

УДК 621.315.592

Монокристаллы $TiGa_{1-x}Fe_xS_2$ как новые приемники излучения

Э. М. Керимова, С. Н. Мустафаева, С. И. Мехтиева

Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

Изучено влияние частичного замещения Ga→Fe в монокристаллах $TiGaS_2$ на их фотоэлектрические свойства. Указанное замещение в количестве 1—2 % Fe приводит к полной перестройке спектров фототока. Полученные экспериментальные результаты показали, что изменением температуры от 300 до 370 К можно управлять энергией максимума фототока монокристаллов $TiGa_{0,99}Fe_{0,01}S_2$ от 1,98 до 1,70 эВ.

Физические свойства слоисто-цепочечных полупроводников типа $TiB^{III}C_2^{VI}$ (B-In, Ga; C-S, Se, Te) под влиянием внешних воздействий (температуры, электрического поля, электромагнитного и ионизирующего излучения, давления, интеркаляции) довольно подробно исследованы в работах [1—13]. Показано, что воздействием перечисленных внешних факторов можно управлять электрическими, фотоэлектрическими и оптическими свойствами указанных полупроводников. Для управления их параметрами посредством магнитного поля необходимо придать им магнитные свойства, что возможно путем частичного замещения немагнитных трехвалентных катионов индия или галлия магнитными ионами (Fe, Co, Ni).

В работе [14] исследовано влияние дефектов, созданных при частичном замещении Fe→In, на диэлектрические свойства монокристаллов $TiInS_2$ и параметры мягкой моды.

В [15] сообщалось о влиянии частичного замещения Fe→In в монокристаллах $TiInS_2$ на их оптические свойства.

Цель настоящей работы — изучение влияния частичного замещения Ga→Fe в монокристаллах $TiGaS_2$ на их фотоэлектрические свойства. Следует отметить, что значения ионных радиусов галлия и железа очень близки друг другу ($r_{Ga^{+3}} = 0,62 \text{ \AA}$; $r_{Fe^{+3}} = 0,64 \text{ \AA}$).

Исходные монокристаллы $TiGaS_2$ были выращены видоизмененным методом Бриджмена. Легирование кристаллов $TiGaS_2$ железом проводили в процессе синтеза. Дифференциально-термический анализ и дифрактометрическое изучение продуктов синтеза показали, что Fe входит в подразделение Ga. Выращенные монокристаллы $TiGa_{1-x}Fe_xS_2$ подвергались количественному микрорентгеноспектральному анализу на установке "Самеса-MS-46", который показал достаточно однородное распределение ионов железа вдоль и поперек ампулы (слитка). Полученные монокристаллы были слоистыми. Для изготовления образцов, используемых при измерениях, скалывали плоскопараллельные пластинки толщиной 0,1 мм и вырезали из них образцы площадью $2 \times 2 \text{ мм}^2$. Контакты к ним создавали сплавлением индия на боковые торцы. Свет на монокристалл падал в направлении, перпендикулярном плоскости естественного скола, а внешнее электрическое поле (10^2 — 10^3 В/см из омической области вольт-амперной характеристики) было приложено вдоль слоев кристаллов.

На рис. 1 приведены нормированные спектральные зависимости фототока для исходных монокристаллов $TiGaS_2$ при температурах 300, 317, 354 и 383 К.

Для температур 317 и 354 К (см. рис. 1, кривые 2 и 3) приведены лишь низкоэнергетические ветви спектра фототока; собственные максимумы

мы этих кривых приходится на энергии 2,75 и 2,82 эВ, соответственно, т. е. расположены между собственными максимумами кривых 1 и 4 (от 2,70 до 2,84 эВ) и не приведены на рис. 1.

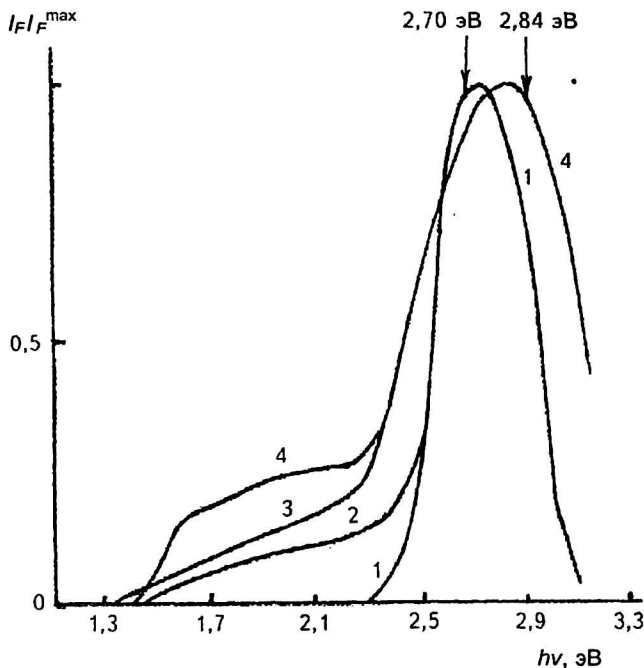


Рис. 1. Спектры фототока для монокристалла TiGaS_2 при различных температурах T , К: 1 — 300; 2 — 317; 3 — 354; 4 — 383

С увеличением температуры от 300 до 383 К в монокристаллах TiGaS_2 наблюдались уширение основной полосы собственной фотопроводимости и смещение ее в сторону больших энергий. Последний экспериментальный факт говорит о том, что ширина запрещенной зоны монокристалла TiGaS_2 растет с повышением температуры,

т. е. $\frac{dE_g}{dT} > 0$. Следует отметить, что такая по-

ложительная температурная зависимость ширины запрещенной зоны у полупроводников встречается крайне редко. Аналогичные результаты были получены нами и при исследовании края поглощения монокристаллов TiGaS_2 в широкой области температур 5—200 К [16], что связано с сильным тепловым расширением кристалла. Кроме того, рост температур приводил к появлению на спектрах фототока монокристалла TiGaS_2 широкой примесной полосы в интервале энергий 1,3—2,2 эВ. Длинноволновое крыло спектра фототока при высоких температурах свидетельствовало о термическом опустошении примесных уровней в TiGaS_2 .

Частичное замещение ионов галлия в решетке TiGaS_2 на ионы железа в незначительном количестве (≈ 1 ат. %) приводило к полной перестройке фотоэлектронных спектров. На рис. 2 представлены спектры фототока для монокристалла $\text{TiGa}_{0,99}\text{Fe}_{0,01}\text{S}_2$ при температурах 300, 346, 369 К. Сопоставление рис. 1 и 2 показывает, что при указанном замещении $\text{Ga} \rightarrow \text{Fe}$ основная

полоса собственной фотопроводимости, наблюдаемая в области 2,6—2,9 эВ до введения железа, подавляется и проявляется лишь как слабое коротковолновое плечо на фоне новой полосы максимальной фоточувствительности и низкоэнергетической области спектра (1,3—2,6 эВ), возникшей после введения железа. Аналогичная перестройка спектров фототока наблюдалась и при введении ионов железа в монокристаллы TlInS_2 [17]. На спектрах фототока также наблюдалась полоса максимальной чувствительности с пиком при $h\nu \approx 1,70$ эВ. Данное обстоятельство связано, по-видимому, с усилением межслоевых связей, вызванных присутствием в соседних слоях кристаллов магнитных ионов железа.

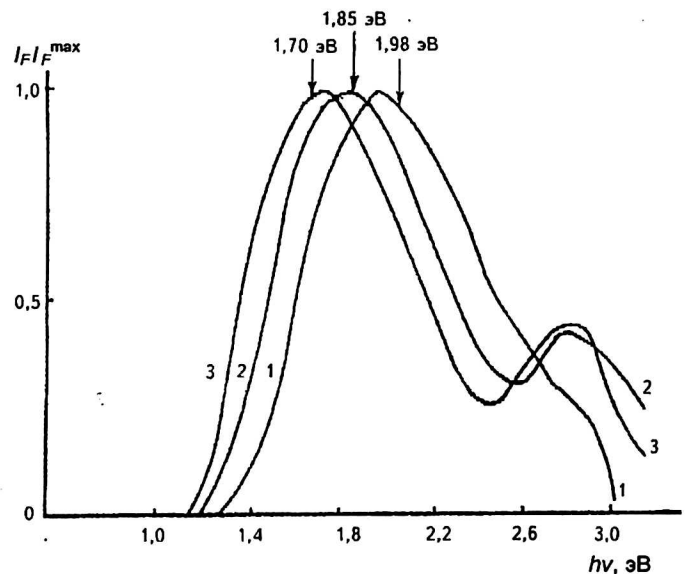


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока для монокристалла $\text{TiGa}_{0,99}\text{Fe}_{0,01}\text{S}_2$ при температурах T , К: 1 — 300; 2 — 346; 3 — 369

Коротковолновый пик в спектрах фототока кристаллов $\text{TiGa}_{0,99}\text{Fe}_{0,01}\text{S}_2$ составлял 20—25 % от вновь возникшего максимума. Относительная спектральная фоточувствительность содержащих железо кристаллов в указанной выше низкоэнергетической области становится доминирующей как при комнатной температуре, так и выше.

Основной максимум спектра фотопроводимости в результате замещения галлия на 1 ат. % Fe смещался от 2,70 до 1,98 эВ при 300 К. Отмеченная новая полоса максимальной спектральной фоточувствительности резко смещалась в сторону длинных волн с ростом температуры. На рис. 3 показана зависимость энергии максимума этой полосы от температуры, при которой по мере ее повышения от 300 до 369 К $h\nu_{\text{max}}$ смещается от 1,98 до 1,70 эВ. А для состава $\text{TiGa}_{0,98}\text{Fe}_{0,02}\text{S}_2$ энергетическое положение максимума фототока ($h\nu \approx 1,90$ эВ) в области 300—350 К вообще не зависело от температуры (рис. 4). Эта особенность дает возможность использовать полученный состав для регистрации монохрома-

тического излучения $h\nu \approx 1,90$ эВ в диапазоне температур 300—350 К.

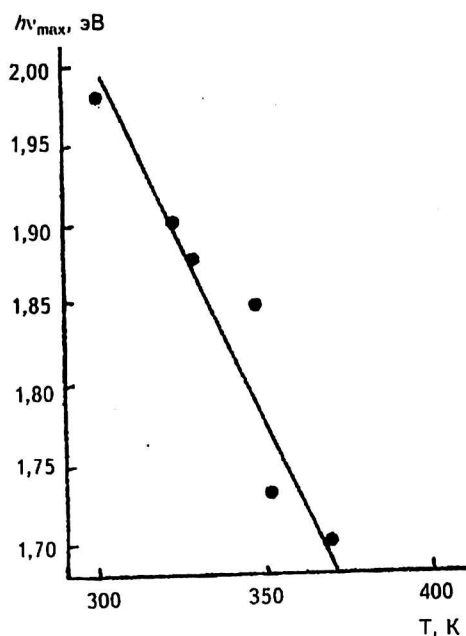


Рис. 3. Зависимость энергии максимума фототока ($h\nu_{max}$) монокристалла $TiGa_{0,99}Fe_{0,01}S_2$ от температуры

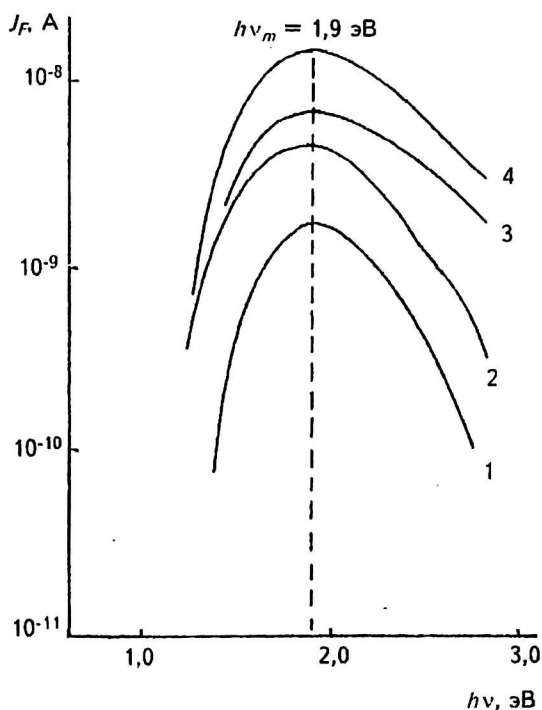


Рис. 4. Спектры фототока для монокристалла $TiGa_{0,99}Fe_{0,02}S_2$ при температурах T , К: 1 — 300; 2 — 332; 3 — 336; 4 — 350

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показали, что за счет частичного замещения $Ga \rightarrow Fe$ в решетке $TiGaS_2$ можно существенно модифицировать спектры фототока, а также управлять энергией максимума фототока монокристаллов $TiGa_{1-x}Fe_xS_2$ вариацией температуры.

Литература

1. Мустафаева С. Н.// Неорган. материалы. 1994. Т.42. № 8. С. 1033—1036.
2. Мустафаева С. Н., Мамедбейли С. Д., Мамедбейли И. А.// Там же. Т. 30. № 5. С. 626—628.
3. Guseinov G. D., Kuzimov S. B., Kerimova E. M., Gorbun I. S., Gubanov V. A., Bely N. M., Vobyr A. V.// Turkish Journal of Physics. 1994. V. 18. № 7. P. 721—725.
4. Мустафаева С. Н., Асадов М. М., Рамазанзаде В. А.// Неорган. материалы. 1995. Т. 31. № 3. С. 318—320.
5. Мустафаева С. Н., Асадов М. М., Рамазанзаде В. А.// ФТП. 1996. Т. 38. № 1. С. 14—18.
6. Мустафаева С. Н., Мамедбейли С. Д., Асадов М. М., Мамедбейли И. А., Ахмедли К. М.// ФТП. 1996. Т. 30. № 12. С. 2154—2158.
7. Okazaki K., Tanaka K., Fujimori A., Mattheiss L. F., Lida S., Kerimova E., Mamedov N.// Physical Review B. 2001. V. 64. P. 045210—045215.
8. Керимова Э. М., Мустафаева С. Н., Магеррамов А. Б.// Неорган. материалы. 1997. Т. 33. № 11. С. 1325—1326.
9. Мустафаева С. Н., Алиев В. А., Асадов М. М.// ФТП. 1998. Т. 40. № 1. С. 48—51.
10. Kerimova E., Mustafaeva S., Guseinova D., Efendiya I., Babaev S., Mamedov T. G., Mamedov T. S., Salaeva Z., Al-lakhverdiev K.// Phys. Stat. Sol. (a). 2000. V. 179. P. 199—203.
11. Мустафаева С. Н., Керимова Э. М., Гасанов Н. З.// ФТП. 1998. № 2. С. 145—147.
12. Seidov Z., Krug von Nidda H.-A., Hemberger J., Loidl A., Sultanov G., Kerimova E., Panfilov A.// Physical Review B. 2001. V. 65. P. 014433-1-014433-7.
13. Abasova A. Z., Kerimova E. M., Muradova G. A., Pashaev A. M.// Proceed. of the 11th Int. Conf. of Ternary and Multinary Compounds, ICTMC-11. Salford. 8—12 September. 1997. P. 983—988.
14. Банис Ю., Григас Й., Гусейнов Г.// Литовский физ. сб. 1989. Т. 29. № 3. С. 348—356.
15. Керимова Э. М., Мустафаева С. Н., Исмаилзаде Л. А., Наджафов А. Ю.// Fizika (Институт физики НАН Азербайджана). 1998. Т. 4. № 1. С. 28—29.
16. Kerimova E. M., Huseinova D. A., Mustafaeva S. N., Iskenderova P. M., Kerimov R. N.// Proceedings of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors. Osaka. Japan. Sept. 17—22. 2000. Abstract Number: 2002 LB3 (AO33).
17. Керимова Э. М., Мустафаева С. Н., Исмаилзаде Л. А., Заманова А. К.// Неорган. материалы. 1997. Т. 33. № 9. С. 1060—1062.

TlGa_{1-x}Fe_xS₂ single crystals as new photodetectors

E. M. Kerimova, S. N. Mustafaeva, S. I. Mekhtieva
Institute of Physics National Academy of Sciences, Baku, Republic of Azerbaijan

Influence of partial substitution of Ga ions in TlGaS₂ lattice by Fe ions on photoelectric properties have been investigated. Indicated substitution in quantity of 1+2 % Fe brings about the full frequency change of photocurrent spectra. Obtained experimental results show that at the expense of partial substitution Ga→Fe in TlGaS₂ lattice one can control photocurrent maximum energy of TlGa_{0.99}Fe_{0.01}S₂ single crystals from 1.98 to 1.70 eV by temperature variation from 300 to 370 K.