

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$   
В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕБахышов А. Э., Натиг Б. А., Сафуат Б.,  
Самедов С. Р., Аббасов Ш. М.

Повышенный интерес к изучению свойств  $TlInS_2$  и  $TlGaSe_2$  связан с тем, что в них обнаружены явления сегнетоэлектричества [1, 2] с установленным фактом образования несоразмерной фазы [3].  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$  являются широкозонными полупроводниками со значениями  $E_g$ , равными соответственно 2.03 и 2.38 эВ при 294 К. В формировании их многих физических свойств фундаментальную роль играют примесные уровни и существование в них каскадных фазовых переходов. Однако взаимосвязь этих свойств почти не изучена.

В данном сообщении приведены результаты экспериментов по изучению электронных свойств  $TlGaSe_2$ ,  $TlInS_2$  методами термостимулированного тока (ТСТ), термостимулированной деполяризации (ТСД) и температурной зависимости темновой и фотопроводимости в динамическом режиме. Монокристаллы  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$ , выращенные методом направленной кристаллизации, обладали проводимостью  $p$ -типа и удельными сопротивлениями  $10^7 \div 10^9$  и  $10^8 \div 10^9$  Ом/см при 300 К соответственно.

Эксперимент был проведен в следующем режиме. Для снятия спектра ТСТ образцы охлаждались до 85 К, к ним прикладывалось электрическое поле напряженностью  $2 \cdot 10^4$  В/м. Одновременно они освещались светом  $h\nu \geq E_g$  в течение 30 мин. После установления стационарного состояния образцы нагревались с постоянной скоростью и записывалась кривая ТСТ. Для снятия кривых ТСД к образцам  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$  прикладывалось поле напряженностью  $7 \cdot 10^4$  В/м соответственно в областях температур  $80 \div 100$  и  $100 \div 210$  К при охлаждении. После отключения поля образцы нагревались с постоянной скоростью и записывалась кривая тока ТСД. Температурные зависимости темновой и фотопроводимости измерены в квазистационарном состоянии образцов.

Спектры ТСТ для всех исследуемых образцов  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$  соответственно имеют три (135, 158, 200 К) и пять (112, 150, 184, 201, 213 К) пиков (рис. 1). В предположении того, что пики ТСТ связаны с примесными состояниями, методом «начального наклона» для монокристаллов  $TlGaSe_2$  вычислены энергии активации примесей, которые равны 0.68, 0.60, 0.37 эВ. Примеси с энергией активации 1.34 эВ выявлены в высокотемпературной области. Для кристаллов  $TlInS_2$   $E_i$  было определено по формуле  $E_i = kT \ln(N_i/n_x)$ , которая предполагает, что квазиуровень Ферми при  $T_x$  совпадает с уровнем ловушек. Значения  $E_i$  для  $TlInS_2$  соответствуют 0.31, 0.42, 0.49 и 1.12 эВ. Энергия активации ловушек для максимума при 184 К определена по графику  $\ln I = f(10^3/T)$  и равна 0.51 эВ.

Для анализа полученных данных необходимо указать, по каким механизмам изменяется концентрация неравновесных носителей. В данном случае некоторую ясность можно получить при исследовании ТСД. Как следует из сопоставления спектров ТСТ и ТСД (рис. 1), некоторые пики спектров ТСТ почти совпадают с максимумами ТСД. Для  $TlInS_2$  150, 184, 201, 213 К соответственно совпадают с 145, 187, 196, 212 К, а для  $TlGaSe_2$  135 К совпадает с 137 К.

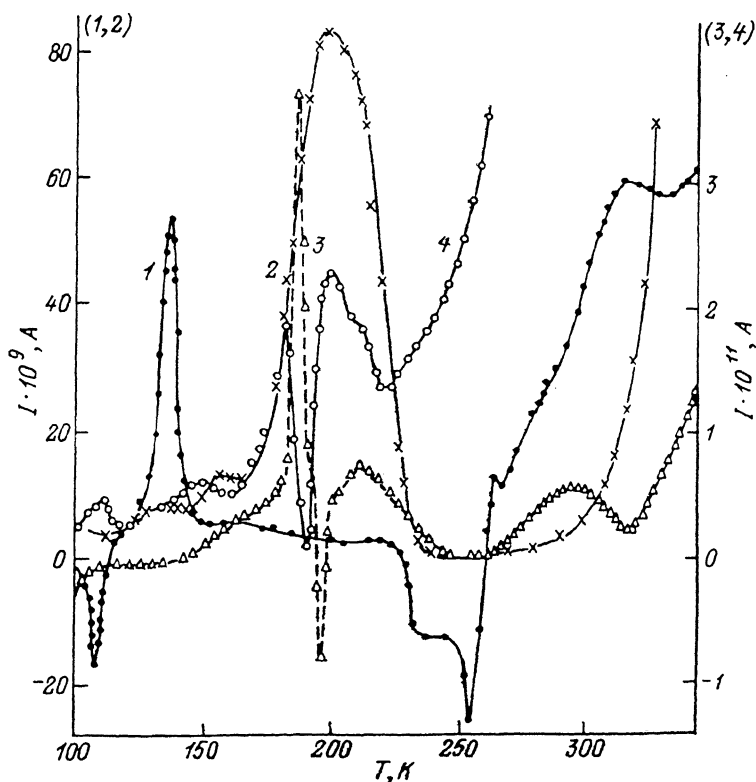


Рис. 1. Кривые ТСД (1, 2) и ТСТ (3, 4) в монокристаллах  $\text{TlGaSe}_2$  (1, 2) и  $\text{TlInS}_2$  (3, 4) при скорости нагрева 0.15 град/с.

Для кривых 3 и 4 ось ординат — справа.

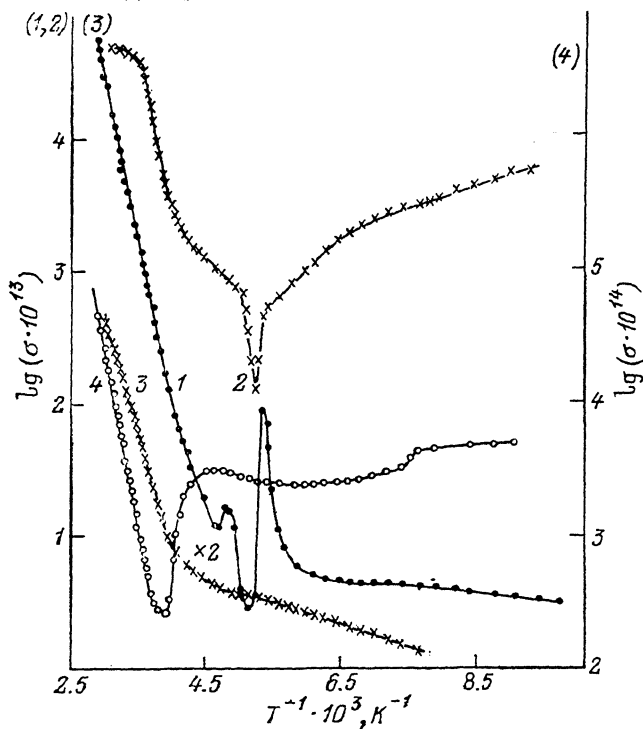


Рис. 2. Температурная зависимость темновой (1, 2) и фотопроводимости (3, 4) монокристаллов  $\text{TlInS}_2$  (1, 2) и  $\text{TlGaSe}_2$  (3, 4).

Для кривой 4 ось ординат — справа, для кривой 3 масштаб увеличен на  $\lg 10^2$ .

Около 200 К сигнал ТСД медленно уменьшается, изменяя знак. Эта область совпадает с пиком ТСТ, который имеет полуширину, равную  $20^\circ$ . Следует отметить, что при изменении направления прикладываемого поля в спектре ТСД происходит переориентация пика в  $\text{TlInS}_2$  около 196 К и пика в  $\text{TlGaSe}_2$  около 108 К. Отрицательные пики  $\text{TlGaSe}_2$  в области температур  $230\text{--}250$  К изменяются по амплитуде. Вышесказанное дает основание полагать, что максимумы, обнаруженные для  $\text{TlInS}_2$  (при 196 К) и  $\text{TlGaSe}_2$  (108 К), соответствуют переходам этих кристаллов в полярные фазы. Это согласуется с результатами работ [1-3], в которых показано, что в  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlGaSe}_2$  соответственно в интервалах  $195\text{--}202$  и  $\sim 110$  К имеет место переход в сегнетоэлектрическую фазу. Поведение кривых ТСД для  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlGaSe}_2$  соответственно около 240 и 220 К может быть связано с переходом кристаллов в несоразмерную фазу с последующим модулированием сверхструктуры внутри этой фазы. Подобные аномалии получены также при проведении оптических, калориметрических и нейтронно-графических исследований [3-5].

Известно, что фазовые переходы (ФП) и электронная подсистема взаимосвязаны [6]. С учетом того, что  $\text{TlGaSe}_2$  и  $\text{TlInS}_2$  являются компенсированными полупроводниками [7], обнаруженные аномалии электропроводности мы связываем с изменением компенсации и энергии активации глубоких примесных уровней при ФП. Температурная зависимость фотопроводимости  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlGaSe}_2$  в области модулированной сверхструктуры изменяется умеренно, а вблизи температур ФП — скачком (рис. 2, кривые 2, 4). Такая температурная зависимость фотопроводимости связана с влиянием сегнетоэлектрических, несоразмерных ФП на перезарядку глубоких уровней. На это указывают также близость температур, соответствующих аномалиям в кривых фотопроводимости, и наличие нескольких максимумов в спектре ТСТ кристаллов  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlGaSe}_2$ .

#### Список литературы

- [1] Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Аллахвердиев К. Р., Сардарлы Р. М. // ФТТ. 1983. Т. 25. В. 12. С. 3583—3585.
- [2] Алиев Р. А., Аллахвердиев К. Р., Баранов А. И., Иванов Н. Р., Сардарлы Р. М. // ФТТ. 1984. Т. 26. В. 5. С. 1271—1276.
- [3] Вахрушов С. Б., Жданов В. В., Квятковский Б. К., Окунева Н. М., Аллахвердиев К. Р., Алиев Р. А., Сардарлы Р. М. // Письма ЖЭТФ. 1984. Т. 39. В. 6. С. 245—247.
- [4] Allakhverdiev K. R., Mamedov T. G., Aldzanov M. A. // Sol. St. Commun. 1986. V. 58. N 5. P. 295—297.
- [5] Аллахвердиев К. Р., Бахышов Н. А., Мамедов Т. Г., Наджафов А. И. // ФТТ. 1986. Т. 28. В. 7. С. 2243—2246.
- [6] Фридкин В. М., Герзанич Е. И. Сегнетоэлектрики типа  $A^mB^nV^lC^m$ . М., 1982. 226 с.
- [7] Дарвинш А. М., Бахышов А. Э., Тагиров В. И. // ФТП. 1977. Т. 11. В. 4. С. 780—781.

Азербайджанский государственный университет им. С. М. Кирова  
Баку

Получено 18.07.1989  
Принято к печати 23.01.1990

ФТП, том 24, вып. 7, 1990

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As/GaAs}$

Брунков П. Н., Калиновский В. С., Конников С. Г.,  
Соболев М. М., Сулима О. В.

Во время эксплуатации полупроводниковых фотопреобразователей (ФП) солнечного излучения в условиях открытого космоса происходит деградация параметров приборов. Существенную роль в этом процессе играют высокоэнергетичные протоны [1].

В данной работе приводятся результаты исследования радиационных дефектов с глубокими уровнями (ГУ), появляющихся при облучении ФП на основе