

Фотоэлектрические свойства монокристаллов MnGaInS_4

© Н.Н. Нифтиев

Азербайджанский государственный педагогический университет,
Az-1000 Баку, Азербайджан
e-mail: namiq7@bk.ru

Поступило в Редакцию 22 января 2019 г.
В окончательной редакции 2 апреля 2019 г.
Принято к публикации 18 сентября 2019 г.

Исследовано спектральное распределение фотопроводимости и температурная зависимость фототока монокристаллов MnGaInS_4 . На спектре фотопроводимости выявлена собственная и примесная фотопроводимости. Область длин волн $0.640\text{--}0.760\ \mu\text{m}$ проявляется при недостатке марганца в кристаллах и обусловлена акцепторным дефектом. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны в монокристаллах MnGaInS_4 связана с электрон-фононным взаимодействием. В исследуемых температурах рост фототока связан с термическим опустошением уровней прилипания. Рассчитана энергия активации уровней прилипания.

Ключевые слова: монокристалл, фотопроводимость, фототок, электрон-фононное взаимодействие, энергия активации.

DOI: 10.21883/JTF.2020.03.48926.17-19

В последние годы значительное внимание уделяется магнитным полупроводникам типа AB_2X_4 (A — Mn, Fe, Co, Ni; B — Ga, In; X — S, Se, Te), содержащим элементы с незаполненными d -оболочками [1–11]. Эти соединения обладают уникальными физическими свойствами, что дает основание полагать перспективным использование их для изготовления ряда оптоэлектронных приборов нового класса, управляемых с помощью магнитного поля. На основе этих материалов созданы фоточувствительные структуры [6,7], а на основе кристаллов FeIn_2Se_4 получены гетеропереходы [8], из соединений FeIn_2S_4 и MnIn_2S_4 синтезированы наноструктуры [9–11].

В настоящей работе приведены результаты исследования спектрального распределения фотопроводимости (СРФП) и температурная зависимость фототока в монокристаллах MnGaInS_4 . Физические свойства MnGaInS_4 изучались в нескольких работах [12–16]. В работе [12] на основе исследований вольт-амперной характеристики (ВАХ) монокристаллов MnGaInS_4 в области сильных электрических полей показано, что ток в нелинейной области ВАХ обусловлен термополювым эффектом Френкеля. Определены диэлектрическая проницаемость, концентрация ловушек, а также форма потенциальной ямы. В [13] исследовано влияние освещения на ВАХ и температурной зависимости электропроводности $\sigma(T)$ монокристаллов MnGaInS_4 . Установлено, что рост тока связан с освобождением носителей из ловушек, заполнение которых происходило при освещении. Определены энергетические положения уровней. В работе [14] на основе исследований термостимулированной проводимости и термостимулированной деполяризации показано, что уровни прилипания в MnGaInS_4 являются быстрыми (бимолекулярный механизм рекомбинации). Методом термической очистки выявлено, что в запрещенной зоне монокристаллов MnGaInS_4 имеются два

уровня прилипания с экспоненциально распределенными энергиями $0.05\text{--}0.20$ и $0.16\text{--}0.25\ \text{eV}$. В [15] представлены результаты исследования оптического поглощения в монокристаллах MnGaInS_4 . Установлено, что в интервале энергий фотонов $2.37\text{--}2.74\ \text{eV}$ и в области температур $83\text{--}270\ \text{K}$ имеют место прямые и непрямые оптические переходы. В работе [16] исследованы оптическое поглощение и спектральные кривые ФП в монокристаллах MnGaInS_4 при двух поляризациях света ($E \parallel C$ и $E \perp C$). Наблюдалась анизотропия оптического поглощения и спектра ФП монокристаллов MnGaInS_4 . Предположено, что поляризационное расщепление края поглощения связано с расщеплением валентной зоны MnGaInS_4 .

Монокристаллы MnGaInS_4 были получены методом Бриджмена. Рентгенографическим методом установлено, что монокристаллы кристаллизуются в структуре однопакетного политипа ZnIn_2S_4 [17] с параметрами кристаллической решетки $a = 3.81\ \text{\AA}$, $c = 12.17\ \text{\AA}$, $z = 1$, пространственная группа $P3m1$. Контакты в образцах создавались сплавлением индия в противоположную поверхность (сандвич-структура). Для исследования СРФП в монокристаллах MnGaInS_4 использовали монохроматор МДР-12 и нейтральные фильтры.

На рис. 1 приведено спектральное распределение фотопроводимости монокристаллов MnGaInS_4 при различных температурах ($77\text{--}293\ \text{K}$). Видно, что спектральная область фоточувствительности MnGaInS_4 охватывает длины волн $0.400\text{--}0.800\ \mu\text{m}$. При температуре $77\ \text{K}$ на спектре обнаруживается один интенсивный пик для длины волны $0.510\ \mu\text{m}$. Этот пик связан с собственной фотопроводимостью. Начиная с $175\ \text{K}$, с ростом температуры появляется участок с $\lambda = 0.640\text{--}0.760\ \mu\text{m}$, который связан с примесной фотопроводимостью. Известно, что одним из важных факторов создания локальных

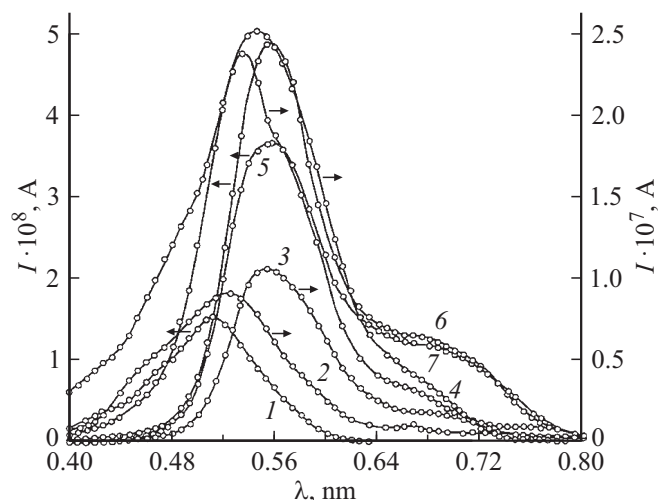


Рис. 1. Спектральные распределения фотопроводимости монокристаллов MnGaInS_4 при различных температурах T , К: 1 — 77, 2 — 133, 3 — 175, 4 — 210, 5 — 240, 6 — 270, 7 — 293.

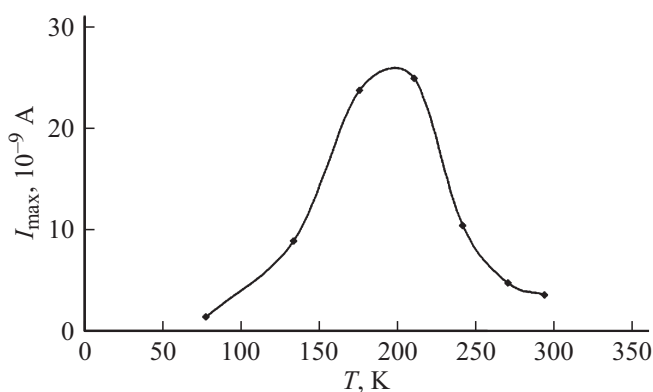


Рис. 2. Температурная зависимость фототоков в максимумах спектрального распределения фотопроводимости монокристаллов MnGaInS_4 .

уровней в соединениях AB_2X_4 является отклонение состава образцов от стехиометрии [18]. Это может быть связано с избытком или недостатком компонента A в составе образцов. Нам кажется, что область, соответствующая длинам волн $0.640\text{--}0.760\ \mu\text{m}$, проявляется при недостатке марганца в кристаллах и обусловлена акцепторным дефектом [19]. Энергетическая разница между шириной запрещенной зоны и положением примесной фотопроводимости составляет $\sim 0.42\ \text{eV}$. Эта энергетическая разница найдена из температурной зависимости электропроводности освещаемых монокристаллов MnGaInS_4 [13].

На рис. 2 представлена температурная зависимость фототоков в максимумах спектрального распределения фотопроводимости MnGaInS_4 . Сначала с ростом температуры (77–200 К) величина фототока увеличивается, а затем (200–293 К) — уменьшается.

Температурная зависимость значения энергии фотона с соответствующими максимумами спектрального распределения фотопроводимости монокристаллов MnGaInS_4 показана на рис. 3. Видно, что значение энергии (ширина запрещенной зоны) MnGaInS_4 с изменением температуры смещается по линейному закону коэффициента температурного смещения $\frac{dE}{dT} = -9.8 \cdot 10^{-4}\ \text{eV/K}$.

Известно, что температурная зависимость ширины запрещенной зоны связана в основном с двумя эффектами [20]: термическим расширением решетки и электрон-фононным взаимодействием. Температурную зависимость ширины запрещенной зоны при постоянном давлении можно представить в виде [20]

$$\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_V - \frac{\beta}{\chi} \left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)_T, \quad (1)$$

где β — термический коэффициент объемного расширения, а χ — коэффициент сжимаемости. Первый член связан только с электрон-фононным взаимодействием, тогда как второй характеризует влияние термического расширения решетки. Обычно последний член, который можно вычислить с помощью измеренных коэффициентов давления, обеспечивает примерно 25% наблюдаемой температурной зависимости. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны в монокристаллах MnGaInS_4 связана с электрон-фононным взаимодействием [20].

Исследована температурная зависимость фототока монокристаллов MnGaInS_4 при различных интенсивностях света в области собственного поглощения. На рис. 4 представлена температурная зависимость начального роста фототока MnGaInS_4 при различных интенсивностях света. В исследуемом диапазоне температур рост фототока связан с термическим опустошением уровней прилипания [21]. Определена энергия активации уровней прилипания по зависимости $\log(I) \sim \frac{10^3}{T}$ и найдено $E_t = 0.06\ \text{eV}$. Следует отметить, что уровни с энергией

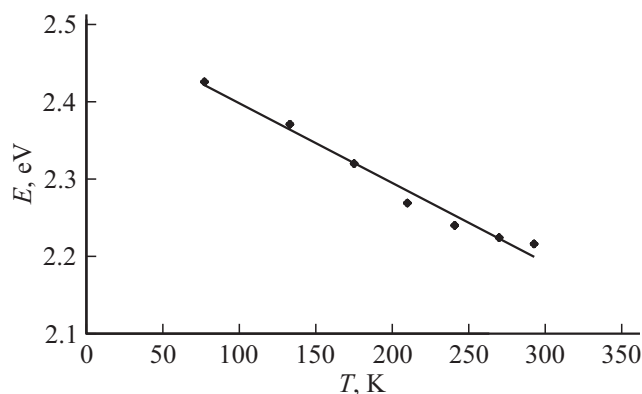


Рис. 3. Температурная зависимость энергии фотона в максимуме спектрального распределения фотопроводимости монокристаллов MnGaInS_4 .

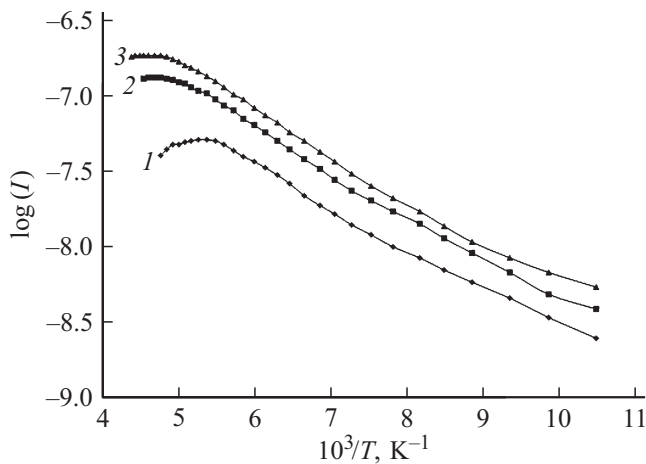


Рис. 4. Температурные зависимости начального роста фототока ($\log(I)$ — десятичный логарифм тока в амперах) монокристаллов $MnGaInS_4$ при различных интенсивностях света L , lx: 1 — $1.8 \cdot 10^2$, 2 — $2 \cdot 10^3$, 3 — $3.5 \cdot 10^3$.

0.06 eV обнаруживаются в термостимулированной проводимости в монокристаллах $MnGaInS_4$ [14].

Результаты исследования фотозлектрических свойств показали, что монокристалл $MnGaInS_4$ является очень фоточувствительным материалом, работающим в видимой области спектра. Из этих монокристаллов можно изготовить фоторезистор.

Таким образом, исследовано спектральное распределение фотопроводимости и температурная зависимость фототока монокристаллов $MnGaInS_4$. На спектре фотопроводимости выявлена собственная и примесная фотопроводимость. Область, соответствующая длинам волн $0.640\text{--}0.760 \mu m$ проявляется при недостатке марганца в кристаллах и обусловлена акцепторным дефектом. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны в монокристаллах $MnGaInS_4$ связана с электрон-фононным взаимодействием. В исследуемых температурах рост фототока связан с термическим опустошением уровней прилипания. Рассчитана энергия активации уровней прилипания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Torres T., Sagredo V., De Chalbaud L., Attolini G., Bolzoni F. // *Physica B: Condensed Mater.* 2006. Vol. 384. N 1–2. P. 100–102.
- [2] Myoung B.R., Lim J.T., Kim C.S. // *J. Magn. Magnet. Mater.* 2017. Vol. 438. P. 121–125.
- [3] Sagredo V., Moron M., Betancourt L., Delgado G. // *J. Magn. Mater.* 2007. Vol. 312. N 2. P. 294–297.
- [4] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М., Казымова Ф.А. // *Письма в ЖТФ.* 2009. Т. 35. Вып. 22. С. 79–83.
- [5] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. // *ЖТФ.* 2012. Т. 82. Вып. 4. С. 147–149.
- [6] Боднарь И.В., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. // *ФТП.* 2009. Т. 43. Вып. 11. С. 1549–1552.
- [7] Боднарь И.В., Павлюковец С.А., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. // *ФТП.* 2009. Т. 43. Вып. 11. С. 1553–1556.
- [8] Ковалюк З.Д., Катеринчук В.Н., Нетяга В.В., Заслонкин А.В. // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* 2007. № 5. С. 43–45.
- [9] Lu Q., Hu K., Tank K. et al. // *Chem. Lett.* 1999. Vol. 28. N 6. P. 481–482.
- [10] Xiangying C., Zhongjie Z., Xingta Z., Jianwei L., Yitai Q. // *J. Cryst. Growth.* 2005. Vol. 277. N 1–4. P. 524–528.
- [11] Lei S., Tang K., Fang Z., Qi Y., Zheng H. // *Mater. Res. Bull.* 2006. Vol. 41. N 12. P. 2325.
- [12] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б. // *ФТП.* 2007. Т. 41. Вып. 1. С. 17–19.
- [13] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б. // *Письма в ЖТФ.* 2003. Т. 29. Вып. 10. С. 49–53.
- [14] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б. // *Неорган. матер.* 2003. Т. 39. В. 6. С. 1–3.
- [15] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б. // *Опт. и спектр.* 2012. Т. 112. № 1. С. 96–99.
- [16] Нуфтиев Н.Н., Тагиев О.Б. // *Опт. и спектр.* 2017. Т. 122. № 6. С. 969–971.
- [17] Haueseler H., Stork H. // *J. Mater. Chem.* 1992. N 2. P. 145–147.
- [18] Георгобидани А.Н., Радауцан С.И., Тигиняну И.М. // *ФТП.* 1985. Т. 19. Вып. 2. С. 193–212.
- [19] Georgobiani A.N., Gruzintsev A.N., Radautsan S.I., Tiginyanu I.M. // *Phys. St. Sol. A.* 1983. Vol. 80. N 1. P. 45–48.
- [20] Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. *Полупроводниковая оптоэлектроника.* М.: Мир, 1976. 430 с.
- [21] Бьюб Р. *Фотопроводимость твердых тел.* М.: Мир, 1962. 558 с.