

# Кристаллизационная способность, оптические и электрические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводников $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$ и $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$

© С.А. Грудинкин<sup>¶</sup>, В.И. Бахарев, В.М. Егоров, Б.Т. Мелех, В.Г. Голубев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 27 апреля 2011 г. Принята к печати 11 мая 2011 г.)

Синтезированы халькогенидные стеклообразные полупроводники тройной системы Ge–Se–Te по разрезам  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  и  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ . Исследованы кристаллизационная способность, спектры пропускания в ближней инфракрасной области спектра и температурная зависимость электропроводности полученных сплавов. Показано, что халькогенидные стеклообразные полупроводники разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  обладают меньшей температурой размягчения и кристаллизации по сравнению с полупроводниками разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ . Зарегистрировано изменение на несколько порядков электропроводности образцов при фазовом переходе из стеклообразного в кристаллическое состояние. Найдены составы халькогенидных стеклообразных полупроводников системы Ge–Se–Te, имеющие в области длин волн  $\lambda \approx 1.5$  мкм коэффициент поглощения  $< 1 \text{ см}^{-1}$  и характеризующиеся термически индуцированным фазовым переходом стеклообразное–кристаллическое состояние.

## 1. Введение

В настоящее время сохраняется устойчивый интерес к технологии получения и исследованию физико-химических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) тройной системы Ge–Se–Te [1,2]. Благодаря высокой прозрачности в инфракрасной (ИК) области спектра данные ХСП являются перспективными материалами для активных и пассивных оптических элементов: волноводов, устройств интегральной оптики, фотонных кристаллов, химических сенсоров, зондов для микроскопии ближнего поля [3–5]. Наличие фазовых трансформаций аморфное–кристаллическое состояние [6–8] открывает перспективы использования данных материалов в устройствах записи и хранения информации. В ХСП системы Ge–Se–Te выявлена высокая эффективность акустооптического взаимодействия, что делает перспективным их применение для создания акустооптических преобразователей [9]. Отсутствие в составе ХСП системы Ge–Se–Te мышьяка делает технологию синтеза менее токсичной.

В связи с бурным развитием информационных технологий продолжает оставаться актуальной задача создания новых материалов, обладающих высокой прозрачностью в актуальной для практических применений области длин волн  $\lambda \approx 1.5$  мкм (Telecom standard) и физические свойства которых можно управляемым образом изменять при приложении внешнего воздействия. Существующие литературные данные не содержат комплексных результатов исследований, которые позволили бы сделать вывод о том, могут ли ХСП системы Ge–Se–Te быть потенциальными кандидатами на роль такого материала. Представленная работа посвящена исследованию кристаллизационной способности, оптических и электрических свойств системы

Ge–Se–Te с целью поиска количественных составов ХСП, имеющих в области  $\lambda \approx 1.5$  мкм коэффициент поглощения  $< 1 \text{ см}^{-1}$  и в которых наблюдается термически индуцированный фазовый переход аморфное–кристаллическое состояние, сопровождаемый резким изменением электропроводности.

В системе Ge–Se–Te существуют две области стеклообразования [7]. В первой области находятся составы с избыточным содержанием Se и малым содержанием Ge. Эта область стеклообразования расположена в концентрационных пределах фаз  $\text{GeSe}_2$ –Se–Te тройной фазовой диаграммы Ge–Se–Te. Во вторую область попадают составы с большим содержанием Ge. Эта область стеклообразования находится в концентрационных пределах  $\text{GeSe}_2$ –GeTe–Te. Избыточное содержание Se в ХСП из первой области стеклообразования приводит к большей прозрачности в ближней ИК области спектра, но при этом и к меньшей способности к кристаллизации. В данной работе исследованы составы разрезов  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  из первой и  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  из второй областей стеклообразования.

## 2. Образцы и методика эксперимента

Для приготовления образцов использовались исходные материалы (Ge, Se, Te) марки ОСЧ. Синтез проводился в вакуумированных запаянных кварцевых ампулах с удлиненным конусным концом. Температура синтеза составляла 850–900°C, время синтеза 5–6 ч. С целью гомогенизации осуществлялось многократное перемешивание расплава в процессе синтеза. Охлаждение расплавов проводилось в конусной части ампулы в режиме остывания на воздухе (скорость охлаждения 50–70 К/мин, масса навески 10 г). Это позволило оценить стеклообразующую способность расплава по величине диаметра ( $D$ ) сечения конуса, в котором

<sup>¶</sup> E-mail: Grudink@gvg.ioffe.ru

Свойства ХСП системы Ge–Se–Te по разрезам Ge<sub>10</sub>(Se–Te)<sub>90</sub> и Ge<sub>30</sub>(Se–Te)<sub>70</sub>

Состав	$-\lg(\sigma_{gl})$	$-\lg(\sigma_{cryst})$	$-\lg(\sigma_{gl}/\sigma_{cryst})$	$\Delta E$ , эВ ( $T = 310-410$ K)	$\alpha$ , см <sup>-1</sup> ( $\lambda = 1.5$ мкм)
Ge <sub>10</sub> Se <sub>40</sub> Te <sub>50</sub>	6.5	2.28	4.23	0.52	6.3
Ge <sub>10</sub> Se <sub>50</sub> Te <sub>40</sub>	7.84	1.88	5.96	0.56	0.73
Ge <sub>10</sub> Se <sub>60</sub> Te <sub>30</sub>	9.11	—	—	0.70	0.69
Ge <sub>30</sub> Se <sub>20</sub> Te <sub>50</sub>	8.08	-1.52	9.6	0.67	3.1
Ge <sub>30</sub> Se <sub>25</sub> Te <sub>45</sub>	8.8	1.74	7.04	0.70	1.7
Ge <sub>30</sub> Se <sub>30</sub> Te <sub>40</sub>	9.04	1.93	7.11	0.70	1.1

Примечание.  $\sigma_{gl}$  и  $\sigma_{cryst}$  — электропроводность образцов в стеклообразном и кристаллическом состояниях при  $T = 300$  K,  $\Delta E$  — энергия активации проводимости,  $\alpha$  — коэффициент поглощения.

образовалось стекло без кристаллических включений. Стеклообразное состояние идентифицировалось по характерному раковистому излому, отсутствию линий на дебаграммах [10], повышенной по сравнению с кристаллическим состоянием величине удельного электропроводности. Были синтезированы шесть образцов: Ge<sub>10</sub>Se<sub>40</sub>Te<sub>50</sub>, Ge<sub>10</sub>Se<sub>50</sub>Te<sub>40</sub>, Ge<sub>10</sub>Se<sub>60</sub>Te<sub>30</sub> и Ge<sub>30</sub>Se<sub>20</sub>Te<sub>50</sub>, Ge<sub>30</sub>Se<sub>25</sub>Te<sub>45</sub>, Ge<sub>30</sub>Se<sub>30</sub>Te<sub>40</sub>. Составы образцов приведены в соответствии с концентрацией исходных материалов в шихте. Стеклообразующая способность для всех образцов оказалась  $D \geq 12$  мм. Плотность образцов, определенная методом гидростатического взвешивания, составляла  $\sim 5$  г/см<sup>3</sup>.

Исследования спектров пропускания в диапазоне длин волн  $\lambda = 1.1-1.7$  мкм выполнялись с использованием спектрометра фирмы „Ocean Optics“ NIR512 при нормальном угле падения излучения на образец. Спектры записывались с участка образца площадью  $0.5 \times 0.5$  мм<sup>2</sup>. Образцы для оптических измерений приготавливались в виде оптически полированных с двух сторон плоскопараллельных пластин толщиной 6 мм, вырезанных из синтезированных слитков.

Термические свойства (температура размягчения, температура кристаллизации) исследовались на дифференциальном сканирующем калориметре DSK-2 фирмы Perkin-Elmer в диапазоне температур  $T = 300-690$  K при скорости сканирования 20 и 5 K/мин. Эксперименты осуществлялись в атмосфере азота марки ОСЧ.

Измерения температурной зависимости электропроводности проводились в диапазоне температур от 77 до 560 K на постоянном токе на образцах в форме параллелепипеда, выколотых из слитков стекол (навеска 10 г). Для высокоомных образцов использован двухзондовый, а для низкоомных (менее 20 Ом) — четырехзондовый метод.

### 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Спектры пропускания в ближней ИК области образцов разрезов Ge<sub>10</sub>(Se–Te)<sub>90</sub> и Ge<sub>30</sub>(Se–Te)<sub>70</sub> представлены на рис. 1. Значения коэффициента поглощения ( $\alpha$ )

на длине волны  $\lambda = 1.5$  мкм, рассчитанные из этих спектров, приведены в таблице. Как показано в [11], ширина запрещенной зоны для тонких пленок ХСП разреза Ge<sub>10</sub>(Se–Te)<sub>90</sub> составляет  $> 1$  эВ, т.е. в интересующей нас спектральной области отсутствует межзонное поглощение. Однако в данной области спектра существу-

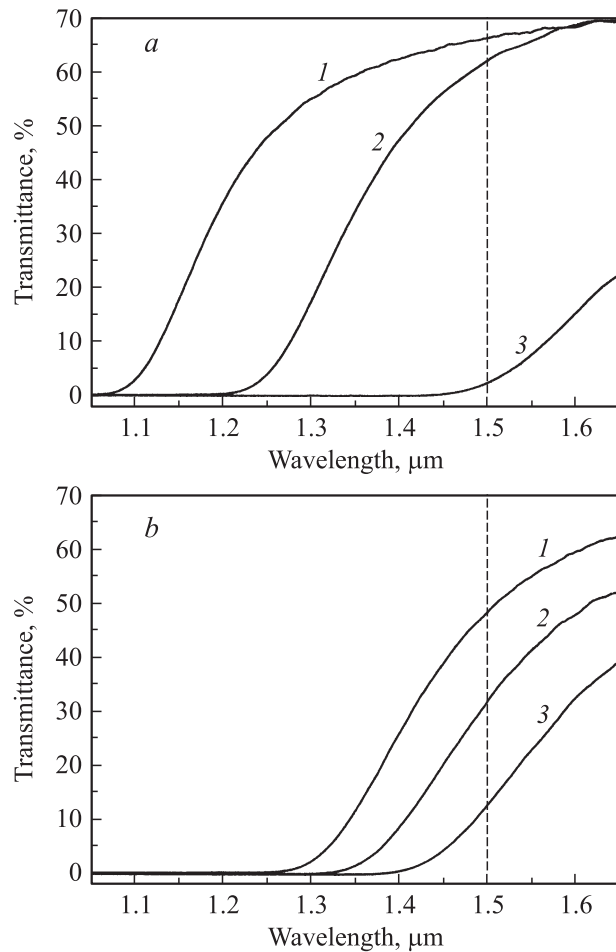
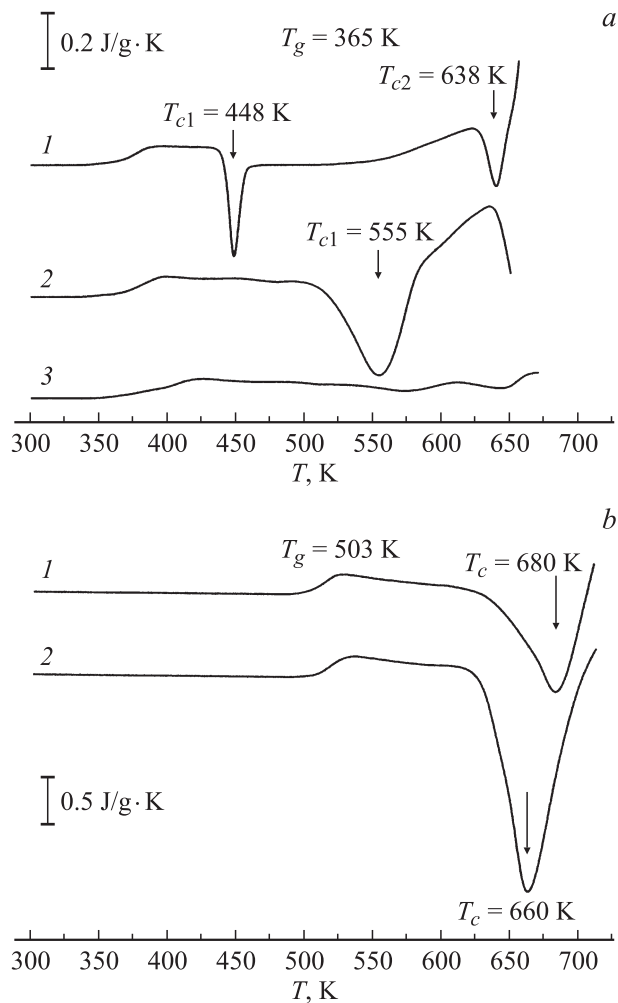


Рис. 1. Спектры пропускания в ближнем ИК спектральном диапазоне ХСП системы Ge–Se–Te. *a* — Ge<sub>10</sub>(Se–Te)<sub>90</sub>: Ge<sub>10</sub>Se<sub>60</sub>Te<sub>30</sub> (1), Ge<sub>10</sub>Se<sub>50</sub>Te<sub>40</sub> (2), Ge<sub>10</sub>Se<sub>40</sub>Te<sub>50</sub> (3). *b* — Ge<sub>30</sub>(Se–Te)<sub>70</sub>: Ge<sub>30</sub>Se<sub>30</sub>Te<sub>40</sub> (1), Ge<sub>30</sub>Se<sub>25</sub>Te<sub>45</sub> (2), Ge<sub>30</sub>Se<sub>20</sub>Te<sub>50</sub> (3).



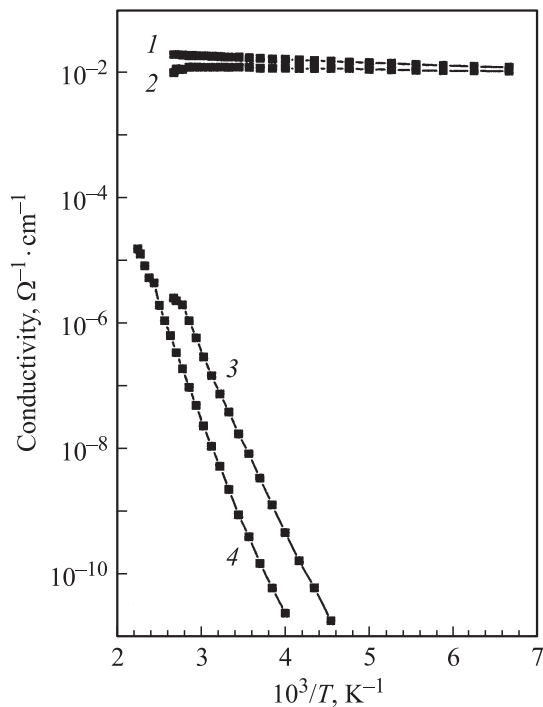
**Рис. 2.** Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии ХСП системы Ge–Se–Te. *a* —  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$ :  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{40}\text{Te}_{50}$  (1),  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  (2),  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{60}\text{Te}_{30}$  (3); скорость сканирования 20 К/мин. *b* —  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ :  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{25}\text{Te}_{45}$  (1),  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  (2); скорость сканирования 5 К/мин.

ет поглощение (характерное значение  $\alpha < 10^2 \text{ см}^{-1}$ ), обусловленное дефектными состояниями [12]. Величина этого поглощения может быть надежно измерена на образцах толщиной  $> 1 \text{ мм}$ . Поэтому в данной работе с целью определения коэффициента поглощения измерялись спектры оптического пропускания образцов толщиной 6 мм. Минимальное поглощение найдено в образцах составов  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{60}\text{Te}_{30}$  и  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  из разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  и  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  из разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ . Увеличение содержания Te приводит к росту поглощения в коротковолновой области спектра.

Определение наличия в синтезированных ХСП термически индуцированного фазового перехода из стеклообразного в кристаллическое состояние проводилось методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Исходные кривые ДСК, по которым определялись температуры размягчения ( $T_g$ ) и кристаллизации ( $T_c$ ) образцов, представлены на рис. 2.

Размягчение образцов разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  начинается при  $T_g \approx 365 \text{ K}$  при скорости нагрева 20 К/мин (рис. 2, *a*). Экзотермические пики, обусловленные кристаллизацией, зарегистрированы на кривых ДСК образца  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{40}\text{Te}_{50}$  при температурах  $T_{c1} \approx 448 \text{ K}$  и  $T_{c2} \approx 638 \text{ K}$ , образца  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  при температуре  $T_c \approx 555 \text{ K}$  (рис. 2, *a*). При температуре выше 640 К на кривой ДСК образца  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  наблюдается провал, связанный, вероятно, со вторым этапом кристаллизации. Никаких признаков кристаллизации на кривых ДСК образца  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{60}\text{Te}_{30}$  и образцов разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ , измеренных при скорости нагрева 20 К/мин, не выявлено. Это может быть связано с высокой скоростью нагрева, при которой кристаллизация начинается при более высоких температурах [13], выходящих за область сканирования. Чтобы подтвердить данное предположение были проведены эксперименты по ДСК при сниженной скорости нагрева. При скорости нагревания 5 К/мин на кривых ДСК (рис. 2, *b*) наблюдались экзотермические пики при температуре  $T_c \approx 680 \text{ K}$  для  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{25}\text{Te}_{45}$  и при  $T_c \approx 660 \text{ K}$  для  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$ , что подтверждает наличие в этих составах термически индуцированного фазового перехода стекло–кристалл. Область размягчения в образцах  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  начинается при температуре  $T_g \approx 500 \text{ K}$ . Состав кристаллической фазы исследован методом рентгенографического анализа для образцов, полученных отжигом исходных ХСП при температуре 700 К. Закристаллизованные образцы системы  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  имеют практически однофазную структуру — твердый раствор Se в Te со структурой тригонального Te, тогда как образцы  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  содержат различные кристаллические фазы: GeSeTe, Te, GeSe<sub>2</sub>.

Различия в термических свойствах и составе кристаллической фазы ХСП разрезов  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  и  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  обусловлены различием их структурных сеток [14,15]. Известно, что в стеклообразной системе Ge–Se–Te вариацией химического состава можно изменять структуру сетки от одномерной (цепочечная структура, флорру-стекло) до двумерной (слоистой, rigid-стекло) [14]. При переходе от одномерной к двумерной структуре достигается максимальная жесткость каркаса ХСП. Структурный фазовый переход между областями с различной структурой сетки происходит при среднем координационном числе  $\langle z \rangle$ , равном 2.41, и сопровождается резким изменением физико-химических свойств [14–15]. Для образцов разрезов  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  и  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  средние координационные числа равны соответственно 2.2 и 2.6. При вычислении  $\langle z \rangle$  значения координационных чисел принимались равными  $z(\text{Ge}) = 4$  и  $z(\text{Se}) = z(\text{Te}) = 2$  в соответствии с правилом  $8 - N$  [16]. Таким образом, ХСП разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  имеют одномерную структуру, а ХСП разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  обладают двумерной структурой. Вследствие того, что в ХСП с двумерной структурой средняя энергия связей больше, чем в ХСП с одномерной структурой сетки [15], температура размягчения и температура первой кристаллизации меньше



**Рис. 3.** Температурные зависимости электропроводности образцов в кристаллическом (1 —  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$ , 2 —  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$ ) и в стеклообразном (3 —  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$ , 4 —  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$ ) состояниях.

в ХСП разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  (рис. 2). При нагреве в первую очередь разрываются самые слабые связи. В системе  $\text{Ge}-\text{Se}-\text{Te}$  такими связями являются связи  $\text{Te}-\text{Te}$  [6]. В ХСП разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  имеется большое относительное содержание данных связей и при кристаллизации в первую очередь происходит выпадение кристаллического  $\text{Te}$ , что проявляется в виде первого пика кристаллизации на кривой ДСК и подтверждается данными рентгенографического анализа. В работе [15] показано, что с увеличением содержания  $\text{Ge}$  и ростом  $\langle z \rangle$  в ХСП системы  $\text{Ge}-\text{Se}-\text{Te}$  происходит увеличение температуры  $T_{c1}$  и при достижении  $\langle z \rangle = 2.41$  два кристаллизационных пика сливаются.

В начале работы была поставлена задача поиска материалов ХСП, обладающих в области  $\lambda \approx 1.5 \mu\text{м}$  коэффициентом поглощения  $< 1 \text{ см}^{-1}$  и в которых происходит термически индуцированный фазовый переход аморфное–кристаллическое состояние. Из образцов разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  только составы  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{60}\text{Te}_{30}$  и  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  имеют  $\alpha < 10^2 \text{ см}^{-1}$ . При этом образец  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{60}\text{Te}_{30}$  закристаллизовать не удалось. Образцы разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  обладают практически одинаковыми по интенсивности экзотермическими эффектами, но образец  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  имеет наименьший коэффициент поглощения в области длин волн  $\lambda \approx 1.5 \mu\text{м}$ . Таким образом, образцы  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  и  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  лучше всего удовлетворяют заданным в начале работы параметрам поиска.

Для демонстрации возможности практического применения синтезированных ХСП в качестве сред с управляемым изменением физических свойств были исследованы их электрические характеристики при фазовом переходе из стеклообразного в кристаллическое состояние. Образцы в кристаллическом состоянии получены путем отжига исходных образцов в стеклообразном состоянии при температуре 700 К. Температурные зависимости электропроводности  $\sigma(T)$  образцов  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  и  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  в стеклообразном и кристаллическом состояниях представлены в аррениусовских координатах,  $\lg \sigma = f(T^{-1})$ , на рис. 3. В этих координатах зависимость  $\sigma(T)$  в стеклообразном состоянии хорошо аппроксимируется прямой, характерной для полупроводниковых материалов. По наклону прямых в интервале температур 310–410 К определены энергии активации  $\Delta E$  (см. таблицу). Отметим, что составы, принадлежащие одному разрезу, имеют близкие энергии активации. В ХСП уровень Ферми обычно находится в середине запрещенной зоны, так что энергия активации проводимости равна половине запрещенной зоны [17]. Удельное сопротивление при комнатной температуре уменьшается с ростом содержания  $\text{Te}$ , что находится в соответствии с данными, приведенными в работе [18].

Малые энергии активации для  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  и  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$  в кристаллическом состоянии (рис. 3, кривые 1, 2), по-видимому, свидетельствуют о полуметаллическом типе проводимости, при котором уровень Ферми фиксируется вблизи дна зоны проводимости или потолка валентной зоны. Для практического применения является важным, что электропроводность (измеренная при комнатной температуре) изменяется на несколько порядков при фазовом переходе из стеклообразного в кристаллическое состояние (рис. 3 и таблица).

#### 4. Заключение

В работе изучены кристаллизационная способность, оптические и электрические свойства ХСП по разрезам  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  и  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ . Установлено, что ХСП разреза  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  с одномерной структурой сетки имеют меньшие температуры размягчения и кристаллизации по сравнению с ХСП разреза  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$ , обладающими двумерной жесткой структурной сеткой. Наиболее прозрачными в области  $\lambda \approx 1.5 \mu\text{м}$  и одновременно имеющими термически индуцированный фазовый переход аморфное–кристаллическое состояние являются ХСП составов  $\text{Ge}_{10}\text{Se}_{50}\text{Te}_{40}$  и  $\text{Ge}_{30}\text{Se}_{30}\text{Te}_{40}$ . Показано, что электропроводность при комнатной температуре изменяется на несколько порядков при фазовом переходе из стеклообразного в кристаллическое состояние. Таким образом, ХСП системы  $\text{Ge}-\text{Se}-\text{Te}$  являются перспективными материалами для применения их в системах оптической коммутации, функционирующих в ближней ИК области спектра. Оптимизация ХСП по составу, очистка от примесей и термообработка будут

способствовать дальнейшему снижению коэффициента поглощения в ближней ИК области спектра.

Авторы благодарны Н.Ф. Картенко за проведение рентгенографических исследований закристаллизованных образцов, А.Б. Певцову за обсуждение результатов и полезные замечания.

## Список литературы

- [1] P. Sharma, S.C. Katyal. *Physica B*, **403**, 3667 (2008).
- [2] S.B. Bhanu Prashanth, S. Asokan. *Sol. St. Commun.*, **147** (11), 452 (2008).
- [3] J. Nishii, T. Yamashita, T. Yamagishi. *J. Mater. Sci.*, **24** (12), 4293 (1989).
- [4] B.J. Eggleton, B. Luther-Davies, K. Richardson. *Nat. Photonics*, **5** (3), 141 (2011).
- [5] J.S. Sanghera, I.D. Aggarwal. *J. Non-Cryst. Sol.*, **256** (1), 6 (1999).
- [6] D. Sarrach, J.P. De Neufville. *J. Non-Cryst. Sol.*, **22** (2), 245 (1976).
- [7] А.В. Пазин, А.А. Образцов, З.У. Борисова. *Неорг. матер.*, **8** (2), 242 (1972).
- [8] З.Г. Маковская, Э.Г. Жуков. *Неорг. матер.*, **16** (2), 251 (1980).
- [9] L.A. Kulakova, V.Kh. Kudoyarova, B.T. Melekh, V.I. Bakharev. *J. Non-Cryst. Sol.*, **352**, 1555 (2006).
- [10] З.У. Борисова. *Халькогенидные полупроводниковые стекла* (Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1983) с. 7.
- [11] P. Sharma, S.C. Katyal. *Thin Sol. Films*, **517** (13), 3813 (2009).
- [12] Дж. Коннелл. *Аморфные полупроводники*, под ред. М. Бродски (М., Мир, 1982) гл. 4, с. 96.
- [13] S.A. Fayek. *Mater. Chem. Phys.*, **62** (2), 95 (2000).
- [14] J.C. Phillips, M.F. Thorpe. *Sol. St. Commun.*, **53** (8), 699 (1985).
- [15] S.B. Bhanu Prashanth, S. Asokan. *J. Non-Cryst. Sol.*, **355** (22), 1227 (2009).
- [16] J.Z. Liu, P.C. Taylor. *Sol. St. Commun.*, **70** (1), 81 (1989).
- [17] К.Д. Цэндин. *Электронные явления в халькогенидных стеклообразных полупроводниках* (СПб., Наука, 1996) гл. 2, с. 35.
- [18] G.A.M. Amin, A.F. Maged. *Mater. Chem. Phys.*, **97** (2), 420 (2006).

Редактор Л.В. Шаронова

## Crystallization ability, optical and electrical properties of chalcogenide glassy semiconductors $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$ and $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$

S.A. Grudinkin, V.I. Baharev, V.M. Egorov, B.T. Melekh, V.G. Golubev

Ioffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petersburg, Russia

**Abstract** Chalcogenide glassy semiconductors of ternary Ge–Se–Te system along  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  and  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  joins were synthesized. The crystallization ability, the transmission spectra in the near infrared range and the temperature dependence of electrical conductivity of the alloys obtained have been investigated. It is shown that the glass transition temperature and the crystallization temperature of chalcogenide glassy semiconductors of  $\text{Ge}_{10}(\text{Se}-\text{Te})_{90}$  join are less than ones of  $\text{Ge}_{30}(\text{Se}-\text{Te})_{70}$  join. It was recorded that conductivity of alloys varies by several orders at the glass–crystal phase transition. The compositions of Ge–Se–Te system which possess thermally induced glass–crystal phase transition and the absorption coefficient less than  $1 \text{ cm}^{-1}$  in the wavelength range of  $\lambda \approx 1.5 \mu\text{m}$  have been found.