

- [8] Sidorov V. A., Khvostansev L. G., Tsiok O. B., Stepanov N. N., Golubkov A. V., Smirnov I. A. // Electronic transport properties of rare-earth monochalcogenides in the intermediatevalent state at high pressure up to 12 GPa. / 6th Int. Conf. on Crystal Field Effect and Heavy Fermion Physics. July 18—21. 1988. Frankfurt. FRG. С—60.
- [9] Сидоров В. А., Хвостанцев Л. Г., Циок О. Б., Степанов Н. Н., Голубков А. В., Смирнов И. А. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1128—1132.
- [10] Сидоров В. А., Степанов Н. Н., Хвостанцев Л. Г., Циок О. Б., Голубков А. В., Смирнов И. А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 1106—1110.
- [11] Шенников В. В., Гижевский Б. А., Чеботаев Н. М., Клинова Л. А. // ФММ. 1990. Т. 68. № 4. С. 82—88.
- [12] Голубков А. В., Сергеева В. М. // Физика и химия редкоземельных полупроводников (Химия и технология). Препринт УНЦ АН СССР. Свердловск. 1977. С. 28—35.
- [13] Шенников В. В. // Расплавы. 1988. Т. 2. В. 2. С. 33—40.
- [14] Шенников В. В. // ФММ. 1989. Т. 67. № 1. С. 93—96.

Институт проблем машиноведения
АН Украины
Черновцы

Поступило в Редакцию
13 февраля 1992 г.

УДК 537.226.

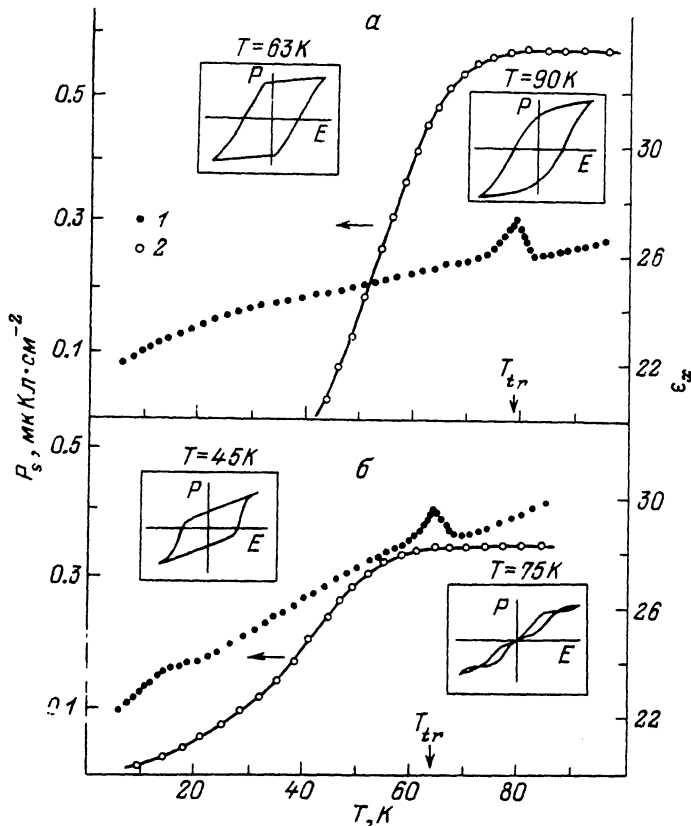
© Физика твердого тела, том 34, № 11, 1992
Solid State Physics, vol. 34, № 11, 1992

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СЛОИСТЫХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ-ПОЛУПРОВОДНИКАХ $TlInSe_2$ И $TlGaSe_2$

К. Р. Аллахвердиев, Ф. М. Салаев, Ф. А. Микаилов,
Т. С. Мамедов

Слоистые сегнетоэлектрики-полупроводники $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$, обладающие при комнатной температуре симметрией, с понижением температуры претерпевают последовательно фазовые переходы (ФП) в несоразмерную (при температуре 216 и 120 К соответственно) и сегнетоэлектрическую (при 201 и 110 К соответственно) фазы [1, 2]. Исследования физических свойств $TlInS_2$ при низких температурах ($T < 77$ К) выявили ряд особенностей, указывающих на возможность низкотемпературных ФП в этом кристалле. Так, в работе [3] при исследовании спектров комбинационного рассеяния $TlInS_2$ вблизи температуры 75 К было обнаружено взаимодействие двух оптических мод (с частотами ~ 42 и ~ 39 cm^{-1} при 12 К), в результате которого происходит их «отталкивание» при дальнейшем росте температуры. При этом одна из низкочастотных поперечных оптических мод (42 cm^{-1}) в области ~ 75 К проявляет характерные черты сегнетоэлектрического возбуждения. В работах [4, 5] в температурных зависимостях параметра элементарной ячейки и диэлектрической проницаемости (на частоте 10 МГц) кристаллов $TlInS_2$ обнаружены аномалии в окрестности ~ 80 К. Эти аномалии рассматриваются авторами [4] как ФП в несоразмерную фазу (НФ), а в работе [5] предполагается, что указанный переход является ФП в соизмеримую фазу из НФ, реализующейся при 170 К.

В настоящей работе приводятся результаты исследований диэлектрических свойств кристаллов $TlInS_2$, а также $TlGaSe_2$ при низких температурах. Кристаллы были выращены при помощи модифицированного метода Бриджмена в Институте физики АН Азербайджана. Диэлектрическая проницаемость измерялась мостовым методом на частоте 1 КГц. Для исследования петель диэлектрического гистерезиса на частоте 50 Гц использовалась модифицированная схема Сойера—Тауэра. В качестве электродов использовалась серебряная паста. Точность измерения температуры ± 0.05 К.



Температурные зависимости ϵ (1) на частоте 1 кГц и P_s (2) на частоте 50 Гц кристаллов TIInSe₂ (а), TIGaSe₂ (б).

T_p — температура перехода. Вставки к рисунку относятся к наблюдаемым формам петель диэлектрического гистерезиса до и после соответствующего низкотемпературного фазового перехода.

На рисунке представлены результаты измерений диэлектрических свойств слоистых кристаллов TIInSe₂ и TIGaSe₂ при низких температурах. Как видно из рисунка, температурный ход $\epsilon(T)$ указанных соединений характеризуется небольшой аномалией. Анализ кривых $\epsilon^{-1}(T)$ свидетельствует в пользу выполнения закона Кюри—Вейсса только в узком температурном интервале $\sim 2.5\text{—}3\text{ K}$ от точки ФП, равной соответственно $\sim 80\text{ K}$ для TIInSe₂ и $\sim 65\text{ K}$ — в случае TIGaSe₂. При этом в зависимости от технологического происхождения образца константа Кюри менялась в пределах $C \approx 3\text{—}5\text{ K}$. Небольшие аномалии, смещенные относительно аномалий в $\epsilon(T)$ в сторону низких температур, наблюдаются также в поведении $\text{tg } \delta(T)$ обоих кристаллов. Необходимо отметить наличие существенного гистерезиса порядка $\sim 2.5\text{ K}$ в случае TIInSe₂ на кривых $\epsilon(T)$ при прямом и обратном ходах, что указывает на первородность ФП. Приложение постоянного поля приводит к смещению максимума ϵ в сторону высоких температур со скоростью $dT/dE = 0.012\text{ K/V}$.

Еще одним фактором, определяющим закономерности и специфику низкотемпературных ФП в TIInSe₂ и TIGaSe₂, является изменение формы и параметров петель диэлектрического гистерезиса, обнаруживаемое ниже низкотемпературного ФП (вставки к рисунку). Как видно из рисунка, а, понижение температуры ниже 80 K в TIInSe₂ приводит к незначительному увеличению коэрцитивного

поля и почти прямоугольной форме петель диэлектрического гистерезиса. Полное насыщение петли сохраняется и при отрицательных полях. Величина P_s кристалла $TlInS_2$, равная при $T > 80$ К $0.56 \cdot 10^{-6}$ Кл/см², ниже точки низкотемпературного ФП монотонно уменьшается, а при $T \approx 42$ К становится близкой к нулю. Аналогичным поведением характеризуется $P_s(T)$ слоистого кристалла $TlGaSe_2$ в низкотемпературной фазе (см. рисунок б), где $P_s = 0.3$ мкКл/см² при $T = 70$ К снижается до значения ~ 0.02 мкКл/см² при $T = 8$ К.

По вышеуказанным признакам — малая величина диэлектрической аномалии и константы Кюри—Вейсса, поведение $P_s(T)$ ниже температуры ФП — низкотемпературный ФП в $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ может быть идентифицирован как переход в фазу слабого сегнетоэлектричества [6]. Однако в отличие от известных слабых сегнетоэлектриков в кристаллах $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ ФП происходит из сегнетоэлектрической фазы.

На наш взгляд, наблюдаемая зависимость $P_s(T)$ в $TlInS_2$ и $TlGaSe_2$ может быть объяснена на основе теории двухподрешеточной модели, предложенной в [7]. По теории [7], поведение $P_s \rightarrow 0$ обусловлено переходом к сильному взаимодействию сосуществующих в широком интервале температур неэквивалентных подрешеток. Действительно, изменения формы петель диэлектрического гистерезиса, описанные выше, свидетельствуют об увеличении жесткости связи доменных границ ниже температуры ФП. На основе такого же подхода, по-видимому, могут найти свое объяснение явления, обнаруженные в работах [3–5].

Список литературы

- [1] Вахрушев С. Б., Жданова В. В., Квятковский Б. Е., Окунева Н. М., Аллахвердиев К. Р., Алиев Р. А., Сардарлы Р. М. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. № 6. С. 245–247.
- [2] McMorrou D. F., Cowley R. A., Hutton P. D., Banyas J. // J. Phys.: Condens. Matter. 1990. V. 2. P. 3699–3712.
- [3] Allakhverdiev K. R., Babaev S. S., Tagiev M. M., Shirinov M. M. // Phys. Stat. Sol. (b). 1989. V. 151. N 2. P. 7–17.
- [4] Плюш О. Б., Шелег А. У., Алиев В. А., Гусейнов Г. Д. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 7. С. 257–260.
- [5] Банис Ю., Григас Й., Гусейнов Г. Д. // Литовский физ. сб. 1989. Т. 29. № 3. С. 348–355.
- [6] Таганцев А. К., Синий И. Г., Прохорова С. Д. // Изв. АН СССР. 1987. Т. 51. № 12. С. 2082.
- [7] Dvořák V., Ishibashi Y. // Phys. Soc. Japan. 1976. V. 41. N 2. P. 548.