

ДРЕЙФОВАЯ ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА И КОЭФФИЦИЕНТ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИСТЕМАХ Se-Te

МЕХТИЕВА С.И., ИСАЕВ А.И., МАМЕДОВ Э.А.

Институт Физики Национальной Академии Наук Азербайджана

Исследованы особенности переноса заряда и спектральное распределение коэффициента оптического поглощения в ХСП системе $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$ ($0 < x \leq 10 \text{ ат\%}$). Показано, что как перенос носителей заряда, так и оптические свойства указанного материала контролируются, в основном, заряженными дефектами (U^- -центрами). Определены

концентрации U^- -центров и установлено, что изменение химического состава приводит к изменению концентрации названных центров. Полученные результаты объяснены укорачиванием селеновых цепей в присутствии атомов Te и замещением атомов Se теллуrom как в середине, так и в конце селеновых цепей, а также способностью Te отдавать электроны.

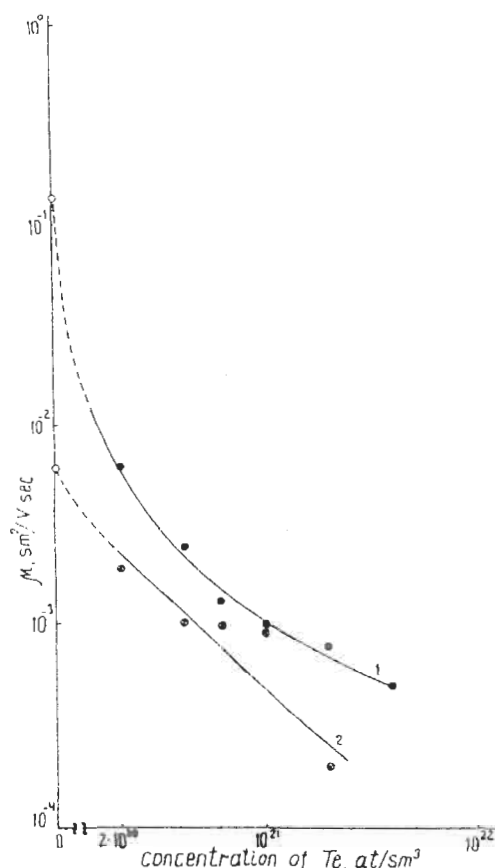


Рис.1. Зависимость дрейфовой подвижности дырок (1) и электронов (2) в ХСП системе Se-Te от концентрации введенных атомов теллура. Незакрашенные точки соответствуют стеклообразному селену.

указанных материалах преобладающим типом собственных дефектов являются дефекты с отрицательной эффективной энергией корреляции (U^- -центры). Заряженные состояния U^- -центров (D^+ и D^-) являются по сути классическими представителями БМР. Возможность перехода в сверхпроводящее состояние в системе БМР зависит от их концентрации. Изменением химического состава материала, а также введением примесей, можно управлять параметрами U^- -центров и создать условия для реализации сверхпроводящего состояния.

Введение

В связи с появлением в литературе сообщений о наблюдении сверхпроводимости в халькогенидных стеклообразных полупроводниковых (ХСП) материалах [1], а также с возникновением идеи о возможности существования сверхпроводящего состояния в системе биполяронов малого радиуса (БМР) [2-6] ХСП материалы стали более важными объектами исследований [7-10].

Это объясняется тем, что в

Целью настоящей работы является определение параметров U^- -центров в типичном представителе ХСП материалов – стекле Se-Te, а также роли этих центров в формировании электронных свойств указанного материала.

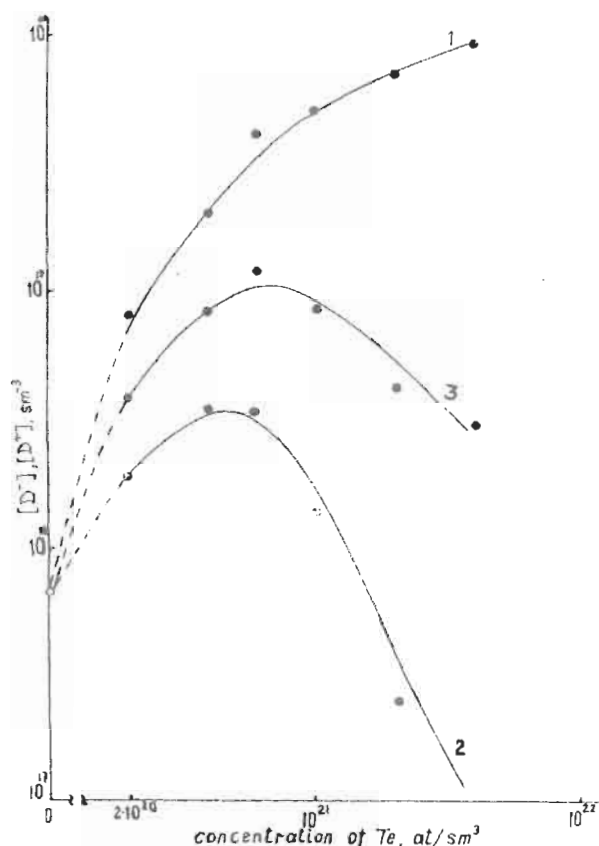


Рис. 2. Зависимость концентрации отрицательно заряженных D^- (кривая 1), положительно заряженных D^+ (кривая 2), а также полной концентрации D_0 (кривая 3) дефектов от концентрации атомов Te в ХСП системе Se-Te. Незакрашенная точка соответствует стеклообразному селену.

сильно поглощаемого излучения длительностью ~ 8 нс и длиной волны 0.33 мкм, получаемого от лазера ЛГИ-21.

На рис.1 приведены экспериментальные данные, полученные при исследовании зависимости дрейфовой подвижности от содержания теллура в ХСП системе Se-Te. Как видно из рисунка, с ростом концентрации атомов теллура, уменьшается подвижность как электронов, так и дырок. Из температурной зависимости дрейфовой подвижности определена энергия активации $\square E$ электронов и дырок. Принимая, что перенос носителей заряда контролируется захватом носителей на дискретный уровень ловушек, расположенный на расстоянии $\square E$ от края разрешенной зоны, определены концентрации ловушек по формуле

$$\mu = \mu_0 (N_c/N_t) \exp(-\square E/kT),$$

Экспериментальные результаты

В настоящей работе исследованы дрейфовая подвижность носителей заряда и спектральное распределение коэффициента оптического поглощения в ХСП системе $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$ ($x=0; 0.5; 1; 1.5; 2.5; 5; 10$; ат%). Выбор указанных материалов в качестве объектов исследования обусловлен еще и тем, что они являются потенциальными объектами применения в различных твердотельных преобразователях.

Образцы для измерений дрейфовой подвижности имели структуры типа «сэндвич» и представляли собой слои толщиной $1.5 \div 3.2$ мкм, приготовленные термическим испарением при остаточном давлении 10^{-6} мм.рт.ст. Electroдами служили слои алюминия, один из которых был полупрозрачен. Исследование дрейфовой подвижности проводилось по методу измерения времени пролёта [11]. Инжекция носителей заряда осуществлялась импульсом

где μ_0 – подвижность носителей заряда в разрешенной зоне, N_c и N_v – эффективная плотность состояний в разрешенной зоне и плотность локализованных состояний соответственно [12]. Для оценки концентраций D^+ и D^- центров принято, что $\mu_0 = 10 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$, $N_c = 10^{20} \text{ см}^{-3}$ [13]. Результаты вычислений приведены на рис.2, из которого видно, что увеличение содержания Те приводит к увеличению концентрации заряженных дефектов обоих знаков. Однако, при больших концентрациях теллур ведет себя как положительно заряженный примесный центр, под влиянием которого концентрация D^+ центров уменьшается, а D^- центров – увеличивается. Сравнивая концентрацию дефектов с концентрацией введенных атомов теллура, можно прийти к выводу, что лишь один из примерно ста атомов Те проявляется в виде заряженного центра. Большинство атомов Те не являются электрически активными и, по-видимому, выстраиваются в матрицу вещества, удовлетворяя все свои валентные требования по «правилу 8-N», где N – число валентных электронов атома [14-15].

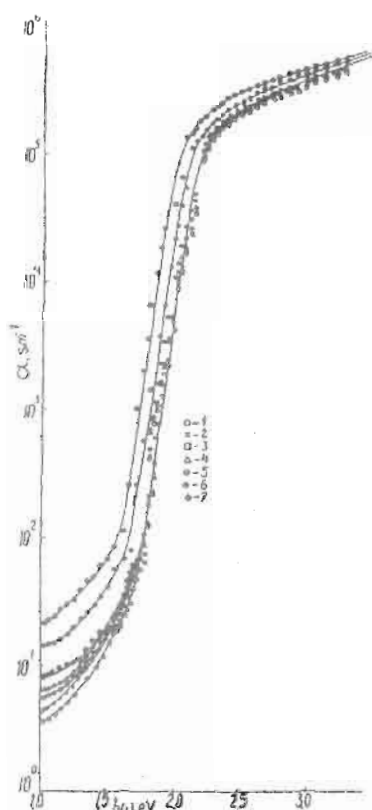


Рис.3. Спектральное распределение коэффициента оптического поглощения ХСП системы $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$: 1-Se, 2- $\text{Se}_{99.5}\text{Te}_{0.5}$, 3- $\text{Se}_{99}\text{Te}_1$, 4- $\text{Se}_{98.5}\text{Te}_{1.5}$, 5- $\text{Se}_{97.5}\text{Te}_{2.5}$, 6- $\text{Se}_{95}\text{Te}_5$, 7- $\text{Se}_{90}\text{Te}_{10}$.

Спектральное распределение коэффициента оптического поглощения ХСП системы Se-Te исследовано методом двухлучевой спектроскопии в интервале энергий падающего фотона 1÷3.4 эВ, результаты которого приведены на рис.3. Как видно из рисунка, кривая спектрального распределения коэффициента оптического поглощения состоит из трех участков. При энергиях падающего фотона выше, чем ~2.2эВ, зависимость коэффициента поглощения от частоты света подчиняется закону:

$$\alpha \hbar \omega \sim (\hbar \omega - E_0)^\gamma, \quad (1)$$

где $\gamma \approx 2$, $\hbar = h/2\pi$ (h – постоянная Планка), E_0 – оптическая ширина запрещенной зоны. Ширина запрещенной зоны, определенная из этих данных, для чистого селена составляет ~2.05 эВ и с ростом содержания Те уменьшается до ~1.8 эВ.

В интервале энергий падающего фотона ~2.2÷1.5эВ зависимость $\alpha = f(\omega)$ описывается формулой [16]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp(\hbar \omega / \square E), \quad (2)$$

где α_0 – постоянная величина, $\square E$ – ширина локализованных состояний у края разрешенной зоны, связанная с аморфной природой вещества. Для наших образцов $\square E \approx 0.08$ эВ.

В области энергий меньше, чем 1.5 эВ наблюдается отклонение от урбаховского [16] правила. Коэффициент поглощения в ХСП системе Se-Te в этой области довольно

сильно зависит от содержания Те. Как видно из рис. 2, 4, существует корреляция между зависимостями концентрации собственных дефектов, определяемой из данных дрейфовой подвижности, и коэффициента оптического поглощения в «хвостовом» участке от концентрации введенных атомов Те. Это свидетельствует о том, что

изменение концентрации U^- центров каким-то образом влияет на электронные состояния в запрещенной зоне, ответственные за «хвостовые» поглощения света.

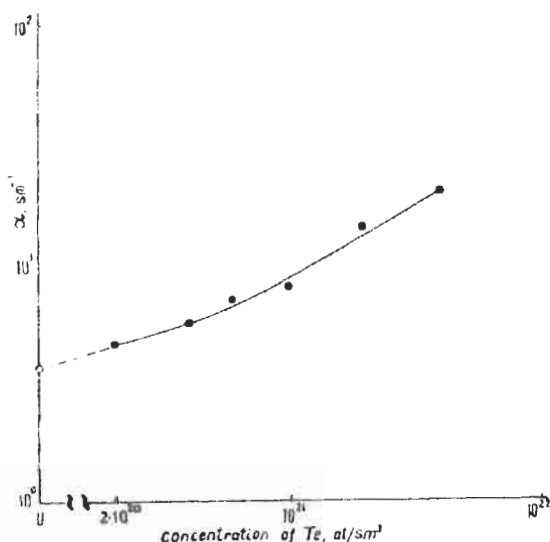


Рис. 4. Зависимость коэффициента оптического поглощения от концентрации атомов Те в ХСП системе Se-Te при энергии падающего фотона $\hbar\omega \approx 1.3$ В.

- * Край оптического поглощения в ХСП системе $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$, представленный в виде зависимости $\alpha \cdot \hbar\omega$ от $\hbar\omega$
- ** Зависимость ширины запрещенной зоны от концентрации атомов Те в ХСП системе Se-Te.

Обсуждение

Полученные результаты объяснены изменениями, происходящими в размерах селеновых цепей, различиями в энергиях связи между атомами Te-Te, Te-Se, Se-Se, а также применением модели заряженных собственных дефектов, развитой для ХСП материалов [14-15]. Как уже было отмечено, большинство атомов Те заменяют атомы Se в селеновых цепях, в результате чего образуются новые изолированные состояния в запрещенной зоне селена над краем валентной зоны. С ростом содержания Те полоса локализованных примесных состояний растет, а ширина запрещенной зоны уменьшается.

В зависимости от месторасположения (в середине или в конце селеновых цепей) Те может отдать один или два электрона. Освобожденные электроны могут быть захвачены либо D^+ -центрами: $D^+ + e \rightarrow D^0$, либо атомами Se или Te, расположенными на конце селеновых цепей. Кроме этого, согласно [17], Те является терминатором селеновых цепей, вызывающим их укорачивание, и тем самым, увеличивает концентрацию собственных дефектов.

Таким образом, наблюдаемые особенности переноса заряда и оптические свойства удовлетворительно объясняются предполагаемыми изменениями, происходящими в молекулярном строении ХСП системы Se-Te, а также применением модели заряженных дефектов.

Заключение

Исследованы особенности переноса заряда и спектральное распределение коэффициента оптического поглощения в ХСП системе $\text{Se}_{100-x}\text{Te}_x$ ($0 < x \leq 10 \text{ ат\%}$). Показано, что как перенос носителей заряда, так и оптические свойства указанного материала контролируются, в основном, заряженными дефектами (U^- -центрами). Определены концентрации U^- -центров и установлено, что изменение химического состава приводит к изменению концентрации названных центров. Полученные результаты объяснены укорачиванием селеновых цепей в присутствии атомов Те и

замещением атомов Se теллуром как в середине, так и в конце селеновых цепей, а также способностью Te отдавать электроны.

-
- [1] *А.В.Приходько, С.В.Козырев, В.Ф.Мастеров.* Сверхпроводимость: физика, химия, техника 3, 1130 (1990).
 - [2] *В.Р. Попов, К.О. Tsendin.* Techn. Phys. Lett., 24, 265 (1998).
 - [3] *A.S. Alexandrov, J.Ranninger, D. Feinberg.* Phys. Rev. B, 23, 1726 (1981).
 - [4] *N.F. Mott,* Physica C., 205, 191 (1993).
 - [5] *В.К. Chakraverty, J. Ranninger, D. Feinberg.* Phys. Rev. Lett., 81, 433 (1998).
 - [6] *A.S. Alexandrov.* Phys. Rev. B., 53, 2863 (1996).
 - [7] *А.В.Приходько, К.Д.Цэндин, Б.П.Попов.* ФТП, 35, 707 (2001).
 - [8] *Л.П.Казакова, К.Д.Цэндин.* ФТП, 33, 866 (1999).
 - [9] *А.К. Bhatnagar, Vipin Srivastava and K.V. Reddy.* Appl. Phys. Lett, 73, 2486 (1998)
 - [10] *S.Abou El-Hasan.* Indian J.Phys. 73. A (3), 315 (1999).
 - [11] *W.E. Spear.* J. Non-Cryst. Sol., 1, 197 (1969)
 - [12] *А.Роуз.* Основы теории фотопроводимости (М., Мир, 1969) с.140.
 - [13] *Г.Б. Абдуллаев, Д.Ш.Абдинов.* Физика селена (Баку, Элм, 1975).
 - [14] *Н.Ф. Мотт, Э.А. Девис.* Электронные процессы в некристаллических веществах (М., Мир, 1982).
 - [15] Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Под ред. *К.Е.Цэндина* (СПб., Наука, 1996).
 - [16] *F. Urbach.* Phys. Rev., 92, 1324 (1953)
 - [17] *G. Parthasarathy, K.J. Rao and E.S.R. Gopal.* Philos. Mag. B, 50, 335 (1984).

HALKOQENLİ ŞÜŞƏVARİ YARIMKEÇİRİCİ Se-Te SİSTEMLƏRİNDƏ YÜK DAŞIYICILARININ DREYF YÜRÜKLÜYÜ VƏ OPTİK UDULMA ƏMSALI

MEHDİYEVA S.İ., İSAYEV A.İ., MƏMMƏDOV E.A.

Se_{100-x}Te_x (0<x<10 at %) şüşəvari halkogenli yarımkeçirici sistemində yük daşıyıcılarının dreyf yürüklüyünü və optik udulma əmsalının spektral paylanmasını tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, həm yük daşıyıcılarının dreyf yürüklüyü, həm də optik xassələr əsasən yüklü defektlərdə (U^- - mərkəzlər) idarə olunur. U^- mərkəzlərinin konsentrasiyası müəyyən edilərək göstərilmişdir ki, kimyəvi tərkibin dəyişməsi U^- mərkəzlərinin konsentrasiyasının dəyişməsinə gətirir. Alınan nəticələr atomlarının iştirakı ilə selen zəncirinin qısalması və selen atomlarının (zəncirin həm ortasında, həm də sonunda) tellurla əvəz olunması həmçinin də tellurun elektronvermə qabiliyyəti ilə izah olunur.

THE DRIFT MOBILITY OF CHARGE CARRIERS AND THE COEFFICIENT OF OPTICAL ABSORPTION IN CHALCOGENIDE SEMICONDUCTORS Se-Te

MEKHTIYEVA S.I., ISAYEV A.I., MAMEDOV E.A.

The features of charge transport and spectral distribution of the coefficient of optical absorption in chalcogenide semiconductor Se_{100-x}Te_x (0<x<10 at %) are investigated. It is shown that both transport of charge carriers and optical properties of specified material are supervised by the charged defects (U^- -centers). The concentration of U^- -centers are determined and is established that the change of chemical structure results in change of concentration of the named centers. The received results are explained by reducing Se chains at the presence of Te atoms and replacement of Se atoms by Te both in the middle, and at the end of Se chains, and also ability of Te to give back electrons.