

4. Chadwick P. Progress in solid mechanics. Thermoelasticity. The dynamical theory. Amsterdam: Pub. Co. Vol. 1. 1961.
5. Кундас С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография. – Мн.: Бестпринт, 2005. – 313 с.
6. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. / Справочник. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 340 с

PICTS СПЕКТРОСКОПИЯ ГЛУБОКОУРОВНЕВЫХ ЦЕНТРОВ МОНОКРИСТАЛЛА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА - ПОЛУПРОВОДНИКА TlGaSe₂.

Одринский А.П.¹, Grivickas V.², Mammadov T.G.³

¹ *Институт Технической Акустики НАНБ, Витебск, Беларусь odra@mail333.com*

² *Institute of Materials Science and Applied Research, Vilnius University, Vilnius, Lithuania*

³ *Institute of Physics Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan*

Дефекты кристаллической структуры слоистых сегнетоэлектриков – полупроводников вызывают интерес как с точки зрения практического применения данных материалов, так и с точки зрения фундаментальной науки, где многие аспекты теории фазовых переходов связывают с электрической активностью дефектов [1]. Применение распространенных методов исследования электрически активных дефектов на данных объектах сталкивается с проблемой неконтролируемой электрической активности внутренних полей, обусловленных доменной структурой кристалла. В этих условиях эффективно применение фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS [2]) - разновидности нестационарной спектроскопии, использующей фотовозбуждение полупроводника. В настоящей работе представлены результаты PICTS исследования собственных дефектов монокристалла TlGaSe₂.

Исследовались выращенные методом Бриджмена—Стокбаргера специально не легированные монокристаллы TlGaSe₂ из разных технологических партий. Кристаллы обладали проводимостью *p*- типа при удельном сопротивлении $L1 \rho = 2 \cdot 10^6$ Ом см, $L3 = 1,3 \cdot 10^6$ Ом см, $Az1 = 3 \cdot 10^6$ Ом см, $Az3 = 2,8 \cdot 10^6$ Ом см. Образцы типично имели размеры 2x4x0.3 мм. Омические контакты формировались пайкой индием на торцевых поверхностях образца. Геометрия протекания тока - вдоль слоев кристалла. Качество контактов оценивали по вольтамперной характеристике, которая была линейна при комнатной температуре. Световое возбуждение с $h\nu < E_g$ падало перпендикулярно поверхности кристалла - плоскости скола, и соответствовало плотности потока фотонов на поверхности образца $\sim 10^{14}$ см⁻² с⁻¹. Измерительная установка и методика измерений описаны в [3]. При регистрации релаксации фототока проводилось поточечное накопление и усреднение кинетики сигнала (64 реализации), содержащей 2000 отсчетов, расположенных через фиксированный интервал времени $\Delta t = 6,3 \cdot 10^{-5}$ с. Регистрация проводилась в процессе нагрева образца со скоростью ~ 2 К/мин в диапазоне температур 78–330 К, с шагом 1 К. Релаксации фотоотклика анализировалась по методикам DLTS [4].

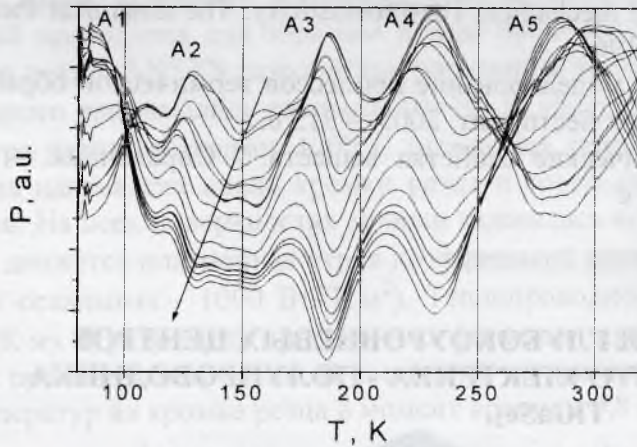


Рис.1 PICTS спектры образца L1, времена релаксации соответствуют 1,5 – 15 мс. Спектры нормированы по высоте максимального пика.

На рис.1 приведен типичный набор спектров, с хорошо различимыми пиками, отмеченными на рисунке как A1 – A5. В спектрах остальных образцов при соответствующих температурах также наблюдаются аналогичные пики. Смещение температурного положения пика в наборе спектров обнаруживает наличие перезарядки дефектов, регистрируя зависимость от температуры скорости перезарядки (см. рис.2). В таблице представле-

ны значения энергии термо-активации перезарядки – E_a и эффективного сечения захвата – σ_t , совместно с областью температур регистрации перезарядки – ΔT , полученные в результате DLTS анализа зависимости от температуры релаксации фотоотклика при возбуждении с $h\nu = 1,8$ эВ. Отметим, что область ΔT для A2 включает температуру фазового перехода из пара – в несоизмерную сегнетоэлектрическую фазу 107 К, а для A1 из несоизмерной в соизмерную сегнетофазу 120 К [5,6].

Параметры дефектов

		L1	L3	Az1	Az3
A1	T, K	100-115	81-106	93-117	91-115
	E_a, eV	0,12	0,10	0,11	0,13
	σ_t, cm^2	$3,8 \cdot 10^{-18}$	$3,9 \cdot 10^{-17}$	$9,4 \cdot 10^{-18}$	$9,6 \cdot 10^{-17}$
A2	T, K	120-130	122-142	121-132	122-138
	E_a, eV	0,36	0,3	0,32	0,27
	σ_t, cm^2	$6,9 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$3,86 \cdot 10^{-13}$
A3	T, K	152-166	152-181	142-168	173-196
	E_a, eV	0,30	0,33	0,26	0,42
	σ_t, cm^2	$4,5 \cdot 10^{-14}$	$2,4 \cdot 10^{-13}$	$5,8 \cdot 10^{-15}$	$9,2 \cdot 10^{-12}$
A4	T, K	208-243	214-239	210-243	209-234
	E_a, eV	0,41	0,48	0,42	0,44
	σ_t, cm^2	$3,4 \cdot 10^{-14}$	$4,0 \cdot 10^{-13}$	$2,7 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-13}$
A5	T, K	305-327	307-328	301-325	293-324
	E_a, eV	0,71	0,58	0,72	0,68
	σ_t, cm^2	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$9,1 \cdot 10^{-14}$	$9,0 \cdot 10^{-13}$	$7,8 \cdot 10^{-13}$

Как можно заметить из таблицы наиболее стабильным параметром является область температур регистрации перезарядки, что послужило основанием для предварительного сопоставления пиков перезарядке идентичных дефектов в наших образцах. В тоже время наиболее критична величина σ_i . Для пика A2 оценка в рамках DLTS анализа эффективного сечения захвата по данным, регистрировавшимся на разных образцах, изменяется на четыре порядка. На образцах L1, L3 и Az1 σ_i имеет сверх «гигантскую» величину, согласно оценке эффективного сечения захвата центра, притягивающего носители заряда $\sim 10^{-12} - 10^{-15} \text{ см}^2$ [7]. Надежным критерием идентификации дефекта в различных образцах принято считать совпадение графиков Аррениуса. На рис.2 для A4 точки группируются в некоторой относительно компактной области графика Аррениуса. Для A2 увеличение области приблизительно соответствует изменению масштаба $\sim \Delta T/T$. Для систематизации результатов мы применили

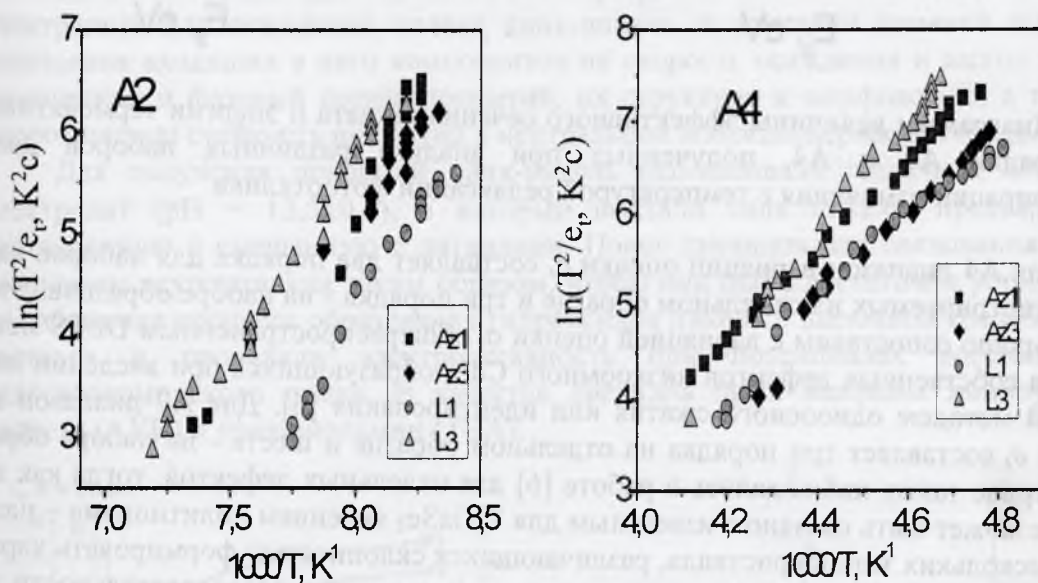


Рис.2 Зависимость от температуры скорости перезарядки дефекта A2 и A4 с учетом T^2 коррекции.

методику предложенную в работе [6]. Мы использовали для анализа данные, полученные в различных условиях эксперимента. Варьировалось приложенное к образцу напряжение, фотовозбуждение $h\nu$ и начальные условия эксперимента - предварительный прогрев образца и повторение регистрации данных без промежуточного прогрева. Результаты анализа представлены на рис.3. Хорошее соответствие пар значений $(E_a, \lg(\sigma_i))$ линейной зависимости свидетельствует об идентичности дефектов, регистрируемых на образцах [6].

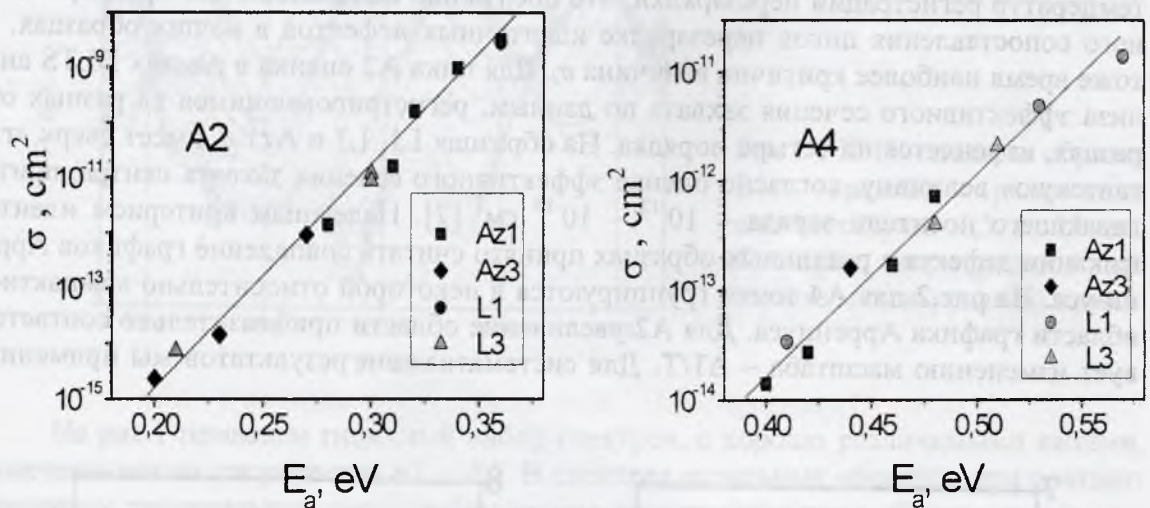


Рис.3 Диаграммы величины эффективного сечения захвата и энергии термоактивации перезарядки A2 и A4, полученных при анализе различных наборов данных регистрации изменения с температурой релаксации фотоотклика

Для A4 диапазон вариации оценки σ_i составляет два порядка для наборов данных регистрируемых на отдельном образце и три порядка - на наборе образцов. Этот факт хорошо сопоставим с вариацией оценки σ_i общераспространенным DLTS методом для собственных дефектов низкоомного CdS, образующихся при введении дислокаций методом одноосного сжатия или идентифицирования [6]. Для A2 диапазон вариации σ_i составляет три порядка на отдельном образце и шесть - на наборе образцов. Первое также наблюдалось в работе [6] для отдельных дефектов, тогда как последнее может быть связано с известным для TiGaSe_2 явлением политипизма – наличием нескольких типов кристалла, различающихся склонностью формировать характерную для данного политипа сверхрешетку из нарушения последовательности чередования кристаллических слоев.

Литература

1. Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики – полупроводники/ М.: Наука. 1976. 408 с.
2. Ch. Hurter, M. Voilou, A. Mitonneau, D. Bois/ *Appl. Phys. Lett.* **32** (1978), p. 821.
3. И.А. Давыдов, А.П. Одринский. РЖ: Электроника **11**, 4 (1990).
4. D.V. Lang, *J. Appl. Phys.* **45**, 7, - p.3023-3032 (1974).
5. D F McMorrow, R A Cowley, P D Hatton and J Banys/ *J. Phys.: Condens. Matter* **2** 3699-3712 (1990).
6. С.Б. Вахрушев, Б.Е. Квятковский, Н.М. Окунев, К.Р. Аллахвердиев. Препринт ФТИ им. А.Ф.Иоффе № 886 Л. (1984).
7. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках/ М.: Мир, 1977. 562 с.
8. А.А.Истратов, О.Ф.Вывенко, ФТП **29**, 4, с.654-664 (1995).