

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $CuIn_5S_8$ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Л.Г.ГАСАНОВА, А.З.МАГОМЕДОВ, С.А.ДЖАХАНГИРОВА
Бакинский Государственный Университет
gileyla@mail.ru

Исследованы фотопроводимость и люминесценция монокристаллов $CuIn_5S_8$ при высоких уровнях возбуждения. Особенности фотопроводимости и люминесценции объяснены на базе рекомбинационной модели.

1. Введение

Полупроводниковое соединение $CuIn_5S_8$ является одним из перспективных материалов в полупроводниковой оптоэлектронике. Впервые в монографии [1] предсказана возможность образования полупроводниковых соединений типа $A^I B_5^{III} C_8^{VI}$, что подтвердилось при дальнейших исследованиях. В работе [2] построена диаграмма состояния системы $CuInS_2 - In_2S_3$ на основе термограмм нагревания и охлаждения 28 составов. При 25 мол. % In_2S_3 на линии солидуса наблюдается максимум, свидетельствующий об образовании химического соединения $Cu_3In_5S_9$, плавящегося конгруэнтно при $1085^\circ C$, а при 65 мол. % In_2S_3 в системе обнаружено второе конгруэнтно плавящееся ($1090^\circ C$) соединение с формулой $CuIn_5S_8$, оно не имеет полиморфизма и кристаллизуется в структуре шпинели. Здесь из-за большой разности электроотрицательностей, увеличивается стремление к октаэдрической координации атомов, что способствует переходу от структуры титогаллат к структуре шпинели. В [3] установлено, что полупроводниковое соединение $CuIn_5S_8$ от точки плавления $1085^\circ C$, до комнатной температуры, не имеет фазовых переходов и сохраняет свою шпинельную структуру. В работе [4] были обнаружены две фазы с упорядоченной структурой:

1) кубическая с $a=1,06$ нм, которая соответствует 1:1 тетраэдрически упорядоченной шпинели, с пространственной группой $F\bar{4}3m$; 2) тетрагональная с $a=1,06$ нм, $c=3,18$ нм и соответствует 2:1 тетраэдрически упорядоченной шпинели (пространственная группа симметрии $14_1/amd$). Первой структуре сопоставляется формула $[Cu_{1/2}In_{1/2}]_t[In_2]_0S_4$, а второй – $[Cu_{2/3}In_{1/3}]_t[In_2]_0S_4$.

Трудность различия этих фаз заключается в том, что во второй фазе кубическая элементарная ячейка устроена в направлении оси \bar{C} с такими же размерами.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Исследования проводили на специально нелегированных кристаллах $n-CuIn_5S_8$, выращенных методом Бриджмена. Образцы с толщинами $100 \div 300$ мкм, площадями $\sim 1 \text{ см}^2$, вырезались из крупного монокристаллического слитка, затем они механическим путем шлифовались и полировались, до получения зеркальной поверхности. На очищенную поверхность образца методом термического испарения в вакууме, наносили омический контакт из In . Удельное сопротивление образцов варьировалось в интервале $10^3 \div 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$. Подвижность и концентрация носителей оказались равными $20 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ и $10^{13} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$, соответственно.

В качестве оптического источника использованы излучения неодимового лазера ($\lambda=1,06$ мкм) и преобразованное излучение ИАГ-лазера ($\lambda=0,535$ мкм). Интенсивность лазерного излучения варьировали при помощи калиброванных нейтральных фильтров. Луч лазера направляли перпендикулярно к поверхности образца. К образцу прикладывали внешнее электрическое поле в интервале $10 \div 100 \text{ В/см}$. В этом интервале фототок изменялся практически линейно с полем.

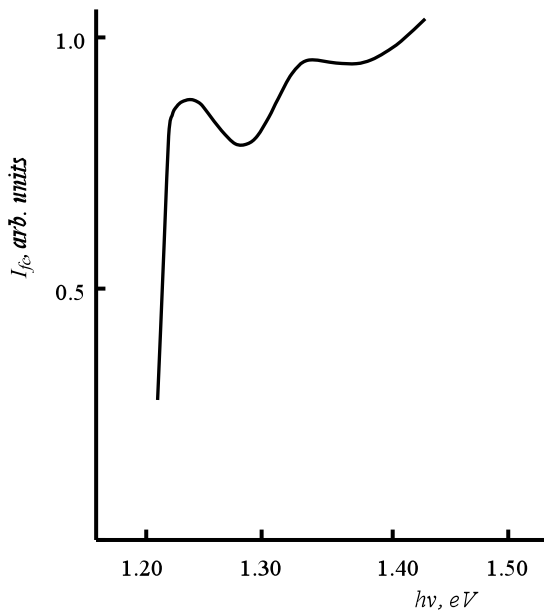


Рис.1. Спектры ФП монокристаллов $CuIn_5S_8$.

На рисунке 1 приведены спектры ФП кристаллов $CuIn_5S_8$. Как видно из рисунка, фототок начинается с энергией фотона меньше, чем непрямой переход. В этой энергетической области ($h\nu < E_g$) фотоносители появляются в результате

оптических переходов между соответствующими зонами и глубокими или мелкими примесными центрами, расположенными в запрещенной зоне.

Люкс-амперные характеристики (ЛАХ) фотопроводимости ($\Delta\sigma \sim I^n$) монокристалла $CuIn_5S_8$ возбужденного излучением неодимового лазера, имеют характер сильной ($n \approx 3 - 4$) зависимости в узком диапазоне интенсивности (рис. 2). Вне этого диапазона ЛАХ носит линейный характер. Наблюдаемую сублинейность, по нашим данным, можно объяснить усилением фоточувствительности в рамках модели [5]. Согласно этой модели, в запрещенной зоне полупроводника существуют быстрые и медленные рекомбинационные уровни и один уровень прилипания. Из исследований индуцированной примесной фотопроводимости и ТСП нами определены глубина залегания уровней, равные 0,30 эВ и 0,1 эВ.

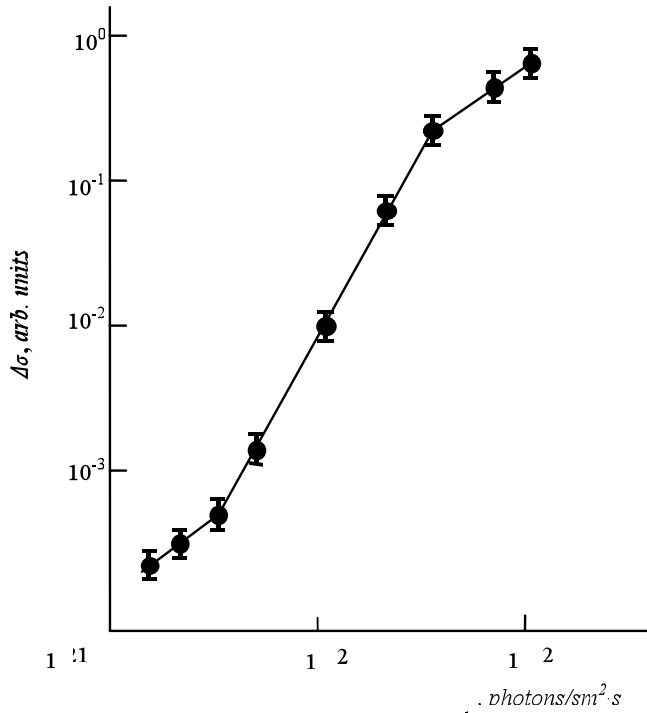


Рис.2. Люкс-амперная характеристика монокристалла $CuIn_5S_8$ при 300 К.

При низких значениях интенсивности в данном диапазоне измерения рекомбинация неравновесных носителей происходит через уровень 0,30 эВ, который находится между квазиуровнями Ферми (E_{Fn}, E_{Fp}). При этом второй уровень ведет себя как уровень прилипания, ответственным за усиление фоточувствительности. В области высокой интенсивности излучения оба уровня оказываются между квазиуровнями Ферми и ведут себя как быстрые рекомбинационные уровни. Действительно, при высоком уровне оптического возбуждения в спектрах фотолюминесценции $n-CuIn_5S_8$ (рис. 3), наблюдается полоса

излучения с энергией 1,30 эВ, обусловленная рекомбинацией электронов из уровня с глубиной залегания 0,10 эВ. Максимум этой полосы четко отделяется от полосы собственного излучения. В спектре полоса излучения с максимумом 1,40 эВ относится к межзонному излучению.

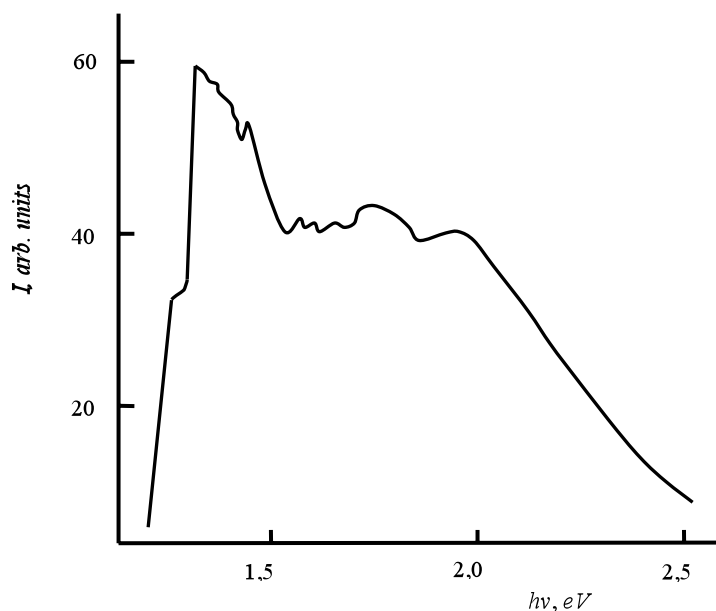


Рис.3. Спектр фотолуминесценции монокристалла CuIn_5S_8 при 300 К и интенсивности возбуждения $\sim 10^{23}$ квант/см²·с.

3. Заключение

В результате исследования фотоэлектрических свойств под действием лазерного излучения установлено, что фототок начинается в области $h\nu < E_g$, это объясняется в результате оптических переходов между соответствующими зонами и глубокими и мелкими примесными центрами, расположенными в запрещенной зоне. Люксамперные характеристики ФП кристаллов CuIn_5S_8 имеют характер сильной зависимости в узком диапазоне, а затем ЛАХ носит линейный характер. Для объяснения экспериментальных результатов применена двухцентровая модель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горюнова Н.А. Сложные алмазоподобные полупроводники. М., Сов. радио, 1968, 394 с.
2. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г. Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа $A_3^I B_5^{III} C_9^{VII}$. Баку: 2001, 300 с.
3. Гасанова Л.Г., Магомедов А.З., Джахангирова С.А. «Fizikanın aktual problemləri» III Respublika elmi konfransı, Баку: 2004, s. 63.
4. Manolikas C., R.De Ridder, J.Van Landuyt, S.Amelinckx. Phys. Stat.Sol.(a), 59, 2, 1980, 621.
5. А.Роуз. Основы теории фотопроводимости. М.: Мир, 1966, 350 с.

YÜKSƏK HƏYƏCANLAŞMA HALINDA CuIn_5S_8 MONOKRİSTALININ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

L.H.HƏSƏNOVA, Ə.Z.MƏHƏMMƏDOV, S.Ə.CAHANGİROVA

XÜLASƏ

CuIn_5S_8 monokristalının lüks-ampər və spektral xarakteristikası çıxarılmışdır. Kiçik həyəcanlaşmalarda kompensə olunmuş CuIn_5S_8 monokristalının fotokeçiriciliyində müşahidə olunan superxətti oblast rekombinasiya modeli əsasında izah olunur. CuIn_5S_8 -in fotoluminensensiya spektrində 0,98 eV enerjində müşahidə olunan şüalanma zolağı dərinliyi 0,04 eV olan donor səviyyəsindən elektronların rekombinasiyası nəticəsində müşahidə olunur.

PHOTOCONDUCTIVITY AND LUMINESCENCE IN CuIn_5S_8 AT A HIGH OPTICAL EXCITATION LEVEL

L.H.HASANOVA, A.Z.MAHAMMADOV, S.A.JAHANGIROVA

SUMMARY

Current-illumination characteristics and the photoluminescence spectrum of CuIn_5S_8 single crystals were investigated. The sublinear region in the radiation intensity dependence of photoconductivity at low optical excitation levels of the compensated CuIn_5S_8 crystals, was explained on the basis of recombination model. The radiation band at about 0.98 eV attributed to the radiative recombination of electrons trapped by 0.04 eV donor level is observed in CuIn_5S_8 photoluminescence spectrum. The intensity maximum of the given band is close to the energetic range between the trapping level and valence zone.