

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CuGaSe_2

И. КАСУМОГЛУ, И.А. МАМЕДОВА, Г.С. МЕХТИЕВ, Д.Т. ГУСЕЙНОВ

Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана

г.Баку AZ-0143, пр.Г.Джавида, 33

e-mail: ktaira@physics.ab.az

γ -kvantlarla şüalandırılmış CuGaSe_2 monokristallarında xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. 3R/s dozası ilə şüalandırılmış və şüalandırılmamış CuGaSe_2 kristallarında 80÷180K temperatur intervalında sıçrayışlı keçiricilik müşahidə olunur. Akseptor aşqarlarının konsentrasiyası və bor radiusu hesablanmışdır.

Исследована температурная зависимость удельного сопротивления монокристаллов CuGaSe_2 облученных γ -квантами. В необлученном и облученном дозой 3R/s образце CuGaSe_2 в области 80÷180K имеет место прыжковая проводимость. Вычислены концентрации акцепторных примесей, боровский радиус.

Temperature dependence of resistivity in γ -radiated CuGaSe_2 single crystals has been investigated. Jump conduction takes place in γ -radiated by 3R/s doze and unirradiated samples in 80÷180K temperature range. Concentration of acceptor impurity and Bohr radius have been calculated.

Монокристаллы CuGaSe_2 являются одним из представителей класса тройных полупроводниковых соединений группы $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$, кристаллизующихся в структуре халькопирита (пр.гр. D_{2d}^{12}). Ширина запрещенной зоны кристалла имеет значение близкое к значению оптимального для материалов солнечных элементов (1,65 эВ при 300 К и 1,77 эВ при 77К). Это соединение перспективно для использования в полупроводниковом приборостроении, в частности для создания фотоэлементов, светодатчиков и др. Ранее нами изучена зависимость тока короткого замыкания от длины волны [1], аномальный эффект Дембера [2], фото э.д.с. [3], фотовольтаический эффект в монокристаллах CuGaSe_2 [4].

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния γ -облучения на характер проводимости монокристаллов CuGaSe_2 в интервале температур 80÷300К.

Исследованные монокристаллы CuGaSe_2 были получены методом газотранспортных реакций. Подробное описание методики получения CuGaSe_2 описано в [2]. Полученные образцы имели удельное сопротивление $\rho=10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, и p-типа проводимости.

При изучении влияния γ -облучения на проводимость была использована методика сравнения спектров исходного (до облучения) и после облучения разной дозой γ -облучения (3, 18, 60 R/s) образцов в интервале температур 80÷300К. Измерения проводились высокочувствительным электрометрическим вольтметром В7-30, регистрация проводилась при помощи КСП-4. Образцы облучались источником ^{60}Co энергией кванта 1,25 МэВ.

На рис.(1) представлена зависимость удельного сопротивления от температуры. Видно, что зависимость $\rho(T)$ состоит из двух участков: 1) при повышении температуры удельное сопротивление уменьшается до $T\sim 225 \text{ К}$ (в исходном образце), а затем наблюдается рост удельного сопротивления. Зависимость $\rho(T)$ в образцах

облученных γ -квантами имеет такой же ход, только точка перегиба смещается в низкотемпературную область.

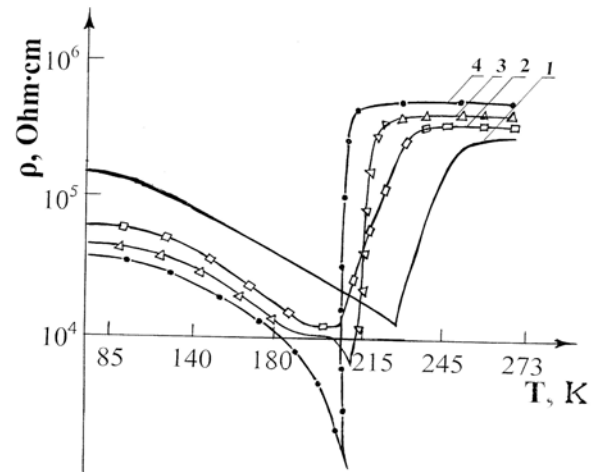


Рис.1 Температурная зависимость удельного сопротивления в CuGaSe_2 (1 – исходный (необлученный) образец, 2, 3, 4 – γ -облученные образцы дозами 3 R/s; 18R/s; 60R/s, соответственно)

Из [5-7] известно, что ширина запрещенной зоны CuGaSe_2 , насыщена локальными уровнями. Эти уровни активно участвуют в переносе заряда. Как нам известно, заполнение уровней прилипания электронами определяет величину темновой концентрации электронов в полупроводниках типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$, аналогом которых является CuGaSe_2 [8]. Действительно, согласно [9] холловская подвижность в CuGaSe_2 в области температур 140÷250К растет. С увеличением температуры удельное сопротивление должно уменьшаться. В этой области температур имеет место рассеяние носителей на ионизированных примесях [9]. Из рис.1 видно, что удельное сопротивление исходного образца уменьшается до температур 230 К. В области температур 230÷273 К удельное сопротивление экспоненциально возрастает. Последнее можно объяснить, используя данные о

холловской подвижности в CuGaSe_2 в области температур $250 \div 400$ К [9]. В этой области температур подвижность начинает уменьшаться. Уменьшение подвижности ведет к увеличению удельного сопротивления, что и наблюдается в CuGaSe_2 (рис.1). Согласно [9] в области температур выше $280 \div 300$ К в CuGaSe_2 имеет место рассеяние на неполярных оптических фононах $\mu \sim T^{-2}$.

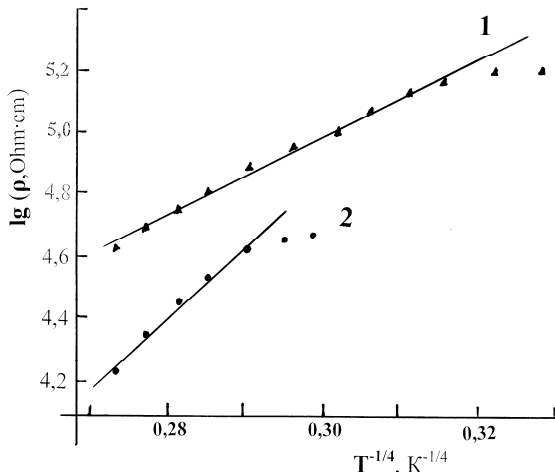


Рис.2 Температурная зависимость удельного сопротивления в CuGaSe_2 в координатах Мотта (1-необлученный образец, 2-облученный дозой 3R/s).

После облучения образцов γ -квантами 3, 18, 60 R/s характер температурной зависимости удельного сопротивления практически не изменяется. Однако, точка перегиба (переход из низкоомного состояния в высокоомное состояние) смещается в область низких температур. В образцах облученных дозой 18 и 60R/s наблюдается отрицательный участок. Можно предположить, что γ -кванты создают дополнительные дефекты, приводящие к увеличению носителей заряда.

В исходном образце зависимость $\rho \sim f(T)$ в области $90 \div 180$ К описывается соотношением Мотта $\rho = \rho_0 \exp(T_0/T)^{1/4}$, т.е. в этой области температур имеет место прыжковая проводимость. Согласно теории прыжковой проводимости удельное сопротивление ρ_3 зависят от концентрации примеси [10]

$$\rho_3 = \rho_{03} \exp\left[\frac{\alpha}{N_a^{1/3} a_B}\right] \quad (1)$$

(где $\alpha = 1,70$ - теоретический коэффициент, N_a -концентрация акцепторной примеси, ρ_{03} -удельное сопротивление при 300К, a_B -характерный боровский радиус в CuGaSe_2). На рис.2 представлена зависимость удельного сопротивления от температуры в координатах Мотта.

По формуле $a_B = 0,53 \cdot 10^{-8} (m_0/m^*) \cdot \epsilon$ (см), (m^* -эффективная масса в CuGaSe_2 $m^* = 1,2m_0$ [9]) вычислили боровский радиус $a_B = 6 \cdot 10^{-8}$ см. Логарифмируя (1), получаем

$$\lg \rho_3 = \lg \rho_{03} + 0,43 \left(\frac{\alpha}{N_a^{1/3} a_B} \right) \quad (2)$$

По этой формуле можно вычислить N_a -концентрацию акцепторной примеси. Из зависимости $\lg \rho \sim f(1/T)$ можно определить значение энергии активации для каждой кривой. Для исходного образца $\rho = 1,5 \cdot 10^5$ Ом·см $N_a = 1,3 \cdot 10^{21}$ см $^{-3}$, для облученных дозами 3R/s, 18R/s, 60R/s - $\rho_1 = 7 \cdot 10^4$ Ом·см, $N_{a1} = 3,4 \cdot 10^{21}$ см $^{-3}$; $\rho_2 = 6 \cdot 10^4$ Ом·см, $N_{a2} = 3,4 \cdot 10^{21}$ см $^{-3}$; $\rho_3 = 5 \cdot 10^4$ Ом·см, $N_{a3} = 4,9 \cdot 10^{21}$ см $^{-3}$ соответственно ($80 \div 210$ К, рис.1). Для исходного образца $\rho = 4 \cdot 10^5$ Ом·см, $N_a = 4,4 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$ для облученных дозами 3R/s, 18R/s, 60R/s - $\rho_1 = 5 \cdot 10^5$ Ом·см, $N_{a1} = 3,7 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$; $\rho_2 = 6 \cdot 10^5$ Ом·см, $N_{a2} = 3,2 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$; $\rho_3 = 7 \cdot 10^5$ Ом·см, $N_{a3} = 3,4 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$, соответственно ($215 \div 275$ К, рис.1). Энергии активации $E_a = 29,1$ meV (для исходного образца), и $E_1 = 32,5$ meV, $E_2 = 36,7$ meV, $E_3 = 50$ meV для облученных (3R/s, 18R/s, 60R/s), соответственно. Полученные значения энергии активации согласуются с данными, приведенными в [5-7].

В монокристаллах CuGaSe_2 р-типа при низких температурах уровень Ферми находится между валентной зоной и уровнем акцепторной примеси, находящийся вблизи валентной зоны.

$$F = \frac{1}{2} (E_v + E_a)$$

Известно, что при больших дозах облучения новые уровни не образуются, увеличивается концентрация электрически активных атомов, создающих акцепторные энергетические уровни.

Экспериментально полученные данные показывают, что как в исходном, так и в облученном γ -квантами (3R/s) образце наблюдается прыжковая проводимость. Из рисунка 1 видно, что в интервале температур $215 \div 273$ К в образцах облученных γ -квантами (3;18;60R/s) наблюдается истощение акцепторных уровней.

[1]. Kasumoglu I., Kerimova T.G., Mamedova I.A. The influence of γ -radiation on electrophysical properties of chalcopyrite structure compounds. TPE-06 3rd International Conference on technical and Physical Problems in power Engineering May 29-31, 2006, Ankara, Turkey, P784-785

[2]. Т.К.Касумов, И.Г.Гасымов, Аномальный эффект Дембера в монокристаллах CuGaSe_2 . Доклад АН Азербайджана т. XLVI №3, 1990 стр.19-22.

[3]. Касумоглу И., Мамедова И.А., Мехтиева Г.С. Фотоэдс в монокристаллах CuGaSe_2 , Изв.НАН, 2006 №5, стр. 186-188.

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CuGaSe₂

- [4]. *Kitayoglu, A.G.Bagirov*, Photovoltaic effect in monocrystals CuGaSe₂. Fizika 2002, N2, т.VIII, стр.18-19
- [5]. *G.Masse and N.Lahlou*, Edge emission of CuGaSe₂, J.Appl.Phys. 51, September 1980, p.1981-1984
- [6]. *G.Masse and E.Redjal*, lattice defect in I-III-V₂ compounds, J. Phys.Chem.Solidi, v.47, 1, pp.99-104, 1986
- [7]. *Т.К.Касумов, М.А.Алиев, Ф.И.Мамедов*, Фотопроводимость в монокристаллах CuGaSe₂, Нахичеванский науч.Центр АН Азерб.ССР, УДК 621.315.592
- [8]. *Т.К.Касумов, Ф.И.Мамедов, Г.Д.Гусейнов* Индуцированная γ -облучения отрицательная термостимулированная проводимость монокристаллов AgGaSe₂. Док. НАН Азербайджанской Рес. т.XLI, N2, 1988,с. 27-29
- [9]. *D.Mandel, R.D. Tomlinson and M.J. Hampshire* Electrical properties of CuGaSe₂ single crystals, solid State Communications, 1979, Vol.32, pp.201-204
- [10]. *М.Б.Коханюк, Г.Л.Ляху, И.П.Молодин, Е.В.Риесу* Электрические свойства фосфида индия, легированного цинком. Фосфид индия в полупроводниковой электронике, Кишинев, 1988, стр.218