

# ФОТОРЕЛАКСАЦИОННАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГЛУБОКОУРОВНЕВЫХ ЦЕНТРОВ ЗАХВАТА ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ВЫСОКООМНЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Одринский А.П.

Институт Технической Акустики НАН Беларуси, пр. Людникова, 13, 210017, Витебск,  
Беларусь

Методом фотоэлектрической нестационарной спектроскопии глубоких уровней (PICTS [1-3]) исследован [4-6] состав дефектов – ловушек основных носителей заряда серии высокоомных ( $\leq 10^{12}$  Ом см) чистых монокристаллов CdS, отличающиеся друг от друга величиной отклонения от стехиометрического состава, что достигалось контролируемым изменением режимов технологического процесса выращивания из паровой фазы [7]. При использовании оптического возбуждения в области собственного поглощения практически

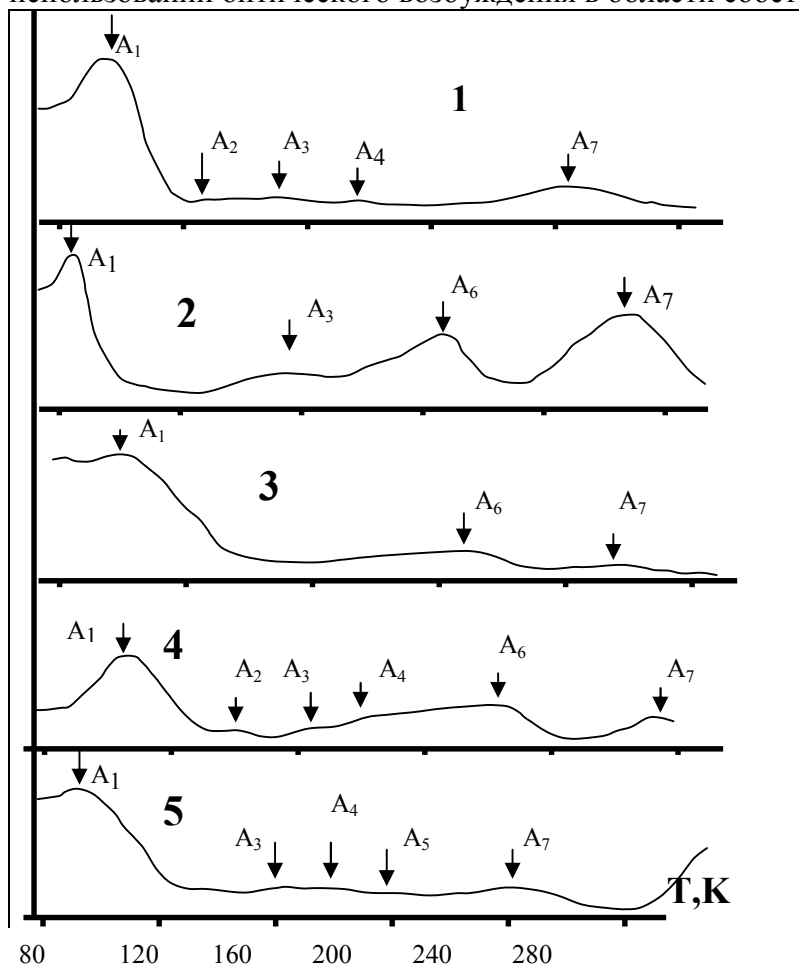


Рис.1 Спектры PICTS при энергии фотонов возбуждающего излучения  $h\nu = 2.35$  эВ (соответствуют скорости термоэмиссии  $\sim 10^3$  с $^{-1}$ ) полученные на кристаллах выращенных при F - отношении давлений паров собственных компонент 1) = 0.8; 2) – 1.7, 3) – 4.2, 4) – 6.3, 5) – 7.6. Спектры нормированы по высоте доминирующего пика.

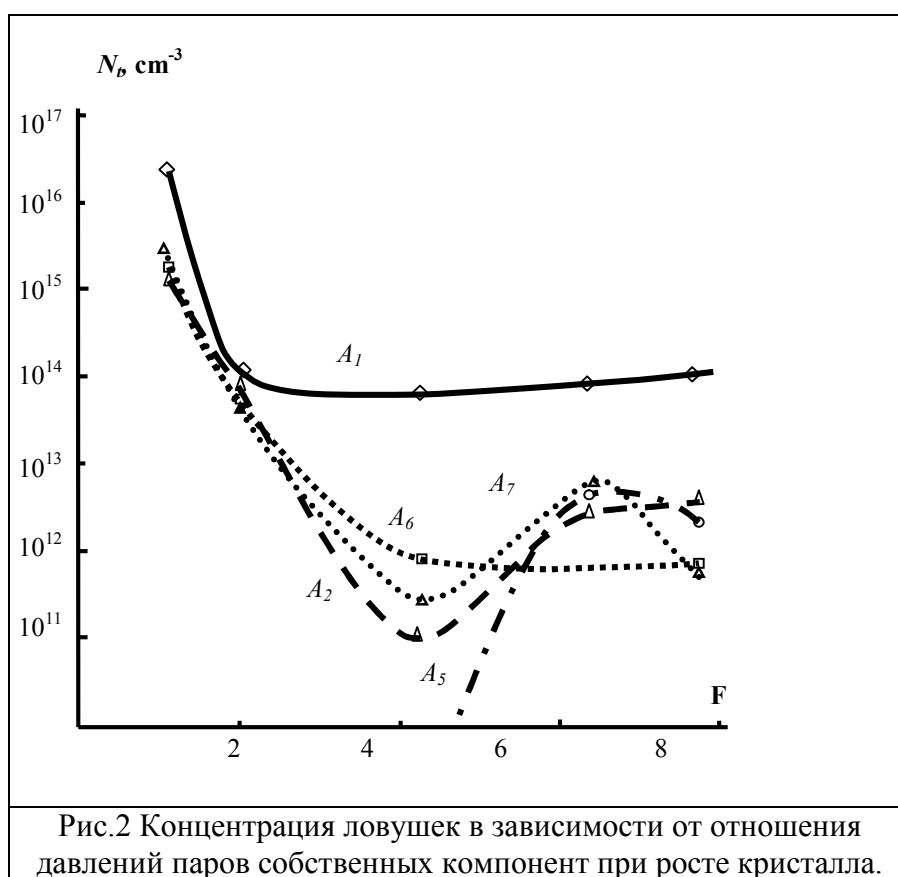
на всех кристаллах в области температур 80 – 110 К наблюдался единственный пик  $A_1$ . На рис.1 представлены спектры, полученные с оптическим возбуждением при  $h\nu = 2.35$  эВ (соответствует области примесного поглощения CdS). Анализируя зависимость спектров от энергии фотонов замечено, что при уменьшении  $h\nu$  на всех образцах растет высота доминирующего пика  $A_1$ , а структура спектров усложняется - кроме  $A_1$ , отмечено 6 пиков меньшей интенсивности (параметры соответствующих ловушек приведены в таблице). Поскольку плотность падающего потока фотонов уменьшали, рост сигнала связан с увеличением глубины проникновения света и свидетельствует о существенном вкладе в световое неравновесное заполнение ловушек не учитывавшегося ранее в рамках используемой модели [2,3], механизма заполнения ловушек за счет прямого оптического возбуждения, при котором их заполнение не зависит от концентрации свободных носителей заряда. Конкуренция двух механизмов

заполнения ловушек - теплового захвата неравновесных носителей заряда из зоны и прямого оптического возбуждения ловушек объясняет наблюдаемую зависимость как обусловленную изменением условий неравновесного заполнения ловушек и позволяет выбрать оптимальные условия регистрации сигнала.

|                | область температур, регистрации К | энергия термоактивации, эВ | сечение захвата электрона, см <sup>2</sup> |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| A <sub>1</sub> | 80-110                            | 0,066                      | 10 <sup>-19</sup>                          |
| A <sub>2</sub> | 120-130                           | 0,27                       | 10 <sup>-12</sup>                          |
| A <sub>3</sub> | 130-150                           | 0,28                       | 10 <sup>-13</sup>                          |
| A <sub>4</sub> | 150-170                           | 0,39                       | 1,1 10 <sup>-12</sup>                      |
| A <sub>5</sub> | 170-185                           | 0,32                       | 10 <sup>-13</sup>                          |
| A <sub>6</sub> | 190-200                           | 0,27                       | 10 <sup>-12</sup>                          |
| A <sub>7</sub> | 220-260                           | 0,54                       | 10 <sup>-13</sup>                          |

Из анализа соотношения высоты пика в наборе спектров установлено, что при оптическом возбуждении ловушки частично заполнены неравновесными носителями заряда [5], проведена оценка их концентрации по зависимости их заполнения от температуры по методике [6]. На рис.2 представлена диаграмма концентрации ловушек N<sub>i</sub> от технологического параметра F - отношения давлений паров собственных компонент при росте кристалла. Для A<sub>1</sub> вид N<sub>i</sub>(F)

соответствует донорной природе ловушки и согласуется с расчетной диаграммой [8] концентрации собственных дефектов в зависимости от отношения давления паров при росте полупроводника типа A<sub>2</sub>B<sub>6</sub>. A<sub>1</sub> идентифицирован как междоузельный кадмий [4] и наблюдался также методом фотоэлектрической нестационарной спектроскопии в [2,9].



Оценка концентрации для  $A_1$  согласуется с оценкой по данным термостимулированной проводимости [10] общей концентрации ловушек электронов. Остальные регистрируемые ловушки имеют меньшую концентрацию и, возможно, обусловлены остаточными примесями или комплексами собственных дефектов и остаточных примесей. В работе [11] донор с энергетическим положением  $A_2$  интерпретируют примесным литием, находящимся в междоузлии, либо междоузельной меди [12]. Аналогично можно интерпретировать пик  $A_3$  слабой интенсивности, также наблюдавшийся методом PICTS в [9]. Согласно рис.2, учитывая также минимальную фото-чувствительность и постоянную релаксации фототока, наиболее близки к стехиометрическому составу кристаллы, выращенные при  $F \sim 4$ .

Таким образом, методом фотоэлектрической нестационарной спектроскопии в высокоомных монокристаллах сульфида кадмия, выращенных с варьированием отклонения от стехиометрического состава обнаружен ряд ловушек основных носителей заряда. В условиях частичного светового заполнения ловушек оценена их концентрация и построена диаграмма концентрации регистрируемых дефектов в зависимости от технологического параметра – отношения давлений паров собственных компонентов при росте кристалла.

### Литература

- [1] G.M.Martin, D.Bois, in *Semiconductor Characterization Techniques*, Edtr. P.A. Barnes and G.A. Rozgonyi, PV 78-3, pp. 32 – 43, (The Electrochemical Society, Inc., Princeton, NJ, 1978).
- [2] O. Yoshie, M. Kamihara, Jpn. J. Appl. Phys., **22**(4), 621 (1983).
- [3] N. Benjelloun, M.Tapiero, J. P. Zielinger, J. C. Launay, F. Marsaud, J. Appl. Phys., **64**(8), 4013 (1988).
- [4] О.Ф. Вывенко, И.А. Давыдов, А.П. Одринский, В.А. Теплицкий, ФТП, т.28, в. 5, 1994, стр.721-728.
- [5] А.П. Одринский, ФТП, т.38, в. 3, 2004, стр.310-315.
- [6] А.П. Одринский, ФТП, т.39, в. 6, 2005, стр.660-666
- [7] О. В.Богданкевич, Н. Н.Костин, Е. М.Красавина, И. В.Крюкова, Е. В.Марков, Матвиенко Е. В., Теплицкий В. А., Неорг. матер., **23**(10), 1618 (1987).
- [8] А.Н.Георгобиани, М.К.Шейкман, Физика соединений  $A_2 B_6$ . М. "Наука" (1986), с. 77.
- [9] H. Ashour, F. El Akkad, Phys.Stat.Sol., a –Appl. Res., 184 (1), 175 (2001).
- [10] Крюкова И. В., Теплицкий В. А., Шульга Е. П., Джумаев Б. Р., Корсунская Н. Е., ФТП, том 26, вып. 6, 1992, с. 1054-1062.
- [11] М.К.Шейкман, Н.Е.Корсунская, И.В.Маркевич, Т.Г.Торчинская, ФТП, **14**, 438 (1980).
- [12] Ю.И.Эмиров, С.С.Остапенко, М.А.Ризаханов, М.К.Шейкман, ФТП, **16**, 1371 (1982).