

## Влияние $\gamma$ -облучения на электропроводность и диэлектрические свойства кристаллов $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> в области существования несоответственной фазы

© А.У. Шелег, К.В. Иодковская, С.В. Родин, В.А. Алиев

Институт физики твердого тела и полупроводников Академии наук Белоруссии,  
220072 Минск, Белоруссия

(Поступила в редакцию 19 ноября 1996 г.)

Исследовано влияние  $\gamma$ -облучения на электропроводность  $\sigma$ , диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  кристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> в температурной области существования несоответственной фазы. Установлено, что в результате  $\gamma$ -облучения происходит снижение значений  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  во всей исследованной температурной области, максимумы кривых  $\sigma(T)$  и  $\text{tg } \delta(T)$  в области температуры перехода  $T_c$  уменьшаются, но значение температуры перехода не изменяется.

Кристаллы  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> являются представителями большого семейства слоистых полупроводников-сегнетоэлектриков типа  $A^3B^3C_6$ , обладающих рядом интересных физических свойств, в том числе наличием несоответственных фаз. В результате многочисленных исследований температурных зависимостей упругих, тепловых и диэлектрических свойств  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> [1–7] обнаружен целый ряд аномалий, свидетельствующих о наличии превращений в этих кристаллах. Прямыми методами дифракции нейтронов [8] и рентгеновских лучей [9] было установлено наличие в этих кристаллах модулированных структур. Определена область существования несоответственной фазы ( $\approx 214$ – $200$  К) и показано, что при  $T_c \approx 200$  К происходит переход из несоответственной в соответственную сегнетоэлектрическую фазу с учетверением элементарной ячейки вдоль оси  $C$ . В [2–5] приведены результаты исследования диэлектрических свойств кристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> в области низких температур. Показано, что на кривых температурных зависимостей  $\epsilon = f(T)$  в области низких температур наблюдается целый ряд аномалий, которые соответствуют фазовым переходам (ФП), обусловленным наличием в этой области температур модулированных структур. Однако следует заметить, что эти аномалии от образца к образцу отличаются как по форме (максимум, "полочка" и т.д.), так и по температурам, которые им соответствуют ( $T = 201$ ,  $204$ ,  $206$  К [2],  $T = 189$ ,  $213$  К [3],  $T = 204$ ,  $216$  К [4],  $T \approx 215$  К [5]). Установлено [2,5], что как форма аномалий, так и температуры их проявлений зависят от величины и характера механических напряжений, которые вызываются наличием дефектов и примесей в кристалле.

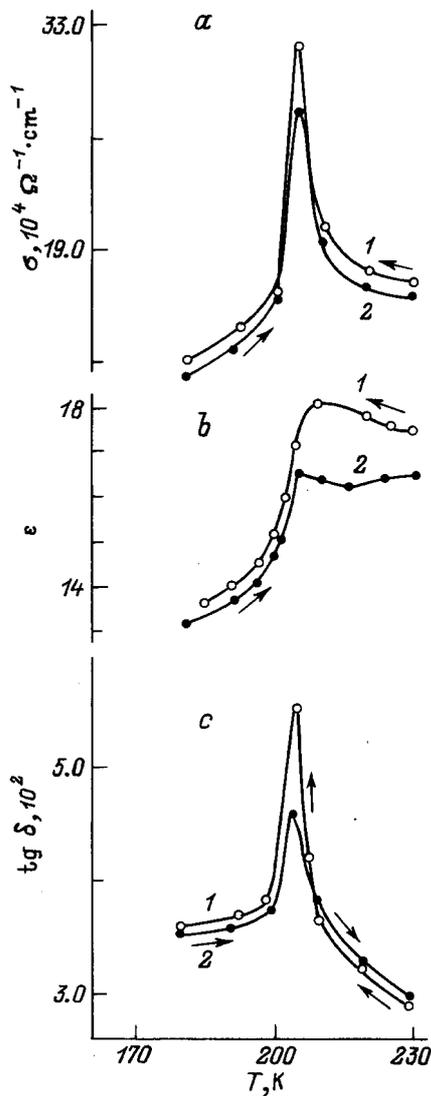
Поскольку модулированные структуры являются чувствительными к примесям и дефектам кристаллической решетки, представляло интерес исследовать влияние  $\gamma$ -облучения на электрические и диэлектрические свойства кристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> в температурной области существования несоответственной фазы.

Исследование электропроводности  $\sigma$ , диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических

потерь  $\text{tg } \delta$  проводилось с помощью цифрового измерителя Е 7-12 на частоте 1 МГц методом непрерывного охлаждения–нагрева со скоростью 0.5 К/мин в области температур 170–240 К. Образцами служили тонкие монокристаллические пластинки  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> толщиной 0.6–0.9 мм, поверхности которых представляли собой плоскости скола (001). В качестве контактов использовалась серебряная паста, которая наносилась на поверхности образцов и вжигалась при температуре  $\approx 350$  К в течение нескольких часов.

На рис. 1 представлены температурные зависимости  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  для необлученных образцов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub>, измеренные в циклическом режиме охлаждения–нагрева. На кривых  $\sigma = f(T)$  и  $\text{tg } \delta = f(T)$  при температуре  $T_c \approx 205$  К, соответствующей переходу из несоответственной в соответственную фазу, наблюдаются аномалии в виде максимумов и в виде излома на кривой  $\epsilon = f(T)$ . Кроме того, при охлаждении значения  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  несколько больше, чем при нагревании, что обусловлено термическим обновлением образцов. В результате нагревания выше точки фазового перехода доменная структура разрушается, а складывающаяся в процессе циклического охлаждения доменная структура находится в возбужденном неравновесном состоянии (происходит так называемое термическое обновление), которому свойственны повышенные значения  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  [10]. Таким образом, в точке ФП из несоответственной в соответственную фазу ( $T_c \approx 205$  К) в температурных зависимостях  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  для  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> наблюдаются четкие аномалии, в то время как в точке ФП при переходе из парафазы на несоответственную фазу ( $T_i \approx 214$  К) никаких аномалий не обнаружено. Следует иметь в виду, что фазовый переход при  $T_c$  относится к ФП первого рода, а при  $T_i$  — к ФП второго рода.

На рис. 2 приведены температурные зависимости  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$   $\gamma$ -облученных образцов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> дозой  $10^8$  рентген. Измерения проводились сразу после облучения. Как видно из этого рисунка, в результате  $\gamma$ -облучения значения  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  во всей исследованной области температур уменьшаются. Пики в области ФП на кривых  $\sigma = f(T)$ ,  $\text{tg } \delta = f(T)$  становятся меньше, а их полуширина увеличивается.



**Рис. 1.** Температурные зависимости электропроводности  $\sigma$  (a), диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  (b) и  $\text{tg } \delta$  (c) для необлученных кристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> в области существования несоизмерной фазы. 1 — охлаждение, 2 — нагревание.

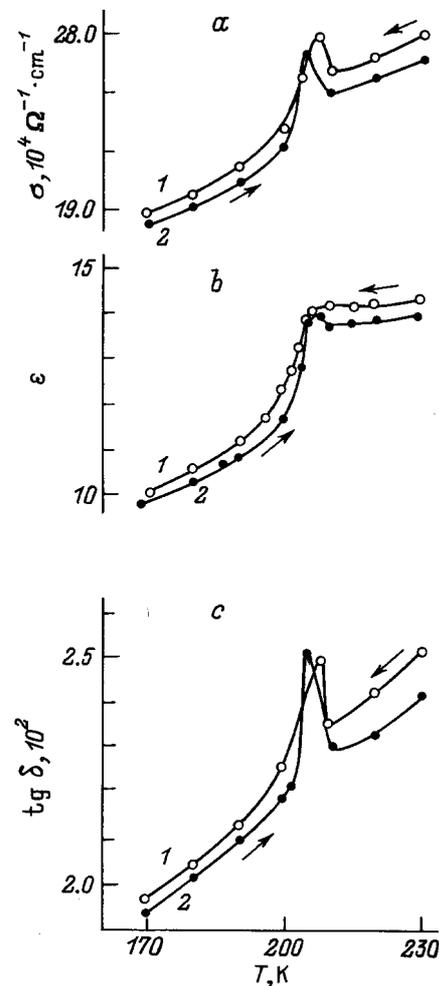
Таким образом, происходит радиационно-стимулированное старение образцов, связанное с активизацией процесса миграции естественных дефектов под влиянием  $\gamma$ -облучения, приводящее к стабилизации доменной структуры [10] и снижению значений измеряемых величин. Повторные измерения  $\epsilon = f(T)$  и  $\text{tg } \delta = f(T)$  на этих же образцах, проведенные спустя 20 дней, показали, что происходит дальнейшее уменьшение измеряемых величин в результате процесса термического старения.

Следует отметить, что измерения  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$ , проводимые на образцах  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub>, облученных дозой  $10^6$  и  $10^7$  рентген, показали промежуточные результаты между необлученными образцами и образцами, облученными дозой  $10^8$  рентген.

Таким образом, в результате  $\gamma$ -облучения образцов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> происходит снижение значений  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$ , пики

на кривых  $\sigma = f(T)$ ,  $\text{tg } \delta = f(T)$  в точке ФП  $T_c$  уменьшаются, однако температура ФП  $T_c$  из несоизмерной фазы в соизмерную фазу не изменяется. Точка фазового перехода из парафазы в несоизмерную фазу  $T_i$  никак не проявляется на кривых температурных зависимостей величин  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$ .

В [11] приводятся результаты влияния электронного облучения на диэлектрические свойства монокристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub>. Показано, что с увеличением дозы облучения температура ФП  $T_c$  сначала растет в результате радиационного отжига, а потом, начиная с дозы  $5 \cdot 10^{15}$  el/cm<sup>2</sup>, уменьшается. При этом происходит увеличение температурной области существования несоизмерной фазы в  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub>. В нашем случае  $\gamma$ -облучение является легкой ионизирующей радиацией, играет роль активирующего фактора для ряда процессов (миграция точечных дефектов, примесей, доменных границ и метастабильных состояний в стабильные), представляющих собой "старение" (в данном случае радиационно-стимулированное), и не приводит к изменению температуры ФП  $T_c$  в  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub>.



**Рис. 2.** Температурные зависимости  $\sigma = f(T)$  (a),  $\epsilon = f(T)$  (b) и  $\text{tg } \delta = f(T)$  (c) для  $\gamma$ -облученных кристаллов  $\beta$ -TlInS<sub>2</sub> дозой  $10^8$  рентген. 1 — охлаждение, 2 — нагревание.

Авторы выражают благодарность Н.Ф. Куриловичу за помощь при облучении образцов.

## Список литературы

- [1] Е.С. Крупников, Ф.Ю. Алиев, Р.Г. Оруджев. ФТТ **34**, 9, 2935 (1992).
- [2] Р.А. Сулейманов, Ш.Ю. Сеидов, Ф.М. Салаев, Ф.А. Микаилов. ФТТ **35**, 2, 348 (1993).
- [3] А.А. Волков, Ю.Г. Гончаров, Г.В. Козлов, К.Р. Аллахвердиев, Р.М. Сардарлы. ФТТ **25**, 12, 3583 (1983).
- [4] Р.А. Алиев, К.Р. Аллахвердиев, А.И. Баранов, Н.Р. Иванов, Р.М. Сардарлы. ФТТ **26**, 5, 1271 (1984).
- [5] Р.А. Сулейманов, М.Ю. Сеидов, Ф.М. Салаев, Т.С. Мамедов. ФТТ **34**, 6, 1829 (1992).
- [6] Ю.П. Гололобов, И.Н. Саливонов. ФТТ **33**, 1, 298 (1991).
- [7] О.Б. Плющ, А.У. Шелег, В.А. Алиев, Г.Д. Гусейнов. ФТТ **31**, 7, 257 (1989).
- [8] С.Б. Вахрушев, В.В. Жданова, Б.Е. Квятковский, Н.М. Окунева, К.Р. Аллахвердиев, Р.А. Алиев, Р.М. Сардарлы. Письма в ЖЭТФ **39**, 6, 245 (1984).
- [9] А.У. Шелег, О.Б. Плющ, В.А. Алиев. ФТТ **36**, 1, 226 (1994).
- [10] Е.В. Пешиков. Радиационные эффекты в сегнетоэлектриках. Ташкент (1986). 138 с.
- [11] A.K. Aliev, E.Z. Aliev, V.A. Natig, R.M. Sardarly. Phys. Stat. Sol. (a) **114**, K119 (1989).