

Фотоэлектрические и рентгенодозиметрические свойства монокристаллов $TiGaS_2\langle Yb \rangle$

© С.Н. Мустафаева

Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,
AZ-1143 Баку, Азербайджан

E-mail: itpcht@itpcht.ab.az

(Поступила в Редакцию 25 ноября 2004 г.)

В результате изучения фотоэлектрических свойств монокристаллов $TiGa_{1-x}Yb_xS_2$ ($x = 0, 0.01$) установлено, что частичное замещение галлия иттербием приводит к увеличению удельного сопротивления полученных образцов, смещению максимума собственного фототока в длинноволновую область спектра, существенному расширению области спектральной чувствительности и увеличению амплитуды примесного фототока.

Изучение рентгенодозиметрических характеристик монокристаллов $TiGa_{1-x}Yb_xS_2$ показало, что в результате частичного замещения $Ga \rightarrow Yb$ в $TiGaS_2$ коэффициент рентгеночувствительности заметно увеличивается, а рентген-амперные характеристики $\Delta I_{E,0} \sim E^\alpha$ стремятся к линейности ($\alpha = 1$) в области малых интенсивностей ($E, R/min$) мягкого рентгеновского излучения. В области высоких интенсивностей жесткого рентгеновского излучения $\alpha \rightarrow 0.5$ как для исходного, так и для легированного иттербием монокристалла $TiGaS_2$.

Монокристаллы $TiGaS_2$ принадлежат к классу широкзонных слоистых полупроводников, характеризующихся высокой чувствительностью к электромагнитному излучению видимой области спектра. В [1,2] изучена прыжковая dc - и ac -проводимость монокристаллов $TiGaS_2$. В [3] приведены результаты изучения влияния γ -радиации на ac -проводимость монокристаллов $TiGaS_2$. Легирование монокристаллов $TiGaS_2$ металлическими примесями позволяет управлять их физическими свойствами [4].

Цель настоящей работы — изучение влияния легирования монокристаллов $TiGaS_2$ иттербием на их фотоэлектрические и рентгенодозиметрические характеристики.

Для получения гомогенных образцов $TiGaS_2$ и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ (содержание иттербия в кристаллах равнялось 0.1 mol.%) использован метод прямого синтеза исходных компонентов. Монокристаллы $TiGaS_2$ и $TiGa_{0.999}Yb_{0.001}S_2$ выращены методом Бриджмена. Синтезированные образцы измельчались и погружались в кварцевые ампулы, которые затем были вакуумированы до давления 10^{-3} Па и помещены в двухзонную печь. Скорость перемещения ампулы в печи составляла 0.3 cm/h. Кристаллографические данные, полученные из расчета дифрактограмм выращенных монокристаллов, приведены в таблице.

Образцы из $TiGaS_2$ и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ были изготовлены в планарном варианте так, что постоянное электрическое поле прикладывалось к ним вдоль естественных слоев монокристаллов, а свет (рентгеновское излучение) падал вдоль S -оси кристаллов. В качестве контактного материала использован индий. Межконтактное расстояние во всех изученных образцах составляло 0.10–0.15 cm. В результате легирования кристаллов $TiGaS_2$ иттербием удельное темновое сопротивление вдоль слоев увеличилось в ~ 70 раз.

В качестве источника рентгеновского излучения использована установка типа УРС-55а с трубкой БСВ-2 (Cu). Интенсивность рентгеновского излучения регулировалась посредством вариации тока в трубке при каждом заданном значении ускоряющего потенциала на ней. Абсолютные значения доз рентгеновского излучения измерены кристаллическим рентгенодозиметром ДРГЗ-02. Изменение проводимости исследуемых образцов под действием рентгеновского излучения регистрировалось в режиме малого нагрузочного сопротивления ($R_l \ll R_{cr}$).

Далее приведены результаты изучения фотоэлектрических и рентгенодозиметрических свойств монокристаллов $TiGaS_2$ и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$. Все измерения проведены при $T = 300$ К.

На рис. 1 представлены приведенные к единице спектры фототока монокристаллов $TiGaS_2$ (кривая 1) и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ (кривая 2). Напряженность постоянного электрического поля, приложенного к образцам (F), составляла 200 и 300 V/cm для $TiGaS_2$ и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ соответственно. Если в нелегированном $TiGaS_2$ максимум фототока приходился на энергию $h\nu_{max} = 2.72$ eV, то после легирования иттербием $h\nu_{max} = 2.68$ eV. Кроме того, после легирования монокристаллов $TiGaS_2$ иттербием область спектральной чувствительности значительно расширялась. При $h\nu = 2.15$ и 2.30 eV на спектрах фототока $TiGaS_2$ и $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ наблюдались два примесных пика (для $TiGaS_2$ спектр примесного фототока приведен в увеличенном по ординате масштабе в нижнем углу рис. 1). Отличительной особенностью является то, что, если в $TiGaS_2$ отношение примесного фототока к собственному составляло менее 0.01, в $TiGaS_2\langle Yb \rangle$ это отношение было выше 0.6, т.е. после легирования монокристаллов иттербием значительно увеличивалась амплитуда примесного фототока.

Кристаллографические данные монокристаллов TlGaS_2 и $\text{TlGa}_{0.999}\text{Yb}_{0.001}\text{S}_2$

Состав кристалла	Сингония	Параметры решетки					Пр. группа	ρ_x , g/cm^3
		a , Å	b , Å	c , Å	β°	z		
TlGaS_2	Моноклинная	10.772	10.772	15.638	100.06	16	$C2/c$	5.560
TlGaS_2 (0.1mol.%Yb)	Моноклинная	10.776	10.776	15.646	100.06	16	$C2/c$	5.022

Исследуемые монокристаллы TlGaS_2 и $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ проявляли чувствительность также к рентгеновскому излучению. Коэффициент рентгенопроводимости (K_σ), характеризующий рентгеночувствительность изучаемых кристаллов, определялся как относительное изменение проводимости за счет рентгеновского облучения на единицу дозы

$$K_\sigma = \frac{\sigma_E - \sigma_0}{\sigma_0 \cdot E} = \frac{\Delta\sigma_{E,0}}{\sigma_0 \cdot E}, \quad (1)$$

где σ_0 — темновая проводимость, σ_E — проводимость под действием рентгеновского облучения дозой E (R/min). Определены величины характеристических коэффициентов как исходных монокристаллов TlGaS_2 , так и легированных иттербией при различных значениях ускоряющего потенциала (V_a) на трубке и соответствующих дозах рентгеновского излучения. На рис. 2 представлены зависимости K_σ от дозы рентгеновского излучения для монокристалла TlGaS_2 при $T = 300$ К и $F = 80$ V/cm (омическая область

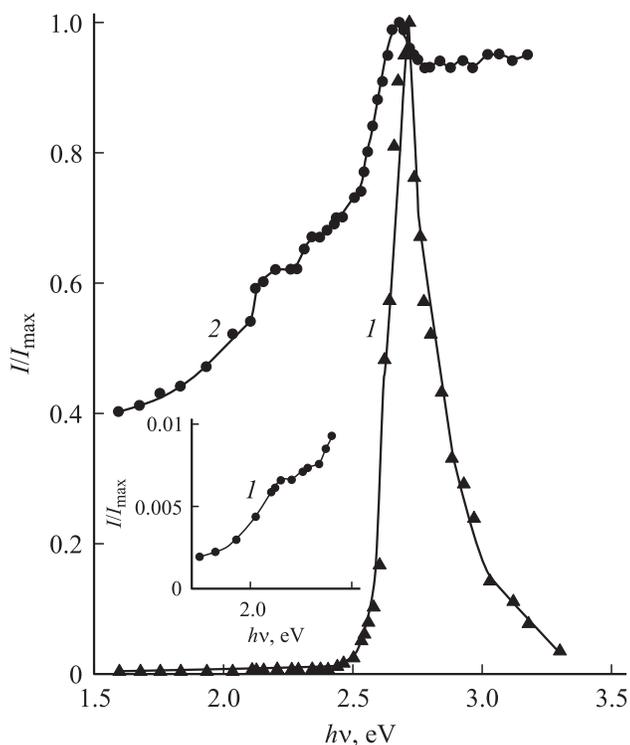


Рис. 1. Спектры фототока в монокристаллах TlGaS_2 (1) и $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ (2), приведенные к единице. $T = 300$ К.

вольт-амперной характеристики). На рис. 3 показана аналогичная зависимость $K_\sigma(E)$ для $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ при рабочем напряжении $U = 7$ В ($F = 80$ V/cm). Как видно из этих рисунков, рентгеночувствительность монокристалла TlGaS_2 изменяется в интервале 0.025–0.174 min/R, а в $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ $K_\sigma = 0.024$ –0.48 min/R, т.е. коэффициент рентгенопроводимости монокристалла $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ примерно в 3 раза превышает K_σ монокристалла TlGaS_2 . Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что K_σ $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ закономерно уменьшается как с увеличением дозы излучения, так и с ростом ускоряющего напряжения V_a . При $V_a > 30$ –35 keV и $E > 20$ R/min изменение $K_\sigma(E, V_a)$ в TlGaS_2 и $\text{TlGaS}_2(\text{Yb})$ становится очень слабым.

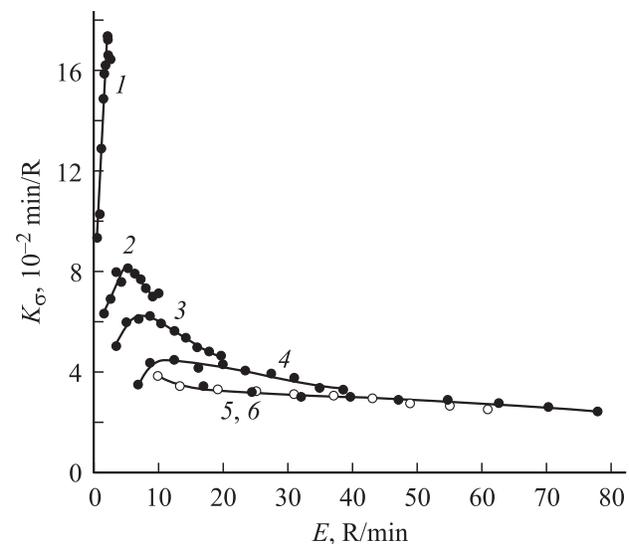


Рис. 2. Зависимости характеристических коэффициентов рентгенопроводимости от дозы облучения для монокристаллов TlGaS_2 ($F = 80$ V/cm) при различных ускоряющих напряжениях на трубке V_a , keV: 1 — 25, 2 — 30, 3 — 35, 4 — 40, 5 — 45, 6 — 50.

Одной из возможных причин наблюдаемых в поведении $K_\sigma(E, V_a)$ закономерностей является следующее. При сравнительно малых ускоряющих потенциалах рентгенопроводимость обусловлена преимущественно поглощением излучения приповерхностным слоем. В этом случае с ростом интенсивности излучения начинает преобладать механизм поверхностной квадратичной рекомбинации, который приводит к наблюдаемому уменьшению рентгенопроводимости. С увеличением ускоряющего потенциала повышается эффективная

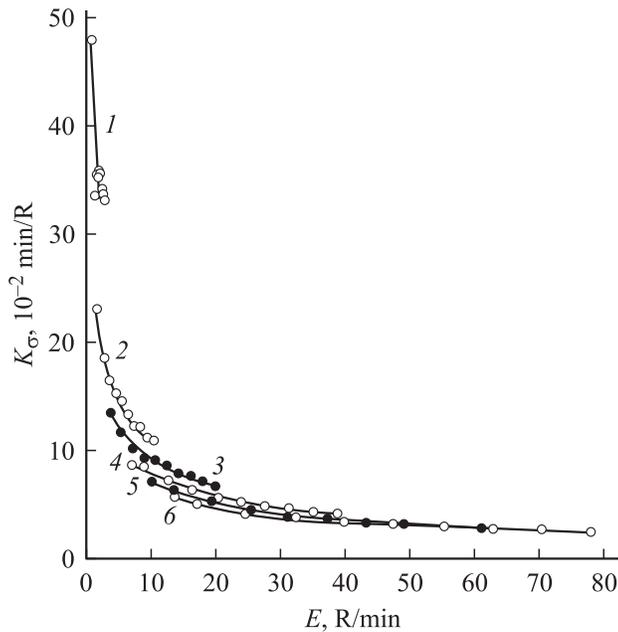


Рис. 3. Зависимость $K_\sigma(E)$ для $TlGaS_2\langle Yb \rangle$ ($F = 70$ V/cm) при различных значениях V_a , keV: 1 — 25, 2 — 30, 3 — 35, 4 — 40, 5 — 45, 6 — 50.

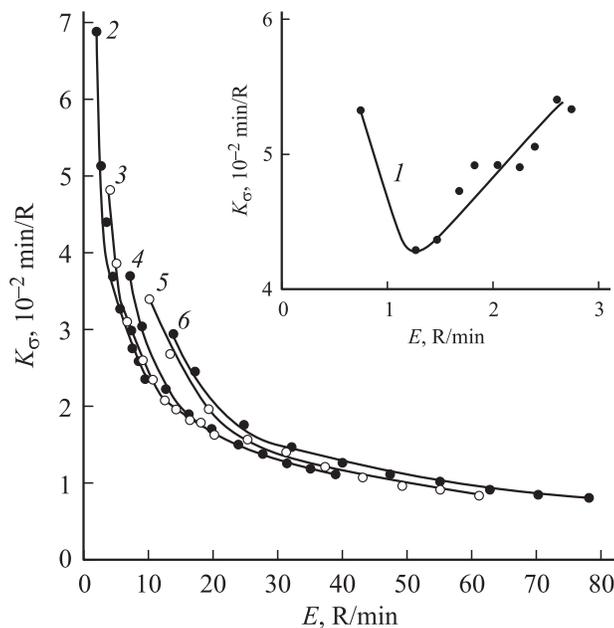


Рис. 4. Дозовая зависимость $K_\sigma(E)$ для $TlGaS_2\langle Yb \rangle$ при $F = 1.5 \cdot 10^3$ V/cm и $V_a = 25$ (1), 30 (2), 35 (3), 40 (4), 45 (5) и 50 keV (6).

жесткость рентгеновского излучения, благодаря чему растет глубина его проникновения в кристалл, т.е. происходит преимущественно поглощение — генерация свободных рентгеноносителей в объеме и растет доля проходящего через кристалл излучения. Вследствие этого по мере увеличения ускоряющего потенциала наблюдается уменьшение коэффициента рентгенопроводности и его зависимости от дозы излучения.

Зависимость K_σ от E измерена также при приложении к кристаллам $TlGaS_2$ и $TlGaS_2\langle Yb \rangle$ электрического напряжения из квадратичной области ВАХ. На рис. 4 приведена зависимость $K_\sigma(E)$ для $TlGaS_2\langle Yb \rangle$ при $F = 1.5 \cdot 10^3$ V/cm. Видно, что эти значения K_σ в несколько раз меньше значений K_σ , измеренных при рабочих напряжениях, лежащих в омической области ВАХ. Аналогичная картина наблюдалась и в монокристаллах $TlGaS_2$. Эти экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в сильных электрических полях концентрация инжектированных из контакта носителей заряда много больше концентрации носителей, образованных под действием рентгеновского излучения. Другими словами, в формуле (1) темновая проводимость σ_0 увеличивается за счет инжекции, в результате чего K_σ уменьшается. Сравнивая рис. 3 и 4, можно увидеть, что в омических полях K_σ с увеличением V_a уменьшается,

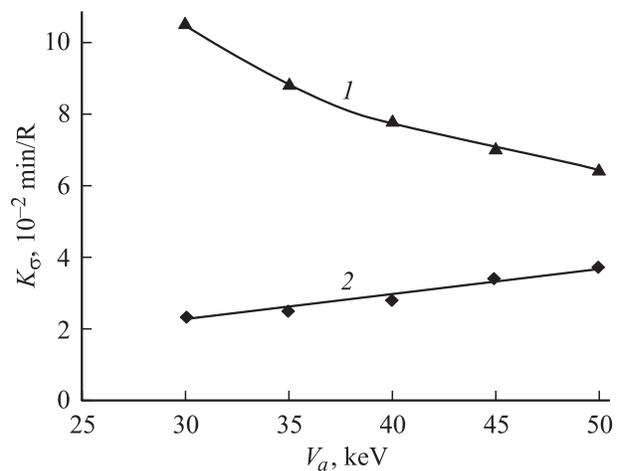


Рис. 5. Зависимость коэффициента рентгенопроводности монокристалла $TlGaS_2\langle Yb \rangle$ от жесткости рентгеновского излучения дозой $E = 10$ R/min при $F = 70$ (1) и $1.5 \cdot 10^3$ V/cm (2).

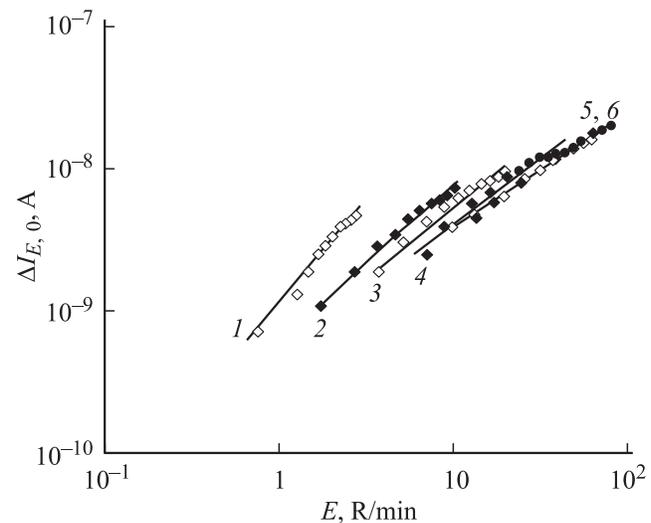


Рис. 6. Рентген-амперные характеристики монокристалла $TlGaS_2$ при различных жесткостях рентгеновского излучения: 1 — 25, 2 — 30, 3 — 35, 4 — 40, 5 — 45, 6 — 50 keV.

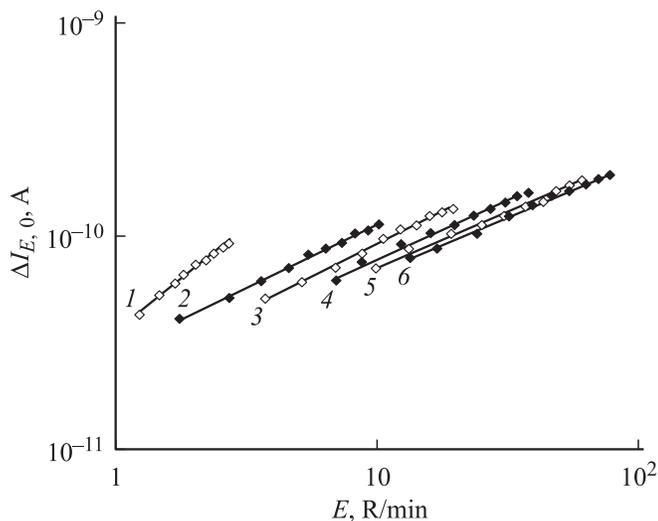


Рис. 7. Зависимости $\Delta I_{E,0}$ от E для $\text{TiGaS}_2\langle\text{Yb}\rangle$ при $V_a = 25\text{--}50$ keV (1–6).

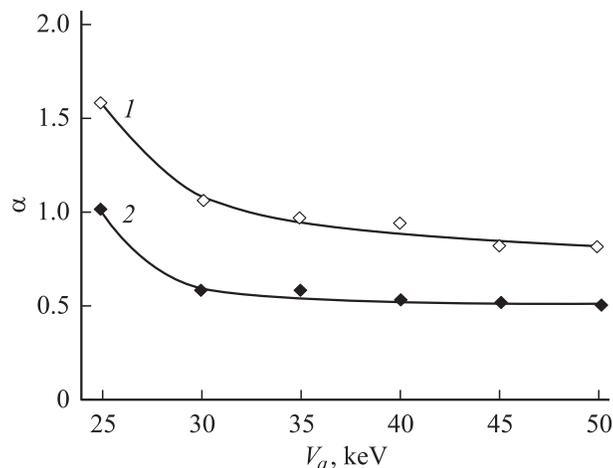


Рис. 8. Зависимости $\alpha(V_a)$ для TiGaS_2 (1) и $\text{TiGaS}_2\langle\text{Yb}\rangle$ (2).

а при рабочих напряжениях, лежащих в квадратичной области ВАХ, K_σ линейно увеличивается по мере увеличения V_a . Рис. 5 иллюстрирует эти особенности изменения $K_\sigma(V_a)$ в монокристалле $\text{TiGaS}_2\langle\text{Yb}\rangle$.

Изучены также рентген-амперные характеристики монокристаллов TiGaS_2 и $\text{TiGaS}_2\langle\text{Yb}\rangle$ (рис. 6 и 7), из которых следует, что зависимость стационарного рентгенотока от дозы рентгеновского излучения носит степенной характер

$$\Delta I_{E,0} = I_E - I_0 \sim E^\alpha. \quad (2)$$

Значения α для исследованных монокристаллов в зависимости от эффективной жесткости рентгеновского излучения V_a показаны на рис. 8. Из рис. 8 следует, что при частичном замещении $\text{Ga} \rightarrow \text{Yb}$ в монокристаллах TiGaS_2 рентген-амперные характеристики стремятся к линейности ($\alpha = 1$) в области малых интенсивностей мягкого (низкие V_a) рентгеновского излучения. В области сравнительно высоких интенсивностей жесткого

(высокие V_a) рентгеновского излучения $\alpha \rightarrow 0.5$ как для исходного, так и для легированного иттербием монокристалла TiGaS_2 .

Полученные результаты показывают, что монокристаллы $\text{TiGaS}_2\langle\text{Yb}\rangle$ характеризуются высокой рентгеночувствительностью и могут быть использованы для создания на их основе неохлаждаемых (рабочих при комнатной температуре) рентгендетекторов.

Список литературы

- [1] С.Н. Мустафаева, В.А. Алиев, М.М. Асадов. ФТТ **40**, 4, 612 (1998).
- [2] С.Н. Мустафаева. ФТТ **46**, 6, 979 (2004).
- [3] А.У. Шелег, К.В. Иодковская, Н.Ф. Курилович. ФТТ **45**, 1, 68 (2003).
- [4] С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов. ФТТ **43**, 3, 427 (2001).