

06;12

## Емкостной метод исследования центров захвата порошковых люминофоров

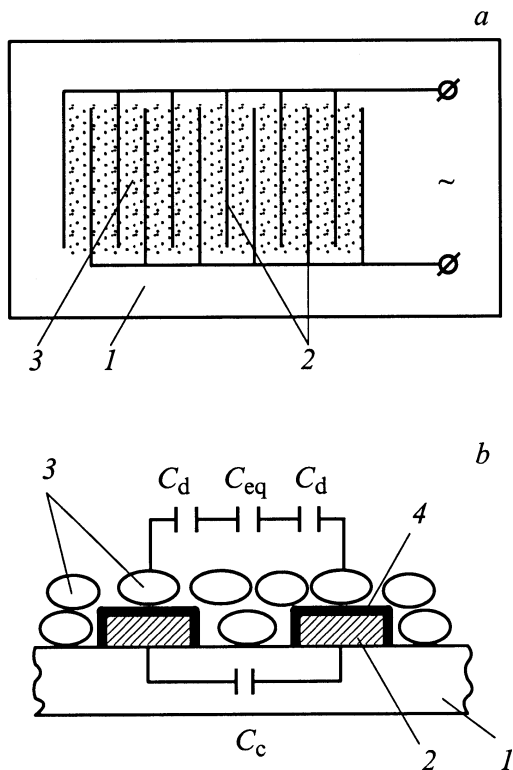
© Е.М. Бибанина, В.А. Горюнов, Б.Н. Денисов, Е.В. Никишин

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Саранск

Поступило в Редакцию 17 декабря 1999 г.

Предложен метод термостимулированной емкости для исследования центров захвата и зонной схемы порошковых люминофоров с рекомбинационным типом свечения. Получены выражения для емкости слоя люминофора щелевой планарной структуры, приведены результаты исследования люминофора ZnS–Jn с использованием специально разработанной структуры, позволяющей реализовать емкостной метод исследования.

Параллельное исследование различными термоактивационными методами позволяет определить параметры центров захвата и вид зонной схемы кристаллов и пленок полупроводников [1]. Для исследования порошковых люминофоров в основном используется метод термолюминесценции (ТЛ) и фотостимулированной вспышки, которые в ряде случаев не позволяют выявить существующие центры захвата. Реализация метода термостимулированной емкости (ТСЕ) для порошковых материалов позволит повысить качество контроля примесей в люминофорах, применяемых при создании источников света и различных систем отображения информации. Для осуществления метода ТСЕ можно использовать явление самоэкранирования внешнего поля свободными носителями в симметричных структурах металл–диэлектрик–полупроводник (МДП) [2–4]. Емкость таких структур зависит от напряжения и концентрации свободных носителей. Для исследования порошковых полупроводниковых материалов методом ТСЕ нами были изготовлены щелевые планарные структуры, представляющие собой систему параллельных проводящих дорожек из алюминия на подложке из ситалла, полученных методом фотолитографии (рис. 1, а). Расстояние между контактами было сравнимо с размерами зерен люминофора и составляло  $40 \mu\text{m}$  при ширине проводящих дорожек  $16.7 \mu\text{m}$ . Люминофор наносился поверх структуры в виде спиртовой суспензии без связующего ( $3\text{--}5 \text{ g/cm}^2$ ), что позволило проводить исследование в



**Рис. 1.** *a* — конструкция планарного электролюминесцентного конденсатора. *b* — эквивалентная схема структуры; 1 — ситалловая подложка, 2 — алюминиевые электроды, 3 — слой люминофора, 4 — слой диэлектрика.

”чистом” виде, исключая влияние связки на электрические свойства структур. Простота нанесения и снятия слоя люминофора позволяла многократно использовать одну и ту же матрицу с разными люминофорами, обеспечивая повторяемость условий эксперимента. Полученные таким образом системы являются аналогом симметричных структур типа МДП, где в качестве диэлектрика выступает слой окиси алюминия, образующийся на поверхности контактов за счет окисления на воздухе. Эквивалентная схема устройства представлена на рис. 1, *b*. Емкость

структуры, исходя из эквивалентной схемы, запишем в виде

$$C = C_c + \frac{C_d C_{l.eq}}{C_d + 2C_{l.eq}} \simeq C_c + C_{l.eq}, \quad (1)$$

так как  $C_{l.eq} \ll C_d$ , где  $C_{l.eq}$  — емкость слоя люминофора,  $C_c$  — емкость ситалловой подложки,  $C_d$  — емкость слоя диэлектрика. Ввиду того что слой люминофора не является сплошной средой, эквивалентная емкость этого слоя может быть записана с использованием соотношения Оделевского В.И. [5] для диэлектрической проницаемости статической двухкомпонентной смеси (воздух или вакуум, частицы люминофора) в следующем виде:

$$C_{l.eq} = C_0 \left( 1 + \frac{x_2}{(1-x_2)/3 + x_2/(C_l/C_{0l} - 1)} \right), \quad (2)$$

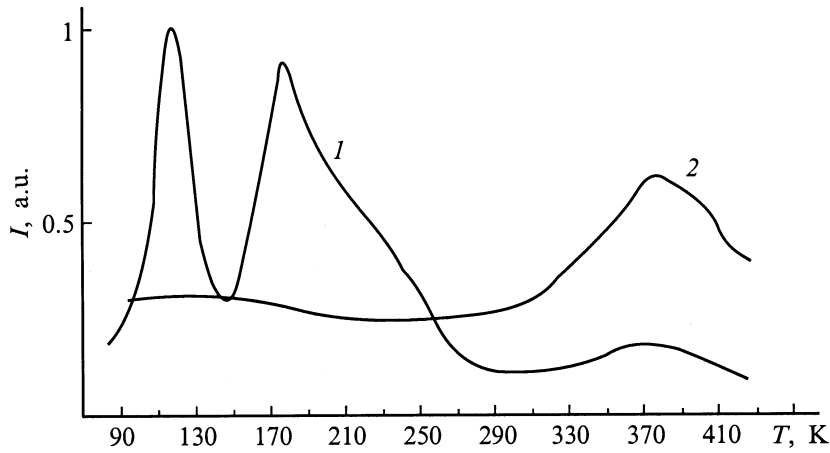
где  $x_2$  — доля объема слоя, занимаемого люминофором;  $C_0$  — геометрическая емкость области, занимаемой люминофором;  $C_l$  — емкость слоя в случае сплошной среды из материала люминофора;  $C_{0l}$  — емкость слоя люминофора, не зависящая от напряжения. При записи соотношения (2) диэлектрическая проницаемость воздуха принята равной 1. Емкость  $C_l$ , согласно [4], запишем в виде:

$$C_l = \frac{q(N_s + N_{scv} + N_{s0})}{U}, \quad (3)$$

где  $N_{s0}$  — поверхностная плотность равновесных свободных зарядов,  $N_{scv}$  — поверхностная плотность связанных зарядов,  $N_s$  — поверхностная плотность зарядов, возникающих за счет внешнего воздействия (температуры, освещения). В случае высокоомных полупроводников  $N_{s0} \ll N_s$ . Величина  $qN_{scv}/U = C_{0l}$ . Следовательно,  $C_l = C_{0l} + qN_{scv}/U$ . С учетом этих замечаний выражение (2) примет вид:

$$C_{l.eq} = C_0 \left( 1 + \frac{x_2}{(1-x_2)/3 + x_2 C_{0l} U / q N_s} \right). \quad (4)$$

Величину  $N_s$  запишем как  $N_s = n_s L_{eq}$  [4], где  $n_s$  — концентрация неравновесных свободных носителей;  $L_{eq}$  — размер, эквивалентный расстоянию между контактами. Если температурная зависимость  $n_s = n_s(T)$  имеет максимум, то его положение совпадает с положением максимума кривой



**Рис. 2.** Кривые термолуминесценции (1) и термостимулированной емкости (2) люминофора ZnS-Jn.

$C_{l.eq} = C_{l.eq}(T)$  в области температур, где  $\varepsilon_l(T) = \text{const}$ , так как  $\partial C_{l.eq} / \partial T = 0$  при  $\partial n_s / \partial T = 0$ . Следовательно, определяя температуру максимума по кривой  $C_{l.eq}(T)$ , можно провести расчет глубины центров захвата, используя известные соотношения для кривых ТСТ. Метод ТСЕ может быть использован для люминофоров, в которых ионизация центров свечения и центров захвата сопровождается переходом в зону проводимости. В качестве примера приведем результаты исследования центров захвата методом ТЛ и ТСЕ люминофора ZnS-Jn. Измерение емкости осуществлялось с помощью моста полных проводимостей (МПП-300). При небольших изменениях емкости разбаланс моста пропорционален  $\Delta C_{eq}$ . Сигнал разбаланса моста, усиленный селективным усилителем У2-8, подавался на вход Y двухкоординатного самописца Н-307, а сигнал с термодпары — на вход X. Процессы предварительного возбуждения люминофора и измерение кривых проводились при условиях, принятых для измерения ТЛ и ТСТ. На рис. 2 приведены кривые ТЛ и ТСЕ, измеренные для люминофора ZnS-Jn. На кривой ТЛ для люминофора ZnS-Jn в области низких температур проявляется три пика при  $T_1 = 123$  К,  $T_2 = 183$  К,  $T_3 = 228$  К, а в области высоких температур — один пик при  $T_4 = 383$  К. Глубины залегания

центров захвата равны соответственно  $E_1 = 0.26$  eV,  $E_2 = 0.395$  eV,  $E_3 = 0.492$  eV и  $E_4 = 0.89$  eV. На кривой ТСЕ проявляется лишь один пик в высокотемпературной области при  $T = 383$  К. Ввиду сильного температурного тушения на кривой ТЛ этот пик сильно искажен. Эти данные позволяют уточнить зонную схему этого люминофора. Из кривых ТСЕ следует, что в низкотемпературной области термическое опустошение ловушек не сопровождается появлением свободных носителей, следовательно, центры захвата должны иметь возбужденные состояния, находящиеся в запрещенной зоне и отстоящие от основного на  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ . В области положительных температур освобождение ловушек сопровождается появлением свободных носителей и поэтому рекомбинация носителей идет через зону проводимости.

## Список литературы

- [1] *Вертограхов В.Н., Сальман Е.Г.* Термостимулированные токи в неорганических веществах. Новосибирск: Наука, 1979. 336 с.
- [2] *Самохвалов М.К.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 6. С. 1–4.
- [3] *Ковтонюк Н.Ф.* Электронные элементы на основе структур полупроводник–диэлектрик. М.: Энергия, 1976. 184 с.
- [4] *Думаревский Ю.Д., Ковтонюк Н.Ф., Савин А.И.* Преобразование изображений в структурах полупроводник–диэлектрик. М.: Наука, 1987. 176 с.
- [5] *Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.М., Воробьев А.А.* Теория диэлектриков. М.-Л.: Энергия, 1965. 344 с.