

## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СУБНАНОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ЭЛЕКТРОНОВ

Р. Г. Дейч, А. П. Куянов, С. С. Эцин, М. С. Абрахманов

Изучению люминесценции  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении импульсами электронов посвящено большое количество работ [1-3]. Все они, однако, выполнены с применением импульсов длительностью  $\tau_n > 5$  нс, что не позволило выделить компоненты свечения с малыми ( $\tau_s < 1$  нс) временами затухания. Целью настоящей работы и было обнаружение и исследование таких компонентов. Сверхбыстрая люминесценция (СБЛ) наблюдалась в [4] при возбуждении кристалла CsI импульсами электронов длительностью 50 пс. Интерес к исследованию СБЛ вызван тем, что СБЛ связана с излучательными переходами на горячих носителях заряда и ее спектр несет информацию о структуре разрешенных зон кристалла.

Кристалл  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  облучался одиночными импульсами сильноточного ускорителя электронов: 50 пс, 200 кэВ, 100 А/см<sup>2</sup>. Люминесценция кристалла регистрировалась через интерференционные светофильтры с помощью электронно-оптической камеры. Предельное временное разрешение  $\sim 10$  пс. Данные эксперимента исправлялись с учетом пропускания и полупрозрачности фильтров и спектральной чувствительности камеры, и приведенные ниже спектры представляют собой распределение фотонов люминесценции по энергиям.

На рис. 1 представлены кинетики свечения  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  при температурах 80 и 300 К. При комнатной температуре в области малых времен основной вклад в свечение вносит быстрый компонент с временем затухания  $\tau_s \leq 20$  пс, повторяющий импульс возбуждения. Вклад инерционных компонентов свечения не превышает 10%. При 80 К в коротковолновой части спектра наблюдается интенсивный инерционный компонент свечения с временем нарастания  $\tau_n = 2 \pm 0.5$  нс и временем затухания  $\tau_s = 15 \pm 3$  нс. Как видно из рис. 1, б, в при 80 К компонент СБЛ может быть выделен в импульсе свечения лишь при достаточно высоком временном разрешении; на рис. 1, в, для которого разрешение составляет 1 нс, СБЛ не наблюдается.

Быстрый компонент люминесценции наблюдается во всем исследованном спектральном интервале 1.6—3.1 эВ (рис. 2). Экспериментальные данные для комнатной температуры на кривой 1 соответствуют интенсивности свечения при  $t=0$  I (0 пс). При температуре 80 К производилось вычитание инерционных компонентов, и экспериментальные точки представляют собой разность  $I(0 \text{ пс}) - I(200 \text{ пс})$ . Спектр СБЛ имеет два максимума при 2.05 и 2.5 эВ и в пределах погрешности эксперимента одинаков для 80 и 300 К. Спектр инерционного свечения (кривая 2) измерялся в момент времени  $t=2$  нс. Максимум этого свечения находится, по-видимому,

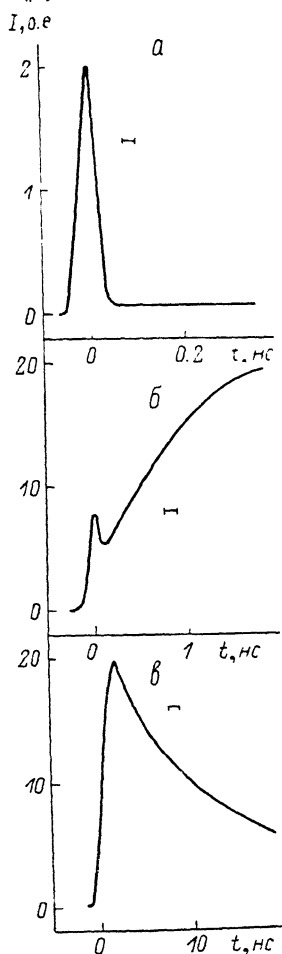


Рис. 1. Кинетика свечения  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении 50 пс импульсами электронов.

$h\nu$  (эВ),  $T$  (К): а — 2.0, 300; б, в — 3.1, 80.

в коротковолновой области за пределами исследованного спектрального интервала.

Таким образом, в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при возбуждении субнаносекундными импульсами электронов обнаружены два типа свечения: быстрое, температурно-независимое свечение и инерционное свечение, претерпевающее к комнатной температуре сильное температурное тушение. На наш взгляд, СБЛ  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  представляет собой внутризонную люминесценцию, связанную с излучательными переходами на горячих носителях заряда. В пользу такого предположения свидетельствуют малое время затухания СБЛ и

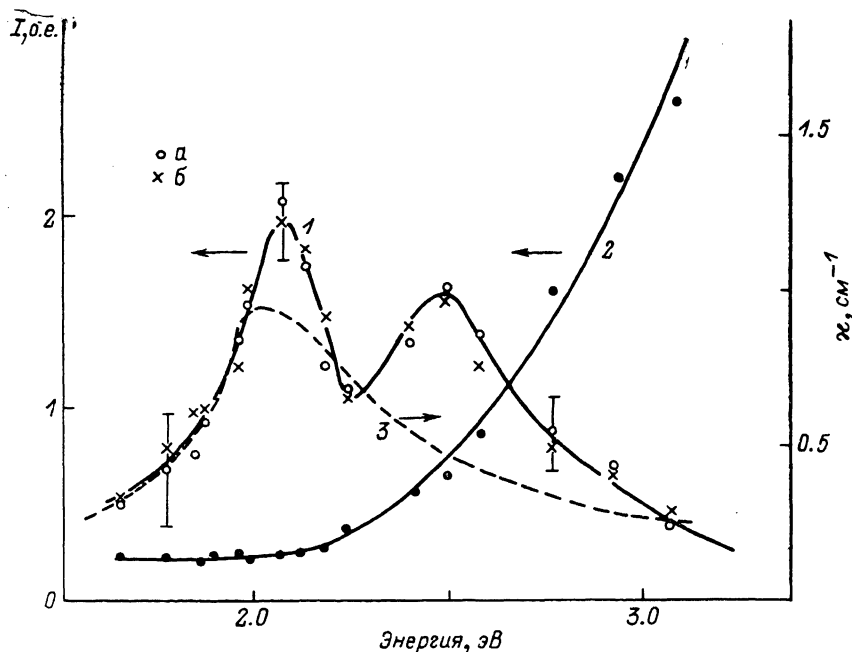


Рис. 2. Спектры люминесценции  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

1 — спектр компонента свечения с  $\tau_3 \leq 20$  пс при 80 (а) и 300 К (б), 2 — спектр инерционного свечения, 3 — спектр ВП [5].

температурная независимость спектра. Интересно сопоставить спектр СБЛ со спектром внутризонного поглощения (ВП) на свободных дырках (рис. 2, кривая 3 [5]). Обращает на себя внимание совпадение максимума ВП и одного из пиков СБЛ. Такое совпадение является веским доводом в пользу того, что пик СБЛ 2.05 эВ обусловлен излучательными переходами в валентной зоне  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Второй пик 2.5 эВ связан, по-видимому, с излучательными переходами в зоне проводимости.

Тесную связь с переходным поглощением обнаруживает и инерционное коротковолновое свечение. Время релаксации ВП (кривая 3), согласно [5], составляет  $1.8 \pm 0.3$  нс, что совпадает с временем нарастания свечения (рис. 1, б). С другой стороны, в [6] при возбуждении наносекундными импульсами электронов было обнаружено бесструктурное оптическое поглощение с временем затухания 20 нс при 80 К, обусловленное поглощением света на свободных носителях — непрямыми оптическими переходами в зоне проводимости. Таким образом, времена нарастания и затухания коротковолнового свечения в пределах ошибок эксперимента совпадают с временами жизни термализованных дырок и электронов соответственно. Оставляя в стороне вопрос о центре свечения, можно сделать вывод, что коротковолновая люминесценция возникает в результате последовательного захвата центром зонных дырок и электрона.

Изучение люминесценции  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  во временном интервале  $10^{-11}$ – $10^{-8}$  с позволило обнаружить излучательные переходы на горячих носи-

телях, а также связь кинетики инерционного рекомбинационного свечения с временами жизни свободных электронов и дырок.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Барышников В. И., Мартынович Е. Ф., Колесникова Т. А., Щепина Л. П. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 5. С. 1505—1507.
- [2] Кузнецов А. И., Намозов Б. Р., Мюрк В. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 10. С. 3030—3037.
- [3] Гаврилов В. В., Дейч Р. Г., Ситдинов А. М. // Изв. АН ЛатвССР, сер. физ. и техн. наук. 1987. № 5. С. 29—35.
- [4] Алукер Э. Д., Гаврилов В. В., Дейч Р. Г., Чернов С. А. Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 2. С. 116—117.
- [5] Дейч Р. Г. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 8. С. 2542—2544.
- [6] Алукер Э. Д., Гаврилов В. В., Дейч Р. Г., Ситдинов А. М., Чернов С. А. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 5. С. 1470—1474.

Институт физики АН ЛатвССР  
Саласпилс

Поступило в Редакцию  
19 сентября 1988 г.

УДК 592.31

© Физика твердого тела, том 32, № 5, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, № 5, 1990

## МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В АМОРФНОМ КРЕМНИИ

*В. Н. Новиков, А. П. Соколов, О. А. Голикова,  
В. Х. Кудоярова, М. М. Мездрогина*

Известно [1], что в большинстве аморфных материалов коэффициент межзонного оптического поглощения  $\alpha$  изменяется по квадратическому закону

$$(\alpha\hbar\omega)^{1/2} = \beta(\hbar\omega - E_{0,2}). \quad (1)$$

Однако для аморфного кремния спектральная зависимость  $\alpha$  лучше аппроксимируется кубической зависимостью [2, 3]

$$(\alpha\hbar\omega)^{1/3} = \gamma(\hbar\omega - E_{0,3}). \quad (2)$$

Причина аномального поведения  $\alpha(\hbar\omega)$  до конца не выяснена. В данной работе проведено исследование  $\alpha$  образцов аморфного кремния. Обнаружена зависимость коэффициента  $\gamma$  от условий приготовления пленок и предложена модель, объясняющая возникновение зависимости (2).

Были исследованы две группы образцов — полученные методом понно-плазменного распыления при температуре подложки  $T_s = 30 \div 50^\circ\text{C}$  ( $a\text{-Si}$ ) и методом ВЧ-разложения силаносодержащей газовой смеси при  $T_s = 320^\circ\text{C}$  ( $a\text{-Si} : \text{H}$ ). В дальнейшем образцы подвергались термическому отжигу в вакууме при температурах  $200\text{—}500^\circ\text{C}$ , что приводило к изменению их оптических свойств. Значения  $\alpha$  рассчитывались по измеренным спектрам пропускания и отражения.

На рис. 1 приведены спектры оптического поглощения образцов  $a\text{-Si}$  и  $a\text{-Si} : \text{H}$  в координатах  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2}$  и  $(\alpha\hbar\omega)^{1/3}$ . Отжиг образцов  $a\text{-Si}$  приводит к их просветлению (увеличению  $E_g$ ), что связано с упорядочением структуры пленок, напыленных при низких  $T_s$ . Термическая обработка  $a\text{-Si} : \text{H}$ , наоборот, сопровождается потемнением образцов (уменьшением  $E_g$ ), что, по-видимому, обусловлено эффузией водорода. Анализ спектров в квадратичной аппроксимации (1) показывает, что для образцов, по-