

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ MnIn_2S_4

Н. Н. Нифтиев

УДК 535.215

<https://doi.org/10.47612/0514-7506-2021-88-6-967-969>

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

(Поступила 26 июля 2021)

Исследованы спектральное распределение фотопроводимости и температурная зависимость фототока монокристаллов MnIn_2S_4 . В спектре фотопроводимости выявлены собственная, примесная фотопроводимость и максимум при энергии 2.69 эВ, который связан с внутрицентровым переходом ионов Mn^{2+} (${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1$). Область длин волн 600–1000 нм проявляется с избытком марганца в кристаллах и обусловлена донорным дефектом. При изменении температуры от 80 до 145 К рост фототока связан с термическим опустошением уровней прилипания. Определена энергия активации уровней прилипания.

Ключевые слова: MnIn_2S_4 , монокристалл, спектральное распределение, фотопроводимость, фототок, энергия активации.

The spectral distribution of the photoconductivity and the temperature dependence of the photocurrent of MnIn_2S_4 single crystals are investigated. The intrinsic, impurity photoconductivity and a maximum at an energy of 2.69 eV, which is associated with the intracenter transition of Mn^{2+} ions (${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1$), are revealed in the photoconductivity spectrum. The region of the wavelengths of 600–1000 nm appears with an excess of manganese in the crystals and is caused by a donor defect. At temperatures of 80–145 K, the increase in the photocurrent is associated with the thermal depletion of the adhesion levels. The activation energy of the adhesion levels is determined.

Keywords: MnIn_2S_4 , single crystal, spectral distribution, photoconductivity, photocurrent, activation energy.

Тройные халькогенидные соединения привлекают внимание в связи с тем, что обладают комплексом исключительно важных свойств и находят широкое применение в различных областях. В этом плане интересна группа тройных соединений $A^{\text{II}}B_2^{\text{III}}X_4^{\text{VI}}$ (где А — Mn, Fe, Co, Ni; В — Ga, In; Х — S, Se, Te), которые являются перспективными для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и других функциональных устройств, управляемых магнитным полем. Физические свойства MnIn_2S_4 изучались в работах [1–8]. В [1, 2] исследованы структурные и магнитные свойства MnIn_2S_4 . Установлено, что ниже температуры Нееля $T_N = 4.9$ К эти кристаллы являются антиферромагнитными. Работы [3, 4] посвящены изучению инжекционных и термостимулированных токов в монокристаллах MnIn_2S_4 . Некоторые оптические свойства монокристаллов MnIn_2S_4 , полученных с помощью химических транспортных реакций, рассмотрены в [5]. В [6–8] методом направленной кристаллизации расплава выращены однородные монокристаллы MnIn_2S_4 для создания фоточувствительных барьеров Шоттки In/ MnIn_2S_4 , а также выполнены исследования спектров поглощения и фоточувствительности. В [9] из соединений MnIn_2S_4 синтезированы наноструктуры. В настоя-

PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF MnIn_2S_4 SINGLE CRYSTALS

N. N. Niftiyev (Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan; e-mail: namiq7@bk.ru)

щей работе исследованы спектральное распределение фотопроводимости и температурная зависимость фототока в монокристаллах MnIn_2S_4 .

Монокристаллы MnIn_2S_4 получены методом химических транспортных реакций. В качестве переносчика использован кристаллический йод (4 мг/см^3). Температуры горячей и холодной зон $T_1 = 800^\circ\text{C}$ и $T_2 = 700^\circ\text{C}$. Рентгенографическим методом установлено, что монокристаллы обладают шпинельной структурой с параметром кристаллической решетки $a = 10.71 \text{ \AA}$ [1]. Контакты к образцам создавались вплавлением индия на противоположных поверхностях. С использованием экспериментальной установки, собранной на базе монохроматора типа МДР-12, методом стационарной фотопроводимости в области температур $T = 77\text{—}300 \text{ K}$ при напряженности электрического поля $E \approx 20\text{—}2500 \text{ В/см}$ и освещенности $L \approx 5 \cdot 10^0\text{—}5 \cdot 10^5 \text{ Лк}$ в диапазоне $\lambda = 300\text{—}1000 \text{ нм}$ зарегистрированы основные характеристики фотопроводимости (фототока) образцов. Для измерения температурной зависимости фотопроводимости монокристаллов MnIn_2S_4 в интервале температур $77\text{—}300 \text{ K}$ использован азотный криостат. Температура образца измерена платиновым датчиком марки ИС-568А, сопротивление которого изменяется в данном температурном интервале по линейному закону.

На рис. 1 показано спектральное распределение фотопроводимости монокристаллов MnIn_2S_4 при температурах $80\text{—}286 \text{ K}$. Видно, что спектральная область fotocувствительности MnIn_2S_4 охватывает длины волн $350\text{—}1000 \text{ нм}$ ($3.54\text{—}1.24 \text{ эВ}$). В спектре можно выделить три участка, особенно максимум при энергии 2.69 эВ (460 нм), энергетическое положение которого с изменением температуры не изменяется. По-видимому, этот максимум связан с внутрицентровым переходом ионов Mn^{2+} (${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1$) [10]. В области $480\text{—}580 \text{ нм}$ менее интенсивные максимумы связаны с собственной фотопроводимостью [5]. Длинноволновые максимумы ($600\text{—}1000 \text{ нм}$) связаны с примесной фотопроводимостью. Известно, что одним из важных факторов создания локальных уровней в соединениях AB_2X_4 является отклонение состава образцов от стехиометрии [11]. Это может быть связано с избытком или недостатком компонента А в составе образцов. Область, соответствующая длинам волн $600\text{—}1000 \text{ нм}$, проявляется с избытком марганца в кристаллах и обусловлена донорным дефектом [12]. На кривой примесной фотопроводимости выделяются две области (рис. 1): в первой при $T = 80 \text{ K}$ максимум при 880 нм не наблюдается при высоких температурах (кривая 1), во второй — с ростом температуры длинноволновые максимумы ($700\text{—}740 \text{ нм}$) смещаются в сторону коротких волн (кривые 2—6). Это объясняется следующим образом. Монокристалл MnIn_2S_4 имеет проводимость n -типа [3]. При поглощении светового фотона в кристалле электрон переходит из валентной зоны на уровень донора. При повышении температуры в результате деформации кристаллической решетки донорный уровень перемещается вверх по энергетической шкале больше, чем дно зоны

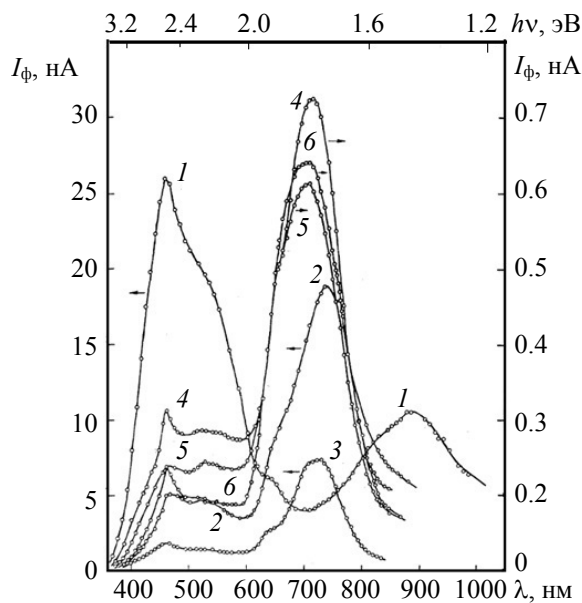


Рис. 1. Спектральные распределения фотопроводимости монокристаллов MnIn_2S_4 при температурах $T = 80$ (1), 137 (2), 175 (3), 225 (4), 257 (5) и 286 K (6)

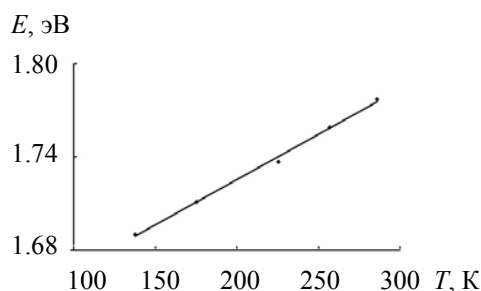


Рис. 2. Температурная зависимость энергии фотона, соответствующей максимумам спектрального распределения фотопроводимости монокристаллов MnIn_2S_4

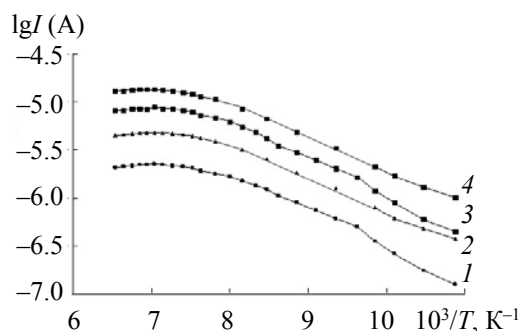


Рис. 3. Температурные зависимости фототока монокристаллов MnIn_2S_4 при освещенности $L = 4.6 \cdot 10^2$ (1), 10^3 (2), $2 \cdot 10^3$ (3) и $3.5 \cdot 10^4$ Лк (4)

проводимости и потолок валентной зоны. Следовательно, с повышением температуры энергетическое расстояние между потолком валентной зоны и уровнем донора увеличивается. Температурная зависимость энергии фотона, соответствующей максимумам спектрального распределения фотопроводимости монокристаллов MnIn_2S_4 , представлена на рис. 2. Видно, что энергия увеличивается с повышением температуры.

Температурная зависимость фототока монокристаллов MnIn_2S_4 исследована при различных освещенностях в области собственного поглощения (рис. 3). При температурах 80—145 К рост фототока связан с термическим опустошением уровней прилипания [13]. Энергия активации уровней прилипания $E_i = 0.08$ эВ определена из зависимости $\lg I \sim 10^3/T$. Уровни с энергией 0.08 эВ обнаруживаются из термостимулированной проводимости в монокристаллах MnIn_2S_4 [4].

Результаты исследования фотоэлектрических свойств показывают, что монокристалл MnIn_2S_4 является хорошим фоточувствительным материалом в видимой области спектра. Ток освещенного (200 Лк) образца в $\sim 10^4$ раз больше по сравнению с неосвещенным образцом. Данные монокристаллы можно применять для изготовления фоторезисторов.

- [1] T. Kanomato, H. Ido, T. Kaneko. Jpn. J. Phys., **34** (1973) 554
- [2] I. Ching, J. John, A. Edgar, W. Aaron. J. Solid State Chem., **13** (1975) 304—306
- [3] N. N. Niftiev, O. B. Tagiyev. Solid State Commun., **81**, N 8 (1992) 693—695
- [4] Н. Н. Нифтиев. ФТП, **36**, № 7 (2002) 836—837
- [5] N. N. Niftiev. Solid State Commun., **92**, N 9 (1994) 781—783
- [6] И. В. Боднар, В. Ю. Рудь, Ю. В. Рудь. ФТП, **43**, № 11 (2009) 1549—1552
- [7] И. В. Боднар. Журн. неорг. химии, **55**, № 6 (2010) 896—901
- [8] И. В. Боднар, В. Ю. Рудь, Ю. В. Рудь, Д. В. Ложкин. ФТП, **45**, № 7 (2011) 941—946
- [9] S. Lei, K. Tang, Z. Fang, Y. Qi, H. Zheng. Mater. Res. Bull., **41**, N 12 (2006) 2325—2333
- [10] N. Tsuboi, K. Ogihara, Y. Suda, K. Oishi. Jpn. J. Appl. Phys., **44** (2005) 725—728
- [11] А. Н. Георгобiani, С. И. Радауцан, И. М. Тигиняну. ФТП, **19**, № 2 (1985) 193—212
- [12] A. N. Georgobiani, A. N. Gruzintsev, S. I. Radautsan, I. M. Tiginyanu. Phys. Status Solidi (a), **80** (1983) 45—48
- [13] Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел, Москва, Мир (1962)