

*А. В. Марченко, А. Ю. Дашина,  
И. А. Дземидко, М. Ю. Кожжарь*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ И ПЛЕНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы  
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт 02.740.11.0544)

*Для определения количественного содержания мышьяка, германия и селена в стеклообразных сплавах  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$ ,  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  и пленках  $As_xSe_{1-x}$  методом рентгенофлуоресцентного анализа реализован метод стандарта. Использование указанной методики позволяет определить количественный состав стекол и пленок с точностью  $\pm 0,0002$ .*

**Ключевые слова:** халькогенидные стекла, рентгенофлуоресцентный анализ.

*A. Marchenko, A. Dashina, I. Dzemidko, M. Kozhokar*

## DETERMINATION OF COMPOSITION OF CHALCOGENIDE GLASSES AND FILMS BY X-RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY

*For determining the quantitative contents of arsenic, germanium, sulfur and selenium in vitreous alloys and films  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$ ,  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  and films  $As_xSe_{1-x}$  by the method X-ray fluorescence spectroscopy, it is suggested that the method of the standard is applied. The application of this method allows to determine the quantitative contents of glasses and films with the accuracy of  $\pm 0,0002$ .*

**Key words:** chalcogenide glasses, X-ray fluorescence spectroscopy.

### Введение

Физико-химические свойства стеклообразных халькогенидных сплавов и пленок в первую очередь определяются их количественным составом [1]. В большинстве случаев количественный состав указывается, исходя из состава исходной шихты, хотя условия синтеза стекол и получения пленок зачастую не гарантируют сохранение исходного состава в конечном материале [3]. Именно поэтому актуальна проблема развития современных методик определения количественного состава указанных материалов. В этом отношении перспективным методом является метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии — анализ характеристического рентгеновского излучения мишени, возбуждаемого тормозным излучением рентгеновской трубки, позволяет проводить не только качественный элементный анализ материала мишени, но и определять количественный элементный состав мишени. Однако число работ, относящихся к применению рентгенофлуоресцентной спектроскопии для определения количественного состава халькогенидных стекол и пленок, невелико [2].

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты по определению количественного состава стеклообразных сплавов систем  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$  и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ , и пленок  $As_xSe_{1-x}$ , являющихся наиболее типичными представителями халькогенидных полупроводников, методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

### Методика эксперимента

Объектами исследований служили стеклообразные и поликристаллические сплавы систем  $As_xSe_{1-x}$  ( $As_{0,02}Se_{0,98}$ ,  $As_{0,1}Se_{0,9}$ ,  $As_{0,286}Se_{0,714}$ ,  $As_{0,4}Se_{0,6}$ ,  $As_{0,417}Se_{0,583}$ ,  $As_{0,5}Se_{0,5}$ ,  $As_{0,6}Se_{0,4}$ ),  $Ge_xSe_{1-x}$  ( $Ge_{0,4}Se_{0,6}$ ,  $Ge_{0,3333}Se_{0,6667}$ ,  $Ge_{0,2}Se_{0,8}$ ,  $Ge_{0,1}Se_{0,9}$ ) и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  ( $As_{0,111}Ge_{0,25}Se_{0,639}$ ,  $As_{0,2}Ge_{0,167}Se_{0,633}$ ,  $As_{0,25}Ge_{0,3}Se_{0,45}$ ,  $As_{0,333}Ge_{0,167}Se_{0,5}$ ,  $As_{0,345}Ge_{0,086}Se_{0,569}$ ,  $As_{0,4}Ge_{0,2}Se_{0,4}$ ,  $As_{0,4}Ge_{0,1}Se_{0,5}$ ,  $As_{0,476}Ge_{0,48}Se_{0,476}$ ), а также пленки  $As_{0,4}Se_{0,6}$  и  $As_{0,5}Se_{0,5}$ . Составы образцов приведены по составу исходной шихты, определенной с погрешностью  $\pm 0,001$ .

Сплавы систем «мышьяк — селен» синтезировались при температуре  $700^\circ C$ , а сплавы систем «германий — селен» и «мышьяк — германий — селен» — при температуре  $950^\circ C$ . При синтезе сплавов температуру в печи поднимали до максимальной со скоростью  $4^\circ C$  в минуту и расплавы выдерживали при этой температуре в течение 6 часов. Закалка расплава проводилась на воздухе.

Стеклообразные корольки массой  $\sim 5$  граммов представляли собой монолитные слитки, верх ампулы не содержал следов возгонки. Критериями стеклообразного состояния служили раковистый излом, отсутствие линий на дебаеграммах, отсутствие включений и неоднородностей при просмотре полированных поверхностей в металлмикроскопе МИМ-7 и инфракрасном микроскопе МИК-1. Перед измерением рентгенофлуоресцентных спектров сплавы не подвергались специальной механической обработке (шлифованию, полированию и др.). Пленки составов  $As_{0,5}Se_{0,5}$  и  $As_{0,4}Se_{0,6}$  толщиной от 0,3 до 1 мкм получали методом вакуумного термического распыления соответствующего стеклообразного сплава на подложку из силикатного стекла.

Спектры рентгеновской флуоресценции измерялись на спектрометре X-Art M (он включает излучатель на основе рентгеновской трубки с Rh-анодом и Si(Li)-блок детектирования рентгеновского излучения) при значениях анодного напряжения  $U = 20, 30$  и  $40$  кВ.

### Обсуждение экспериментальных результатов

Спектры характеристического рентгеновского излучения сплавов и пленок  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$  и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  содержали все линии K-серий германия, мышьяка и селена, причем наиболее интенсивные линии представляли собой суперпозицию их  $K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 2}$  компонент. Поэтому при дальнейшем изложении мы ограничимся рассмотрением именно этих линий.

Если мишень состава  $A_xB_{1-x}$  облучается первичным монохроматическим излучением с интенсивностью  $\Phi_o$ , то скорость счета детектором  $K_{\alpha}$ -линии атома  $A$  определяется соотношением

$$I_A = \Phi_o S \gamma_A \omega_A \frac{n \sigma_{oA} x}{\left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_A}{\cos \varphi} \right) \cos \theta} \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_A}{\cos \varphi} \right) d \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $S$  — площадь поверхности мишени, видимой из детектора,  $d$  — толщина мишени,  $\theta$  — угол падения первичного пучка на мишень,  $\varphi$  — угол выхода вторичного излучения из мишени,  $\gamma_A$  — эффективность регистрации детектором  $K_{\alpha}$ -излучения атомов  $A$ ,  $\omega_A$  — выход флуоресценции в линию возбужденных атомов  $A$ ,  $\sigma_{oA}$  — сечение поглощения первичного излучения атомами  $A$ ,  $\alpha_o$  — линейный коэффициент поглощения первичного излучения

веществом мишени,  $\alpha_B$  — линейный коэффициент поглощения  $K_\alpha$ -линии атомов  $A$  веществом мишени,  $x$  — атомная доля атомов  $A$  в мишени.

Скорости счета детектором  $K_\alpha$ -линий атомов  $B$  определяются аналогичными соотношениями (с заменой индекса  $A$  на индекс  $B$ ).

Если мишень представляет собой тонкую пленку, т. е. выполняются условия:

$$\left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_A}{\cos \varphi} \right) d \ll 1 \quad \text{и} \quad \left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_B}{\cos \varphi} \right) d \ll 1, \quad (2)$$

то отношения интенсивностей линий атомов  $A$  и  $B$  определяются как

$$r_{A_x B_{1-x}}^{\text{пленка}} = \frac{\omega_A \gamma_A \sigma_A}{\omega_B \gamma_B \sigma_B} \frac{x}{1-x}. \quad (3)$$

Если мишень представляет собой стекло (или любой массивный материал), т. е. выполняются условия:

$$\left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_A}{\cos \varphi} \right) d \gg 1 \quad \text{и} \quad \left( \frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_B}{\cos \varphi} \right) d \gg 1, \quad (4)$$

то вместо формулы (3) получим:

$$r_{A_x B_{1-x}}^{\text{стекло}} = r_{A_x B_{1-x}}^{\text{пленка}} \left( \frac{\frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_B}{\cos \varphi}}{\frac{\alpha_o}{\cos \theta} + \frac{\alpha_A}{\cos \varphi}} \right). \quad (5)$$

Используя табличные данные по величинам выхода флуоресценции, сечений поглощения атомами Se, As и Ge и рассчитанные на их основе линейные коэффициенты поглощения первичного излучения и  $K_\alpha$ -линий Se, As и Ge веществом мишени, можно оценить пределы приближений «стекло» и «пленка» для сплавов  $As_x Se_{1-x}$ ,  $Ge_x Se_{1-x}$  и  $As_x (Ge_y Se_{1-y})_{1-x}$ : образцы с  $d \geq 0,1$  мм удовлетворяют приближению «стекло» (выход  $K_\alpha$ -излучений германия, мышьяка и селена с этой глубины составляет менее 3%), тогда как образцы с  $d \leq 2$  мкм удовлетворяют приближению «пленка» (выход вторичного  $K_\alpha$ -излучения германия, мышьяка и селена более 98%). Существует также экспериментальный признак тонких пленок: в отличие от массивных мишеней соотношение интенсивностей линий разных компонент для них не должно зависеть от толщины.

Однако приведенные выше соотношения не учитывают двух обстоятельств.

Во-первых, облучение мишени проводилось тормозным излучением рентгеновской трубки и возбуждение флуоресценции более легкой компоненты вещества (например, As или Ge по отношению к Se) производится большей частью спектра трубки. Это ведет к увеличению относительной интенсивности линии легкой компоненты и к ее зависимости от анодного напряжения трубки  $U$ . Этот эффект виден на спектрах, приведенных на рис. 1: с увеличением  $U$  относительная интенсивность  $K_\alpha$ -линии селена для сплава  $As_{0,5}Se_{0,5}$  возрастала. Это возрастание объясняется сдвигом спектра тормозного излучения рентгеновской трубки в область больших энергий.

Во-вторых, флуоресцентное излучение более тяжелой компоненты поглощается более легкой и вызывает вторичную флуоресценцию последней, что также ведет к увеличению относительной интенсивности линии более легкой компоненты. Этот эффект отсутствует в

системе  $As_xSe_{1-x}$  и ярко выражен в системах  $Ge_xSe_{1-x}$  и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  (рис. 2). Особенность систем  $Ge_xSe_{1-x}$  и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  заключается в том, что К-край поглощения германия совпадает с энергией  $K_{\alpha}$ -линии селена (энергия  $K_{\alpha 1,2}$  излучения Se составляет 11,2 кэВ, а энергии К-краев поглощения германия, мышьяка и селена равны 11,1, 11,8 и 12,6 кэВ). Это приводит к аномально высокому поглощению  $K_{\alpha}$ -линии селена атомами германия и аномально высокой эмиссии  $K_{\alpha}$ -линии германия.

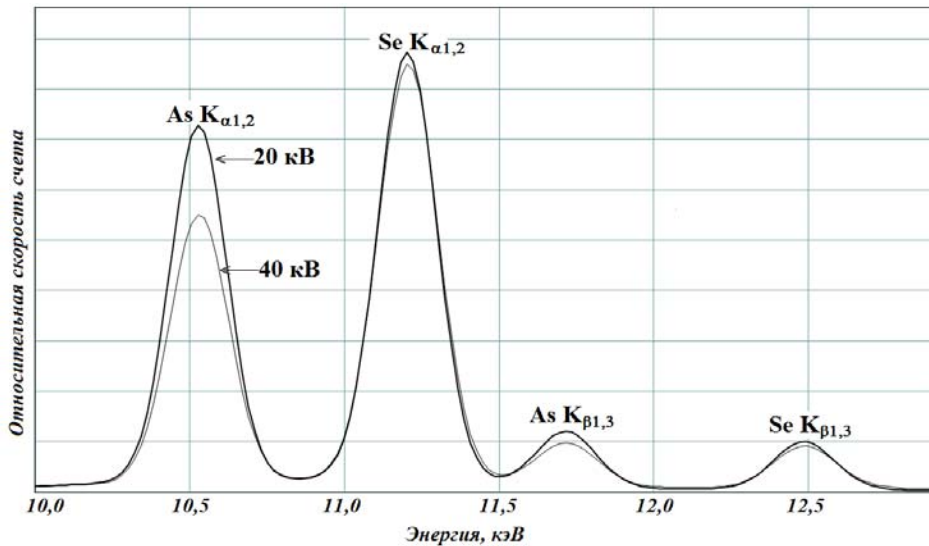


Рис. 1. Рентгенофлуоресцентные спектры мышьяка и селена стекла  $As_{0.5}Se_{0.5}$  при анодном напряжении рентгеновской трубки 40 и 20 кВ. Показано положение  $K_{\alpha 1,2}$  (суперпозиция  $K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 2}$  компонент) и  $K_{\beta 1,3}$  (суперпозиция  $K_{\beta 1}$  и  $K_{\beta 3}$  компонент) линий мышьяка и селена

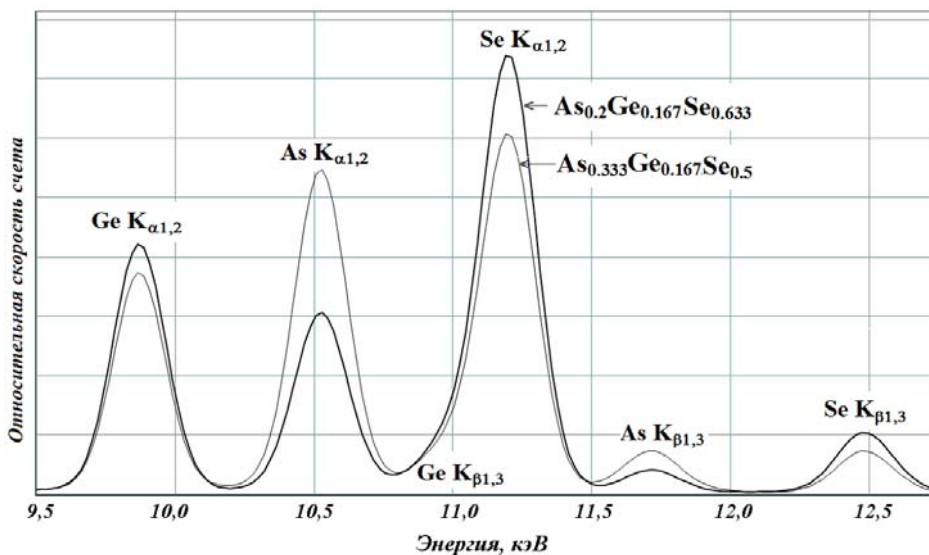


Рис. 2. Рентгенофлуоресцентные спектры германия, мышьяка и селена стекол  $Ge_{0.167}As_{0.333}Se_{0.5}$  и  $Ge_{0.167}As_{0.2}Se_{0.633}$  при анодном напряжении рентгеновской трубки 40 кВ. Показано положение  $K_{\alpha 1,2}$  и  $K_{\beta 1,3}$  германия, мышьяка и селена

Поскольку отношение интенсивностей  $K_{\alpha}$ -линий мышьяка, германия и селена для исследованных образцов зависит от многих факторов (выходов флуоресценции, сечений поглощения как первичного, так и флуоресцентного излучений всеми атомами), практически невозможно непосредственное использование соотношений (3) и (5). Поэтому для определения концентраций германия, мышьяка и селена в стеклах и пленках мы использовали метод стандарта.

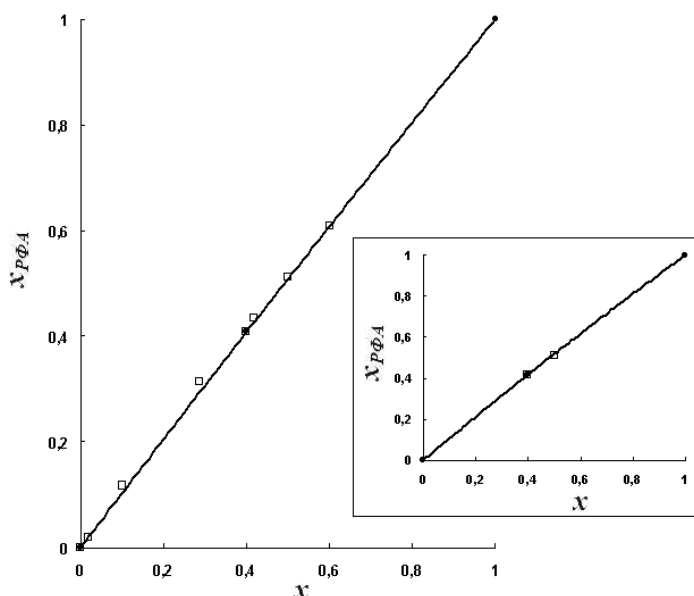
С этой целью измерялись рентгенофлуоресцентные спектры стандартов — стекло  $As_{0,4}Se_{0,6}$ ,  $Ge_{0,3333}Se_{0,6667}$  и пленки толщиной 1 мкм состава  $As_{0,4}Se_{0,6}$ . Выбор соединений  $As_2Se_3$  и  $GeSe_2$  в качестве стандартов объясняется тем, что они являются надежно установленными соединениями, которые могут быть получены методом сплавления исходных компонент, а также могут быть получены в виде пленок методом термического напыления.

Для этих спектров определялись площади под  $K_{\alpha 1,2}$ -линиями селена  $S_{Se}$ , мышьяка  $S_{As}$  и германия  $S_{Ge}$ , и по соотношениям

$$x_{P\Phi A} = \frac{S_{As}}{S_{As} + S_{Se}}, \quad x_{P\Phi A} = \frac{S_{Ge}}{S_{Ge} + S_{Se}} \quad (6)$$

определялись атомные доли мышьяка и германия  $x_{P\Phi A}$  (здесь индекс  $P\Phi A$  означает, что значения  $x$  определены из данных рентгенофлуоресцентного анализа с погрешностью  $\pm 0,0002$ ). Затем строились зависимости  $x_{P\Phi A} = f(x)$  по трем точкам: для  $x = 0$  (для нее  $x_{P\Phi A} = 0$ ), для  $x = 1$  (для нее  $x_{P\Phi A} = 1$ ) и для  $x$  стандарта. Указанные зависимости для стекол и пленок  $As_xSe_{1-x}$  представлены на рис. 3 и для стекол  $Ge_xSe_{1-x}$  — на рис. 4 (измерения проводились при анодном напряжении 30 кВ). Все зависимости на рис. 3 и 4 аппроксимированы полиномами второй степени. Эти полиномы и их графики служили градуировочными соотношениями для определения состава сплавов  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$  и пленок  $As_xSe_{1-x}$  по полученному из спектров значению  $x_{P\Phi A}$ .

Рис. 3. Зависимость  $x_{P\Phi A} = f(x)$  для стекол  $As_xSe_{1-x}$ . На врезке показана зависимость  $x_{P\Phi A} = f(x)$  для пленок  $As_xSe_{1-x}$ . Точками показаны значения  $x$  и  $x_{P\Phi A}$ , использованные для построения калибровочных зависимостей (они проведены сплошной линией). Квадратными символами показаны значения  $x$  и  $x_{P\Phi A}$  для бинарных составов  $As_xSe_{1-x}$ . Спектры измерялись при  $U = 30$  кВ



Для демонстрации такой возможности на рис. 3 дополнительно нанесены экспериментальные значения  $x_{P\Phi A}$  для стекол  $As_{0,02}Se_{0,98}$ ,  $As_{0,1}Se_{0,9}$ ,  $As_{0,286}Se_{0,714}$ ,  $As_{0,417}Se_{0,583}$ ,  $As_{0,5}Se_{0,5}$ ,  $As_{0,6}Se_{0,4}$  и для пленки  $As_{0,5}Se_{0,5}$ , а на рис. 4 нанесены экспериментальные значения  $x_{P\Phi A}$  для сплавов  $Ge_{0,2}Se_{0,8}$  и  $Ge_{0,1}Se_{0,9}$ . Видно, что для всех стеклообразных образцов

экспериментальные данные хорошо укладываются на градуировочные соотношения между величинами  $x$  и  $x_{P\Phi A}$ . Некоторый разброс данных объясняется большей погрешностью в определении  $x$  по составу исходной шихты (не лучше, чем  $\pm 0,001$ ) по сравнению с погрешностью в определении  $x_{P\Phi A}$  (не хуже, чем  $\pm 0,0002$ ). Аналогичные зависимости (но с другими коэффициентами в аппроксимирующих полиномах) получены и при других значениях анодного напряжения.

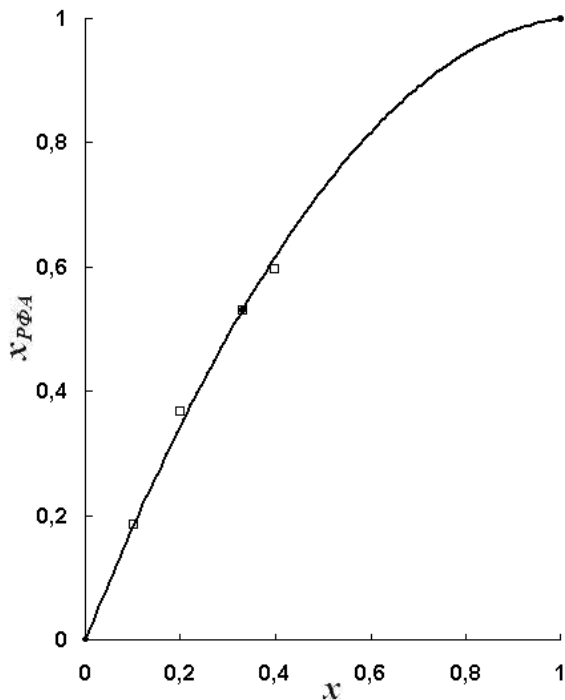


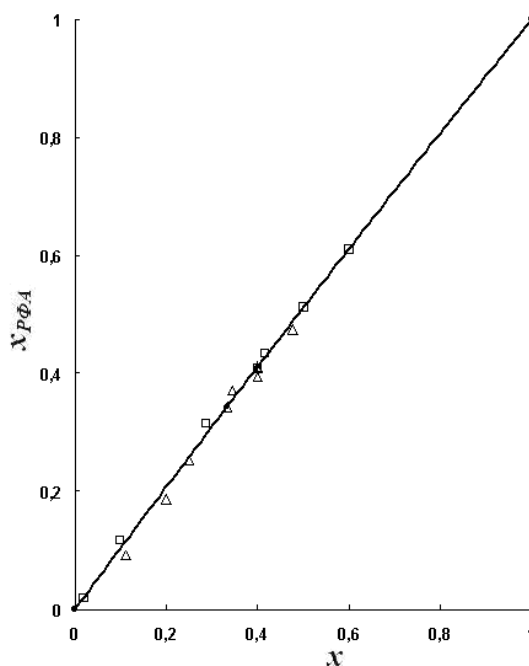
Рис. 4. Зависимость  $x_{P\Phi A} = f(x)$  для стекол  $Ge_xSe_{1-x}$ . Точками показаны значения  $x$  и  $x_{P\Phi A}$ , использованные для построения калибровочных зависимостей (проведены сплошной линией). Квадратными символами показаны значения  $x$  и  $x_{P\Phi A}$  для бинарных сплавов. Спектры  $Ge_xSe_{1-x}$  измерялись при  $U = 30$  кВ

Для определения концентрации мышьяка в стеклах  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  в качестве стандарта использовался сплав  $As_{0.333}Se_{0.167}Ge_{0.5}$ . Для спектра этого сплава определялись площади под  $K_{\alpha 1,2}$ -линиями селена, мышьяка и германия, и по соотношению

$$x_{P\Phi A} = \frac{S_{As}}{S_{As} + S_{Se} + S_{Ge}} \quad (7)$$

определялась атомная доля мышьяка. Затем строилась зависимость  $x_{P\Phi A} = f(x)$  по трем точкам: для  $x = 0$  (для нее  $x_{P\Phi A} = 0$ ), для  $x = 1$  (для нее  $x_{P\Phi A} = 1$ ) и для  $x$  стандарта. Указанная зависимость представлена на рис. 5, которая позволяет определить содержание мышьяка в стеклах  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  по полученному из спектров значению  $x_{P\Phi A}$ . Для демонстрации такой возможности на рис. 5 нанесены экспериментальные значения  $x_{P\Phi A}$  как для бинарных  $As_xSe_{1-x}$ , так и для тройных стекол  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Видно, что для всех стеклообразных образцов экспериментальные данные хорошо укладываются на градуировочное соотношение между величинами  $x$  и  $x_{P\Phi A}$ . Некоторый разброс данных объясняется большей погрешностью в определении  $x$  и  $y$  по составу исходной шихты по сравнению с погрешностью в определении  $x_{P\Phi A}$  и  $y_{P\Phi A}$ . Зависимость на рис. 5 демонстрирует тот факт, что величина  $(S_{Se} + S_{Ge})$  в формуле (7) определяется суммарным содержанием в стекле селена и германия и слабо зависит от соотношения этих компонент. Аналогичные зависимости получены и при значениях анодного напряжения 20 и 40 кВ.

Рис. 5. Зависимость  $x_{PFA} = f(x)$  для стекол  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Точками показаны значения  $x$  и  $x_{PFA}$ , использованные для построения калибровочной зависимости (она проведена сплошной линией). Квадратными символами показаны значения  $x$  и  $x_{PFA}$  для бинарных составов  $As_xSe_{1-x}$ , а треугольными символами показаны значения  $x$  и  $x_{PFA}$  для тройных составов  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Спектры измерялись при  $U = 30$  кВ

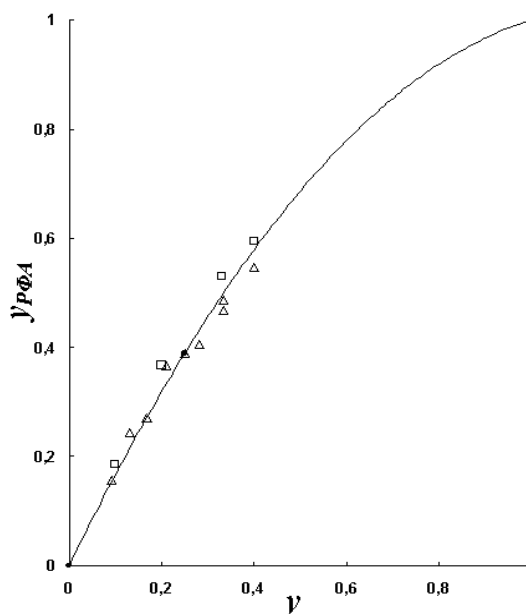


Для определения концентрации германия в стеклах  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  в качестве стандарта также использовался сплав  $As_{0,333}Se_{0,167}Ge_{0,5}$ . Для него определялась величина

$$y_{PFA} = \frac{S_{Ge}}{S_{Ge} + S_{Se}} \quad (8)$$

и строилась зависимость  $y_{PFA} = f(y)$  по трем точкам: для  $y = 0$  (для нее  $y_{PFA} = 0$ ), для  $y = 1$  (для нее  $y_{PFA} = 1$ ) и для  $y$  стандарта. Указанная зависимость представлена на рис. 6, которая позволяет определить содержание германия в стеклах  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  по полученному из спектров значению  $y_{PFA}$ .

Рис. 6. Зависимость  $y_{PFA} = f(y)$  для стекол  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Точками показаны значения  $y$  и  $y_{PFA}$ , использованные для построения калибровочной зависимости (она проведена сплошной линией). Квадратными символами показаны значения  $y$  и  $y_{PFA}$  для бинарных составов  $Ge_ySe_{1-y}$ , а треугольными символами показаны значения  $y$  и  $y_{PFA}$  для тройных стекол  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Спектры измерялись при  $U = 30$  кВ



Для демонстрации такой возможности на рис. 6 нанесены экспериментальные значения  $u_{PFA}$  как для бинарных  $Ge_ySe_{1-y}$ , так и для тройных стекол  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$ . Видно, что для всех стеклообразных образцов экспериментальные данные хорошо укладываются на градуировочное соотношение между величинами  $u$  и  $u_{PFA}$ .

### Заключение

Для определения количественного содержания мышьяка, германия, и селена в стеклообразных сплавах и пленках  $As_xSe_{1-x}$ ,  $Ge_xSe_{1-x}$  и  $As_x(Ge_ySe_{1-y})_{1-x}$  методом рентгенофлуоресцентного анализа реализован метод стандарта. С этой целью измерялись рентгенофлуоресцентные спектры стандартных сплавов, из них определялись атомные доли мышьяка, германия и селена, а затем строились зависимости  $x_{PFA} = f(x)$  и  $u_{PFA} = f(y)$  для соответствующих систем. Указанные зависимости позволяют определить состав стекол и пленок с точностью  $\pm 0,0002$  для  $x$  и  $u$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин А. М., Швейцер И. Г. Рентгеноспектральный справочник. М.: Мир, 1982. 220 с.
2. Легин А. В., Байдаков Л. А., Озерной М. И., Власов Ю. Г., Школьников Е. В. Исследование состава пленок  $CuI-As_2Se_3$  и  $CuI-PbI_2-As_2Se_3$  методом рентгеновской флуоресценции // Физика и химия стекла. 2002. Т. 28. № 2. С.117–122.
3. Фельц А. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: Мир, 1986. 558 с.

### REFERENCES

1. Blohin A. M., Shveicer I. G. Rentgenospectralnyi spravochnik. M.: Mir, 1982. 220 s.
2. Legin A. V., Baidakov L. A., Ozernoi M. I., Vlasov Yu. G., Shkolnikov E. V. Issledovanie sostava plenok  $CuI-As_2Se_3$  i  $CuI-PbI_2-As_2Se_3$  metodom renthenovskoi fluorescencii // Fizika i himiyz stekla. 2002. T. 28. № 2. S. 117–122.
3. Felc A. Amorfnye i stekloobraznye neorhanicheskie tverdye tela. M.: Mir, 1986. 558 s.

*Р. А. Кастро, Н. И. Анисимова, В. А. Бордовский,  
Г. И. Грабко, Т. В. Татуревич*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР РЕЛАКСАТОРОВ РАЗУПОРЯДОЧЕННОЙ ХАЛЬКОГЕНИДНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СИСТЕМЫ AS-SE

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт № 02.740.11.0544)

*На основании экспериментальных кривых изотермической релаксации темнового тока в тонких пленках аморфных полупроводников системы As-Se проведен расчет функции распределения времен релаксации и энергетического распределения плотности заряженных дефектных состояний. Обсуждается влияние изменения структуры на спектр релаксаторов данных материалов.*

**Ключевые слова:** аморфные халькогенидные полупроводники, спектр релаксаторов, функция распределения времен релаксации.