

04;06.3;07

©1993

## СОЗДАНИЕ ОПТИЧЕСКИ ПЛОТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ LiF КРИСТАЛЛА ПРИ ОКРАШИВАНИИ В МИКРОВОЛНОВОМ РАЗРЯДЕ

*Г.М.Батанов, В.А.Иванов, М.Е.Коньжев,  
В.А.Конюшкин, С.Б.Миров*

Для волоконной и интегральной оптики представляют интерес тонкослойные ( $\sim 1$  мкм) оптически плотные среды для создания миниатюрных лазеров и оптических усилителей, перестраиваемых в ИК диапазоне. Попытки создания планарных сред на основе формирования центров окраски (ЦО) в кристаллах фторида лития (LiF) с помощью импульсного электронного пучка [1] и мягкого рентгеновского излучения лазерной плазмы [2] показали перспективность использования низкоэнергетичного ионизирующего излучения. Однако толщины окрашенных слоев значительно превышали 1 мкм, а концентрации  $F_2$  ЦО не превосходили  $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

Новые возможности для получения на поверхности щелочно-галогенидных кристаллов (ШГК) окрашенных субмикронных слоев представляют микроволновые разряды, развивающиеся в вакууме на поверхности диэлектриков: вторично-эмиссионный электронный разряд (ВЭЭР) [3] и плазменно-факельный разряд (ПФР) [4]. Для этих разрядов характерны энергии электронов  $E_e = 10-10^4$  эВ, высокие импульсные плотности электронного тока  $j_e = 1-100 \text{ А/см}^2$  и значительные площади локализации вдоль поверхности кристалла. Большая плотность тока  $j_e$  вызывает интенсивное образование в ШГК электронных возбуждений, при распаде которых создаются высокие концентрации ЦО [5]. Малые длины торможения электронов в ШГК (0.01-0.1 мкм) гарантируют малость толщины окрашенного слоя.

Схема эксперимента и осциллограммы сигналов приведены на рис. 1. Микроволновое излучение с частотой колебаний 1.95 ГГц, мощностью 70-900 кВт, длительностью импульсов 1-35 мкс вводилось в прямоугольный волновод (давление воздуха  $10^{-4}$  Па), в котором возбуждалась  $TE_{10}$  мода. Выколотые по плоскостям спайности LiF пластины размерами  $8 \times 10 \times 60$  мм через запредельный патрубок волновода помещались в пучность электрического поля стоя-

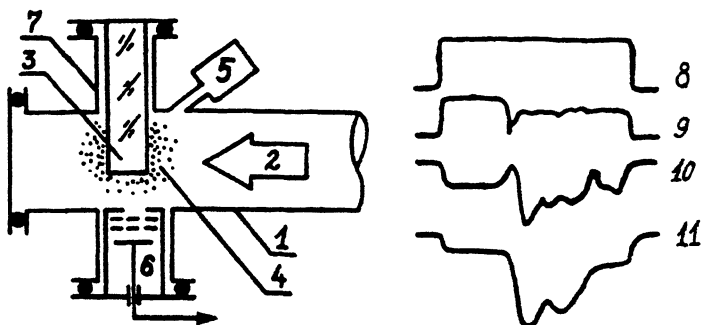


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — волновод, 2 — микроволновое излучение, 3 — LiF кристалл, 4 — разряд, 5 — ФЭУ-79, 6 — многосеточный зонд, 7 — запредельный патрубок  $\varnothing = 24$  мм; осциллограммы для случая ПФР: 8, 9 — падающее и отраженное микроволновое излучение соответственно, 10 — электронный ток из области разряда, 11 — свечение разряда.

чей волны. Эксперименты выполнялись при комнатной температуре. В процессе облучения кристаллов регистрировались мощность падающего на разряд и отраженного от разряда микроволнового излучения, электронный ток из области разряда, свечение кристалла и плазмы. После облучения в разряде изучались спектры оптического поглощения кристаллов в диапазоне длин волн 200–2500 нм (спектрофотометр СФ-20), структура поверхности и микрошлифы кристаллов (оптический микроскоп). На спектрах (рис. 2) изображены зависимости оптической плотности кристаллов  $D = \lg(I_0/I)$  от длины волны света  $\lambda$ , где  $I_0$ ,  $I$  — интенсивности падающего и прошедшего света.

После воздействия нескольких тысяч микроволновых импульсов с образованием ВЭЭР цвет LiF пластин из бесцветного становился желтым. В спектрах кристаллов появлялись две полосы поглощения с максимумами вблизи 250 и 445 нм и полуширинами  $\sim 36$  нм (рис. 2, а), что характерно для F и F<sub>2</sub> ЦО. При этом примесное поглощение вне полос поглощения ЦО оставалось на уровне исходного. Увеличение длительности разрядов или их числа приводило к росту оптической плотности  $D$  в полосах поглощения ЦО. Повышение мощности микроволнового излучения или наложение постоянного магнитного поля с величиной индукции, близкой к гирорезонансу, приводило к увеличению оптической плотности  $D$  и толщины окрашенного слоя.

После микроволнового облучения кристаллов с образованием ПФР на их поверхности также обнаружен эффект окрашивания в тонком слое. В некоторых режимах облучения кристаллов с образованием ПФР (как и в режимах с образованием ВЭЭР) наблюдается селективная генерация

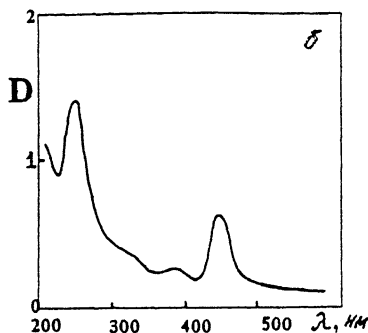
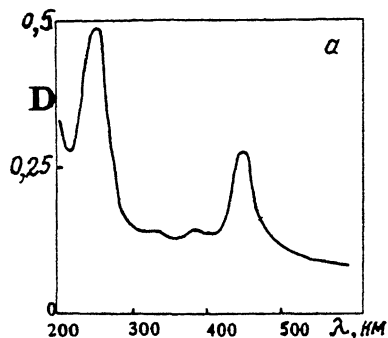


Рис. 2. Спектры поглощения LiF кристаллов после облучения в микроволновых разрядах (*а* — ВЭЭР с магнитным полем, *б* — ПФР); *а*: мощность импульсов 800 кВт, длительность импульсов 35 мкс, число импульсов 21600, суммарное время облучения 756 мс; *б*: мощность импульсов 800 кВт, длительность импульсов 0,5 мкс, число импульсов 4000, суммарное время облучения 2 мс.

F и F<sub>2</sub> ЦО с формированием в спектрах окрашенных кристаллов контрастных полос указанных ЦО (рис. 2,б). Однако, как следует из рис. 2, для получения сравнимых по величине плотностей *D* суммарное время экспозиции в режимах ВЭЭР и ПФР должно составлять 2 с и 2 мс соответственно. Более эффективное окрашивание кристаллов в режиме ПФР (по сравнению с ВЭЭР), по-видимому, происходит как за счет увеличения энергии электронов, так и за счет роста плотности тока  $j_e$  на поверхность кристалла. Контрастность полос поглощения ЦО зависит от мощности *P* микроволнового излучения и длительности импульсов ПФР. Так, при мощности  $P = 70$  кВт контрастные полосы F и F<sub>2</sub> ЦО были получены при длительности импульсов до 20 мкс. При мощности  $P = 800$  кВт для получения подобного контраста полос F и F<sub>2</sub> ЦО необходимо было уменьшить длительность до 0,5 мкс (рис. 2,б). Увеличение длительности до 20 мкс при мощности  $P = 800$  кВт практически не приводило к увеличению *D* в полосах поглощения F и F<sub>2</sub> ЦО, но заметно уменьшало контрастность полосы F<sub>2</sub> ЦО. По-видимому, при данном режиме окрашивания кристаллов образуются не только F и F<sub>2</sub> ЦО, но и более сложные F-агрегатные ЦО. Данный режим экспозиции характеризуется также растрескиванием поверхности по плоскостям спайности. Образование сплошного фона поглощения и растрескивание кристаллов при окрашивании в режиме ПФР, по-видимому, связаны с высокой плотностью энерговыделения и диффузией теплового потока за время импульса в слое толщиной  $\sim 10^{-3}$  см, определяемой температуропроводностью, что вызывает его

нагрев до десятка градусов и возникновение в нем температурного градиента до  $10^4$  К/см.

Толщина окрашенного слоя оценивалась на поперечном шлифе кристалла. Для всех упомянутых выше режимов экспозиции для кристаллов с плотностью  $D < 2$  толщина слоя не превышала 1 мкм. Оценки по формуле Смакулы показывают, что порядок достигнутых концентраций  $F$  и  $F_2$  ЦО составляет  $10^{20} - 10^{21}$  см $^{-3}$ , что на один-два порядка превышает полученные ранее максимальные значения [1,2]. Кроме того, концентрации  $F$  и  $F_2$  ЦО имеют один порядок величины. Такое соотношение между концентрациями  $F$  и  $F_2$  ЦО радикально отличается от квадратичной зависимости между ними, характерной для случая объемного окрашивания ШГК с помощью жесткой ионизирующей радиации [5]. В последнем случае формирование  $F_2$  ЦО идет через стадию образования  $F_2^+$  ЦО по схеме:  $F + V_a^+ \rightarrow F_2^+$ ;  $F_2^+ + e^- \rightarrow F_2$ , где  $V_a^+$  — анионная вакансия,  $e^-$  — электрон, причем концентрации наведенных ЦО удовлетворяют соотношениям:  $[F] \gg [F_2^+] \gg [F_2]$ . Между тем в спектрах окрашенных кристаллов нам не удалось зарегистрировать полосу поглощения  $F_2^+$  ЦО. По-видимому, в микроволновых разрядах реализуется существенно другой механизм образования  $F_2$  ЦО.

Заметим, что несмотря на высокую плотность возбуждений, создаваемых в кристалле во время разряда, энергия, затраченная на образование ЦО, составляет лишь  $\sim 10^{-3}$  часть от энергии электронного потока в каждом импульсе разряда.

### Список литературы

- [1] Мартынович Е.Ф., Барышников В.И., Григоров В.А. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 14. С. 875-878.
- [2] Мирон С.Б., Пашинин П.П., Сидорин В.С., Шкловский Е.И. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. В. 8. С. 1646-1648.
- [3] Гришин Л.В., Дорофеев А.А., Косый И.А. и др. // Тр. ФИАН. 1977. Т. 92. С. 82-131.
- [4] Батанов Г.М., Иванов В.А., Косый И.А., Сергейчев К.Ф. // Физика плазмы. 1986. Т. 12. В. 5. С. 552-565.
- [5] Луцкич Ч.Б., Луцкич А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М.: Наука, 1989. 264 с.

Институт общей физики РАН  
Москва

Поступило в Редакцию  
4 августа 1993 г.