

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДЕЛОКАЛИЗАЦИИ ЗАРЯДА МОНОКРИСТАЛЛА TiGaSe_2 В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ 220 – 260 К

А.П. Одринский

ГНУ «Институт технической акустики» НАН Беларуси,
пр. Людникова 13, Витебск 210009, Беларусь, a.odrinsky@gmail.com

Метод фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS) использован для исследования процессов делокализации заряда в 2D-структурированном монокристалле сегнетоэлектрика-полупроводника $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$. Сравнением с результатами ранних исследований нелегированного кристалла обнаружено смещение графика Аррениуса процесса делокализации заряда, регистрируемого в области температуры наблюдения аномальной реакции кристалла на свет, интерпретированное в рамках усиления термоэмиссии заряда в нелегированном кристалле.

Ключевые слова: 2-D сегнетоэлектрики; центры локализации заряда; PICTS; усиление эмиссии; фотогальванический ток.

INVESTIGATION OF CHARGE THERMAL DELOCALIZATION OF MONOCRYSTAL TiGaSe_2 IN THE TEMPERATURE REGION 220 - 260 K

Andrey & P. Odrinsky

Institute Technical Acoustics NAS Belarus,
13 Ludnikova Ave., 210009 Vitebsk, Belarus, a.odrinsky@gmail.com

Photo-induced current transient spectroscopy (PICTS) technique is applied for studying the processes of charge delocalization in 2D-structured single crystal of $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$ ferroelectric-semiconductor. Keep in mind the presence of photo galvanic effect in crystal main attention was paid the process of charge delocalization in temperature region 220-280 K. It is show that this process connected with native defects of TiGaSe_2 that involving in formation of electret's states of crystal. Arrenius plot of this process was shifted in high temperature direction as compared with results of early researches on undoped crystal of TiGaSe_2 . This is good coincided with weak photo galvanic effect in neodim doped crystal. Thus, we have the thermo emission enhancement effect in undoped crystal of TiGaSe_2 . As explanation of this emission enhancement the effect of phonon-assistant tunneling was proposed.

Keywords: 2-D ferroelectrics; charge localization centers; PICTS; emission enhancement; photo galvanic current.

Введение

Для сегнетоэлектриков-полупроводников, обладающих склонностью к неоднородности электрических характеристик, изменениям внутренних электрических полей под влиянием внешних воздействий, способность дефектов кристаллической структуры, включая атомы вводимых примесей, выступать в роли центров локализации носителей заряда (ЦЛЗ) приобретает особую важность.

В настоящей работе представлены результаты исследования легированного неодимом кристалла методом фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS). Рассматривая кристалл TiGaSe_2 как прототип сегнетоэлектрического фо-

товольтаического преобразователя солнечной энергии принципиально нового типа [1] основное внимание уделено процессу делокализации заряда с ЦЛЗ вносящих существенный вклад в формирование пространственной электрической неоднородности кристалла в низкотемпературной сегнето-фазе. Обсуждаются особенности развития данного процесса делокализации заряда в легированном и не легированном TiGaSe_2 .

Основная часть

PICTS-исследования 2D-структурированных монокристаллов TiGaSe_2 , легированных неодимом в режиме, провоцирующем аномалии реакции кристалла на

свет (возбуждение с $h\nu \geq 1.8$ eV) обнаружили существенное ослабление фотогальванических явлений в кристалле. Тестирование эволюции реакции кристалла на фотовозбуждение с $h\nu \geq E_g$ в изотермическом режиме подтвердили ослабление действия фотогальванической эдс в данных образцах.

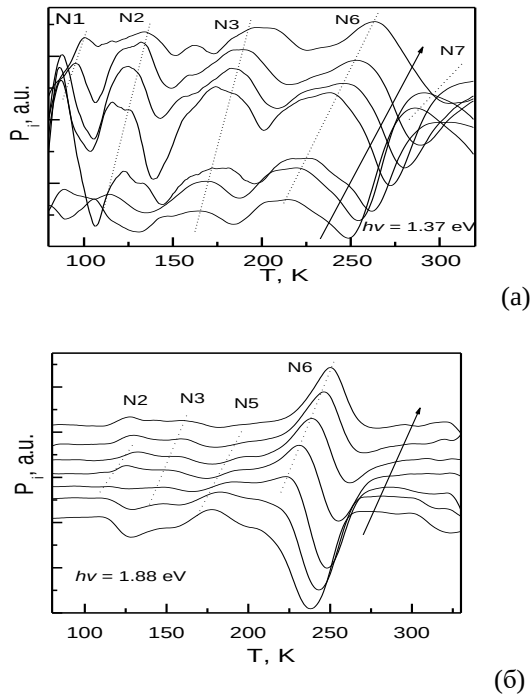


Рис. 1. Наборы PICTS-спектров кристалла $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$ при возбуждении с а) $h\nu = 1.37$ eV; б) $h\nu = 1.88$ eV. Стрелкой указана последовательность характеристического времени релаксации спектра: а) 33.9 ms, 20.1 ms, 9.88 ms, 3.23 ms, 1.59 ms, 0.82 ms, 0.35 ms; б) 31.4 ms, 18.1 ms, 9.88 ms, 4.76 ms, 2.46 ms, 1.18 ms, 0.61 ms. Спектры нормированы по высоте доминирующего пика

На рис. 1 показаны наборы PICTS-спектров кристалла $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$. Значительный интерес представляет процесс делокализации заряда обозначенный как N6, регистрируемый в области температуры $T \sim 220\text{--}280$ K. В данной области наблюдалось изменение механизма формирования аномалий реакции TiGaSe_2 на свет [2]: при $T < 235$ K доминирует реакции, обусловленная формирующимися в низкотемпературной сегнето-фазе электретными состояниями, тогда как при $T > 235$ K доминирующая реакция обусловлена действием фотогальванической

эдс. Это дает основания рассматривать данный процесс делокализации заряда как характерный для TiGaSe_2 , обусловленный собственными дефектами кристалла, участвующими в формировании электретных состояний кристалла.

На $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$ процесс N6 устойчиво регистрируется при варьировании энергии квантов возбуждающего излучения. В тоже время PICTS-спектры, регистрируемые в режиме провокации аномалий имеют характерный вид (см. рис. 1 б), наблюдавшийся и на легированных Er и Tb образцах, а также на отдельных образцах нелегированного кристалла в режиме инжекции с контактов. Из анализа изменений высоты пика в наборе спектров по методике из работы [3] следует, что такой вид спектра обусловлен модификацией вклада в релаксацию фотоотклика всех регистрируемых процессов делокализации за исключением N6. Это хорошо согласуется с предположением о N6 как характерном собственном дефекте, вносящем значительный вклад в формирование электретных состояний.

Приведенный на рис. 2 график Аррениуса для N6 существенно сдвинут относительно данных, полученных на образцах нелегированного кристалла, на которых наблюдались ярко выраженные аномалии реакции на свет. Однако наблюдается близкое положение графика Аррениуса с данными, полученными из анализа спектров характерного вида (см. рис. 1 б), регистрировавшихся на иных образцах. Можно заключить, что регистрируемый в области температуры $T \sim 220\text{--}260$ K процесс делокализации заряда обусловлен ЦЛЗ, характерным для TiGaSe_2 , который на нелегированном кристалле протекает в условиях усиления термоэмиссии с ЦЛЗ.

Оценка усиления термоэмиссии данного процесса вследствие эффекта Пула-Френкеля [5] показала неспособность объяснить сдвиг по температуре графика Аррениуса. Однако существенно более строгая зависимость усиления термоэмиссии от напряженности поля для эффекта

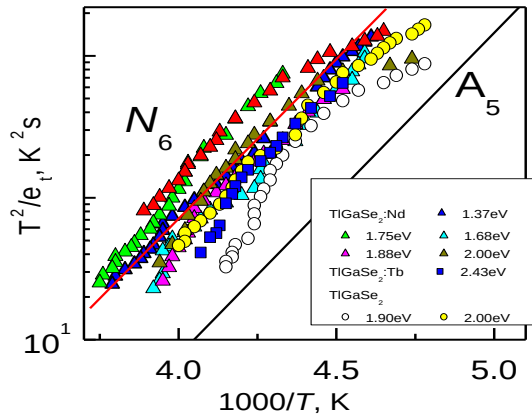


Рис. 2. График Аррениуса процесса делокализации заряда: а) треугольники - N6 на кристалле $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$ при различной энергии квантов возбуждающего излучения; б) квадраты – на $\text{TiGaSe}_2\text{:Tb}$; в) кружки – на нелегированном TiGaSe_2 в режиме инжекции с контактов; д) прямая линия – по данным [4] на нелегированном TiGaSe_2 .

туннелирования с участием фононов (phonon-assistant tunneling) [6] вполне приемлема для объяснения температурного сдвига графика.

Заключение

Таким образом, при исследовании кристалла $\text{TiGaSe}_2\text{:Nd}$ методом фотоэлектрической релаксационной спектроскопии в области температуры $T \sim 220\text{--}260\text{ K}$ зарегистрирован процесс делокализации заряда обусловленный характерными для кристалла центрами локализации заряда. Сопоставлением графика Аррениуса данного процесса с данными, полученными на нелегированном кристалле TiGaSe_2 , обнаружено усиление термоэмиссии заряда

для нелегированного кристалла и предложена модель усиления термоэмиссии вследствие эффекта туннелирования с участием фононов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант № Ф22-127.

Библиографические ссылки

1. Одринский А.П. Фотогальванические токи и электрическая неоднородность 2-D структурированного монокристалла сегнетоэлектрика-полупроводника. *Физика твердого тела* 2021; 63(8): 1024-1029.
2. Одринский А.П., Seyidov M.-H.Yu, Мамедов Т.Г., Алиева В.Б. Параметрический резонанс и фотогальванические токи в слоистом кристалле TiGaSe_2 . *Физика твердого тела* 2017; 59(3): 447-452.
3. Одринский А.П., Мамедов Т.Г., Seyidov M.-H.Yu, Алиева В.Б. Фотоэлектрическая активность структурных дефектов монокристалла сегнетоэлектрика-полупроводника $\text{TlInS}_2\text{:La}$. *Физика твердого тела* 2014; 56(8): 1554-1558.
4. Seyidov M.-H., Mikailzade F.A, Uzun Talip, Odrinsky A.P., Yakar Emin, Aliyeva V.B. et al. Identification of Intrinsic Deep Level Defects Responsible for Electret Behavior in TiGaSe_2 Layered Semiconductor *Physica B: Physics of Condensed Matter* 2016; 483: 82-89.
5. Frenkel J. On Pre-Breakdown Phenomena in Insulators and Electronic Semiconductors. *Physical Review B* 1938; 54: 647-649.
6. Ganichev S.D., Ziemann E., Prettl W., Yassievich I.N., Istratov A.A. and Weber E. R. Distinction between the Poole-Frenkel and tunneling models of electric-field-stimulated carrier emission from deep levels in semiconductors. *Physical Review B* 2000; 61: 10361-10366.