

РОСТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ В MgF_2 С РОСТОМ ФЛЮЕНСА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

А.П.Сергеев, П.Б.Сергеев
Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

Использование метода разложения на индивидуальные полосы спектров наведенного поглощения в кристаллах MgF_2 позволило построить зависимости интенсивности этих полос, а значит и концентрации собственных дефектов, от флюенса электронного пучка. Анализируются особенности этих зависимостей и возможные следствия из них.

В работе [1] спектры наведенного электронным пучком (ЭП) поглощения в MgF_2 были разложены на 14 индивидуальных полос, которые были привязаны к собственным дефектам кристалла. На рис.1 показан типичный спектр наведенной ЭП оптической плотности в одном из образцов MgF_2 и его реконструкция на основе выделенных полос.

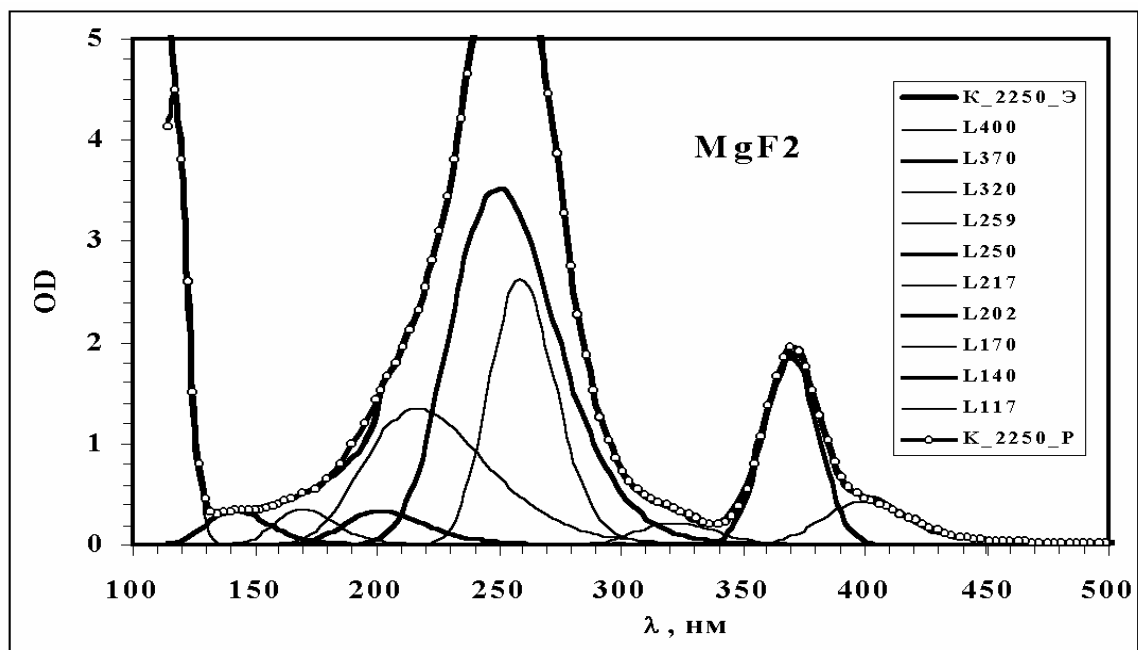


Рис.1. Разложение спектра оптической плотности образца K_2250 (образец из Korth Kristalle облученный ЭП с флюенсом 2250 Дж/см²) на индивидуальные полосы ($L\lambda_N$). K_2250_Э – экспериментальный спектр, K_2250_Р – расчетный спектр с учетом вклада от всех индивидуальных полос. Слабые полосы с $K_N < 0,1$ на графике не представлены.

Форма большинства из индивидуальных полос поглощения MgF_2 ($L\lambda_N$) при использовании в качестве переменной длины волны (λ) описывалась выражением (1):

$$L\lambda_N = K_N \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \left[\frac{\lambda_N + \Delta\lambda_N}{\Delta\lambda_N} \right]^2 \left[\frac{\lambda_N - \lambda}{\lambda} \right]^2 \right\}. \quad (1)$$

Здесь λ_N – положение максимума N-ой полосы поглощения, $\Delta\lambda_N$ – её полуширина на полувысоте, K_N – амплитудный коэффициент N-ой полосы в конкретном спектре. Для описания некоторых полос использовалось также выражение (2).

$$L\lambda_N = K_N \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \left(\frac{\lambda_N - \lambda}{\Delta\lambda_N} \right)^2 \right\}. \quad (2)$$

Характеристики индивидуальных полос, входящих в выражения (1-2), представлены в Таблице 1. Полосы, описываемые выражением (2), отмечены в первой колонке звездочкой. Амплитудные коэффициенты (K_N) в 4-й колонке получены при разложении спектра с рис.1. Ошибка определения λ_N была < 3 нм, а $\Delta\lambda_N$ - 10% [1].

Таблица 1.
Характеристики индивидуальных полос поглощения в MgF₂.

N	λ_N [нм] / [эВ]	$\Delta\lambda_N$ [нм]	K_N	Центр окраски
1	117 / 10,7	5	4,5	α
2	140 / 8,9	17	0,33	I
3	170 / 7,3	16	0,35	Примесная
4	202 / 6,2	22	0,33	M^+
5	217 / 5,7	33	1,35	M_2
6	250 / 5,0	28	3,53	F_1
7	259 / 4,8	17	2,63	F_2
8	276 / 4,5	12	0,01	F_0
9*	300 / 4,2	13	0,01	H
10	320 / 3,9	20	0,22	M_4
11*	370 / 3,37	13	1,85	M_1
12	400 / 3,1	23	0,42	M_3
13	465 / 2,7	33	0,02	H
14	517 / 2,4	35	0	Примесная?

В последней колонке дается перечень центров окраски ответственных за соответствующие полосы поглощения [1]. Такая привязка полос поглощения и центров окраски еще не устоялась и по ряду позиций нужны дополнительные доказательства.

За период изучения радиационных характеристик образцов MgF₂ разного качества у нас накопилось много спектров наведенного поглощения этих кристаллов в цифровом формате [1-3]. К настоящему моменту с использованием базисного набора полос была обработана еще одна группа спектров и построены зависимости интенсивности полос от флюенса ЭП. Эти зависимости и следствия из них и будут рассмотрены ниже.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Техника облучения образцов MgF₂ ЭП описывалась ранее в [1-3]. Образцы при облучении размещались в металлических нишах и прикрывались со стороны падения ЭП титановой фольгой в 14 мкм. Энергия электронов на образцах была около 280 кэВ. Плотность энергии ЭП за импульс 80 нс была ~ 2 Дж/см². За день делалось от 50 до 100 импульсов. Общий флюенс ЭП на образцах (F) является суммой флюенсов за все выстрелы к моменту очередного обследования образцов.

Спектры пропускания образцов в области 200-1000 нм в цифровом формате снимались на спектрофотометре Genesis-2 в день окончания очередного облучения, а в области 110-240 нм на спектрофотометрах ВМР-2 с задержкой после облучения в пределах месяца. Затем образцы повторно прописывались в видимой области и спектры “сшивались”. Полученные спектры T(λ) путем поточечного преобразования с учетом начального пропускания образцов преобразовывались в спектры наведенной оптической плотности, типа K_2250_Э на рис.1. Такой спектр затем и раскладывался на индивидуальные компоненты с соответствующими K_N.

Полученные зависимости K_N(F) для группы высокочистых образцов MgF₂ из ГОИ (MgF₂_Г) толщиной 4 мм с содержанием примесей на уровне 20 ppm показаны в разных масштабах на рис.2 и 3. Слабые полосы (L276, L300, L465 и L517) здесь не показаны. У них величина K_N была ~ 0.01 , что не позволило установить искомые зависимости.

Самые сильные полосы, в соответствии с [1], принадлежат α (L117) и F-центрам (L250 и L259). Их интенсивность почти линейно растет с F, достигая величины 2-3 у наиболее чистых образцов при F ~ 1000 Дж/см². Такого плавного роста интенсивности с ростом F не наблюдалось ни у одной другой из показанных на рисунках полос.

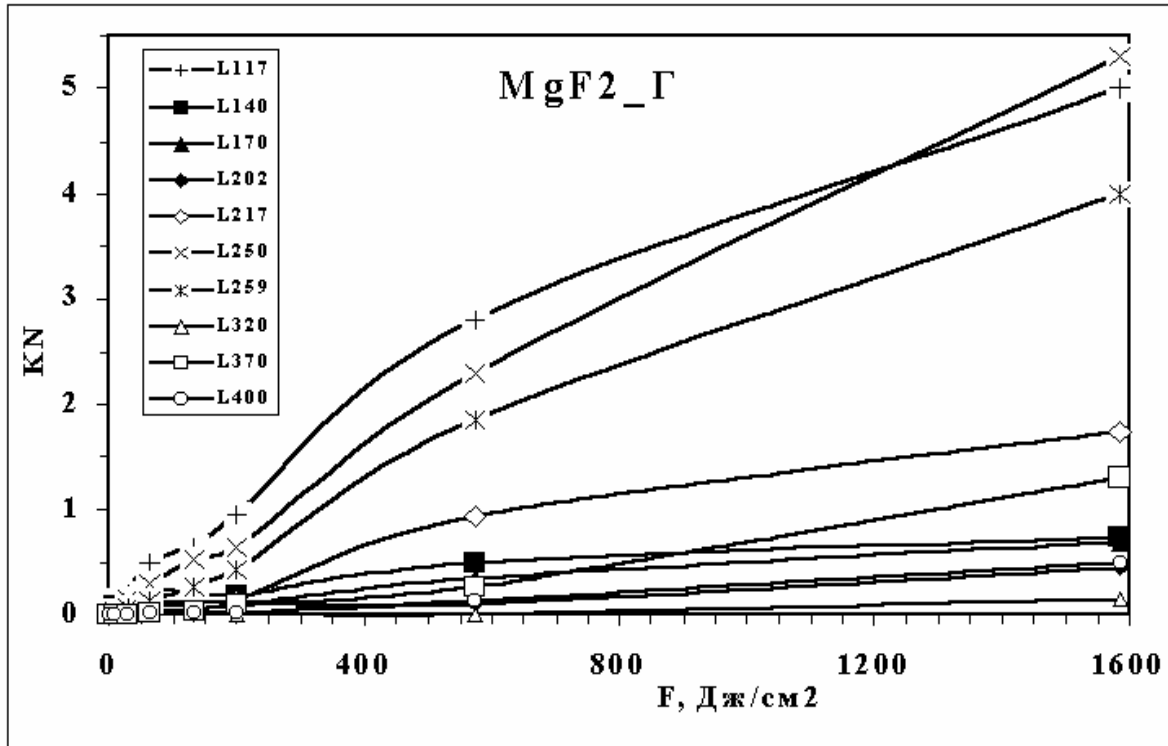


Рис.2. Зависимости интенсивности индивидуальных полос поглощения (K_N) в образцах MgF_2 от флюенса ЭП (F).

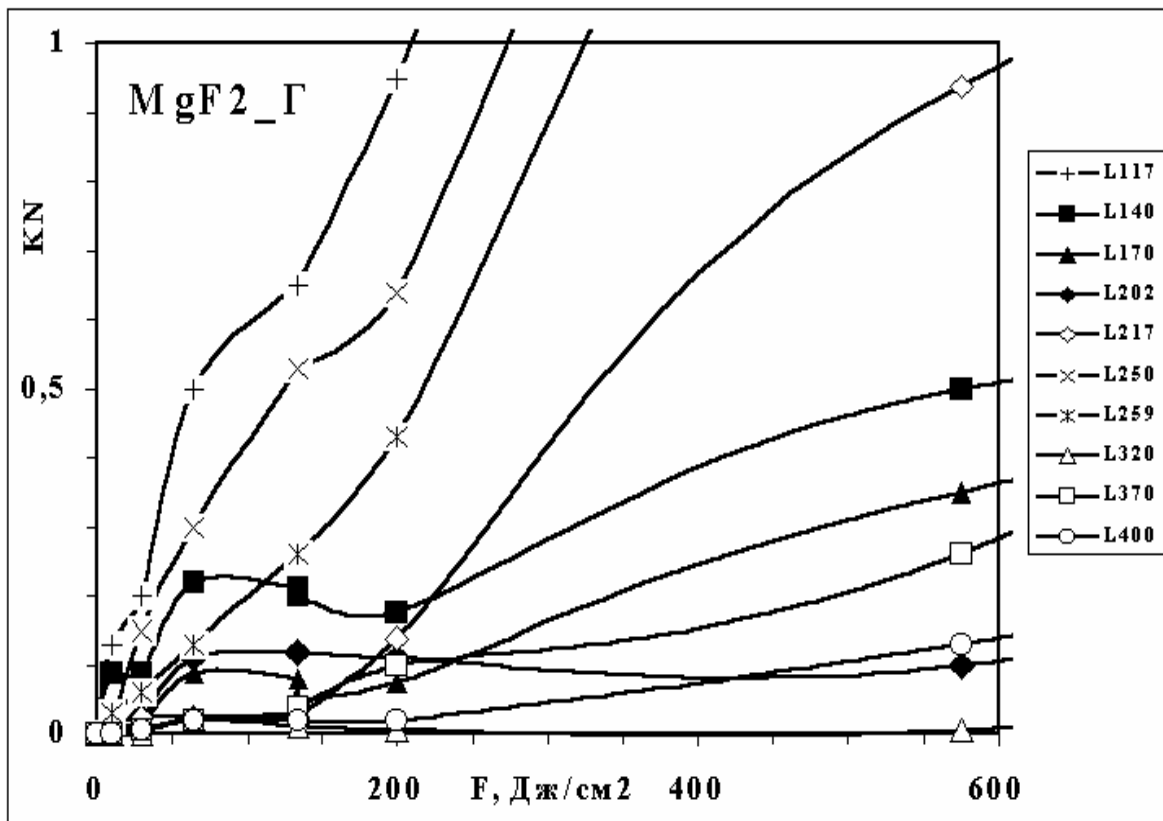


Рис.3. Те же зависимости $K_N(F)$, что и на рис.2, но в другом масштабе.

Странно ведут себя полосы с максимумами на 140 (**I-центры**) и 170 нм. Они быстро нарастают в самом начале облучения, но затем, после достижения величины порядка 0,5 при $F \sim 500$ Дж/см², их рост затормаживается, сменяясь иногда у наиболее чистых образцов даже небольшим спадом. При этом если полоса L140 хоть и слабо, но чувствует световое облучение образца в F-полосу, то L170 практически не чувствительна к разнообразным воздействиям [1]. Она может принадлежать или I-центрам локализованным на примеси, или разным зарядовым состояниям доминирующей примеси кислорода. Вопрос остается открытым.

Следующая по интенсивности группа полос с максимумами на 217, 370, 320 и 400 нм принадлежит M-центрам [1]. Зависимости их интенсивности от флюенса ЭП после начального участка ($F < 500$ Дж/см²) у всех обследованных образцов были практически линейными до предельно достигнутых $F \sim 10$ кДж/см². Согласно [4], при линейном росте F-центров концентрация их димеров, M-центров, должна расти квадратично! Это еще одно неясность в физике дефектообразования MgF₂. Далее отметим, что соотношения интенсивностей этих четырех полос сильно зависят от режимов световой подсветки при облучении и при хранении, а так же температуры образцов. При облучении в темноте в этой группе превалирует полоса на 217 нм, достигающая 1 при $F \sim 1000$ Дж/см². Не намного от неё отстает и полоса L370. Полоса L320 примерно вдвое, а L400 почти на порядок слабее первых двух. Но даже небольшая световая подсветка облученных образцов может радикально поменять эти соотношения [1]. Сильно разнятся эти полосы и по временам релаксации, что сказывается на зависимости получаемых результатах от времени прописывания образцов после облучения.

Необычно ведет себя и полоса L202. В [1] она была приписана M⁺-центрам, т.е. паре из α - и F-центров. Однако окончательный анализ поведения этой полосы от различных воздействий можно будет проводить позже, т.к. в области 120-180 нм располагаются еще и K- и L-полосы поглощения F-центров, присутствие которых пока не учитывалось в использовавшейся методике разложения спектров на полосы.

Анализ полученных результатов показывает, что процесс наработки собственных дефектов в MgF₂ при облучении электронным пучком на начальном этапе происходит с образованием α , I и F-центров. Но очень быстро основными нарабатываемыми дефектами становятся лишь α , и F-центры, а также их агломераты. Если приведенная в [1] привязка индивидуальных полос поглощения к собственным дефектам MgF₂ верна, то объяснить слабое проявления междоузельных атомов фтора (H-центров или L300) в спектрах можно или очень малым сечением поглощения этих центров, или тем, что в процессе облучения атомы фтора из кристалла уходят. Это может происходить через поверхность с дальнейшей диффузией анионных вакансий в объем. При этом кристалл может насыщаться и компонентами воздуха, в частности кислородом, что было отмечено в [1].

Выражаем благодарность Рейтерову В.М. за предоставление образцов MgF₂, а также Ставровскому Д.Б. за помощь в их прописывании.

Литература

1. *А.П. Сергеев, П.Б. Сергеев*, Квантовая электроника, 2008, **38** (3), 251-257.
2. *В.Д. Зворыкин и др.* VI международная конференция "Прикладная оптика-2004". Сборник трудов. Т.2. "Оптические технологии и материалы". 18-21 октября 2004. С.-Петербург. Россия. С.93-97.
3. *П.Б. Сергеев и др.* Оптический журнал, 2005, **72**(6), 85-89.
4. *А.А. Предводителев, Н.А. Тяпунина, Г.М. Зиненкова, Г.В. Бушueva.* Физика кристаллов с дефектами. - М.: Изд-во МГУ, 1986. С.37.