

УДК 537:226

© 1992

О ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ В НЕСОИЗМЕРИМУЮ ФАЗУ В СЛОИСТОМ КРИСТАЛЛЕ $TlInS_2$

Р. А. Сулейманов, М. Ю. Сеидов, Ф. М. Салаев, Т. С. Мамедов

Исследованиями температурной зависимости диэлектрической проницаемости слоистых кристаллов $TlInS_2$ из различных технологических партий, воздействия одноосных сжимающих напряжений и легирования установлено, что качественно отличное поведение $\epsilon(T)$ при ФП в несоизмеримую фазу при нормальном давлении обусловлено реальной кристаллической структурой исследованных образцов.

Изучению природы и механизмов фазовых переходов (ФП) в слоистом кристалле $TlInS_2$ в последнее десятилетие посвящено значительное число публикаций (см., например, [1, 2] и содержащиеся там ссылки). Детальное сопоставление накопленных в литературе опытных фактов свидетельствует в пользу реализации в интересующем нас кристалле следующей, широко цитируемой, последовательности ФП: при ~ 214 К из исходной парафазы с пространственной группой симметрии C_{2h}^6 в фазу с несоизмеримой периодичностью с волновым вектором $k = \delta(a^* + b^*) + (1/4)c^*$, где δ — параметр несоизмеримости; при ~ 204 К в фазу, отличающуюся антиполярным упорядочением; при ~ 201 К в сегнетоэлектрическую фазу, характеризующуюся «запиранием» волнового вектора модуляции на рациональном значении $k = (1/4)c^*$ с вектором поляризации, расположенным в плоскости слоя кристалла. Между тем результаты ряда публикаций дают основание полагать, что очерченная картина ФП в $TlInS_2$ отнюдь не является категоричной. Так, например, обнаружение сегнетоэлектрической мягкой моды и величина константы Кюри $\sim 10^3$, близкая для кристаллов со смешанным механизмом ФП, заставляют считать, что вышепредставленная схема ФП в $TlInS_2$ все еще недостаточно совершенна для того, чтобы охарактеризовать наблюдаемое явление в рассматриваемом соединении.

Настоящая работа ставит своей целью поиск новых экспериментальных свидетельств в надежде на установление определенной корреляции между формой диэлектрических аномалий, соответствующих переходу в несоизмеримую фазу (НФ), с макроскопическими характеристиками слоистого кристалла $TlInS_2$. Для осуществления намеченного изучалось влияние на температурную панораму диэлектрических спектров образцов $TlInS_2$ различных внешних факторов, таких как внешнее одноосное давление и легирование.

В качестве объектов исследований использовались образцы монокристаллов, имеющие форму прямоугольных параллелепипедов с полированными гранями, ориентированными по кристаллографическим направлениям. Грани, перпендикулярные полярной оси, покрывались серебряной пастой. Измерение диэлектрической проницаемости проводилось на частоте 1 кГц в режиме нагревания со скоростью ~ 0.1 К/мин. Одноосное механическое сжатие прикладывалось к образцам при температурах, значительно меньших 201 К, в направлении, перпендикулярном плоскости

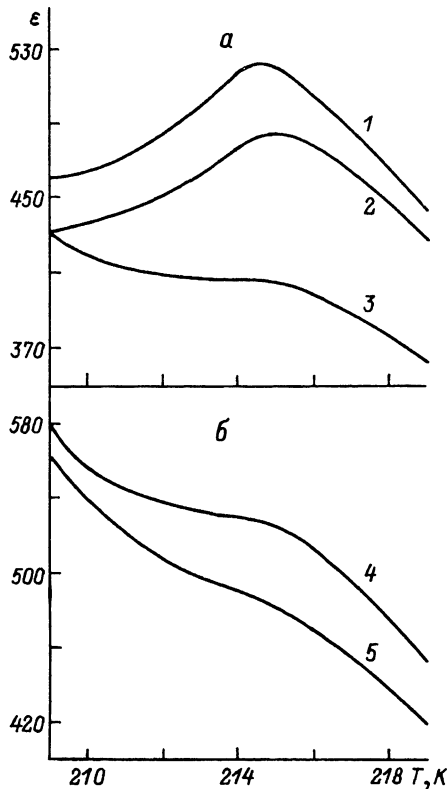


Рис. 1. Зависимости $\epsilon(T)$ вблизи ФП в НФ в образцах TlInS_2 (1) (а) и TlInS_2 (2) (б) при атмосферном давлении $\sigma = 0$ (1, 4) и при различных и одноосных напряжениях; $\sigma_{\parallel} = 400$ (2), $\sigma_{\perp} = 400$ (3) и $100 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$ (5).

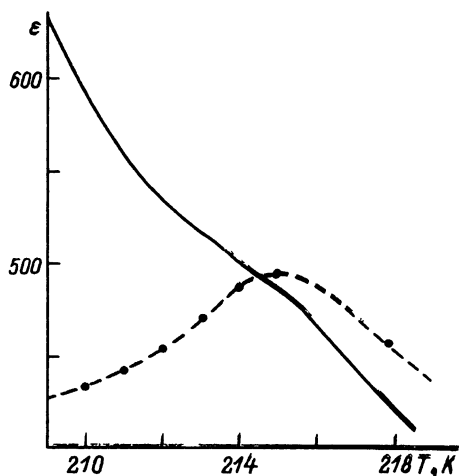


Рис. 2. Зависимости $\epsilon(T)$ вблизи ФП в НФ в нелегированном (штриховая линия) и легированном атомами Yb (сплошная линия) образцах TlInS_2 (1).

слоя (σ_{\perp}), и вдоль вектора поляризации (σ_{\parallel}). Особо отметим, что температурные измерения диэлектрической проницаемости TlInS_2 под одноосным сжатием дают воспроизводимые результаты, хорошо согласующиеся между собой.

Изучением температурной эволюции диэлектрической проницаемости образцов одного и того же соединения TlInS_2 , взятых из различных технологических партий (условно обозначим их как TlInS_2 (1) и TlInS_2 (2)), нами было обнаружено качественно разное поведение $\epsilon(T)$, причем если величина и форма аномалий на диэлектрических спектрах при 204 и 201 K не слишком отличаются для кристаллов из обеих партий, то профиль диэлектрической кривой вблизи ФП в НФ может быть радикально иным. Удалось зарегистрировать два типа аномалий на кривых $\epsilon(T)$, соответствующих ФП в несоизмеримую фазу: в виде максимума для кристаллов из партии TlInS_2 (1) и в виде «полочки» для TlInS_2 (2). Ситуацию хорошо иллюстрирует рис. 1, а, б, где представлен фрагмент диэлектрического спектра отмеченных соединений при нормальном давлении ($\sigma = 0$) в области температур, непосредственно примыкающих к точке ФП в несоизмеримую фазу.

Анализ влияния различных механических напряжений σ_{\perp} и σ_{\parallel} на вид кривой температурного хода диэлектрической проницаемости в непосредственной близости от точки ФП в НФ показывает, что наблюдающиеся изменения характера кривой $\epsilon(T)$ TlInS_2 (1) и TlInS_2 (2) могут быть уложены в следующую схему: максимум $\epsilon(T)$, соответствующий ФП в НФ в TlInS_2 (1) при атмосферном

давления, приложением одноосного напряжения σ_{\perp} постепенно подавляется, трансформируясь при $\sigma_{\perp} = 400$ кг/см² в аномалию, характерную для ненагруженного из партии TlInS₂ (2) (рис. 1, а, б); воздействие на кристалл TlInS₂ (1) механической нагрузки σ_{\parallel} вплоть до величин 400 кг/см² не вызывает существенного видоизменения вида кривой $\varepsilon(T)$ — наблюдается лишь некоторое понижение высоты максимума ε и незначительное его «размытие» (рис. 1, а); под действием сжатия σ_{\perp} аномалия на диэлектрических спектрах TlInS₂ (2) в области перехода в несоизмеримую фазу приобретает более плавный характер (рис. 1, б). В то же время под действием механических напряжений σ_{\perp} и σ_{\parallel} изменение форм и смещение температурных положений максимумов, соответствующих ФП при 204 и 201 К для TlInS₂ (1) и TlInS₂ (2), оказались незначительными.

Прежде чем приступить к обсуждению полученных результатов, сделаем некоторые пояснения относительно кристаллографических особенностей слоистого кристалла TlInS₂. Согласно данным структурного анализа [3], параметры моноклинной ячейки TlInS₂ имеют следующие значения: близкие по величине постоянные решетки $a = 10.95$ и $b = 10.97$ Å лежат в плоскости слоя, ось $c = 15.14$ Å составляет небольшой угол 10°06' с направлением нормали к слоям. В силу последнего обстоятельства приложение сжимающего напряжения σ_{\perp} к слоистому кристаллу TlInS₂ в осях парафазы ($x = a$, $y = b$ и $z = c$) будет сопровождаться возникновением и сдвиговых деформаций. С другой стороны, как следует из рассмотрения выражения для свободной энергии TlInS₂ с градиентным инвариантом Лифшица [4], существенное искажение формы аномалий на температурных спектрах различных физических величин, связываемых с ФП в несоизмеримую фазу, может быть реализовано сдвиговыми напряжениями σ_{yz} и τ_{xy} в силу наличия в разложенности свободной энергии смешанного инварианта $\text{const}(u_{xy} + u_{yz})\rho^4 \cos 4\varphi$, составленного из компонент параметра порядка и тензора деформации (ρ и φ — амплитуда и фаза двухкомпонентного параметра порядка). По этой причине влияние сжимающего усилия σ_{\perp} на профиль диэлектрической аномалии в TlInS₂ (1), соответствующей ФП в фазу с несоизмеримой периодичностью, может быть качественно понято с учетом сдвиговых деформаций u_{yz} , возникающих в силу реальной кристаллической структуры, учитывающей наличие дефектов стыковки слоев. Таким образом, становится ясным вопрос о природе наблюдаемых расхождений в форме диэлектрической аномалии вблизи ФП в НФ для кристаллов TlInS₂ (1) и TlInS₂ (2) из разных технологических партий.

Для обсуждаемой проблемы представляют интерес и данные, полученные исследованием диэлектрических спектров кристалла TlInS₂, легированного атомами Yb, в интервале температур, охватывающем точку ФП в несоизмеримую фазу (рис. 2). Как видно из рис. 2, где штриховыми линиями показана температурная зависимость ε для «чистого» TlInS₂, введение тяжелой примеси Yb в более легкую матрицу приводит к значительному искажению профиля диэлектрической аномалии, соответствующей переходу в несоизмеримую фазу. С нашей точки зрения, наблюдаемое поведение $\varepsilon(T)$ в легированном и беспримесном кристалле TlInS₂ имеет очевидное объяснение. В самом деле, присутствие нейтрального атома Yb, который, по всей видимости, располагается в межслоевом пространстве, должно приводить к заметному изменению упругих модулей кристалла.

В заключение отметим, что учет реальной структуры кристалла TlInS₂ открывает, по-видимому, дополнительную возможность для выявления новых особенностей поведения слоистых кристаллов TlInS₂ в непосредственной близости от точки ФП в несоизмеримую фазу.

Список литературы

- [1] Илизавский Ю. В., Стернин В. М., Сулейманов Р. А., Салаев Ф. М., Сеидов М. Ю. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 1. С. 104—109.

- [2] Сулейманов Р. А., Сеидов М. Ю., Салаев Ф. М. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 6. С. 1797—1800.
[3] Henke L. W., Hochheimer H. D., Carlone C., Werner A., Ves S., Schnering H. G. // Phys. Rev B. 1982. V. 26. N 6. P. 3211—3221.
[4] Гашидзе Ф. М., Гаджиев Б. Р. // Препринт ИФ АН АзССР № 199. Баку, 1986. 46 с.

Институт физики АН Азербайджана
Азербайджанской республики
Баку

Поступило в Редакцию
3 февраля 1992 г.
