наблюдается в спектрах люминесценции (рис. 2 кривая 2). В спектрах свечения кристаллов наблюдается полоса свечения с максимумом около 430 нм, устойчивая к процессу отжига образца при температуре 673 К. Изучение кинетики люминесценции показывает наличие в исследуемых образцах быстрых компонент с характерными временами затухания 0.2 нс и около 1 нс. Авторы полагают, что наблюдаемая в спектрах люминесценции отожженных образцов полоса с максимумом около 430 нм обусловлена свечением ионов серебра, возможно сгруппированными в кластеры  $Ag^{n+}$ .

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований СО РАН (проект П.8.1.6)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Иванов Н.А. и др. Синтез и нелинейно-оптические свойства пленки LiF, содержащей наночастицы золота // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 7, вып. 19. С. 104–110.

Alharbi N.A. et al. Synthesis and characterization of nano- and microcrystalline cubes of pure and Ag-doped LiF // J. Phys. D. Appl. Phys. 2013. V. 46, n 035305. P. 6.

Baldacchini G. Colored LiF: an optical material for all seasons // J. Luminescence. 2002. V. 100. P. 333–343.

Непомняшчих А.И., Раджабов Е.А., Егранов А.В. Color Centers and Luminescence in LiF Crystals Novosibirsk, Russia: Nauka, 1984. 521 p. [in Russian].

Patil R.R., Moharil S.V. // J. Phys. Condensed Matters. 1995. V. 7. P. 9925–9931.

<sup>1</sup>Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия