

# Токи, ограниченные пространственными зарядами в халькогенидной стеклообразной полупроводниковой системе $\text{Se}_{95}\text{As}_5$ , содержащей примеси $\text{EuF}_3$

© А.И. Исаев, С.И. Мехтиева, С.Н. Гарибова<sup>†</sup>

Институт физики им. Г.М. Абдуллаева Национальной академии наук Азербайджана, AZ-1143 Баку, Азербайджан

(Получена 14 марта 2011 г. Принята к печати 29 апреля 2011 г.)

Установлено, что перенос носителей заряда (дырок) в структуре  $\text{Al}-\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)-\text{Te}$  осуществляется по механизму токов монополярной инжекции, ограниченных пространственными зарядами, при участии двух групп ловушек захвата: мелкие, соответствующие заряженным собственным дефектам  $C_1^-$ , обусловленные оборванными связями селена, и глубокие, соответствующие также заряженным собственным дефектам  $P_2^-$ , создаваемым атомами мышьяка с нарушенной координацией. Показано, что примесь  $\text{EuF}_3$  сильно влияет на концентрацию ловушек захвата, причем в основном влияет на ловушки, расположенные около уровня Ферми.

## 1. Введение

Возросший в последнее время интерес к электронным свойствам халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) связан с перспективностью использования их в качестве активных сред в различных оптоэлектронных устройствах, в частности, в лазерах, оптических усилителях и преобразователях [1–5]. В основе применения ХСП прежде всего лежат такие особенности, как оптическая прозрачность в ближнем и среднем инфракрасном (ИК) диапазоне, высокий показатель преломления, низкая энергия фононного взаимодействия, химическая стойкость, а также простая технология получения этого класса материалов. В настоящее время общепризнанным является наличие в ХСП высокой концентрации дефектов с отрицательной корреляционной энергией, так называемых  $U^-$ -центров [6]. Согласно [7],  $U^-$ -центры в основном состоянии представляют собой заряженные дефекты  $D^-$  и  $D^+$ , которые образуются из нейтральных дефектов ( $2D^0 \rightarrow D^- + D^+$ ) и контролируют большинство электронных свойств ХСП. Проведенные исследования показали, что добавлением примесей в ХСП, проявляющих себя в виде ионов, можно управлять концентрацией  $U^-$ -центров, что позволит направленно изменять электронные свойства, в частности, улучшить параметры переноса электрического заряда, повысить фоточувствительность [8,9] и добиться повышения оптической прозрачности материала [10–12]. Особый интерес представляет ХСП, в состав которого введены ионы редкоземельных элементов (РЗЭ). Это обусловлено тем, что электронное  $4f$ -состояние в РЗЭ элементах является более устойчивым, и в запрещенной зоне ХСП будут расположены локальные уровни, обусловленные  $4f$ -состояниями ионов РЗЭ. И в таком случае оптическая ширина запрещенной зоны ХСП должна будет

перекрывать по энергии максимально возможное число переходов, разрешенных для ионов РЗЭ. Вследствие этого происходит широкий спектр фотоиндуцированных явлений при облучении светом с энергией фотона, соответствующей оптической ширине запрещенной зоны. Для понимания механизмов электронных процессов, ответственных за вышеперечисленные особенности, необходимо определить энергетические спектры локализованных состояний в запрещенной зоне ХСП и установить механизмы влияния на них ионов РЗЭ. Для этого одним из достоверных методов является исследование токов, ограниченных пространственными зарядами (ТОПЗ), которым и посвящена настоящая работа.

## 2. Методика эксперимента и изготовление образцов

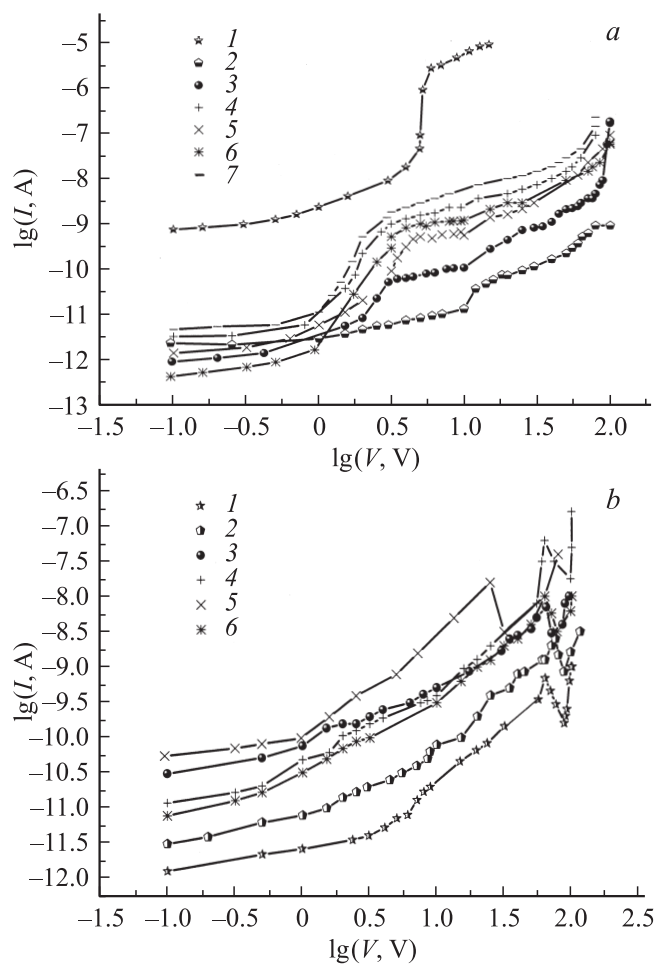
Синтез ХСП состава  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$  с примесью  $\text{EuF}_3$  осуществляется сплавлением соответствующих количеств химических элементов особой чистоты в вакуумированных до  $10^{-6}$  мм рт.ст. кварцевых ампулах при температуре выше  $900^\circ\text{C}$  во вращающейся печи с последующим охлаждением в режиме выключенной печи. Примесь вводилась в процессе синтеза, концентрация ее лежала в пределах  $0.01-1$  ат%.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) измерены в стационарном режиме по стандартной методике. Образцы представляли собой „сэндвич“ с алюминиевыми и теллурическими электродами и изготавливались методом термического испарения в вакууме  $\sim 10^{-6}$  мм рт.ст. Толщина пленок измерялась интерферометрическим методом и варьировалась в диапазоне  $1-10$  мкм. ВАХ структуры  $\text{Al}-\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)-\text{Te}$  с примесью  $\text{EuF}_3$  исследовались при приложении электрического напряжения обеих полярностей. Режим ТОПЗ наблюдался при приложении к Те положительного потенциала, а при обратной полярности наблюдалась ВАХ  $N$ -типа.

<sup>†</sup> E-mail: sqaribova@rambler.ru

### 3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны ВАХ структуры Al–Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)–Te при приложении к Te положительного (рис. 1, *a*), и отрицательного (рис. 1, *b*) потенциалов при комнатной температуре. На рис. 1, *a* также представлены ВАХ структуры Al–аморфный селен–Te. Как видно, в двойном логарифмическом масштабе ВАХ состоит из нескольких отчетливо выраженных прямолинейных участков, соответствующих степенным зависимостям тока ( $I$ ) от приложенного напряжения ( $V$ ). В большинстве образцов при малых напряжениях наблюдается зависимость  $I \propto V^n$  ( $n \leq 1$ ). Далее наблюдается зависимость  $I \propto V^n$ , где  $n$  на разных участках ВАХ получает разные значения, что свидетельствует о том,



**Рис. 1.** *a* — вольт-амперные характеристики аморфного селена и структур Al–Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)–Te при приложении к Te положительного потенциала ( $T \approx 300$  K): 1 — Se, 2 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>, 3 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.005</sub>, 4 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.01</sub>, 5 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.1</sub>, 6 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.5</sub>, 7 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>1</sub>. *b* — вольт-амперные характеристики структур Al–Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)–Te при приложении к Te отрицательного потенциала ( $T \approx 300$  K): 1 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>, 2 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.005</sub>, 3 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.01</sub>, 4 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.1</sub>, 5 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>0.5</sub>, 6 — Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)<sub>1</sub>.

что перенос носителей заряда (дырок) в указанной структуре осуществляется по механизму токов монополярной инжекции, ограниченных пространственными зарядами (ТОПЗ) при участии ловушек захвата носителей заряда. Исследования показали, что напряжение, при котором начинается сверхлинейная зависимость силы тока от напряжения, квадратично зависит от толщины образца, что еще раз доказывает осуществление механизма ТОПЗ. Как видно из рис. 1, *a*, ВАХ аморфного селена при малых значениях приложенного напряжения подчиняется омическому закону, которое с ростом напряжения переходит в квадратичный закон, после чего ток начинает круто возрастать с увеличением приложенного напряжения, наблюдается участок, называемый „полным заполнением ловушек“ [11]. Далее этот участок сменяется участком, в котором проявляется квадратичная зависимость тока от напряжения,  $I \propto V^2$ . Такое поведение ВАХ соответствует механизму ТОПЗ, контролируемому мелкими ловушками [11]. ВАХ структуры Al–Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)–Te отличается от ВАХ аморфного селена тем, что после участка, подчиняющегося омическому закону, идет участок, соответствующий степенному закону, т. е.  $I \propto V^n$ , где  $n$  превышает 2. Далее наблюдается участок, где  $I \propto V^2$ . Наконец квадратичный участок сменяется участком, в котором наблюдается область более сильного возрастания тока, чем квадратичная. Здесь возрастание тока с напряжением описывается зависимостью, близкой к экспоненциальной, что обычно связывается с ионизацией локальных центров [12]. Особенности ВАХ исследованных нами структур Al–Se<sub>95</sub>As<sub>5</sub>(EuF<sub>3</sub>)–Te свидетельствуют о том, что в указанном материале перенос электрического заряда контролируется несколькими группами ловушечных центров захвата, расположенных вблизи от уровня Ферми. Одновременно с этим значения напряжений, при которых наблюдается участок, соответствующий резкому возрастанию тока, т. е. режиму, соответствующему предельному заполнению ловушек, смещаются к высоким напряжениям, что свидетельствует об увеличении концентрации локальных состояний, являющихся ловушками захвата основных носителей заряда. Примесь EuF<sub>3</sub> довольно сложно влияет на форму ВАХ и на значения переходного напряжения между различными участками.

Влияние химического состава и примеси EuF<sub>3</sub> на поведение ВАХ позволяет высказать некоторые соображения о природе локальных состояний и их энергетическом расположении в запрещенной зоне относительно равновесного положения уровня Ферми, контролирующего прохождение тока в исследуемых материалах. В аморфном селене ловушки захвата основных носителей заряда (дырок) являются мелкими, т. е. находятся ниже, чем равновесное значение уровня Ферми [13]. Предполагается, что в аморфном селене локальные состояния, контролирующие ВАХ, связаны с заряженными собственными дефектами  $C_1^-$ , обусловленными оборванными связями селена. Предполагается, что в

Образцы	$p_0, \text{см}^{-3}$	$F_0 - E_v, \text{эВ}$	$p_{i02}, \text{см}^{-3}$	$E_{i2}, \text{эВ}$	$E_{i1}, \text{эВ}$	$N_i, \text{см}^{-3}$	$E_i, \text{эВ}$
$\text{Se}_{95}\text{As}_5$	$0.3 \cdot 10^4$	0.95	$4 \cdot 10^{14}$	1.023	0.27	$8 \cdot 10^{17}$	0.687
$\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.005}$	$0.32 \cdot 10^4$	0.95	$8 \cdot 10^{13}$	1.05	0.25	$7 \cdot 10^{17}$	0.69
$\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.01}$	$1.4 \cdot 10^4$	0.9	$5.99 \cdot 10^{13}$	1.07	—	$2.8 \cdot 10^{17}$	0.672
$\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.1}$	$0.85 \cdot 10^4$	0.92	$6 \cdot 10^{13}$	1.065	0.26	$2 \cdot 10^{17}$	0.686
$\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.5}$	$1.3 \cdot 10^4$	0.91	$4.028 \cdot 10^{13}$	1.07	0.26	$3.9 \cdot 10^{17}$	0.69
$\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_1$	$0.7 \cdot 10^4$	0.94	$4.028 \cdot 10^{13}$	1.096	0.26	$4.9 \cdot 10^{17}$	0.686

ХСП системе  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$  наряду с дефектами типа  $C_1^-$  существуют заряженные собственные дефекты  $P_2^-$ , создаваемые атомами мышьяка с нарушенной координацией. О возможности существования таких дефектов в ХСП, содержащих мышьяк, также сообщалось в работе [14]. Согласно форме ВАХ, энергетическое положение локальных состояний, соответствующее указанным дефектам, должно находиться выше уровня Ферми, тем самым является глубоким [13].

При низких напряжениях дырки, инжектируемые в ХСП системы  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$ , из теллурического контакта захватываются глубокими ловушками ( $E_{i2}$ ), но благодаря присутствию равновесных дырок проводимость остается омической. С увеличением напряжения происходит заполнение центров  $E_{i2}$  и одновременно увеличивается концентрация свободных дырок. Как только концентрация инжектированных свободных дырок превышает концентрацию равновесных дырок, ток резко возрастает с увеличением напряжения, т.е. наблюдается так называемый участок „предельного заполнения ловушек“. После этого ток контролируется ловушками ( $E_i$  и  $E_{i1}$ ), при этом, пока квазиуровень Ферми остается выше этих уровней, наблюдается ловушечный квадратичный закон. Увеличение крутизны ВАХ на последнем участке, по-видимому, связано с термополевой эмиссией дырок с уровней ловушек. В пользу последнего свидетельствует еще тот факт, что при обратной полярности приложенного напряжения, когда режим ТОПЗ не наблюдается при тех же значениях напряженности приложенного поля, происходит резкий рост тока, что также связано с полевым опустошением ловушек (рис. 1, b).

Используя известные теории ТОПЗ [13], определены некоторые параметры, характеризующие перенос электрического заряда в ХСП системы  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$ , а также параметры ловушек захвата дырок.

Из омического участка ВАХ вычислено удельное сопротивление пленки и, используя эти значения, оценена равновесная концентрация свободных дырок (см. таблицу) из формулы  $\rho = (e\rho_0\mu)^{-1}$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление,  $e$  — элементарный заряд и  $\mu$  — подвижность свободных носителей в разрешенной зоне  $\mu = 10 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  [7]. Используя эти данные, по формуле

$$p_0 = N_v \exp\left(-\frac{F_0 - E_v}{kT}\right) \quad (1)$$

определено положение уровня Ферми в запрещенной зоне  $F_0 - E_v$  (см. таблицу), где  $N_v$  — эффективная

плотность состояний в валентной зоне,  $kT$  — тепловая энергия. При вычислениях  $N_v = 10^{20} \text{ см}^{-3}$  [7].

Концентрация ( $p_{i02}$ ) первоначально не занятых дырками ловушек с энергией  $E_{i2}$  вычислена из уравнения

$$V_{\text{ФСТ}} = \frac{e p_{i02} L^2}{\varepsilon} \quad (2)$$

и значения представлены в таблице, где  $V_{\text{ФСТ}}$  — напряжение, при котором начинается участок полного заполнения ловушек  $E_{i2}$ . Как видно из таблицы,  $p_{i02} \gg p_0$ . Как уже было отмечено выше, глубокие уровни в исследуемых материалах связаны с  $D^-(P_2^-)$ . Принимая концентрацию  $P_2^-$  центров ( $N_{i2}$ ) порядка  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  [14], по формуле

$$p_{i02} = \frac{N_{i2}}{1 + g_A \exp\left(\frac{E_{i2} - F_0}{kT}\right)} \approx \frac{N_{i2}}{g_A} \exp\left(\frac{F_0 - E_{i2}}{kT}\right) \quad (3)$$

вычислено энергетическое положение уровня  $E_{i2}$  (см. таблицу). В формуле (3)  $g_A$  — коэффициент спинового вырождения уровня  $E_{i2}$ . Считается, что  $g_A = 2$ .

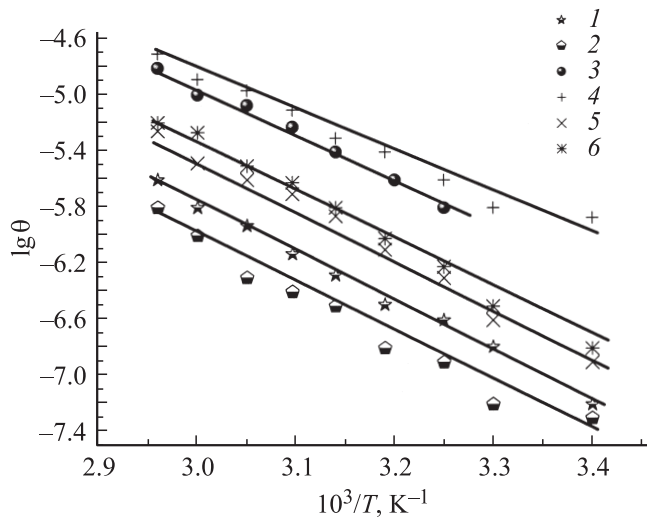
Как видно из рис. 1, a, при напряжениях, превышающих 10–20 В, наблюдается квадратичная зависимость тока от напряжения, т.е. ВАХ подчиняется закону

$$I = \frac{\theta \varepsilon \mu V^2}{L^3}. \quad (4)$$

Уравнение (4) называется ловушечным квадратичным законом и от закона Мотта–Герни или от безловушечного квадратичного закона для идеального диэлектрика отличается наличием множителя  $\theta$ , характеризующего долю свободных носителей от всех инжектированных:

$$\theta = \frac{N_c}{g N_t} \exp\left(\frac{E_t - E_c}{kT}\right). \quad (5)$$

Согласно [7], при этом на ток влияет только один дискретный уровень. Если имеется несколько групп мелких уровней прилипания, что следует ожидать в материалах ХСП, содержащих примеси атомов РЗЭ, то группа с наименьшим значением  $\theta$  наиболее сильно ограничивает ток, и в (4) входит параметр  $\theta$ , связанный именно с этой группой. На рис. 2 показана температурная зависимость  $\theta$ , вычисляемая в районе ВАХ, подчиняющаяся ловушечному квадратичному закону, из которого определена энергия активации ( $E_t$ ) и концентрация



**Рис. 2.** Температурные зависимости параметра  $\theta$ , вычисленные в районе ВАХ, подчиняющейся ловушечному квадратичному закону: 1 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$ , 2 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.005}$ , 3 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.01}$ , 4 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.1}$ , 5 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_{0.5}$ , 6 —  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)_1$ .

мелких ловушек ( $N_t$ ), результаты которых представлены в таблице. Как видно из таблицы, энергия активации уровней прилипания для всех образцов почти одинакова и составляет 0.68–0.69 эВ. Однако примеси  $\text{EuF}_3$  сложно влияют на концентрации ловушечных состояний: малые концентрации примесных атомов (до 0.1 ат%) их уменьшают, а большие концентрации увеличивают. Аналогичным образом примеси галогенов влияют на дрейфовую подвижность носителей заряда, что успешно объясняется в рамках модели заряженных собственных дефектов [8,9].

Принимая, что на участке, где начинается ловушечный квадратичный закон (ЛКЗ), квазиуровень Ферми для дырок ( $F$ ) с точностью до  $kT$  совпадает с  $E_{t1}$ , из уравнения

$$E_{t1} - F_0 \approx F - E_V = kT \ln \frac{N_V}{p_{\text{FCT}}} \quad (6)$$

оценено энергетическое положение уровня  $E_{t1}$ , где  $p_{\text{FCT}}$  — концентрация свободных дырок, инжектированных в образец при напряжении, соответствующем началу участков ЛКЗ ( $V_{\text{FCT}}$ ).

Значения  $p_{\text{FCT}}$  вычислено из формулы

$$V_{\text{FCT}} = \frac{e p_{\text{FCT}} L^2}{\varepsilon}. \quad (7)$$

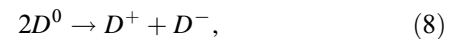
Результаты оценки  $E_{t1}$  также представлены в таблице.

Как видно из таблицы, энергетическое положение  $E_{t1}$  уровня соответствует энергии активации дрейфовой подвижности дырок в аморфном селене, что также свидетельствует о связи указанных состояний с заряженными собственными дефектами  $C_1^-$ , обусловленными оборванными связями селена. Этот факт позволяет

за концентрацию центров с энергией  $E_{t1}(N_{t1})$  принять значение  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  [7], соответствующее плотности локализованных состояний, контролирующих дрейфовую подвижность дырок. Таким образом, из анализа ВАХ в материалах ХСП  $\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)$  выявлены три группы локализованных состояний, параметры которых представлены в таблице. Одна из них — глубокие ( $E_{t2}$ ) находятся выше уровня Ферми, а две мелкие ( $E_t$  и  $E_{t1}$ ) лежат ниже этого уровня.

Влияние примеси  $\text{EuF}_3$  на ВАХ можно объяснить, если привлечь представления, развитые в рамках модели заряженных собственных дефектов [7].

Согласно этой модели, перенос носителей заряда в ХСП контролируется  $U^-$ -центрами, представляющими собой заряженные дефекты  $D^+$  и  $D^-$ , которые образуются из исходных нейтральных дефектов  $D^0$  по реакции



где центры  $D^+$  и  $D^-$  являются ловушками для электронов и дырок. Предполагается, что роль центров  $D^-$  в нашем случае играют центры  $C_1^-$  и  $P_2^-$ , связанные между собой оборванными связями селена и атомами мышьяка с нарушенной координацией соответственно.

При введении в ХСП положительно заряженной примеси  $A^+$  (предполагается, что европий в основном проявляется в виде положительно заряженного иона  $\text{Eu}^{3+}$ ) должен выполняться закон электронейтральности:

$$[A^+] + [D^+] = [D^-]. \quad (9)$$

Согласно закону действующих масс, количественное соотношение между концентрациями заряженных центров определяется выражением

$$[D^+][D^-] = [D^0]^2 = \text{const}. \quad (10)$$

Согласно (9) и (10) при введении положительно заряженной примеси  $A^+$  концентрация центров  $D^+$  должна уменьшаться, а концентрация центров  $D^-$  увеличиваться, что должно влиять на механизмы токопрохождения. Если принять, что перенос дырок в ХСП системы  $\text{Se}_{95}\text{As}_5$  контролируется локальными состояниями, связанными центрами  $D^-$ , то можно объяснить изменения, происходящие в ВАХ при изменении концентрации молекул  $\text{EuF}_3$ . Действительно, при относительно больших концентрациях европия (0.5, 1 ат%) напряжение, при котором наблюдается участок, соответствующий предельному заполнению ловушек, перемещается к высокому значению приложенного напряжения, что свидетельствует о росте концентрации ловушек захвата дырок. Влияние примесей  $\text{EuF}_3$  на ВАХ при малых концентрациях не происходит в рамках модели заряженных собственных дефектов, т.е. в результате участия примеси  $\text{EuF}_3$  уменьшается концентрация как глубоких, так и мелких состояний. Такое же влияние на центры  $D^+$  и  $D^-$  оказывают и примеси галогенов, т.е. примеси галогенов в малых концентрациях уменьшают концентрации собственных

дефектов обоих знаков [5,6,13]. Аналогичное влияние наблюдалось и в настоящей работе и, по-видимому, также обусловлено химической активностью ионов РЗЭ и фтора, способных образовать химические соединения с селеном и мышьяком, в результате чего уменьшается концентрация исходных собственных дефектов.

#### 4. Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что перенос носителей заряда (дырок) в структуре  $\text{Al}-\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)-\text{Te}$  осуществляется по механизму токов монополярной инжекции, ограниченных пространственными зарядами, при участии трех групп ловушек захвата: мелкие ( $E_t$  и  $E_{t1}$ ), соответствующие основному  $E_t$  и возбужденному  $E_{t1}$  состояниям заряженных собственных дефектов  $C_1^-$ , обусловленные оборванными связями селена, и глубокие  $E_{t2}$ , соответствующие также заряженным собственным дефектам  $P_2^-$ , создаваемым атомами мышьяка с нарушенной координацией. Показано, что примеси  $\text{EuF}_3$  в основном влияют на концентрацию ловушек захвата, а их энергетическое положение остается неизменным и не зависит от концентрации вводимых примесей. Малые содержания примеси  $\text{EuF}_3$  (до 0.1 ат%) уменьшают концентрации глубоких ловушек, а большие — (больше чем 0.1 ат%) увеличивают концентрации этих ловушек. Поведение примеси  $\text{EuF}_3$  в малых концентрациях объяснено химической активностью ионов РЗЭ и фтора, способных образовать химические соединения с селеном и мышьяком, в результате чего уменьшается концентрация исходных собственных дефектов. Поведение примеси  $\text{EuF}_3$  в больших концентрациях происходит согласно модели заряженных собственных дефектов [7], т. е. если принять, что примеси РЗЭ в основном проявляются в виде положительно заряженных ионов, то в результате их присутствия концентрация  $U^-$ -центров должна претерпевать изменения — количество  $D^+$ -центров должно уменьшаться, а  $D^-$ -центров увеличиваться, что и действительно было наблюдено.

#### Список литературы

- [1] А.В. Васильев, Г.Г. Девятых, Е.М. Дианов и др. Квант. электрон., **20** (2), 109 (1993).
- [2] G.G. Devyatyth, M.F. Churbanov, I.V. Scripachev et al. J. Optoelectron., **7** (2), 237 (1992).
- [3] V.S. Shiryayev, J.L. Adam, X.H. Zhang et al. J. Non-Cryst. Sol., **336**, 113 (2004).
- [4] K. Wei, D.P. Machewirth, J. Wenzel et al. J. Non-Cryst. Sol., **182**, 257 (1995).
- [5] A.R. Hilton. Chalcogenide Glass Optical Fibers. Proc. SPIE. Infrared Fiber Optics III, **1591**, 34 (1992).
- [6] P.W. Anderson. Phys. Rev. Lett., **34**, 953 (1957).
- [7] Н.Ф. Мотт, Э.А. Девис. *Электронные процессы в некристаллических веществах* (М., Мир, 1982). [Пер. с англ.:

N. Mott, E. Davis. *Electronic processes in non-crystalline solids*].

- [8] Л.П. Казакова, Э.А. Лебедев, А.И. Исаев, С.И. Мехтиева, Н.Б. Захарова, И.И. Ятлинко. ФТП, **27**, 959 (1993).
- [9] L.P. Kazakova, E.A. Lebedev, N.B. Zakharova, I.I. Yatlinko, A.I. Isayev, S.I. Mekhtiyeva. S. J. Non-Cryst. Sol., **167**, 65 (1994).
- [10] A.I. Isayev, S.I. Mekhtiyeva, N.Z. Jalilov, R.I. Alekperov, V.Z. Zeynalov. J. Optoelectron. Adv. Mater.-RC, 1 ISS, **8**, 368 (2007).
- [11] А.И. Исаев, С.И. Мехтиева, С.Н. Гарибова, Р.И. Алекперов, В.З. Зейналов. Transactions (Series of Physical-Mathematical and Technical Sciences Physics and Astronomy), **XXX** (2), 121 (2010).
- [12] E. Voronkov. J. Non-Cryst. Sol., **353**, 2591 (2007).
- [13] М. Ламперт, П. Марк. *Инжекционные токи в твердых телах* (М., Мир, 1973).
- [14] Л.П. Казакова, К.Д. Цендин. ФТП, **33**, 866 (1999).

Редактор Т.А. Полянская

### The currents limited by space charged in glass-like semiconductor of $\text{Se}_{95}\text{As}_5$ system containing $\text{EuF}_3$ impurity

A.I. Isayev, S.I. Mekhtiyeva, S.N. Garibova

Abdullaev Institute of Physics,  
Azerbaijan National Academy of Sciences,  
Az-1143 Baku, Azerbaijan

**Abstract** It is established that transfer of charge carriers (holes) in  $\text{Al}-\text{Se}_{95}\text{As}_5(\text{EuF}_3)-\text{Te}$  structure has been carried out by monopolar injection current mechanism limited by space charged with two groups of capture traps — shallow ( $E_t$ ,  $E_{t1}$ ) corresponding to charged intrinsic defects  $C_1^-$ , due to the broken bounds of Se and deep ( $E_{t2}$ ) also corresponding to charged intrinsic defects  $P_2^-$  due to As atoms with broken coordination. It is shown that  $\text{EuF}_3$  impurity influence heavily on concentration of capture traps, especially they influence on traps located about Fermi level.