



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
İyun  
June 2005  
Июнь

səhifə  
page 411-414  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ СИСТЕМЫ Se-Te

МЕХТИЕВА С.И., ИСАЕВ А.И., МАМЕДОВ Э.А., ЗЕЙНАЛОВ В.З., ГАСАНОВ Н.Т.

*Институт Физики НАН Азербайджана*  
*E-mail: [msalima@lan.ab.az](mailto:msalima@lan.ab.az)*

Исследовано влияние химического состава и примеси хлора на электропроводность и коэффициент оптического поглощения халькогенидных стеклообразных полупроводников системы Se-Te. Измерения проводились на образцах состава  $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$  ( $0 \leq x \leq 10$ ) и  $\text{Se}_{95}\text{Te}_5:\text{Cl}_x$  ( $x = 0.001, 0.005, 0.01, 0.1$ ). Анализ экспериментальных данных показал, что добавление теллура в стеклообразный селен приводит к изменению краев разрешенных зон и концентрации собственных заряженных дефектов, а примесь хлора, в основном, приводит к изменению концентрации собственных заряженных дефектов и появлению заряженных примесных центров  $Cl^-$ .

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на существование огромного числа работ [1, 2], посвященных влиянию примесей на проводимость стеклообразных материалов, вопрос легирования указанных материалов до сих пор не теряет свою оригинальность. До сих пор не существует единой точки зрения о механизме влияния примесей или различных добавок на проводимость стеклообразных полупроводников.

Согласно [3-5] примесные атомы не влияют на проводимость, поскольку имеют возможность использовать все свои валентные электроны на образование связи с окружающими атомами или ионами, изменяя тем самым локальные координационные числа, т. е. выполняется правило «8-N» [6-8]. Однако работы [9-12], в которых не только было обнаружено увеличение проводимости, но и было показано, что введение примеси в ХСП материалы приводит к сдвигу уровня Ферми, послужили причиной появления другого подхода к проблеме электрической активности примесных атомов в ХСП.

Андерсон [16] объяснил целый ряд экспериментальных фактов, выдвигая гипотезу о существовании в стеклообразных полупроводниках собственных дефектов, имеющих отрицательную эффективную корреляционную энергию ( $U^-$  - центров). Согласно [16] эти центры эффективно фиксируют уровень Ферми в середине запрещенной зоны. В рамках этих представлений сдвиг уровня Ферми объясняется появлением электрически

активных центров с концентрацией больше или равной концентрации  $U^-$  - центров, что экспериментально было подтверждено в работах [13-15].

Комплексное исследование электропроводности и спектрального распределения коэффициента оптического поглощения позволяет высказать ряд соображений о влиянии примесей на проводимость, т. е. установить, связано ли изменение проводимости с сдвигом уровня Ферми или изменением ширины запрещенной зоны.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния химического состава и примесей хлора на электропроводность и коэффициент оптического поглощения ХСП системы Se-Te. Выбор объекта исследования обусловлен тем, что  $LP^-$  и  $\sigma^*$  - орбитали теллура попадают в щель подвижности селена [17], и добавление теллура в селен должен приводить к изменению краев разрешенных зон, а примеси хлора могут проявляться как отрицательно заряженные центры и должны влиять на концентрацию собственных дефектов ( $D^+, D^-$ ) в соответствии с моделью, развитой в [17], вследствие чего можно ожидать изменения как транспортных, так и оптических свойств материала.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Материалом для исследований служили ХСП  $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$  ( $0 \leq x \leq 10$ ). Примесь хлора, концентрация которой не превышала 0.1 ат. %, вводилась в процессе синтеза.

Образцы для измерений имели структуру типа «сэндвич» и представляли собой пленки толщиной  $1\div 4 \mu m$  (при измерениях электропроводности) и от  $0.1 \mu m$  до  $1 mm$  (при измерениях спектрального распределения коэффициента оптического поглощения), приготовленные методом термического испарения в вакууме (при остаточном давлении  $\sim 10^{-6} torr$ ), а также шлифованием и полированием при получении объемных образцов. Для измерения электропроводности использовались электроды из алюминия, напыленные в вакууме.

Для определения электропроводности были сняты вольтамперные характеристики (ВАХ) и из омической области ВАХ была вычислена электропроводность ( $\sigma$ ) образцов. Для измерения коэффициента оптического поглощения использовалась методика двухлучевой спектроскопии при энергиях падающего фотона  $1\div 3.4 eV$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены результаты измерения зависимости электропроводности ХСП системы Se-Te от содержания теллура (а) и ХСП состава  $Se_{95}Te_5:Cl$  от концентрации примеси хлора (б). На рис. 2 показаны температурная зависимость электропроводности ХСП системы Se-Te. Аналогичная температурная зависимость электропроводности наблюдается для  $Se_{95}Te_5:Cl$ . На рис. 3 представлены зависимости оптической ширины запрещенной зоны (а) и коэффициента оптического поглощения (б) ХСП системы Se-Te от содержания Te при энергии падающего фотона  $\sim 1.05 eV$ .

Как видно из рис. 1 электропроводность ХСП системы Se-Te претерпевает изменение как вследствие изменения содержания Te, так и в зависимости от концентрации введенных атомов хлора.

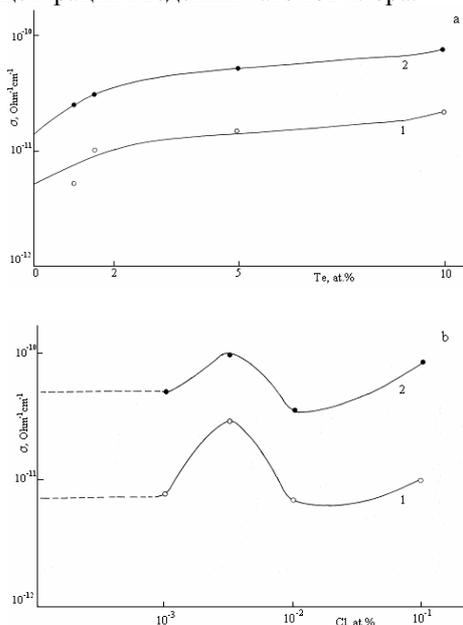


Рис.1 Зависимость электропроводности (а) ХСП системы Se-Te от содержания теллура и (б) ХСП состава  $Se_{95}Te_5:Cl$  от концентрации примеси хлора.

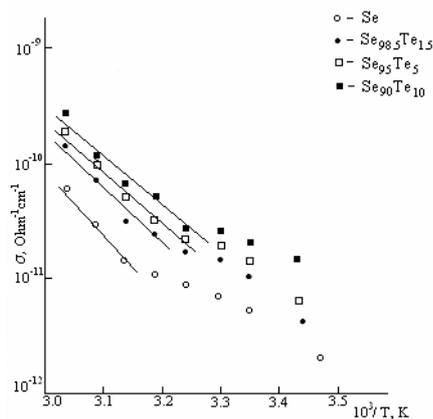


Рис. 2 Температурная зависимость электропроводности ХСП системы Se-Te.

Температурная зависимость всех исследованных образцов подчиняется соотношению

$$\sigma = C \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right).$$

Установленные значения

энергии активации электропроводности и предэкспоненциального множителя приведены в таблице. Как видно из таблицы изменение процентного содержания теллура в ХСП системе Se-Te приводит к изменению как предэкспоненциального множителя, так и энергии активации электропроводности, однако примесь хлора, в основном, приводит к изменению энергии активации электропроводности.

Таблица. Значения предэкспоненциального множителя и энергии активации электропроводности ХСП системы Se-Te.

| Состав вещества         | Энергия активации, eV | Предэкспоненциальный множитель, $Ohm^{-1} cm^{-1}$ |
|-------------------------|-----------------------|--|
| Se                      | 1.10                  | $7.6 \cdot 10^5$                                   |
| $Se_{99}Te_1$           | 1.08                  | $1.2 \cdot 10^6$                                   |
| $Se_{98.5}Te_{1.5}$     | 1.00                  | $5.6 \cdot 10^5$                                   |
| $Se_{95}Te_5$           | 0.91                  | $7.1 \cdot 10^3$                                   |
| $Se_{90}Te_{10}$        | 0.82                  | $3.8 \cdot 10^2$                                   |
| $Se_{95}Te_5Cl_{0.001}$ | 0.93                  | $6.2 \cdot 10^3$                                   |
| $Se_{95}Te_5Cl_{0.005}$ | 0.86                  | $7.1 \cdot 10^3$                                   |
| $Se_{95}Te_5Cl_{0.01}$  | 0.96                  | $4.0 \cdot 10^4$                                   |
| $Se_{95}Te_5Cl_{0.1}$   | 0.89                  | $1.9 \cdot 10^3$                                   |

На рис. 4 представлено сравнение зависимостей энергии активации электропроводности и оптической ширины запрещенной зоны от содержания Te (а) и от концентрации атомов хлора (б). Как видно из рис. 4 а, при введении теллура в стеклообразный селен претерпевает изменение как энергия активации электропроводности  $\Delta E$ , так и ширина оптической запрещенной зоны  $E_g$ , а разность между ними остается почти постоянной, т. е. выполняется правило

$$E_g(x) - \Delta E(x) = const. \quad (1)$$

Это, по-видимому, обусловлено изменениями краев разрешенных зон стеклообразного селена вследствие изменения химического состава и микронеоднородной моделью легирования, согласно которой, примесь, введенная в такую низкокоординированную структуру как стеклообразный селен приводит к возникновению жестких микрообластей с высоким координационным числом.

Сравнение же зависимостей энергии активации электропроводности и оптической ширины запрещенной зоны, определенной из измерений коэффициента оптического поглощения, ХСП состава  $Se_{95}Te_5:Cl_x$  ( $x = 0.001, 0.005, 0.01, 0.1$ ) от концентрации примеси хлора показало, что при этом правило (1) не выполняется, т.е. ширина оптической запрещенной зоны остается почти неизменной, а энергия активации электропроводности претерпевает заметное изменение, что свидетельствует об изменении положения уровня Ферми.

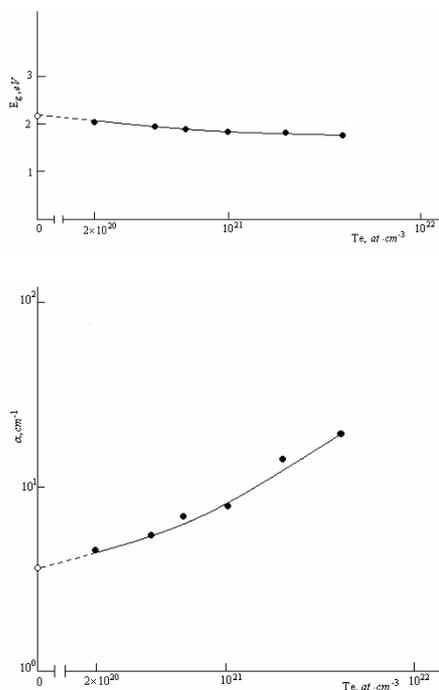


Рис. 3 Зависимость оптической ширины запрещенной зоны (а) и коэффициента оптического поглощения (б) ХСП системы Se-Te от содержания теллура при энергии падающего фотона  $\sim 1.05$  eV.

Как отмечалось выше, существующие собственные дефекты в ХСП материалах, имеющие отрицательную эффективную корреляционную энергию ( $U^-$  - центры), эффективно фиксируют

уровень Ферми посередине запрещенной зоны. Поэтому сдвиг уровня Ферми, наблюдаемый нами при введении примеси хлора в ХСП системы Se-Te, следует объяснять образованием большой концентрации электрически активных примесных центров ( $Cl^-$ ), которая превалирует над концентрацией  $U^-$  - центров. Действительно в работах [13-15] показано, что в ХСП материалах с примесью хлора концентрация отрицательно заряженных примесных центров ( $Cl^-$ ) значительно превосходит концентрацию  $U^-$  - центров; поэтому, транспорт заряда при этом ограничивается, в основном, примесными центрами.

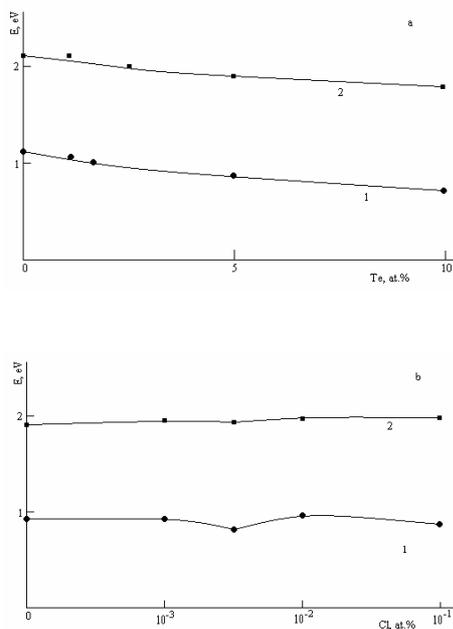


Рис. 4 Зависимости энергии активации электропроводности (кривая 1) и оптической ширины запрещенной зоны (кривая 2) ХСП системы Se-Te и Se-Te:Cl от содержания теллура (а) и концентрации хлора (б).

Таким образом, анализ экспериментальных данных показал, что добавление теллура в стеклообразный селен приводит к изменению краев разрешенных зон и концентрации собственных заряженных дефектов, а примесь хлора, в основном, приводит к изменению концентрации собственных заряженных дефектов и появлению заряженных примесных центров  $Cl^-$ .

- [1]. Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках / Под ред. Цэндина К.Д. СПб.: Наука, 1996, 486 с.
- [2]. Мехтиева С.И., Абдинов Д.Ш. Развитие физики селена / Баку: Елм, 2000, 232 с.
- [3]. Мотт Н. Электроны в неупорядоченных структурах / М.: Мир, 1969, 172 с.
- [4]. Губанов А.И. // ЖТФ, 1957, т. 27, вып. 11, с. 2510-2516
- [5]. Губанов А.И. // ФТТ, 1961, т. 3, вып. 8, с. 2336-2341
- [6]. Гельмонт Б.Л., Цэндин К.Д. // ФТП, 1983, т. 17, вып. 6, с. 1040-1044

- [7]. Gomi T., Hirose Y., Kurosu T. et. al. // J. Non-Cryst. Solids, 1980, v. 41, №1, p. 37-46
- [8]. Kolomieta B., Averyanov B., Lyubin V., Prikhodko O. // Solid En. Mater., 1982, v. 8, p. 1-8
- [9]. Коломиец Б.Т., Лебедев Э.А., Рогачев Н.А. // ФТП, 1974, т. 8, вып. 3, с. 545-549
- [10]. Flasc R., Izu M., Sapru K. et. al. / Proc. 7<sup>th</sup> Intern. Conf. on Amorph. And Liquid Semicond. Edinburg, 1977, p. 524
- [11]. Fraser M., Owen A. / Proc. 10<sup>th</sup> Intern. Conf. on Amorph. And Liquid Semicond. Tokyo, 1983, p. 1031-1043
- [12]. Skordeva E. Andreytchin R., Nikiforova M. et al. / Proc. Intern. Conf. "Amorph. Semicond.-76". Budapest, 1977, p. 145
- [13]. Казакова Л.П., Лебедев Э.А. Исаев А.И. и др. Влияние примесей галогенов на перенос заряда в ХСП системы Se-As // ФТП, 1993, № 27, с. 959-965
- [14]. Isaev A., Mekhtieva S., Rzaev A. The effect of halogen impurities on electroconductivity of chalcogenide glassy semiconductor Se-As system // Turkish J. of Physics, 1998, № 22, p. 263-266
- [15]. Kazakova L., Lebedev E., Zakharova N. et. al. Improvement of charge transport in Se-As glasses by doping with halogens // J. of Non-Cryst. Sol., 1994, № 167, p. 65-69
- [16]. Anderson P. Model for the electronic structure of amorphous semiconductors // Phys. Rev. Lett., 1975, v. 34, № 15, p. 953
- [17]. Kastner M. Bonding bonds, lone-pair bonds and impurity in chalcogenide semiconductors // Phys. Rev. Lett., 1972, v. 28, № 6, p. 355-357
- [18]. Kastner M., Adler D., Fritzsche H. Valence-alternation model for localized gap states in lone-pair semiconductors // Phys. Rev. Lett., 1976, v. 37, № 8, p. 1504-1507
- [19]. Fritzsche H., Kastner M. // Phil. Mag. B, 1978, v. 19, № 6, p. 1035