

**ВЛИЯНИЕ АНИОННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СКОРОСТЬ
НАКОПЛЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА ЛИТИЯ,
АКТИВИРОВАННЫХ УРАНОМ**

Илхан Салих, соискатель НАН КР, Институт физики им. академика Ж. Жеенбаева
НАН КР (Кыргызская Республика, г. Бишкек, 720071, пр. Чуй 265-а)

Аннотация: В данной работе исследовались влияние анионных примесей на скорость накопления центров окраски в монокристаллах фторидов лития, активированных ураном. Рассмотрены возможный механизм образования F-центров окраски.

Ключевые слова: Кристалл, анион, примесь, центры, спектр, полоса, сульфат, выращивание, металл, интенсивность.

**INFLUENCE OF ANION IMPURITIES ON SPEED ACCUMULATIONS OF COLOR
CENTERS IN CRYSTALS OF LITHIUM FLUORIDE,
URANIUM ACTIVATED**

Ilkhan Salih, Applicant, NAS KR, Institute of Physics named after Academician
J. Zheenbaev NAS KR (Kyrgyz Republic, Bishkek, 720071, Chui Ave. 265-a)

Abstract: In this work, we studied the effect of anionic impurities on the rate of accumulation of color centers in single crystals of lithium fluoride activated by uranium. A possible mechanism for the formation of F-color centers is considered.

Key words: Crystal, anion, impurity, centers, spectrum, strip, sulfate, growth, metal, intensity.

**УРАН МЕНЕН АКТИВДЕШТИРИЛГЕН ФТОРЛУУ ЛИТИЙ
КРИСТАЛЛАРЫНДАГЫ БОЕЛУУ БОРБОРЛОРУНА, ТОПТОЛУУ
ЫЛДАМДЫГЫНА АНИОНДУК КОШУЛМАЛАРДЫН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

Илхан Салих, изденүүчү, КР УИАнын академик Ж. Жеенбаев атындагы физика
институту 720071, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш., Чуй пр. 265-а

Аннотация: Бул иште уран менен активдештирилген фторлуу литий кристаллдарындагы боелуу борборлоруна, топтолуу ылдамдыгына аниондук кошулмалардын тийгизген таасирлери. Боелуу F-борборлорунун пайда болуу мүмкүнчүлүк механизмдери каралган.

Урунттуу сөздөр: Кристалл, анион, кошулма, борборлор, спектр, тилке, сульфат, өстүрүү, металл, интенсивдүүлүк.

Под действием излучений высоких энергий в ионных кристаллах создаются и накапливаются электронные и дырочные центры. Наиболее массовыми и элементарными электронными центрами являются F-центры, при коагуляции которых создаются более сложные электронные центры. Накопление F- и F-агрегатных центров в значительной мере определяет изменение свойств ионных соединений. Известно, что F-центр есть электрон, захваченный эффективным полем анионный вакансии, поэтому все анионные вакансии

кристалла можно рассматривать как потенциальные F-центры. Такие вакансии могут быть изолированными или входить в состав структурных дефектов. Они возникают во время роста кристалла или под действием ионизирующего облучения.

Если “потенциальным центром” является ненарушенный узел и образование F-центра происходит без участия дорадиационного дефекта структуры, то механизм создания F-центра называется структурно нечувствительным. Если в образовании F-центров участвуют радиационные дефекты структуры, то механизм является структурно-чувствительным. Таким образом, существует два пути образования этих центров на дорадиационных и на радиационных вакансиях.

Для описания механизма образования центров окраски было предложено несколько моделей (обзор в [1]). Они, как правило, не учитывают влияния качества облучения на скорость образования дефектов и вероятность разрушения последних.

Рассмотрим возможный механизм образования F-центров окраски. Пусть в кристалле имеется определенное количество дорадиационных вакансий n_i (рис.1.). Обозначим через α_1 вероятность образования из них F-центров в единицу времени, вероятности выживания анионных вакансий γ_1 . В процессе облучения создаются новые вакансии n_g . Скорость их образования характеризуется параметром φ , зависящим от состава ионизирующего пучка и его мощности. Радиационные вакансии также могут образовать (с вероятностью α_2) или не образовать (с вероятностью γ_2) F-центры (обозначенные f). Возникшие центры окраски могут исчезать в процессе облучения- разрушаясь или, наоборот, превращаясь (коагулируя) в более крупные центры. Эту вероятность обозначим через β .

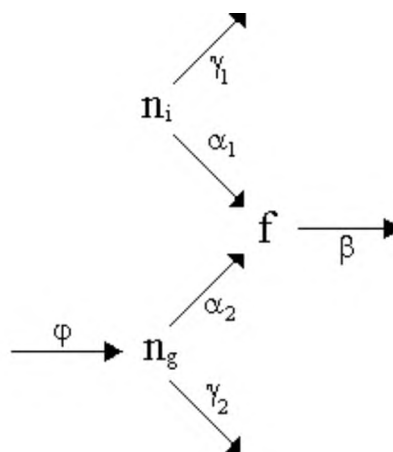


Рис 1. Схема образования

Данной схеме с учетом введенных обозначений соответствует следующая система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dn_i}{dt} = -(\alpha_1 + \gamma_1)n_i; & (1) \\ \frac{dn_g}{dt} = \varphi - (\alpha_2 + \gamma_2)n_g; & (2) \\ \frac{df}{dt} = \alpha_1 n_i + \alpha_2 n_g - \beta \cdot f & (3) \end{cases}$$

Граничные условия отражают наличие дорадиационных анионных вакансий и отсутствие F-центров и “вторичных” анионных вакансий в момент начала облучения:

$$n_i \Big|_{t=0} = N; \tag{4}$$

$$n_g \Big|_{t=0} = 0; \tag{5}$$

$$f \Big|_{t=0} = 0. \tag{6}$$

Решения уравнений (1) и (2) с учетом (4) и (5) имеют следующий вид:

$$n_i = Ne^{-(\alpha_1 + \gamma_1)t}; \tag{7}$$

$$n_g = \frac{\varphi}{\alpha_2 + \gamma_2} \left(1 - e^{-(\alpha_2 + \gamma_2)t} \right) \tag{8}$$

Подставим (7) и (8) в (3), и, учитывая (6), сгруппируем переменные и раскроем скобки:

$$\frac{df}{dt} + \beta \cdot f = \alpha_1 Ne^{-(\alpha_1 + \gamma_1)t} + \frac{\alpha_2 \varphi}{\alpha_2 + \gamma_2} \left(1 - e^{-(\alpha_2 + \gamma_2)t} \right); \tag{9}$$

$$\frac{df}{dt} + \beta \cdot f = \frac{\alpha_2 \varphi}{\alpha_2 + \gamma_2} + \alpha_1 Ne^{-(\alpha_1 + \gamma_1)t} - \frac{\alpha_2 \varphi}{\alpha_2 + \gamma_2} e^{-(\alpha_2 + \gamma_2)t} \tag{10}$$

После некоторых преобразований найдем решение уравнения

$$f = Ce^{-\beta \cdot t} - \frac{\alpha_1 N}{\alpha_1 + \gamma_1 - \beta} e^{-(\alpha_1 + \gamma_1)t} + \frac{\alpha_2 \varphi}{(\alpha_2 + \gamma_2 - \beta)(\alpha_2 + \gamma_2)} e^{-(\alpha_2 + \gamma_2)t} + \frac{\alpha_2 \varphi}{\beta(\alpha_2 + \gamma_2)}, \tag{11}$$

где С – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий. После нахождения С получаем:

$$f = n_1(1 - e^{-b_1 t}) + n_2(1 - e^{-b_2 t}) - n_3(1 - e^{-b_3 t}), \tag{12}$$

где

$$b_1 = \alpha_1 + \gamma_1; \quad b_2 = \alpha_2 + \gamma_2; \quad b_3 = \beta. \tag{13}$$

При малых b_2

$$n_2(1 - e^{-b_2 t}) \approx n_2 b_2 t \tag{14}$$

и без учета исчезновения центров ($n_3 = 0$) формула (12) переходит в известную формулу Митчела [2]:

$$f = at + n_1(1 - e^{-b_1 t}). \quad (15)$$

Таким образом, для описания кинетики накопления различных центров окраски можно использовать выражение (12).

В нем первые два члена описывают накопление центров, а третий - разрушение. Физический смысл первого слагаемого – накопление центров на дорадиационных вакансиях (быстрая стадия), а второго – на вновь образуемых (медленная стадия). Параметры n_1 и n_2 - максимально достижимые уровни образования, а n_3 - разрушения центров; b_1 , b_2 , b_3 - скоростные параметры образования и разрушения центров.

Рассмотренная схема достаточно хорошо описывает образование и других F-агрегатных центров окраски. Для образования M-центров необходимы две катионные вакансии. На рис.1 через α_1 и α_2 обозначаются вероятности образования, а через β вероятность разрушения M-центров. Соответственно параметры n_1 , n_2 , n_3 , а также b_1 , b_2 , b_3 должны быть отнесены к M-центрам.

Таблица

Кинетические параметры разложения M- и 570 полосы поглощения

Кристалл	Центр	$n_1, \text{см}^{-1}$	$b_1, \text{час}^{-1}$	$n_2, \text{см}^{-1}$	$b_2, \text{час}^{-1}$	$n_3, \text{см}^{-1}$	$b_3, \text{час}^{-1}$
LiF	M	4,46	0,27	10,90	0,19	0,55	0,20
LiF-OH	M	4,53	0,56	9,42	0,11	7,53	0,21
LiF-SO ₄	M	0,4	1,02	3,4	0,11	1,5	0,44
LiF-U	M	5,02	0,39	14,57	0,21	2,30	0,25
LiF-U, SO ₄	M	1,36	2,77	6,59	0,92	6,17	1,45
LiF-U SO ₄	570	4,5	1,25	0	0	1,26	0,65
LiF-U, OH	570	4,47	1,9	0	0	0,89	1,1
LiF-U, OH	M	3,62	0,29	18,64	0,14	10,31	0,25

В соответствии с этой формулой кинетические кривые накопления M-центров разлагали на три составляющие. Пример разложения показан на рис.2. Сумма трех экспоненциальных функций дает хорошее совпадение с результатами измерений. Параметры рассчитанных кривых сведены в таблицу. Из таблицы следует, что примесь OH способствует образованию M-центров на дорадиационной стадии, поскольку скорость b_1 увеличивается. По-видимому, эта примесь способствует образованию дорадиационных вакансий. То же происходит при легировании ураном. Одновременное введение этих разноименных примесей улучшает свойства кристалла.

Скорость разрушения наибольшая у кристалла LiF-OH, а уровень разрушения - у LiF-U, OH.

Таким образом, двойная примесь способствует созданию большого количества неустойчивых M-центров в процессе облучения.

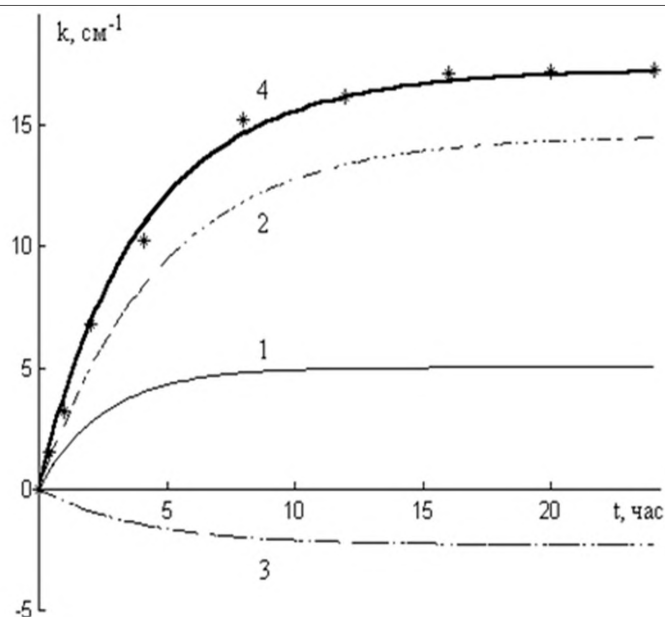


Рис.2. Кинетика накопления М-центров в кристалле LiF-U.
Точки - экспериментальные данные. 1) стадия накопления на дорадиационных вакансиях; 2) стадия накопления на радиационных вакансиях; 3) стадия разрушения; 4) результирующая кривая.

Анионная примесь OH^- и катионная примесь урана создают условия для образования дорадиационных центров окраски, поэтому параметр n_1 немного больше, чем в чистом. При добавлении обеих примесей вместе дефекты «залечиваются» и дорадиационных центров становится меньше. Двойные примеси способствуют созданию М-центров в процессе облучения. Это связано с тем, что OH^- и SO_4^{2-} поставляют электроны, а уран - катионные вакансии. Скорость создания М-центров (b_2) разная. Она наименьшая у кристаллов с двойной примесью, это по-видимому означает, что движение электронов в этих кристаллах затруднено из-за больших размеров кластеров. Скорость b_1 наибольшая в кристаллах LiF-OH, поскольку анионная примесь, являясь донором электронов, легко поставляет их на дорадиационные вакансии.

Таким образом, рассматривая количественные соотношения различных параметров, можно анализировать процессы, протекающие в кристаллах при накоплении центров окраски.

Выводы: В этой работе приведены результаты исследования влияния щелочной примеси OH^- и сульфатной примеси SO_4^{2-} на спектры фотолюминесценции и поглощения облученных и необлученных кристаллов LiF-U, OH.

Литература

1. Вайсбурд Д.И., Вайсбурд А.Г. Накопление F-центров в ионных кристаллах. Известия ТПИ им. Кирова. 1969, т.170, с.138-148.
2. Mitchell P.V., Wiegand D.A., Smoluchowski R. F-center growth curves. Phys. Rev. v.117, N2, 442-443, 1960.