

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА – ПОЛУПРОВОДНИКА $TiGaSe_2$**

А. П. Одринский¹, V. Grivickas², V. Bikbajevs², K. Gulbinas²

¹Институт Технической Акустики НАН Беларуси,
Витебск, Беларусь, odra@mail333.com

²Institute of Applied Research, Vilnius University, Lithuania

Представлены результаты фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS) собственных дефектов $TiGaSe_2$. Выращенные методом Бриджмена—Стокбаргера нелегированные монокристаллы из разных технологических партий обладали проводимостью p - типа, при удельном сопротивлении $\rho \sim 10^6$ Ом см. Методика и условия эксперимента практически не отличались от описанных нами ранее [1]. Учитывая наличие у кристалла сегнетоэлектрических свойств, особое внимание при регистрации данных уделялось отслеживанию кинетики фотоотклика образца (визуально на мониторе персонального компьютера и регистрация кинетики фотоотклика в отдельном наборе данных). Были подобраны условия и режимы регистрации, в которых кинетика релаксации фотоотклика хорошо аппроксимировалась суммой двух экспоненциальных составляющих, сопоставимых со спадом концентрации неравновесных свободных носителей и термоэмиссией неравновесного заполнения дефектов в диапазоне температур 78-330 К.

Полученные в рамках DLTS анализа величины энергии активации перезарядки - E_a и эффективного сечения захвата σ_t приведены в таблице совместно с ΔT - диапазоном температур регистрации перезарядки дефекта. Наиболее стабильным параметром таблицы является ΔT , служивший основанием предварительного сопоставления регистрации перезарядки идентичным дефектам в наборе образцов. В тоже время при анализе результатов ряда независимых испытаний наблюдалась значительная вариация величин σ_t и E_a [1]. Эксперименты различались приложенным к образцу напряжением, использованным $h\nu$ фотозвозбуждения и начальными условиями измерений - предварительный прогрев образца при 80°C в течение часа в темноте и повторение регистрации данных без промежуточного прогрева.

Дефект	Параметры	Образец			
		L1	L3	Az1	Az3
A1	ΔT , К	100-115	81-106	93-117	91-115
	E_a , эВ	0.12	0.10	0.11	0.13
	σ_t , см ²	$3.8 \cdot 10^{-18}$	$3.9 \cdot 10^{-17}$	$9.4 \cdot 10^{-18}$	$9.6 \cdot 10^{-17}$
A2	ΔT , К	120-130	122-142	121-132	122-138
	E_a , эВ	0.21	0.23	0.23	0.19
	σ_t , см ²	$1.0 \cdot 10^{-14}$	$7.0 \cdot 10^{-14}$	$8.8 \cdot 10^{-14}$	$4.8 \cdot 10^{-16}$
A3	ΔT , К	152-166	152-181	142-168	173-196
	E_a , эВ	0.30	0.33	0.26	0.42
	σ_t , см ²	$4.5 \cdot 10^{-14}$	$2.4 \cdot 10^{-13}$	$5.8 \cdot 10^{-15}$	$9.2 \cdot 10^{-12}$
A4	ΔT , К	208-243	214-239	210-243	209-234
	E_a , эВ	0.46	0.51	0.48	0.48
	σ_t , см ²	$4.6 \cdot 10^{-13}$	$2.1 \cdot 10^{-12}$	$4.3 \cdot 10^{-13}$	$4.3 \cdot 10^{-13}$
A5	T , К	305-327	307-328	301-325	293-324
	E_a , эВ	0.71	0.58	0.72	0.68
	σ_t , см ²	$1.3 \cdot 10^{-12}$	$9.1 \cdot 10^{-14}$	$9.0 \cdot 10^{-13}$	$7.8 \cdot 10^{-13}$

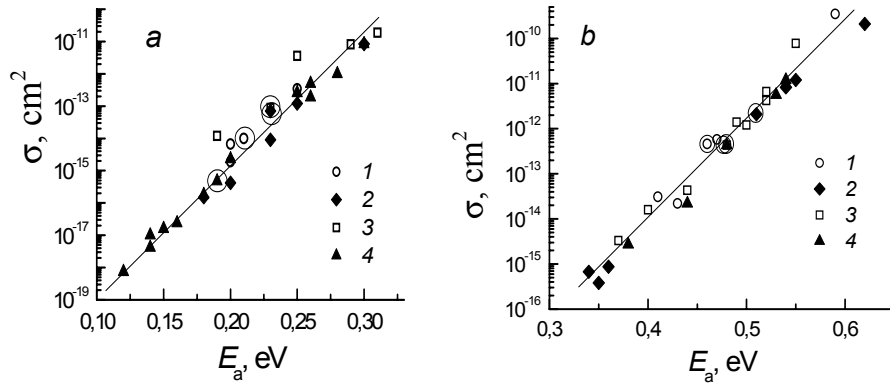


Рис.1. Диаграмма величины эффективного сечения захвата и энергии термоактивации перезарядки *a* – A2 и *b* – A4, полученных при анализе различных наборов данных регистрации изменения с температурой релаксации фотоотклика: 1 – по данным на образце L1, 2 – L3, 3 – Az1, 4 – Az3. Выделены значения параметров, приведенные в таблице

На рис. 1 представлена систематизация результатов анализа данных независимых испытаний по методике из работы [2]. Заметна корреляция вариации оценок известная из практики DLTS исследований как правило Майер - Нельделя (MNR) или компенсационный закон [3]. Отметим, что хорошее соответствие пар значений (E_a , $\lg(\sigma_t)$) единой линейной зависимости свидетельствует об идентичности дефектов, регистрируемых на наборе образцов из различных технологических партий. В тоже время на наших образцах диапазон вариации оценки σ_t на 2-4 порядка превышает данные DLTS исследований низкоомного CdS [2]. Для детального изучения данного явления была развита методика анализа данных с использованием более узкого интервала температур определения параметров дефекта, позволяющая получить изменение с температурой оценок E_a и σ_t . На отдельных наборах данных зависимость оценок от температуры не обнаруживалась. Вместе с тем, по данным иных независимых испытаний, наблюдались значительная вариация оценок с температурой, более характерная для дефектов, регистрируемых в области ФП, где зависимость от температуры имела повторяющийся характер по результатам анализа независимых наборов данных. На рис.2 приведены примеры значительного изменения с температурой оценки E_a - кривые 1-3 и более умеренных изменений - кривая 4. Для эффективного сечения захвата наблюдаются аналогичные температурные зависимости в строгом соответствии с вариацией оценки E_a с температурой согласно MNR. Это хорошо сопоставимо с распространенным объяснением MNR, как обусловленным соответствием энергии активации перезарядки, определяемой в электрических измерениях, с изменением энтальпии [3]. Можно предположить, что наблюдаемая на рис.1 вариация оценок E_a , и σ_t обусловлена связанностью перезарядки дефекта с неконтролируемой электрической активностью доменной структуры. Отметим, что мы уделяли особое внимание контролю формы кинетики фотоотклика и отсутствию перераспределения генерируемых светом носителей заряда (эффект экранирования). Однако это не гарантирует отсутствия данных явлений с уменьшением масштаба разбиения образца на систему

макрообластей, характеризующихся неоднородностью условий неравновесного заполнения дефектов. Формально доменная структура характерна лишь для сегнетоэлектрической фазы, но можно полагать, что возникшая в сегнето-фазе система пространственно неоднородного заполнения набора дефектов кристалла (система электретов) должна сохраняться “замороженной” и в пара-фазе вплоть до температур последовательной термоактивации перезарядки соответствующих дефектов.

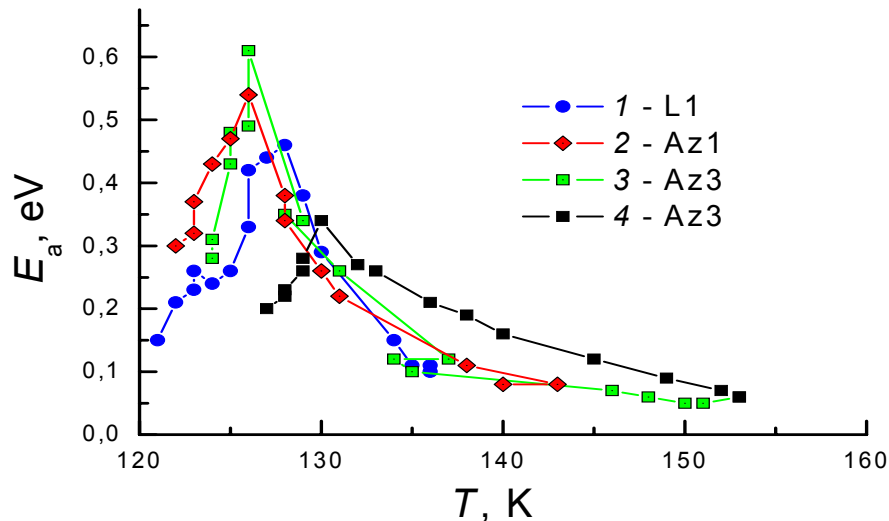


Рис.2. Зависимость от температуры энергии активации перезарядки дефекта A2, регистрируемого в окрестности ФП

Таким образом, методом PICTS в монокристаллах сегнетоэлектрика – полупроводника $TiGaSe_2$ из разных технологических партий регистрируется набор идентичных дефектов. При анализе результатов независимых испытаний наблюдается значительная вариация определяемых в рамках DLTS методик оценок эффективного сечения захвата и энергии активации перезарядки дефекта. Вариация оценок строго коррелирована в соответствии с правилом Майер – Нельделя.

Используя анализ в более узком интервале температур, обнаружены закономерности изменения с температурой оценок параметров дефекта, регистрируемого в области фазового перехода.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.П. Одринский Нестационарная спектроскопия глубоких уровней монокристалла сегнето-электрика-полупроводника $TiGaSe_2$: сб. статей 8-го Бел.-Рос. семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» /V. Grivickas, V. Bikbajevs, E.G. Samadli. 17-20 мая 2011. Минск. 2011. С.221.
2. А. А.Истратов, О. Ф. Вывенко Глубокие центры в монокристаллах сульфида кадмия: новый метод сравнения данных DLTS, полученных различными наблюдателями // ФТП. 1995. Т. 29, № 4. С. 654.

3. Yelon B. Movaghar H. M. Branz / Phys. Rev. 1992. Vol. B 46, P. 12244.