

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛООБРАЗНОГО СЕЛЕНА, ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ (ХСП) СИСТЕМЫ Se-As И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ПРИМЕСЕЙ ГАЛОГЕНОВ

С.И. МЕХТИЕВА, А.И. ИСАЕВ, В.З. ЗЕЙНАЛОВ, З.И. ЮСИФОВ, Я.Г. ГАСАНОВ

Институт Физики АН Азербайджана

371043, г. Баку, пр. Г. Джавида, 33

Установлено, что кривые спектральной зависимости коэффициента оптического поглощения (α) стеклообразного селена и ХСП системы Se-As с примесью галогенов состоят из трех участков: из "хвоста" при низких энергиях падающего фотона ($1 \div 1,5$ эВ), экспоненциального участка при промежуточных энергиях, ($1,5 \div 2,2$ эВ), и участка степенной зависимости α при энергиях выше $\sim 2,2$ эВ. Наблюдаемые особенности объяснены структурными неупорядоченностями исследованных объектов.

Исследованию оптических свойств стеклообразного селена посвящено много работ [1-5, 11]. Однако, интерпретации оптических свойств стеклообразного селена в краях фундаментального поглощения, предлагаемые различными авторами, противоречат друг другу. Не опубликованы данные по влиянию заряженных дефектных центров на оптические свойства стеклообразного селена и систем на его основе, а также – по корреляции между оптическими и электрическими свойствами.

С этой целью исследованы спектры оптического поглощения в интервале энергий фотонов $1 \div 3$ эВ стеклообразного селена и ХСП системы Se-As, а также влияние на них примесей галогенов (хлор, бром). Для получения значений коэффициента поглощения (α) в интервале величин от 1 до 10^6 см⁻¹ исследовался набор образцов, имеющих толщины от 500 Å до 10 мм.

Спектральная зависимость коэффициента поглощения от энергии падающего фотона в чистом стеклообразном селене, в ХСП системы Se-As (рис.1), а также в ХСП состава Se₉₅As₅ с различным содержанием брома (рис.2а) и хлора (рис.2б), показаны на рис.1 и 2.

Кривые спектральной зависимости α имеют три участка. Они состоят из "хвоста" при низких энергиях падающего фронта ($1 \div 1,5$ эВ), экспоненциального участка в промежуточных энергиях ($1,5 \div 2,2$ эВ) и участка степенной зависимости при энергиях выше $\sim 2,2$ эВ.

Экспоненциальный участок охватывает значения α , лежащие в области $10 \div 10^4$ см⁻¹ и описывается соотношением:

$$\alpha = \alpha_0 \exp(\Gamma \hbar \omega) \quad (1)$$

где $\Gamma = 15 \div 16$ эВ⁻¹.

Выше экспоненциального участка края результаты измерений представлены на рис.3, откуда видно, что кривые спектрального распределения поглощения описываются соотношением:

$$\alpha \hbar \omega = B (\hbar \omega - E_0) \quad (2)$$

где значение B - для исследованных образцов, аморфного Se лежит в интервале $5 \cdot 10^5 \div 8 \cdot 10^5$ см⁻¹ и $E_0 = 2,1$ эВ, может быть принята как оптическая ширина запрещенной зоны. Отличие (2) от общепринятой зависимости

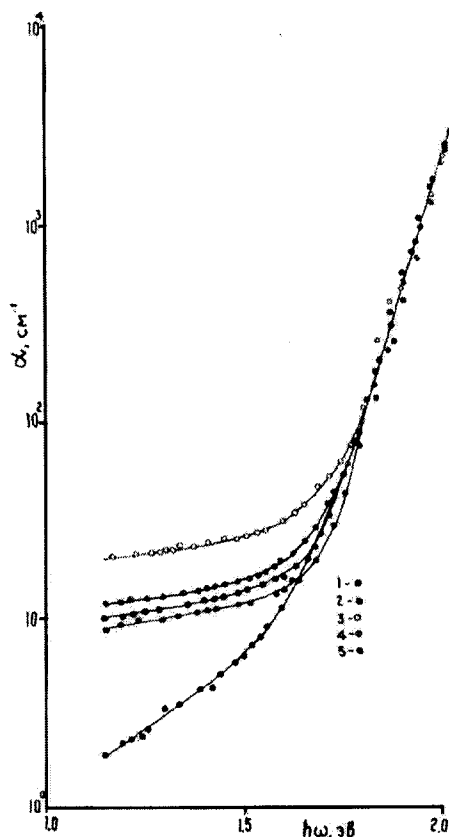


Рис.1. Край оптического поглощения стеклообразного Se и ХСП системы Se-As (1 - Se; 2 - Se_{99,5}As_{0,5}; 3 - Se₉₈As₂; 4 - Se₉₅As₅; 5 - Se₉₀As₁₀).

$\alpha \hbar \omega \sim (\hbar \omega - E_0)^2$, по-видимому, обусловлено резким увеличением плотности состояний вблизи краев зоны [6, 7].

В области низких энергий (где коэффициент поглощения меньше, чем $10 \div 10^2$ см⁻¹) наблюдается отклонение от урбаховской зависимости и коэффициент поглощения в ХСП системе Se-As в этой области довольно сильно зависит как от содержания As (рис.1), так и от концентрации введенных примесей брома (рис.2а) и хлора (рис.2б).

Согласно рис.3, ширина запрещенной зоны для всех образцов остается постоянной, т.е. не зависит как от содержания основных элементов (Se и As), так и от концентрации примесей (Cl и Br).

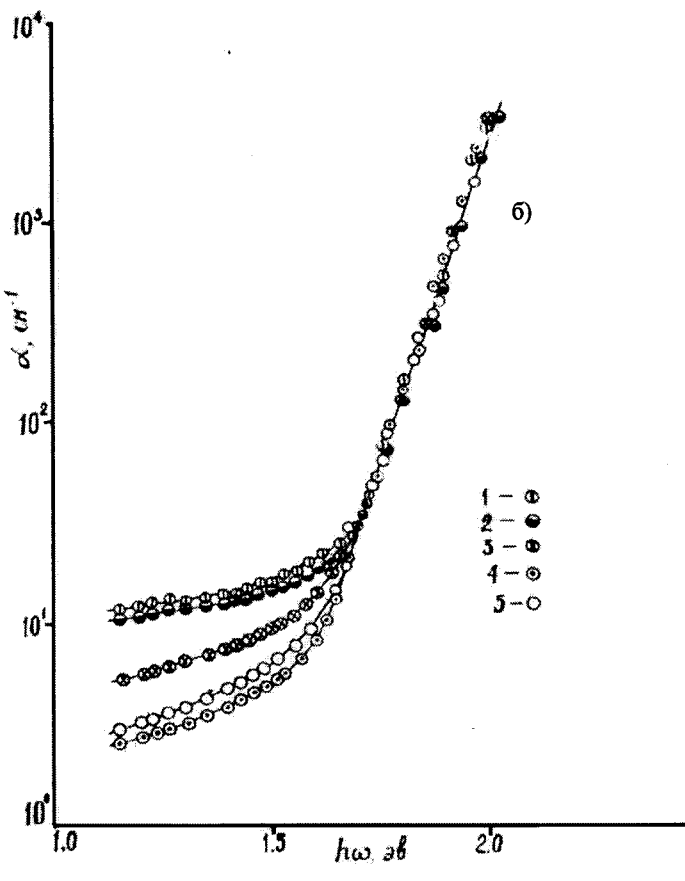
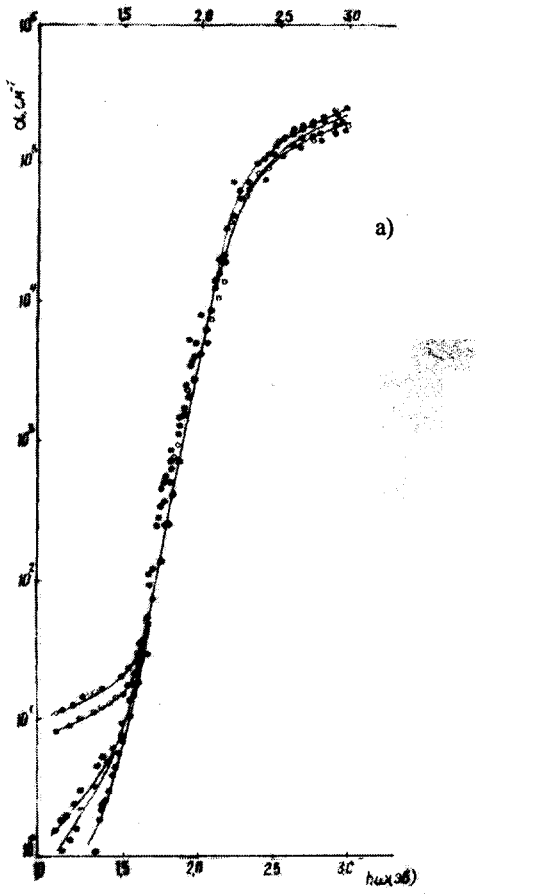


Рис.2. Край оптического поглощения: а) стеклообразного Se (1) и ХСП состава $Se_{95}As_5$ легированного бромом. Содержание Br в ат. % 2-0; 3-0,01; 4-0,05; 5-0,1; 6-0,5. б) ХСП состава $Se_{95}As_5$, легированного хлором. Содержание Cl в ат. %: 1 - 0; 2 - 0,001; 3 - 0,01; 4 - 0,05; 5 - 0,1.

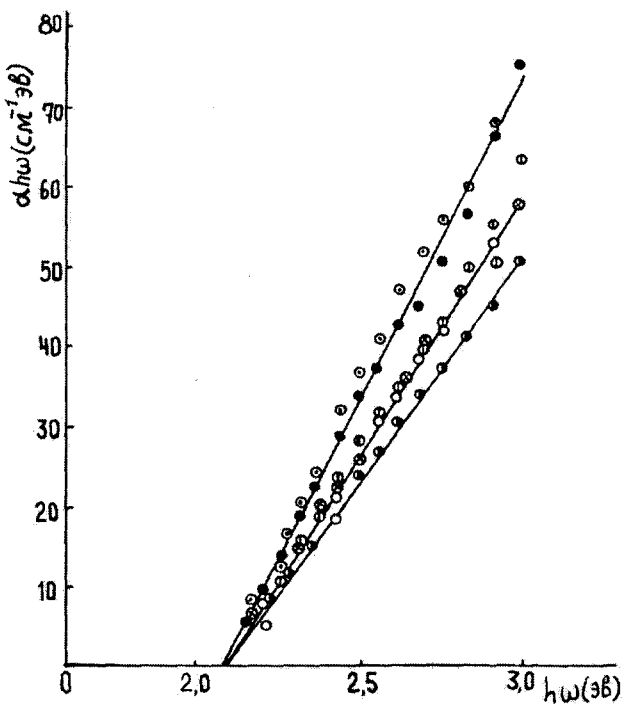


Рис.3. Край оптического поглощения стеклообразного Se (1) и ХСП состава $Se_{95}As_5$, легированного бромом, представлен в виде зависимостей $\alpha h\omega$ от $h\omega$. Нумерация кривых соответствует рис.2а.

Результаты измерения температурной зависимости электропроводности показали, что энергия активации температурной зависимости электропроводности ХСП системы Se-As претерпевает заметные изменения ($0,10 \div 0,15$ эВ) как вследствие изменения химического состава, так и при изменении концентрации вводимых примесей галогенов.

Изменение энергии активации электропроводности, при условиях неизменности ширины запрещенной зоны, свидетельствует о смещении уровня Ферми относительно середины запрещенной зоны. Таким образом, проведенное исследование показывает, что в ХСП системе Se-As как изменение химического состава, так и введение примесей галогенов может сдвигать уровень Ферми.

Такое же изменение положения уровня Ферми в стеклообразном селене при введении заряженных примесей отмечено в работах [8] и [9] и объяснено изменениями относительных концентраций $D^+(C_3^+)$ и $D^-(C_1^-)$ центров. Наблюдаемые нами изменения положения уровня Ферми являются ещё одним доказательством того, что примеси галогенов, вводимые в ХСП системы Se-As, проявляются как заряженные центры и изменяют относительную концентрацию собственных заряженных дефектов в ХСП системе Se-As.

Выше отмечено, что коэффициент оптического поглощения в довольно широкой области энергий экспоненциально зависит от энергии падающего фотона. Независимость наклона экспоненциального участка от состава системы Se-As, а также от концентрации введенных при-

зависимость наклона экспоненциального участка от состава системы Se-As, а также от концентрации введенных примесей галогенов, свидетельствует об отсутствии связи между экспоненциальным краем поглощения и электронными переходами между состояниями, локализованными в хвостах краев зоны, поскольку, согласно [10], изменение химического состава Se-As должно привести к изменению формы краев зоны.

Эти факты позволяют нам предположить, что экспоненциальный край поглощения обусловлен наличием в образцах сильных внутренних электрических полей, возникающих из-за существования заряженных дефектов.

Согласно общим представлениям о поведении заряженной примеси, хаотическое распределение указанных примесей приводит к флуктуациям в пространстве электростатического потенциала. Линейные размеры таких флуктуаций приблизительно равны дебаевскому радиусу экранирования $r_D = (\epsilon kT / 4\pi e n)^{1/2}$. Поскольку в ХСП системе Se-As концентрация свободных носителей мала, следует полагать, что экранирование зарядов осуществ-

ляется только за счет заряженных дефектов, концентрация которых является весьма высокой. При концентрации $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ размер флуктуаций составляет около 10^{-5} см .

Таким образом, экспоненциальный край поглощения при энергиях меньше ширины запрещенной зоны возникает вследствие туннелирования носителей заряда сквозь барьеры, создаваемые флуктуациями потенциала.

Как видно из рис.2, введение примесей галогенов приводит к уменьшению коэффициента поглощения на "хвосте", что, по-видимому, обусловлено уменьшением концентрации глубоких дефектных состояний при введении примесей мышьяка. Проведенные исследования показывают, что коэффициент поглощения в области $1,0 \div 1,5 \text{ эВ}$ обратно пропорционален концентрации атомов примесей галогенов. Если принять, что с изменением концентраций атомов галогенов пропорционально изменяется концентрация заряженных дефектов, то этот факт является еще одним доказательством того, что "хвост" поглощения обусловлен заряженными дефектами.

- [1] G. Lucovsky. Photoconductivity and edge absorption in a-Se. 10th Intern. confer. Phys. Semicond., Cambridge, Acad. Press., 1970, p. 803-806.
- [2] B. Kramer. Electronic structure and optical properties of amorphous semiconductors, I bid, 1972, Bd 12, p.133-182.
- [3] M. Kastner. Compositional trends in the optical properties of lone-pair semiconductors. I bid. 1973, v.7, p. 5237-5252.
- [4] J. Stuke. Ztschz. Phys., 1953. Bd B4, p. 197-207.
- [5] Y. Hazfke, P. Regensburger. Phys. Rev., A.-Gen. Phys., 1965, v. 139, p. 970-980.
- [6] E.A. Davis. J. Non - cryst. Col., 1970, v. 4, p. 107-116.
- [7] E.A. Davis, N.F. Mott. Conduction in non-crystalline systems. XI The on-state of the hoid switch Phil. Mag., 1975, v. 32, p. 159-171.
- [8] V.A.Twaddell, W.C.La Course, Y.P. Mackenzie. Impurity effects on the structure and electrical properties of non-crystalline selenium. J. Non-Cryst. Sci., 1972. v. 8. p. 831-836.
- [9] М.Мотт, Э. Девис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М. Мир, 1982, с. 662.
- [10] С.Д. Барановский, Э.А. Лебедев. ФТП, 1985, т. 19, с. 102-1038.
- [11] С.И.Мехтиева, Г.М. Алиев, Д.Ш. Абдинов, Т.Г. Керимова. Спектроскопия твердого тела, 1969,сб. IV, с. 3-6.

S.İ. Mehdiyeva, A.İ. İsayev, V.Z. Zeynalov, Z.İ. Yusifov, Y.H. Həsənov

ŞÜŞƏYƏBƏNZƏR SELENİN VƏ Se-As SİSTEMİNİN OPTİK XASSƏLƏRİ VƏ HALOGEN AŞQARLARININ HƏMİN XASSƏLƏRƏ TƏ'SİRİ

Müəyyən olunmuşdur ki, həm şüşəyəbənzər selenin, həm də Se-As sisteminin optik udulma əmsalının (α) spektri müxtəlif qanunauyğunluqlara tabe olan üç oblastdan ibarətdir. Udulma əmsalının düşən fotonun enerjisindən asılılığı enerjinin $E < 1,5 \text{ eV}$ qiymətlərində çox zəif; $1,5 \div 2,2 \text{ eV}$ intervalında eksponensial; $2,2 \text{ eV}$ -dən yüksək enerjilərdə isə $\alpha \sim E^n$ qanununa tabe olur.

Alınan nəticələr tədqiq olunan obyektlərin quruluş nizamsızlıqları ilə izah edilir.

S.I. Mekhtiyeva, A.I. Isayev, V.Z. Zeynalov, Z.I. Yusifov, Y.H. Hasanov

OPTICAL PROPERTIES OF GLASSY Se, CHALKOGENIDE GLASSY SEMICONDUCTORS (CGS) OF Se-As SYSTEM AND THE INFLUENCE OF GALOGEN IMPURITIES ON THEM

It is established that the curves of spectral dependence of optic absorption coefficient (α) of glassy Se and CGS of Se-As system with galogen impurities consist of three sections: "tail" of incident photon ($1 \div 1,5 \text{ eV}$) at low energies, exponential region at intermediate energies ($1,5 \div 2,2 \text{ eV}$) and region of degree dependence α at energies higher $\sim 2,2 \text{ eV}$. The observed properties are explained by structural disorder of investigated objects.

Дата поступления: 26.10.98

Редактор: Д.Ш. Абдинов