

Фотопроводимость и люминесценция в монокристалле CuInSe_2 при высоком уровне возбуждения

© А.Г. Гусейнов, В.М. Салманов, Р.М. Мамедов[¶]

Бакинский государственный университет,
370148 Баку, Азербайджан

(Получена 30 мая 2005 г. Принята к печати 14 сентября 2005 г.)

Исследованы люксамперные и спектральные характеристики фотолюминесценции монокристаллов CuInSe_2 . Суперлинейная область интенсивной зависимости фотопроводимости при низких уровнях возбуждения в компенсированных кристаллах $p\text{-CuInSe}_2$ объясняется на базе рекомбинационной модели. В спектре фотолюминесценции $n\text{-CuInSe}_2$ полоса излучения 0.98 эВ соответствует излучательной рекомбинации электронов донорного уровня с глубиной залегания 0.04 эВ. Максимум интенсивности полосы соответствует энергетическому зазору между уровнем прилипания и валентной зоной.

PACS: 72.40.+w, 78.55.-m

1. Введение

Полупроводниковые кристаллы CuInSe_2 являются одним из перспективных материалов для изготовления высокоэффективных преобразователей солнечной энергии [1,2]. Несмотря на большую практическую потребность в исследовании фотоэлектрических свойств соединения CuInSe_2 , взаимодействие с ним концентрированного излучения не изучено. В данной работе приводятся экспериментальные результаты исследования спектра фотолюминесценции и люксамперной характеристики кристаллов CuInSe_2 при высоком уровне оптического возбуждения.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Монокристаллы соединения CuInSe_2 выращены методом Бриджмена при высоком градиенте температуры и имели средние размеры $8 \times 5 \times 60$ мм. При температуре 300 К удельное сопротивление и концентрация носителей составляли $\rho_T \approx 4.2 \cdot 10^4$ Ом·см и $n \approx 2 \cdot 10^{13}$ см⁻³.

В качестве оптического источника использованы излучение неодимового лазера ($\lambda = 1.06$ мкм) и преобразованное излучение ИАГ-лазера ($\lambda = 0.535$ мкм). С подробностями методики эксперимента можно ознакомиться в работах [3,4].

Люксамперные характеристики (ЛАХ) фотопроводимости ($\Delta\sigma \propto I^n$) монокристаллического CuInSe_2 , возбужденного излучением неодимового лазера, имеют характер сильной ($n \approx 3-4$) зависимости в узком диапазоне интенсивности (рис. 1). Вне этого диапазона ЛАХ носит линейный характер. Наблюдаемую сублинейность, по нашим данным, можно объяснить усилением фоточувствительности в рамках модели [5]. Сублинейную зависимость фотопроводимости при низких уровнях оптического возбуждения в компенсированных $p\text{-CuInSe}_2$ авторы [6] объясняли на основании рекомбинационной модели. Согласно этой модели, в запрещенной зоне

полупроводника существуют быстрые и медленные рекомбинационные уровни, захватывающие неравновесные электроны, и один акцепторный уровень. Подобные центры рекомбинации в $n\text{-CuInSe}_2$ нами обнаружены при измерении температурной зависимости кинетики фотопроводимости.

Эти центры можно отнести к уровням I и II класса, как в работе [5]. В интервале температуры, соответствующей пикам термостимулированного тока (ТСТ), рассчитано время релаксации неравновесных носителей тока и определена глубина залегания центра рекомбинации с энергией 0.31 ± 0.001 эВ, который относится ко II классу.

Глубина залегания уровня I класса, рассчитанная из сравнения спектров поглощения и фотолюминесценции, составляет 0.04 ± 0.002 эВ.

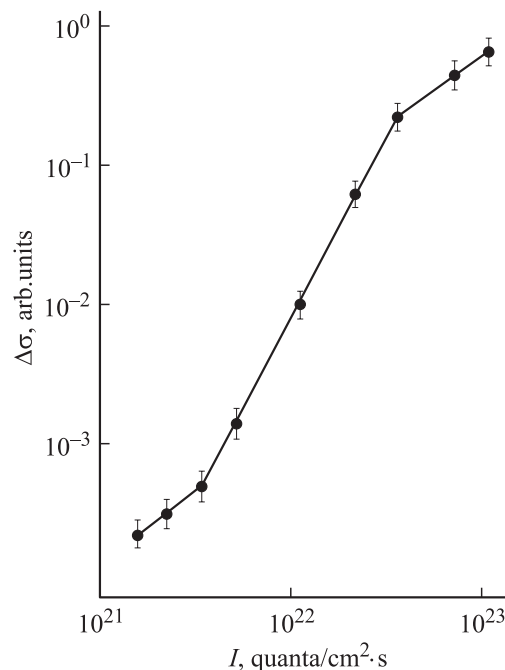


Рис. 1. Люксамперная характеристика монокристалла $n\text{-CuInSe}_2$ при 300 К.

[¶] E-mail: rovshan63@rambler.ru

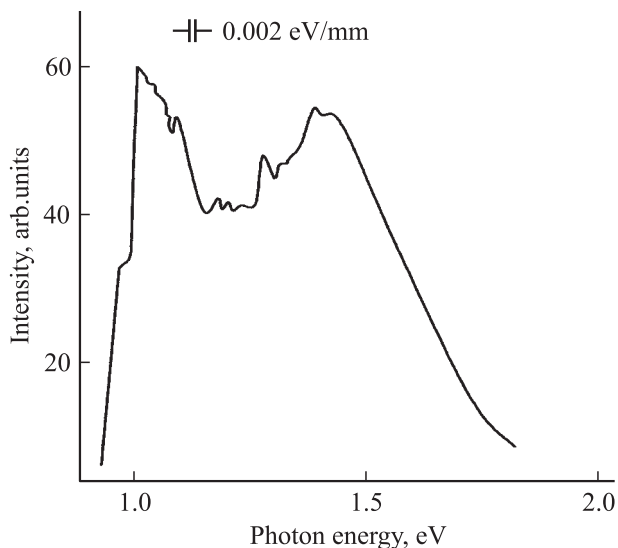


Рис. 2. Спектр фотолуминесценции монокристалла CuInSe_2 при 300 К и интенсивности возбуждения $\sim 10^{23}$ квант/см² · с.

При низких значениях интенсивности в данном диапазоне измерения рекомбинация неравновесных носителей происходит через уровень 0.31 эВ, который находится между квазиуровнями Ферми (E_{Fn} , E_{Fp}). При этом второй уровень, находящийся выше квазиуровня E_{Fn} , ведет себя как уровень прилипания, ответственный 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 фотолуминесценции $n\text{-CuInSe}_2$ (рис. 2) наблюдается полоса излучения с энергией 0.98 эВ, обусловленная рекомбинацией электронов из уровня с глубиной залегания 0.04 эВ. Максимум этой полосы четко отделяется от полосы собственного излучения. Таким образом, при высоком уровне оптического возбуждения наблюдаемый уровень ведет себя как уровень интенсивной рекомбинации, поэтому его можно отнести к уровням класса I. Время жизни неравновесных носителей определено из кинетики фотолуминесценции и составляет $\tau_n \approx 10^{-7}$ и $\tau_p \approx 10^{-4}$ с при низком и высоком уровне оптического возбуждения соответственно. Следовательно, увеличение времени жизни электронов адекватно отражается в зависимости фоточувствительности от интенсивности излучения, и весь рекомбинационный механизм объясняется в соответствии с трехуровневой моделью.

В спектре фотолуминесценции полоса излучения с максимумом 1.031 эВ относится к межзонному излучению. Как известно из [6], при данных условиях эксперимента ширина запрещенной зоны кристалла определяется с учетом максимума полосы излучения из соотношения $E_g = h\nu_{\max} - kT/2$. При 300 К данный параметр составляет $E_g \approx 1.023$ эВ, что находится в полном соответствии со значением, найденным из спек-

тра поглощения [7]. В диапазоне излучения 1.03–1.4 эВ на спектре фотолуминесценции наблюдаются несколько пиков. Большой пик при 1.39 эВ относится к оптическому переходу, который отражается и на спектре поглощения при 1.4 эВ.

Список литературы

- [1] N. Romeo. J. J. Appl. Phys., **19**, 5 (1980).
- [2] J. Gonzalez, C. Rincon, A. Redondo, P. Negrete. J. J. Appl. Phys., **19**, 29 (1980).
- [3] Г.Б. Абдуллаев, Г.П. Беленький, С.М. Рывкин, В.М. Салманов, Ю.А. Шаронов, И.Д. Ярошецкий. ФТП, **5**, 374 (1971).
- [4] А.Г. Гусейнов, В.И. Тагиров, Заак Хосин, Деббаш Джамель, Д.А. Талыбова. ВИНТИ „Депонированные научные работы“, **9**, 141 (1990).
- [5] А. Роуз. *Основы теории фотопроводимости* (М., Мир, 1966).
- [6] A. Oranowicz. Acta Phys. Polon., **A71**, 39 (1987).
- [7] А.Г. Гусейнов, Д.А. Талыбова, Заак Хосин, Деббаш Джамель. *Излучательная рекомбинация неравновесных носителей заряда в CuInSe_2* . ВИНТИ „Депонированные научные работы“, № 1472-Аз, с. 6 (1991).

Редактор Л.В. Беляков

Photoconductivity and luminescence in CuInSe_2 at a high optical excitation level

A.G. Guseinov, V.M. Salmanov, R.M. Mamedov

Baku State University,
370148 Baku, Azerbaijan

Abstract Current-illumination characteristics and photoluminescence spectrum of CuInSe_2 single crystals were investigated. The sublinear region in the radiation intensity dependence of photoconductivity at low optical excitation levels of the compensated $p\text{-CuInSe}_2$ crystals was explained in terms of the recombination model. The radiation band about 0.98 eV attributed to the radiative recombination of electrons trapped by 0.04 eV donor level was observed in the $n\text{-CuInSe}_2$ photoluminescence spectrum. The intensity maximum of the given band was close to the energetic range between the trapping level and the valence zone.