

Влияние γ -облучения на диэлектрическую проницаемость и электропроводность кристаллов TlGaS_2

© А.У. Шелег, К.В. Иодковская, Н.Ф. Курилович

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

E-mail: sheleg@ifftp.bas-net.by

(Поступила в Редакцию 20 февраля 2002 г.
В окончательной редакции 13 мая 2002 г.)

Исследовано влияние γ -облучения на диэлектрическую проницаемость ϵ и электропроводность σ кристалла TlGaS_2 , измеренных на частотах: 0,1, 1, 10 kHz и 1 MHz в области температур 200–370 K. Показано, что с ростом температуры значения ϵ и σ увеличиваются. Установлено, что при облучении исследуемых образцов TlGaS_2 дозой 10 MR значения σ , измеренные на всех частотах, и ϵ при дозе 1 MR на частотах 10 kHz и 1 MHz увеличиваются, а при дальнейшем накоплении дозы происходит уменьшение величин ϵ и σ . Обнаружена значительная дисперсия исследуемых параметров — с ростом частоты ϵ уменьшается, а σ растет.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Белоруссии (проект Ф99-043).

Кристаллы TlGaS_2 относятся к группе слоистых полупроводников-сегнетоэлектриков типа $\text{IVA}^{\text{III}}\text{B}_2^{\text{VI}}$ (A — In, Ga; B — S, Se), которые обладают рядом интересных физических свойств. Слоистая структура приводит к сильной анизотропии динамических характеристик этих кристаллов. Кроме того, у представителей этого семейства кристаллов TlGaSe_2 и TlInS_2 обнаружены несоизоморфные фазы и соответственно последовательности фазовых переходов (ФП) типа высокосимметричная–несоизоморфная–сегнетоэлектрическая соизоморфная фаза [1–3]. Соединения TlGaSe_2 и TlInS_2 достаточно хорошо изучены, однако наблюдается некоторое несоответствие температур фазовых переходов, определенных разными авторами. Поскольку эти кристаллы являются слоистыми, ранее было высказано предположение о склонности этих кристаллов к политипизму [4]. Позже в [5] рентгенографическим методом были обнаружены различные политипные модификации кристаллов TlGaSe_2 и TlInS_2 . Видимо, причиной расхождений в значениях температур ФП у разных авторов являются используемые образцы, которые представляют собой различные политипные модификации.

Что касается кристаллов TlGaS_2 , то они менее изучены, чем TlGaSe_2 и TlInS_2 , а те немногие сведения, которые имеются в литературе, носят противоречивый характер. В [6] приведены результаты измерений теплоемкости TlGaS_2 в интервале температур 3–300 K и установлено, что никаких аномалий теплоемкости в этом интервале температур нет. В то же время в [7] на кривой $C_p = f(T)$ обнаружены аномалии при температурах: $T_1 = 73,5$, $T_2 = 91$, $T_3 = 101$, $T_4 = 114$, $T_5 = 133,5$ и $T_6 = 187$ K, что, как полагают авторы, свидетельствует о наличии последовательности фазовых переходов в этом кристалле. В [8] при исследовании параметров элементарной ячейки кристалла TlGaS_2 в зависимости от температуры при $T = 121$ K обнаружены скачки значений параметров, что свидетельствует о наличии ФП

при этой температуре. Результаты измерения диэлектрической проницаемости кристалла TlGaS_2 на частоте 100 kHz в области температур 80–300 K приведены в [9]. Аномалий на кривой $\epsilon = f(T)$ не обнаружено. Возможно, такие разноречивые результаты по кристаллу TlGaS_2 , так же как и для TlGaSe_2 и TlInS_2 , связаны с наличием политипов TlGaS_2 . Поэтому использование различных образцов и приводит к разным результатам.

В данной работе приведены результаты исследования влияния γ -облучения на диэлектрическую проницаемость ϵ и электропроводность σ кристаллов TlGaS_2 . Измерения проводились на разных частотах в области температур 200–370 K.

1. Методика эксперимента

Измерения диэлектрической проницаемости и электропроводности кристаллов TlGaS_2 проводились с помощью цифрового измерителя E7–12 на частоте 1 MHz и на частотах 0,1, 1 и 10 kHz с помощью измерителя E7–14 методом непрерывного нагревания со скоростью 0,5 K/min.

Образцами служили монокристаллические пластинки толщиной 0,5–0,7 mm, поверхности которых представляли собой плоскости скола (001). В качестве электродов использовалась серебряная паста. Образец помещался в специальный держатель, который опускался в пары азота. Температура образца измерялась хромель-копелевой термопарой, спай которой находился на поверхности образца. Регулировка температуры осуществлялась с помощью нагревателя, который был вмонтирован в держатель образца. Облучение образцов проводилось при комнатной температуре на γ -установке от источника Co^{60} с мощностью фазы в зоне облучения ~ 180 R/s. Доза облучения накапливалась путем последовательных экспозиций в одном и том же образце и составляла 1,

10, 50 и 100 MR. Измерения ϵ и σ проводились после каждого облучения.

2. Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1 и 2 приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости и электропроводности кристалла $TiGaS_2$, измеренные на частотах 0,1, 1, 10 kHz и 1 MHz (сплошные линии) и значения $\epsilon = f(T)$ и $\sigma = f(T)$, полученные на том же образце, но облученном дозой 100 MR (штриховые линии) соответственно. Видно, что с ростом температуры значения ϵ и σ для всех частот увеличиваются. Это обусловлено увеличением концентрации свободных носителей зарядов (проявление полупроводниковых свойств) и ростом подвижности доменных границ (проявление сегнетоэлектрических свойств) в результате повышения температуры.

Из рис. 1 видно, что под действием γ -облучения дозой 100 MR происходит уменьшение значений ϵ во всей исследованной области температур и для всех используемых частот. Причиной такого поведения ϵ $TiGaS_2$ может быть радиационно-стимулированное старение образцов, связанное с активизацией процесса миграции естественных дефектов под влиянием γ -облучения, приводящее

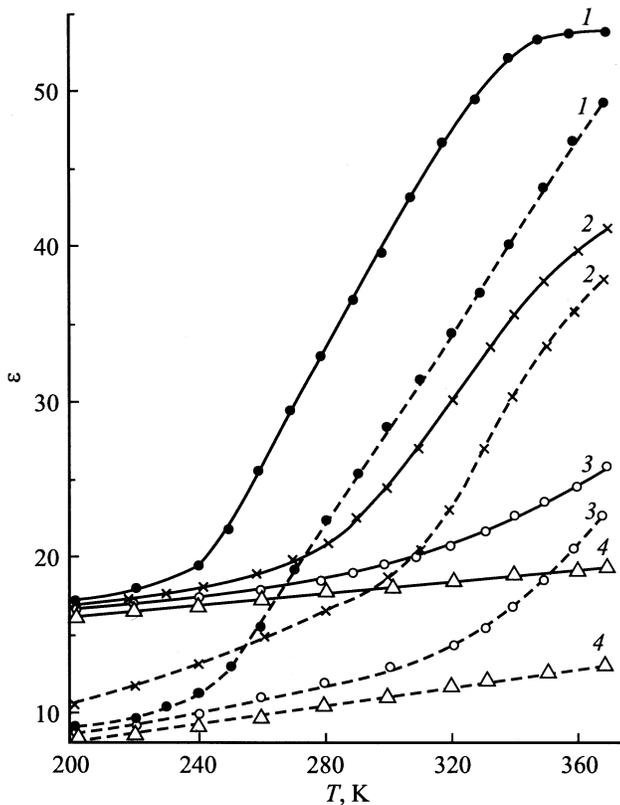


Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости ϵ образцов $TiGaS_2$, необлученных (сплошные линии) и облученных дозой 100 MR (штриховые линии), измеренные на частотах: 1 — 0,1 kHz, 2 — 1 kHz, 3 — 10 kHz, 4 — 1 MHz.

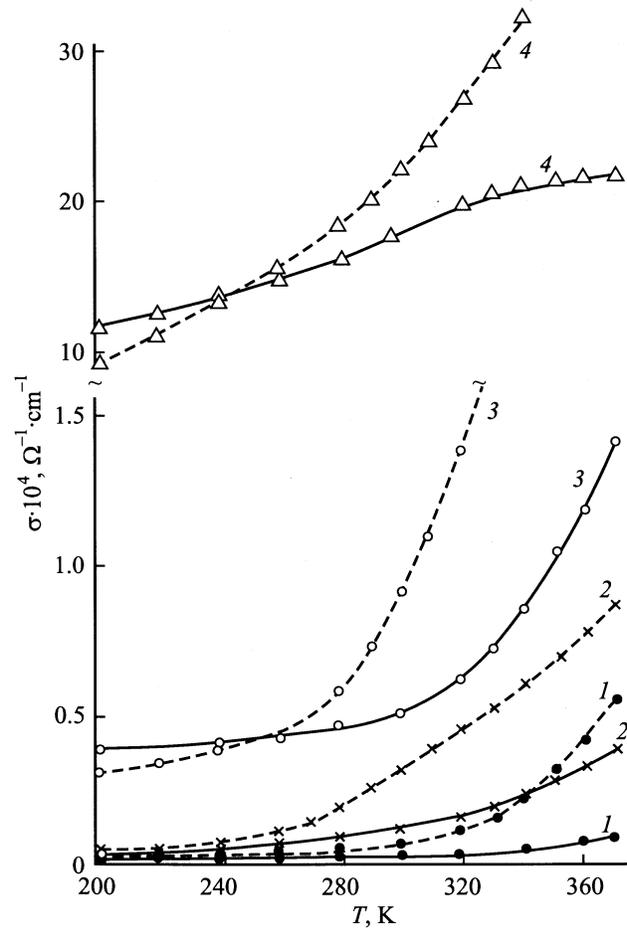


Рис. 2. Температурные зависимости электропроводности σ образцов $TiGaS_2$, необлученных (сплошные линии) и облученных дозой 100 MR (штриховые линии), измеренные на частотах: 1 — 0,1 kHz, 2 — 1 kHz, 3 — 10 kHz, 4 — 1 MHz.

к стабилизации доменной структуры и снижению значений ϵ [10]. В то же время значения электропроводности σ в области высоких частот для облученных образцов $TiGaS_2$ оказались значительно больше, чем для необлученных (рис. 2). Известно, что основной радиационный эффект от γ -облучения создается вторичными комптон- и фотоэлектронами [10]. Образование вторичных электронов, а также ионизация среды и являются причинами увеличения электропроводности у облученных образцов. Значения ϵ образцов $TiGaS_2$, облученных дозой 10 и 50 MR, как показали результаты экспериментов, являются промежуточными между соответствующими величинами необлученных образцов и облученных дозой 100 MR.

На рис. 3 и 4 представлены дисперсионные кривые $\epsilon = f(\nu)$ и $\sigma = f(\nu)$ соответственно, определенные при $T = 300$ K для необлученного и облученных различными дозами образцов кристалла $TiGaS_2$. Видно, что значения ϵ для всех образцов с ростом частоты уменьшаются. При облучении дозой 1 MR в области частот 10 kHz и 1 MHz значения ϵ оказались несколько больше, чем для необлученного образца (рис. 3). При дальнейшем об-

лучении диэлектрическая проницаемость ϵ уменьшается по мере накопления дозы. Из рис. 4 видно, что проводимость σ с ростом частоты увеличивается. Аналогичные экспериментальные результаты были получены для изоструктурного соединения TlInS_2 в [11]. Из анализа частотной зависимости электропроводности авторы [11] делают вывод о наличии в TlInS_2 прыжкового механизма переноса заряда и проводимости, обусловленной оптическими переходами в полупроводниках. С этим, видимо, и связан характер зависимости $\sigma = f(\nu)$ в TlGaS_2 . Облучение приводит сначала (при дозе 10 MR) к росту значений $\sigma(\nu)$, а при дальнейшем увеличении дозы, так же как и в случае с диэлектрической проницаемостью, проводимость уменьшается. Это связано с тем, что при сравнительно небольших дозах облучения происходит отжиг дефектов в кристалле (эффект малых доз), а при увеличении дозы, как мы уже отмечали, происходит радиационно-стимулированное старение образцов и увеличение концентрации дефектов в образце, рассеяние на которых носителей заряда, вероятно, и приводит к снижению значений $\sigma(\nu)$. Следует отметить, что значения диэлектрической проницаемости $\epsilon(\nu)$ для облученных образцов за исключением дозы 1 MR в области высоких частот оказались, меньше, чем для необлученных образцов (рис. 3).

Приведенные результаты показывают, что в исследуемом кристалле TlGaS_2 наблюдается значительная дисперсия диэлектрической проницаемости ϵ и проводимости σ . При этом при низких частотах происходит резкое увеличение значений ϵ с ростом температуры, в то время как в области высоких частот диэлектрическая проницаемость изменяется значительно слабее (рис. 1). Так, на частоте 1 МГц увеличение ϵ с ростом температуры незначительное. Уменьшение чувствительности диэлектрической проницаемости ϵ с ростом частоты, видимо, связано с релаксационными процессами, происходящими в высокочастотной области измерений.

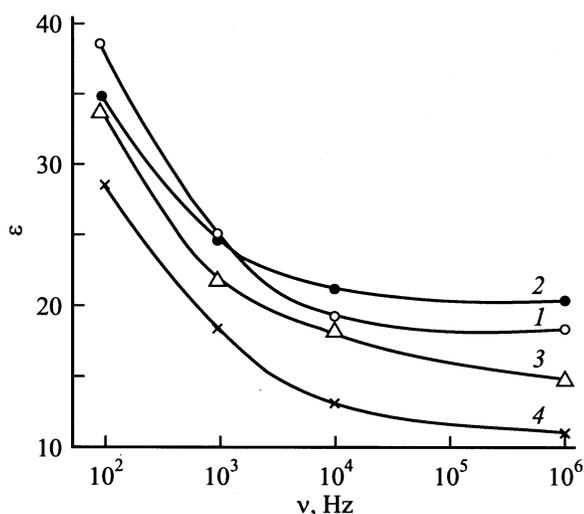


Рис. 3. Дисперсионные кривые $\epsilon = f(\nu)$, полученные при $T = 300$ К на образцах TlGaS_2 : необлученных (1), облученных дозами 1 MR (2), 10 MR (3), 100 MR (4).

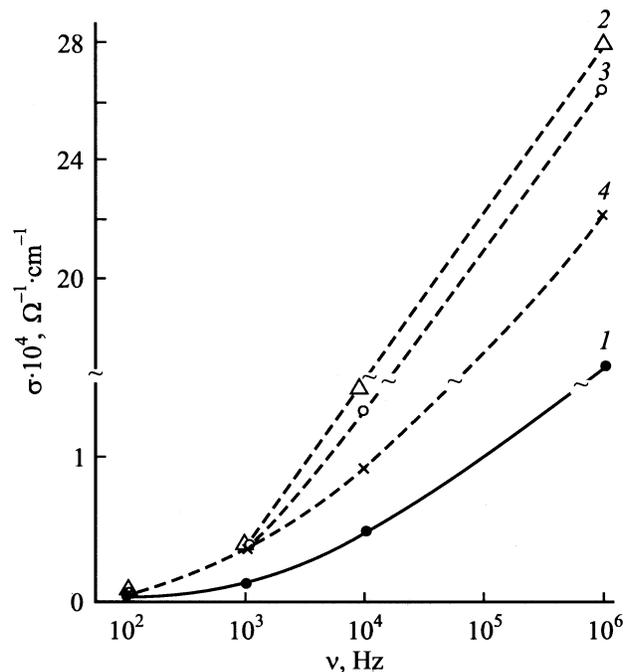


Рис. 4. Дисперсионные кривые $\sigma = f(\nu)$, полученные при $T = 300$ К на образцах TlGaS_2 : необлученных (1) и облученных дозами 10 MR (2), 50 MR (3), 100 MR (4).

ледует отметить, что на кривых $\epsilon(T)$ и $\sigma(T)$ мы не обнаружили никаких аномалий, свидетельствующих о наличии последовательности фазовых переходов типа высокосимметричная–несоразмерная–сегнетоэлектрическая соразмерная фаза, характерных для кристаллов TlGaSe_2 и TlInS_2 , принадлежащих к тому же семейству, что и TlGaS_2 .

Список литературы

- [1] 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).
- [2] D.F. Mc Morrow, R.A. Cowley, P.D. Hatton, I. Banys. J. Phys.: Condens. Matter **2**, 16, 3699 (1990).
- [3] А.У. Шелег, О.Б. Площ, В.А. Алиев. ФТТ **36**, 1, 226 (1994).
- [4] Г.Б. Абдуллаев, Г.И. Абуталыбов, А.А. Алиев, Л.С. Ларионкина, И.К. Нейман-заде, Э.Ю. Салаев. Письма в ЖЭТФ **38**, 11, 525 (1983).
- [5] О.Б. Площ, А.У. Шелег. Кристаллография **44**, 5, 873 (1999).
- [6] С.Г. Абдуллаева, А.М. Абдуллаев, К.К. Мамедов, Н.Г. Мамедов. ФТТ **26**, 2, 618 (1984).
- [7] Е.С. Крупников, Г.И. Абуталыбов. ФТТ **34**, 9, 2964 (1992).
- [8] А.У. Мальсагов, Б.С. Кульбужев, Б.М. Хамхоев. Неорганические материалы **25**, 2, 216 (1989).
- [9] Р.А. Алиев, К.Р. Аллахвердиев, А.И. Баранов, Н.Р. Иванов, Р.М. Сардарлы. ФТТ **26**, 5, 1271 (1984).
- [10] Е.В. Пешиков. Радиационные эффекты в сегнетоэлектриках. Ташкент (1986). 138 с.
- [11] С.Н. Мустафаев, М.М. Асадов, В.А. Рамазанзаде. ФТТ **38**, 1, 14 (1996).