

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕНТРОВ КИСЛОРОД—ВАКАНСИЯ В КРИСТАЛЛАХ NaCl

Раджабов Е. А.

Существование центров кислород-вакансия в электролитически окрашенных кристаллах NaCl—NaNO<sub>3</sub> установлено по изучению диэлектрических потерь, вызываемых переориентацией центров [1]. В [2-4] доказано, что полоса поглощения с максимумом при 5.4 эВ, появляющаяся после аддитивного окрашивания кристаллов NaCl с примесями NaOH и NaNO<sub>3</sub>, прямо пропорциональна величине пика диэлектрических потерь и принадлежит центрам кислород-вакансия. В настоящей работе изучен процесс образования центров кислород-вакансия в кристаллах NaCl—OH при аддитивном окрашивании и изучены оптические свойства этих центров.

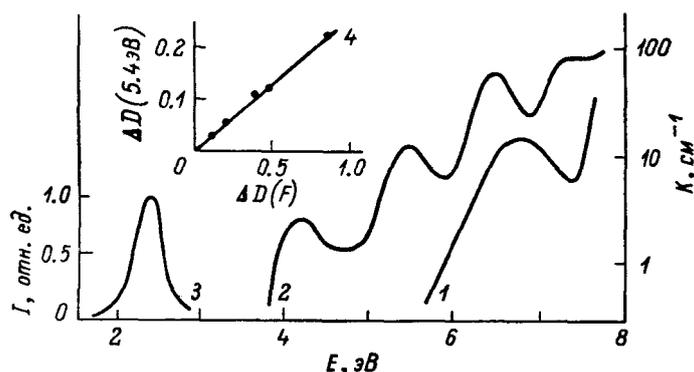


Рис. 1.

Спектры поглощения при 80 К кристаллов NaCl с содержанием  $\text{OH}^- 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  до (1) и после (2) аддитивного окрашивания в парах натрия. Спектр свечения (3) при 80 К окрашенных кристаллов при возбуждении светом 5.7 эВ. Зависимость между уменьшением полосы поглощения при 5.4 эВ и увеличением F-полосы (4) при освещении кристалла светом лампы ДДС-30 через фильтр с коротковолновой границей 5.5 эВ при температуре 295 К.

Кристаллы выращены методами Стокбаргера и Кироцулоса на воздухе и в инертной атмосфере. Установка для измерений спектров поглощения в области вакуумного ультрафиолета описана ранее [5]. Окрашивание в парах натрия проводилось по методу, описанному в [6], при температурах 700—780 °С. Время окрашивания — до 20 ч.

В неокрашенных кристаллах NaCl—OH наблюдалась полоса поглощения с максимумом при 6.8 эВ, обусловленная поглощением ионов  $\text{OH}^-$  [7]. После аддитивного окрашивания в спектре поглощения кристаллов при 80 К появились полосы с максимумами при 4.2, 5.47, 6.5 и 7.4 эВ (рис. 1), а также полоса F-центров при 2.73 эВ. По положению полосы поглощения [7] и фотохимическим реакциям центрами с полосой при 6.5 эВ являются  $H_a^-$ -центры. Фотодиссоциация центров при 6.5 эВ при 80 К приводила к появлению сначала  $V_a^+$ , а затем —  $H_i^0$  и F-полос поглощения. Такие реакции наблюдались для  $H_a^-$ -центров в KCl [8]. Остальные три полосы поглощения принадлежат одним центрам (см. далее), а именно центрам кислород-вакансия. Отжиг кристаллов при температурах выше 600 °С приводит к обратному преобразованию центров  $\text{O}^{2-}V_a^+$  и  $H_a^-$  в ионы  $\text{OH}^-$  (см. также [9]). Можно написать реакцию образования «новых» центров при аддитивном окрашивании



Подобные реакции разложения ионов  $\text{SH}^-$ ,  $\text{SeH}^-$  и  $\text{TeH}^-$  в щелочно-галогидных кристаллах наблюдались в [10, 11]. Для ионов  $\text{OH}^-$  осуществление реакции (1) доказано впервые. В кристаллах KCl F-центры, образующиеся при

аддитивном или электролитическом окрашивании, не взаимодействуют с ионами  $\text{OH}^-$  [10, 12].

При освещении светом в первой полосе поглощения при 4.2 эВ не наблюдается фотохимической реакции (см. также [2]). При освещении светом в полосе при 5.47 эВ полосы поглощения при 4.2, 5.47 и 7.4 эВ уменьшаются, а  $F$ -полоса растет (рис. 2). Наблюдается прямо пропорциональная зависимость между уменьшением полосы при 5.47 эВ и ростом  $F$ -полосы. Как известно [1], фотодиссоциация центров кислород—вакансия протекает по реакции



Пользуясь этим преобразованием, можно подсчитать концентрацию центров кислород—вакансия [13]. Концентрация (в  $\text{см}^{-3}$ )

$$N = 2.2 \cdot 10^{16} K, \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент поглощения в полосе при 5.4 эВ при комнатной температуре (в  $\text{см}^{-1}$ ). При понижении температуры ниже комнатной эффективность

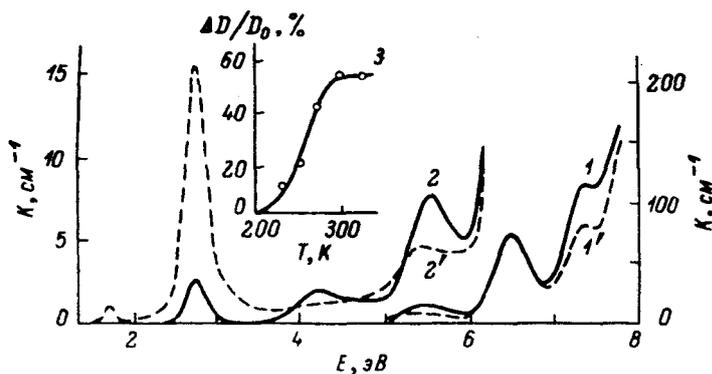


Рис. 2.

Спектры поглощения окрашенных кристаллов  $\text{NaCl-OH}$  при 80 К до (1, 2) и после (1', 2') обесцвечивания лампой ПДС-30 через фильтр с границей 5.5 эВ. Обесцвечивание проводилось при 270 К. Относительная доля центров кислород—вакансия, которые можно фотообесцветить при разных температурах (3), измеренная по полосе поглощения при 5.47 эВ.

фотодиссоциации центров кислород—вакансия уменьшается и при температурах ниже 200 К фотодиссоциация не наблюдается (рис. 2). Вторым продуктом фотодиссоциации — ионы  $\text{O}^-$  — нами не наблюдался по спектрам поглощения. Полоса поглощения ионов  $\text{O}^-$  в  $\text{NaCl}$  находится при 7.27 эВ [7], т. е. под третьей полосой поглощения центров кислород—вакансия. По-видимому, уменьшение полосы при 7.4 эВ в процессе фотодиссоциации частично компенсировалось ростом полосы  $\text{O}^-$  (рис. 2).

Отжиг кристаллов при температурах выше комнатной приводит к уменьшению полос поглощения центров кислород—вакансия и появлению более коротковолновых полос агрегатных центров (см. также [2]). С увеличением концентрации гидроксила, остающегося неразложившимся после аддитивного окрашивания, существенно увеличивается скорость агрегации. При концентрации  $\text{OH}^-$  порядка  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  и выше агрегация центров протекает уже при комнатной температуре.

В спектрах свечения аддитивно окрашенных кристаллов наблюдалась полоса с максимумом при 2.4 эВ и полушириной 0.35 эВ при 80 К (рис. 1). В спектре возбуждения этой полосы свечения наблюдались максимумы при 4.35 и 5.6 эВ, которые можно сопоставить с двумя полосами поглощения центров кислород—вакансия. Время затухания свечения, измеренное с помощью лазера ЛГ-21, при 70 К меньше  $10^{-8}$  с. В кристаллах с высоким содержанием гидроксила свечения центров кислород—вакансия не наблюдается. Отсутствие свечения, по-видимому, связано с передачей энергии из возбужденного состояния ионам  $\text{OH}^-$ , расположенным поблизости. Такая передача энергии доказана для  $F$ -центров в кристаллах  $\text{KCl-OH}$  [14].

### Литература

- [1] Gümmel G. — Z. Physik, 1966, v. 215, N 3, p. 256—278.
- [2] Голубцов В. В., Гольденберг А. Б. — Опт. и спектр., 1977, т. 42, в. 1, с. 117—121.
- [3] Гольденберг А. Б., Голубцов В. В., Скогарев В. Г. — ФТТ, 1977, т. 19, № 5, с. 1428—1430.
- [4] Гольденберг А. Б., Голубцов В. В., Лукашук С. Б. — Опт. и спектр., 1978, т. 44, в. 5, с. 942—951.
- [5] Radzhabov E. — Phys. St. Sol. (b), 1985, v. 130, N 1, p. K 55—K58.
- [6] Van Doorn C. Z. — Rev. Sci. Instruments, 1962, v. 32, N 6, p. 149—150.
- [7] Kerckhoff F., Martienssen W., Zander W. — Z. Physik., 1963, v. 173, N 2, p. 184—202.
- [8] Delbecq C. J., Yuster P. H. — Phys. Rev., 1956, v. 104, N 3, p. 605—612.
- [9] Ворожейкина Л. Ф., Мумладзе В. В., Хулордава Т. Г. — Опт. и спектр., 1978, т. 44, в. 5, с. 938—942.
- [10] Fisher F., Gründig H. — Z. Physik., 1965, v. 184, N 3, p. 299—309.
- [11] Fisher F. — Z. Physik., 1965, v. 187, N 3, p. 262—270.
- [12] Morato S. P., Lüty F. — J. Phys. Chem. Sol., 1980, v. 41, p. 1181—1186.
- [13] Fisher F., Gründig H., Hilsh B. — Z. Physik., 1966, v. 189, N 1, p. 79—96.
- [14] Gomes L., Lüty F. — Phys. Rev. B, 1984, v. 30, N 12, p. 7194—7201.

Поступило в Редакцию 17 апреля 1987 г.

УДК 539.18+535.212

Опт. и спектр., т. 64, в. 1, 1988

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ И НАКОПЛЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА СВЕТОИНДУЦИРОВАННОГО ДРЕЙФА (СИД)

*Атутов С. Н., Шалагин А. М.*

Существует ряд прикладных задач, для которых необходимо обнаружение малых примесей в больших объемах газа. При лазерных методах регистрации объем области регистрации, как правило, много меньше полного объема, поэтому информация собирается только с малой доли полного числа частиц примеси.

Обычно повышения обнаружительной способности методов регистрации малых примесей добиваются увеличением чувствительности конкретного метода. Например, в случае флуоресцентного метода анализа увеличение чувствительности достигается за счет улучшения геометрического фактора, снижения фоновой засветки, применения частотной модуляции возбуждающего излучения и пр. Однако возможен и другой путь — при заданной чувствительности метода увеличить концентрацию частиц примеси в области регистрации за счет остального объема. Другими словами, речь идет о создании в области регистрации «ловушки», в которой происходит локализация и накопление частиц примеси. Оказывается такая задача может быть успешно решена на основе эффекта светоиндуцированного дрейфа (СИД) [1], что подтверждается экспериментальными результатами, представленными в настоящей работе.

Эксперимент проводился на установке, схематически изображенной на рис. 1. Она состояла из непрерывного, перестраиваемого по частоте в окрестности  $D_1$ - и  $D_2$ -линий натрия лазера на красителе (1), и ячейки с парами натрия (2). Мощность лазера составляла  $\sim 50$  мВт, ширина спектра излучения  $\sim 1$  ГГц. Ячейка представляла собой стеклянный капилляр длиной 10 см и внутренним диаметром 1 мм с боковым отрезком, откуда в капилляр через отверстие могли поступать пары натрия. Для создания ловушки капилляр на расстоянии  $L=45$  мм от отверстия плотно запырался стеклянным стержнем с хорошо обработанным торцом. Капилляр имел температуру  $85^\circ\text{C}$ , концентрация паров натрия в капилляре регулировалась автономным подогревом