

Металлургия. Материаловедение Metallurgy. Material Science

Научная статья

УДК 546

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29210>



Л.Н. Блинов, Н.И. Крылов, В.В. Полякова ✉

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

✉ werpolka@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНА И ОКСИДА СВИНЦА

Аннотация. Представлены результаты исследования физико-химических характеристик стеклообразных и кристаллических полупроводников и полупроводниковых материалов на основе PbO-Se. Показано, что для эффективной работы безвакуумных фотоэлектрических преобразователей (БФЭП), обладающих памятью, требуются накопители информации, состоящие из высокочувствительного записывающего слоя и высокоомного запоминающего слоя. По данным теоретических научных и прикладных исследований для эффективной работы такого типа БФЭП с памятью требуется создание многослойных неорганических накопителей видеоинформации с непрерывной структурой. В нашем случае была выбрана система оксид свинца (II) – селен. Проведенные исследования позволили авторам выяснить ряд закономерностей, показывающих влияние технологии изготовления накопителей, в частности температуры подложки, режима напыления, остаточного давления паров в системе, параметров подслоя и качества исходного материала на электрофизические параметры фотоэлектрических преобразователей.

Ключевые слова: тонкие слои PbO-Se; технология получения; вольтамперные характеристики; освещенность; токи, ограниченные пространственными зарядами (ТОПЗ); однослойные и двухслойные накопители информации; электрофизические параметры; видеосигналы.

Для цитирования:

Блинов Л.Н., Крылов Н.И., Полякова В.В. Исследование ряда электрофизических свойств полупроводниковых накопителей видеоинформации на основе селена и оксида свинца // Глобальная энергия. 2023. Т. 29, № 2. С. 150–161. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29210>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29210>*L.N. Blynov, N.I. Krylov, V.V. Polyakova* ✉Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia✉ werpolka@list.ru

INVESTIGATION OF SOME ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR VIDEO INFORMATION STORAGE BASED ON SELENIUM AND LEAD OXIDE

Abstract. The results of a study of the physicochemical characteristics of glassy and crystalline semiconductors and semiconductor materials based on PbO-Se are presented. It is shown that for the efficient operation of vacuumless photovoltaic converters (PVCs) with memory, information storage devices are required, consisting of a highly sensitive recording layer and a high-resistance storage layer. According to the data of theoretical scientific and applied research, effective operation of this type of PVC with memory requires creating multilayer inorganic video information storage devices with a continuous structure. In our case, the lead (II) oxide – selenium system was chosen. The conducted studies allowed the authors to find out a number of regularities that reveal the influence of storage technology, in particular, substrate temperature, deposition mode, residual vapor pressure in the system, sublayer parameters and quality of the source material on the electrophysical parameters of photovoltaic converters.

Keywords: thin layers of PbO-Se; production technology; current-voltage characteristics; illumination; currents limited by space charges (CLSC); single-layer and double-layer storage media; electrophysical parameters; video signals.

Citation:

L.N. Blynov, N.I. Krylov, V.V. Polyakova, Investigation of some electrophysical properties of semiconductor video information storage based on selenium and lead oxide, *Global Energy*, 29 (02) (2023) 150–161, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29210>

Введение. Аморфные и стеклообразные материалы, являясь исходными материалами при создании различных приборов, изделий и устройств, занимают значительную долю в общем исследовании в области неорганической химии, радиоэлектроники, квантовой электроники, научного материаловедения¹.

За последние годы в связи с разработкой новых типов безвакуумных фотоэлектрических преобразователей (БФЭП), существенно расширился круг работ по исследованию физико-химических характеристик тонких слоев и пленок стеклообразных, аморфных и кристаллических неорганических материалов [1–3]. Для эффективной работы такого типа БФЭП с памятью требуется, по данным теоретических научных и прикладных исследований, создание многослойных неорганических накопителей видеoinформации с непрерывной структурой^{2,3}. Такие накопители видеoinформации должны состоять из высокочувствительного и малоинерционного записывающего полупроводникового фотослоя и высокоомного запоминающего слоя на основе неорганических материалов, обладающего длительным временем консервации изображения [3].

¹ Иванов В.Г. Квантово-оптические устройства. Физические основы функционирования и принципы построения приемников излучения / В.Г. Иванов, А.А. Каменев, В.М. Гусаков, Д.В. Найшулер. – СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2017. – 286 с.

² Байдаков А.А., Блинов Л.Н. Твердое тело: аморфное состояние вещества. Л.: Изд-во ЛПИ, 1984. С. 62–63.

³ Блинов Л.Н. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. х. н., Свердловск, 1991. С. 24.

В настоящей статье приводятся результаты исследований некоторых характеристик одного из возможных вариантов накопителя информации на основе селена и оксида двухвалентного свинца, полученные на основе усовершенствованных разработанных ранее технологий, методик, схем, устройств и подходов [1, 3, 4].

Объекты исследования и результаты измерений

В наших исследованиях в качестве подложек для накопителей использовались полированные стеклянные пластины с термически напыленным подслоем диоксида олова, толщиной 1–2 мкм, прозрачностью 0,9, и удельным поверхностным сопротивлением 150–500 ом/квadrat. Однослойные слои на основе селена марки не ниже В-5 изготавливались методом конденсации в вакууме 10^{-5} торр на подслое диоксида олова толщиной 20 мкм. Двухслойные накопители информации изготавливались методом последовательного напыления в вакууме 10^{-5} торр на диоксид олова слоев оксида свинца толщиной 10 мкм и селена по модифицированной методике [4]. Исходным материалом для оксида свинца служила его желтая модификация марки «4DA». Температура подложки во время напыления PbO была 20° С. При напылении использовался платиновый испаритель согласно технологии [1, 3].

После конденсации полученные гладкие слои с выраженным недостатком кислорода подвергались так называемому очувствлению. Последнее заключалось в термообработке полученных слоев на воздухе в трубчатой печи при температуре 300° С в течение 30–60 минут. Затем по разработанным нами технологиям на полученный фоточувствительный слой оксида свинца наносился в вакууме, как уже указывалось, слой селена [1, 5]. Температура подложки и вакуума при испарении Se поддерживались такими же, как и в случае PbO. Первая порция селена наносилась при большей температуре испарителя, чем последующие, что позволяло повысить сопротивление всего селенового слоя⁴.

По приведенной методике получаемые слои PbO имели удельное сопротивление 10^{10} – 10^{12} Ом·см, диапазон спектральной чувствительности 400–720 нм с максимумом при 550 нм и кратностью до $3 \cdot 10^2$ при 300 Лк. Селеновые слои имели удельное сопротивление 10^{14} Ом·см, диапазон спектральной чувствительности 300–600 нм с максимумом при ~ 400 нм и кратностью 10–100 при той же освещенности. Такой подбор характеристик составных частей двухслойного накопителя был проведен с целью уменьшения влияния ёмкостных, шунтирующих эффектов, чтобы не происходило пропадания потенциального рельефа [2].

Для изучения некоторых электрофизических характеристик на верхний слой селена наносились в вакууме электроды из алюминия. Отношение толщины пленок селена к полученным пленкам оксида свинца в изучаемых накопителях было от 1:1 до 1:2 [1, 3].

Изучение вольтамперных характеристик слоев оксида свинца, селена и двойных слоев PbO-Se показало наличие во всех случаях на ВАХ омического участка ($\tau \sim v$) и появление при больших напряженностях $v > 10^3$ В / см. Влияния токов, ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ), где $\tau \sim v^2$. Для двойной системы и ее составных частей ВАХ имела вид, как показано на рис. 1, причем при исследовании слоев в режиме сопротивления экспериментально наблюдались только участки 1 и 2.

Исследованные люксамперные характеристики как однослойных, так и двухслойных полупроводниковых слоев имели вид зависимости $\tau \sim E^\lambda$, т.е. ток пропорционален освещенности в степени λ . Для слоев PbO λ составляло 0,4 – 0,5. В двойной системе, за счет появления селенового слоя наклон увеличивался до $\lambda = 0,8$ в интервале освещенности от единиц до сотен Лк.

Исследование спектральных характеристик однослойных и двухслойных полупроводниковых структур проводилось в электрофотографическом режиме по модифицированной методике [6]. Было установлено, что при действии излучения со стороны селенового слоя область спектраль-

⁴ Блинов Л.Н. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.х.н., Свердловск, 1991. – С. 25–26.

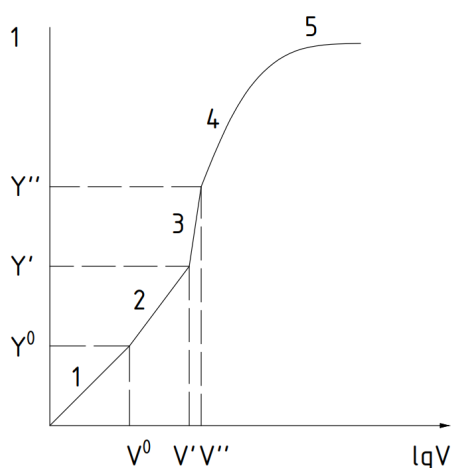


Рис. 1. Вольтамперная характеристика при наличии ТОПЗ, где
1 – омический участок; 2 – участок ТОПЗ в присутствии ловушек; 3 – участок в случае
«предельного заполнения» ловушек; 4 – отсутствие влияния ловушек; 5 – участок насыщения

Fig. 1. Current-voltage characteristic in the presence of CLSC, where
1 – ohmic section; 2 – area CLSC in the presence of traps; 3 – area in the case of "limiting filling" of traps;
4 – no influence of traps; 5 – area of saturation

ной чувствительности двухслойных накопителей в основном определялось областью спектральной чувствительности аморфного селена. Абсолютная величина чувствительности двухслойных накопителей при использованном отношении толщин селена и оксида свинца 1:1 и освещении со стороны селенового слоя находится между величиной чувствительности селена и оксида свинца.

Для изучения ряда электрофизических свойств полученных слоев использовалась схема электризации двухслойных накопителей (рис. 2), а для исследования некоторых электрофизических телевизионных параметров – блок схема (рис. 3).

Однослойный накопитель сначала электризовался импульсом коронного разряда до потенциала насыщения, затем на него записывалось от источника типа «А» изображение штриховой испытательной таблицы или черно-белого перепада⁵. После окончания записи накопитель перемещался последовательно под измерительную головку электродинамического электрометра и считывающего электрода, где производилось соответственно измерение записанного потенциального рельефа и преобразование его в видеосигнал.

При работе с двухслойным накопителем импульсная электризация и запись изображения осуществлялись либо одновременно, либо с заданным сдвигом по времени.

Светочувствительность накопителей рассчитывалась из произведения освещенности на длительность действия импульса записи. Время памяти определялось по времени полуспада потенциала с черно-белой границы при максимальной засветке. Область спектральной чувствительности оценивалась сравнением эффективности процесса записи с эффективностью процесса считывания источником типа «С» (проекционная трубка с максимумом светности в области $\lambda = 390 - 410$ нм). При оценке разрешающей способности, количества передаваемых градаций и контрастной чувствительности использовались стандартные испытательные таблицы и градационные клинья [1, 3].

На рис. 4 приведены по усовершенствованной нами методике [1, 3] результаты по изучению кинетики спада амплитуды видеосигнала при однострочном режиме считывания для накопителей информации на основе селена (1) и оксида свинца-селен (2) при 50% модуляции, а на

⁵ Блинов Л.Н. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.х.н., Свердловск, 1991. – С. 3–4.

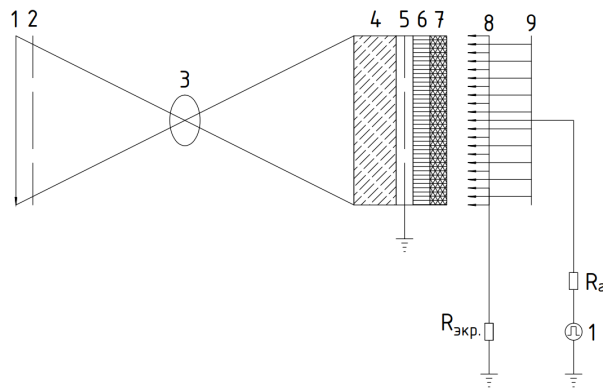


Рис. 2. Схема электризации двухслойного накопителя: 1 – проектируемое изображение; 2 – затвор; 3 – проекционное устройство; 4 – подложка накопителя, прозрачная для используемого спектрального диапазона; 5 – слой диоксида олова; 6 – слой фотопроводника; 7 – слой высокоомного фотопроводника или селена; 8 – коронирующие проволоочки; 9 – экранирующие пластинки; 10 – генератор высоковольтных импульсов; $R_{\text{экp}}$ – гасящее сопротивление в цепи экрана; $R_{\text{г}}$ – гасящее сопротивление

Fig. 2. Scheme of electrification of a two-layer drive: 1 – projected image; 2 – shutter; 3 – projection device; 4 – drive substrate, transparent for the used spectral range; 5 – a layer of tin dioxide; 6 – layer of photoconductor; 7 – layer of high-resistance photoconductor or selenium; 8 – corona wires; 9 – shielding plates; 10 – high-voltage pulse generator; R_{ecr} – quenching resistance in the screen circuit; R_{g} – quenching resistance

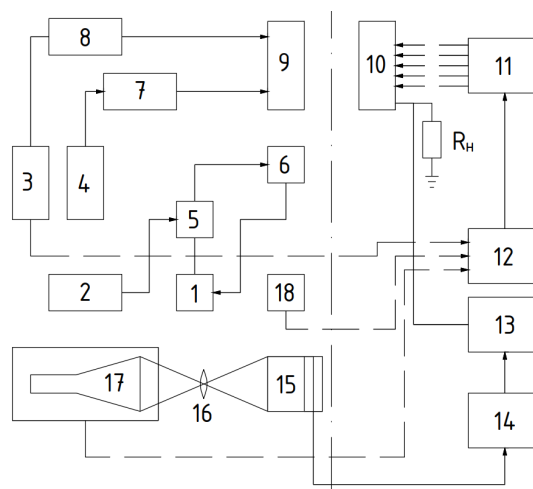


Рис. 3. Блок-схема экспериментального устройства: 1 – милливольтметр В3-3; 2 – звуковой генератор Г3-3; 3 и 4 – высоковольтные импульсные генераторы, соответственно: 5-15 кВ и 0,5-3 кВ; 5 – согласующий трансформатор; 6 – электродинамический электродметр; 7 и 8 – пакеты высоковольтных сопротивлений; 9 – коронирующая планшайба «диодной» либо «триодной» структуры; 10 – «однослойный» либо «двухслойный» накопитель; 11 – проекционное устройство; 12 – устройство автоматизации и управления; 13 – осциллоскоп С1-13 (С1-19); 14 – усилитель; 15 – считывающий электрод; 16 – объектив; 17 – блок трубки; 18 – устройство стирания

Fig. 3. Block diagram of the experimental device: 1 – millivoltmeter V3-3; 2 – sound generator G3-3; 3 and 4 – high-voltage pulse generators, respectively: 5-15 kV and 0.5-3 kV; 5 – matching transformer; 6 – electrodynamic electrometer; 7 and 8 – packages of high-voltage resistances; 9 – corona faceplate of “diode” or “triode” structure; 10 – “single-layer” or “two-layer” drive; 11 – projection device; 12 – automation and control device; 13 – oscilloscope C1-13 (C1-19); 14 – amplifier; 15 – reading electrode; 16 – lens; 17 – tube block; 18 – erasing device

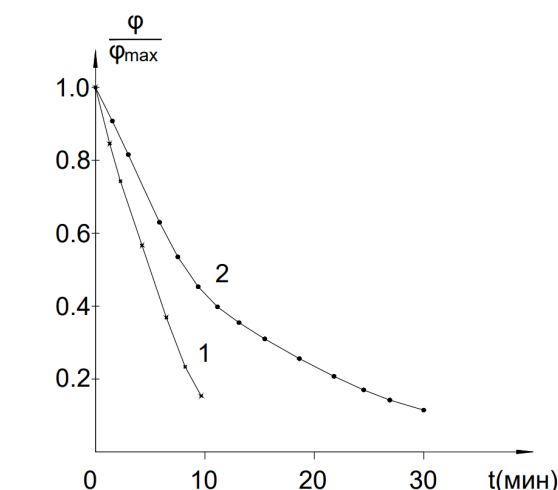


Рис. 4. Кривая спада амплитуды черно-белого перепада (при наличии сигнала с 50% модуляцией):
1 – слой на основе Se; 2 – слой на основе PbO-Se

Fig. 4. Curve of the decay of the amplitude of the black-and-white drop (in the presence of a signal with 50% modulation):
1 – layer based on Se; 2 – layer based on PbO-Se

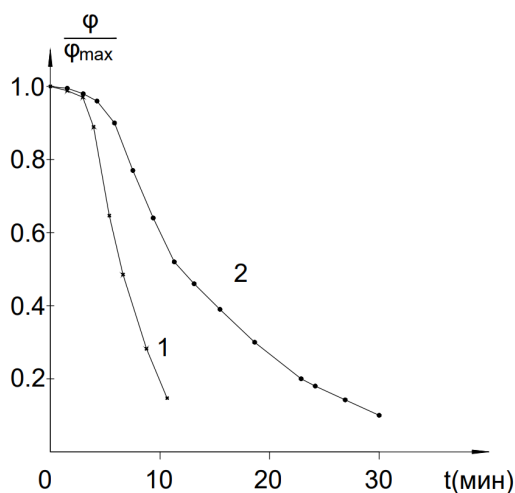


Рис. 5. Кривая спада амплитуды видеосигнала от миры при однострочном режиме считывания при 50% модуляции: 1 – слой на основе Se; 2 – слой на основе PbO-Se

Fig. 5. The curve of the decrease in the amplitude of the video signal from the target in the single-line readout mode at 50% modulation: 1 – layer based on Se; 2 – layer based on PbO-Se

рис. 5 – кривая спада амплитуды черно-белого перепада при той же модуляции для тех же образцов согласно модифицированным технологиям.

На рис. 6 приведены данные по исследованию величины спада видеосигнала от миры при однострочном режиме считывания, когда величина модуляции сигнала составляла 100% и численные величины сигналов от черно-белого перепада и миры были равны [3, 5, 6].

На рис. 7 приведены данные по изменению величины амплитуды осциллограммы от числа считываний n при периодической импульсной засветке двухслойного накопителя УФ излучением со стороны селенового слоя в однострочном режиме считывания. Характер изменения величины сигнала на однослойных селеновых накопителях при аналогичных условиях имел аналогичный ход.

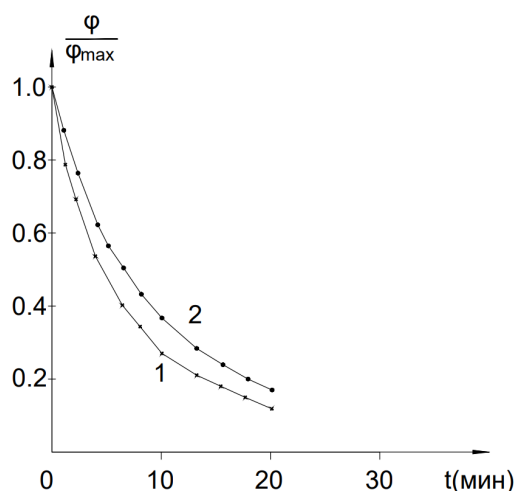


Рис. 6. Кривая спада амплитуды видеосигнала от миры при однострочном режиме считывания (100% модуляция): 1 – слой на основе Se; 2 – слой на основе PbO-Se

Fig. 6. Curve of the decrease in the amplitude of the video signal from the target in the single-line readout mode (100% modulation): 1 – layer based on Se; 2 – layer based on PbO-Se

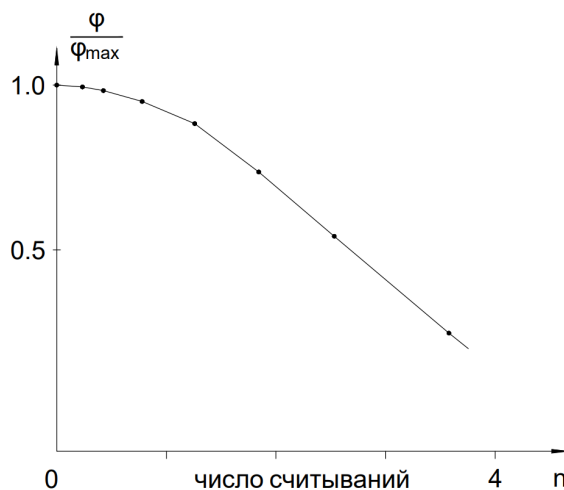


Рис. 7. Кривая изменения величины амплитуды видеосигнала от числа считываний при однострочном считывании на слое PbO-Se

Fig. 7. Curve of the change in the amplitude of the video signal from the number of readouts in single-line reading on the PbO-Se layer

Как видно из рис. 4–6, кривые спада величины сигнала (т.е. в конечном итоге величины потенциального рельефа) различаются для однослойного накопителя на основе селена и двухслойного – на основе оксида свинца и селена, причем у двухслойного накопителя скорость изменения указанных величин изменяется медленнее. Кроме того, при различии величины амплитуд сигналов от миры и от черно-белого перепада (см. рис. 5 и 6) меняется характер изменения величины сигнала, особенно на первоначальном участке. Однако и в этом случае ход изменения потенциального рельефа на двухслойном накопителе отличается от зависимости на однослойном накопителе (рис. 5).

Такое различие становится меньше при равенстве величины сигналов от миры и черно-белого перепада, однако все же остается выше погрешности измерений (рис. 6).

Указанные отличия в изучаемых характеристиках на двухслойных и однослойных накопителях можно объяснить различием структуры накопителей. Наш опыт работы по изготовлению раз-

личных слоев и структур на базе стеклообразных и кристаллических материалов [1, 3] позволяет полагать, что структуры указанных накопителей различаются.

Для двухслойных накопителей слой оксида состоит, как показали анализы, из трех различных по химическому составу так называемых подслоев. При этом нижний подслой, контактирующий с подложкой, имеет формулу PbO_{1-x} ($x > 0$), средний – $PbO_{1,0}$ и верхний – PbO_{1+x} ($x > 0$) [9, 10]. Отжиг на воздухе способствует упорядочению аморфной структуры оксидов свинца и появлению определенной концентрации кристаллической фазы. Это скажется на формировании селенового слоя, особенно его самых первых подслоев, что вызовет появление некоторой упорядоченности в конденсирующихся молекулах селена, имеющий сложный состав [1, 8].

К тому же, первоначальное увеличение скорости испарения навески селена вызовет обогащение его первых слоев кислородными соединениями селена, поскольку упругость пара оксидов селена больше упругости пара чистого селена [3, 8]. Все это может способствовать появлению кристаллической фазы в первых слоях селена.

Следует также отметить, что при конденсации селена может иметь место взаимодействие свободных радикалов селеновых цепочек с поверхностными связями слоя оксида свинца⁶. Кроме того, скорость охлаждения сконденсированного селена на SnO_2 в случае однослойных накопителей и на PbO в случае двухслойных накопителей будет разной вследствие различия в теплопроводности. Данное обстоятельство также может изменить соотношение аморфной и кристаллической модификации селена в случае двухслойных полупроводниковых структур.

Наличие двухслойной структуры с высокоомным верхним слоем может привести к образованию объемного заряда экранирования [6, 8], что скажется в уменьшении величины спада потенциала при освещении (см. рис. 5, 7).

Помимо этого, в двухслойных полупроводниковых структурах на основе PbO - Se существенную роль будут играть уровни прилипания [3], поскольку аморфизация вещества вызывает размытие краев валентной зоны и зоны проводимости и появление энергетических уровней в запрещенной зоне. (Схематически это можно представить так, как показано на рис. 8)⁷. Для неупорядоченных полупроводниковых веществ, имеющих разветвленную систему центров прилипания (см. рис. 8), существенную роль будут играть процессы перезарядки этих локальных центров. Для детального анализа работы уровней прилипания необходимо знать конкретный механизм движения носителей⁸.

Определенный вклад в различие свойств двухслойных и однослойных структур могут внести межкристаллические барьеры, возможность появления которых в двухслойных структурах значительно больше, чем в однослойных при одинаковых условиях. Причиной образования потенциальных барьеров в слоях оксида свинца может служить и адсорбированный кислород на поверхности кристаллитов.

Некоторое первоначальное замедление скорости спада величины амплитуды сигнала при периодической засветке слоя (рис. 5, 7) можно попытаться объяснить тем фактом, что первоначально генерируемые носители нейтрализуют объемный заряд [9]. С уменьшением величины электрического поля явления прилипания и рекомбинации носителей тока могут также вызвать уменьшение фототока, что возможно объясняет характер изменения хода кривой 2 на рис. 5. Таким образом, наблюдаемое размытие в изучаемых характеристиках между двухслойными и однослойными полупроводниковыми структурами, по видимому, в основном определяется особенностями структурно-химического строения накопителей информации⁹.

⁶ Блинов Л.Н. Моделирование, синтез и исследование новых стеклообразных и кристаллических материалов. – СПб.: Изд. Политехн. ун-та, 2010. – С. 7–9.

⁷ Байдаков Л.А., Блинов Л.Н. Твердое тело: аморфное состояние вещества. Л.:Изд-во ЛПИ, 1984. С. 50.

⁸ Байдаков Л.А., Блинов Л.Н. Твердое тело: аморфное состояние вещества. Л.: Изд-во ЛПИ, 1984. С. 52–54.

⁹ Иванов В.Г. Квантово-оптические устройства. Физические основы функционирования и принципы построения приемников излучения / В.Г. Иванов, А.А. Каменев, В.М. Гусаков, Д.В. Найшулер. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 286 с.

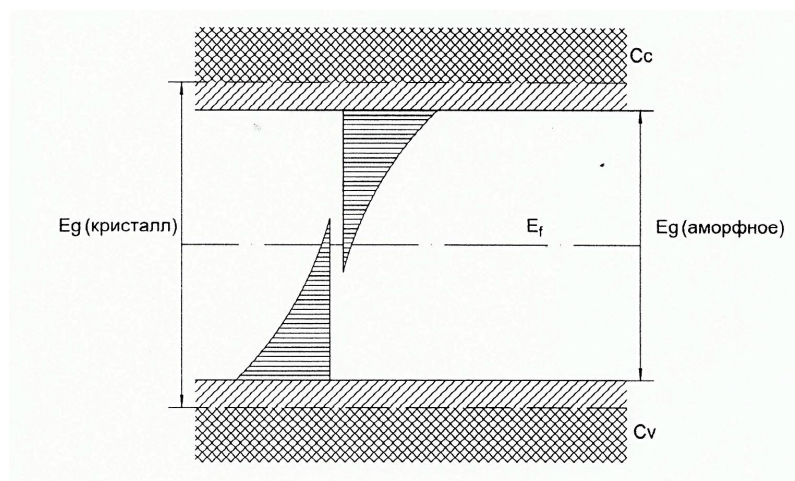


Рис. 8. Энергетическая структура запрещенной зоны аморфного полупроводника
 Fig. 8. Energy structure of the band gap of an amorphous semiconductor

В результате проведенных исследований установлено:

Для создания селеновых слоев накопителей наиболее пригодным оказался селен марки В-5.

При вакууме 10^{-5} мм рт. ст. и температурах подложек $40-50^{\circ}\text{C}$ скорость конденсации селена не должна превышать $0,2$ мкм/мин.

С понижением температуры подложек необходимо увеличивать скорость конденсации селена. Так, например, при $T_n = 15-20^{\circ}\text{C}$ скорость осаждения должна быть приблизительно $2,0$ мкм/мин.

При $T_n = 40-50^{\circ}\text{C}$ и скорости конденсации $0,2$ мкм/мин образуются селеновые слои накопителей с удельным темновым сопротивлением порядка $10^{12} - 10^{13}$ Ом·см, временем памяти $5-10$ мин, разрешающей способностью до 10 лин/мм при соотношении сигнал/шум $- 10$, чувствительностью $1-10$ Лк·сек, кратностью $- 100 - 150$ и областью спектральной чувствительности $500-900$ нм.

При $T_n = 15-20^{\circ}\text{C}$ и скорости конденсации $2,0$ мкм/мин образуются слои с удельным сопротивлением порядка $10^{13} - 10^{14}$ Ом·см, временем памяти $20 - 40$ мин, разрешающей способностью $25 - 35$ лин/мм при отношении сигнал/шум $40 - 50$ и областью спектральной чувствительности $350 - 450$ нм. Однако такие слои обладают малой кратностью $- 7 - 10$ и слабой чувствительностью $- 50 - 100$ Лк·сек.

Повышение скоростей конденсации в обоих случаях приводит к образованию неустойчивых слоев, которые под многократным действием коронного разряда меняют свои выходные параметры, стремясь к трем определенным значениям, что свидетельствует, вероятно, о возможном переходе различных модификаций аморфного селена в три модификации.

При длительном воздействии температуры и коронного разряда неустойчивые модификации селена переходят в соответствующие кристаллические модификации, различающиеся потенциалами насыщения, удельными сопротивлениями и кратностями.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить ряд закономерностей, связывающих влияние технологии изготовления накопителей, в частности, температуры подложки, режима напыления, остаточного давления паров в системе, параметров подслоя и качества исходного материала на электрофизические параметры фотоэлектрических преобразователей.

Для более полного и однозначного анализа и выводов необходимо комплексное исследование двойных структур и их составляющих, включая масс-спектрометрию, РФА, ЭПР-спектрометрию

в широком температурном интервале, а также с привлечением методов специальных математических вычислений [3, 10–13]. Кроме того, мы продолжаем исследования по изучению физико-химических свойств неорганических стеклообразных и кристаллических диамагнетиков нанометрового диапазона¹⁰. Они показали, что ряд р-элементов, к которым относятся селен, кислород и свинец способны изменять свои характеристики, в том числе и электростатические в тонких слоях при получении безвакуумных фотоэлектрических преобразователей БФЭП [14, 15].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

[1] **Блинов Л.Н.** Халькогенидные стеклообразные материалы в Политехническом: монография / Л.Н. Блинов, А.В. Семенча. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 280 с.

[2] **Крылов Н.И., Блинов Л.Н., Полякова В.В.** Галогенхалькогенидные и оксигалогенидные полупроводниковые и диэлектрические стекла: получение и свойства // Физика и химия стекла. 2021. Т. 47. № 6. С. 641–645.

[3] **Клинков В.А.** Оптические и магнетохимические свойства неклассических стеклообразных материалов. / В.А. Клинков, А.В. Семенча, Л.Н. Блинов – СПб.: Изд-во ВВМ, 2021. 124 с.

[4] **Адлер Д.** Приборы на аморфных полупроводниках // Успехи физических наук. 1978. Т. 125, № 4. С. 707–730.

[5] **Андреев О.П., Блинов Л.Н., Мохов Ю.Н.** Влияние технологии изготовления полупроводниковых накопителей ФЭП на их телевизионные параметры // IV Всесоюзная конференция по ЭЛП и ФЭП. 1971. Вып. 5 (31), Т. V. С. 314–317.

[6] **Андреев О.П., Блинов Л.Н., Мохов Ю.Н.** Импульсный метод записи оптического изображения на безвакуумные накопители видеoinформации // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по телевизионной технике. Л., 1970. 135 с.

[7] **Блинов Л.Н., Григорьева В.П., Курчевская Е.О., Орлов Ю.Ф., Соколова М.А.** Зависимость электрофизических характеристик фракционно напыленных слоев для элементов ФЭП от состава смешанных теллуридов свинца и олова // Материалы V Всесоюзной научно-технической конференции по электронно-лучевым и фотоэлектрическим приборам. Вып.1 (II), секция V. М.: Изд-во ЦНИИ «Электроника», 1973. 48 с.

[8] **Blinov L.N., Semencha A.V.** Mass Spectrometry of Chalcogenide Glass and Carbon Nitrides // Glass Physics and Chemistry. 2019. V. 45, № 6. P. 428–438.

[9] **Фридкин В.М.** Физические основы электрофотографического процесса. М-Л: Изд-во «Энергия», 1966.

[10] **Блинов Л.Н., Крылов Н.И., Хватов Ю.А.** Методы математических вычислений в понятиях и законах химии // Материаловедение. Энергетика. 2022. Т. 28. № 2. С. 18–28.

[11] **Фельц А.** Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: Мир, 1986. 558 с.

[12] **Блинов Л.Н.** Химия и физика халькогенидных, галогенхалькогенидных и фуллеренхалькогенидных стеклообразных материалов. СПб.: СПбГПУ, 2003. 210 с.

[13] **Блинов Л.Н., Семенча А.В., Крылов Н.И.** Получение чистых аморфных пленок стеклометрического состава As₂S₃ // Физика и химия стекла. 2017. Т. 44. № 1. С. 75–77.

[14] **Блинов Л.Н., Полякова В.В.** О корреляции между использованием составляющих магнитной восприимчивости валентных электронов и алгоритмом поиска стеклообразных и кристаллических диамагнетиков нанометрового диапазона, применяемых в медицине // Сборник докладов III Российской конференции с международным участием. СПб.: Изд-во ИХС РАН, 2021. С. 194.

[15] **Блинов Л.Н., Перфилова И.Л., Полякова В.В.** Применение неорганических наноматериалов в медицине: перспективные направления, риски, прогнозирование новых составов // Медицинский научно-практический журнал. 2022. Т. 16. № 3. С. 1169–1174.

¹⁰ Блинов Л.Н. Толковый словарь по нанохимии, наноматериалам, наномедицине и другим нанонаукам / Л.Н. Блинов, В.В. Полякова, И.Л. Перфилова. – СПб.: Политех-Пресс. 2022. С. 70–72.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЛИНОВ Лев Николаевич – профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, д-р хим. наук.

E-mail: blinov_ln@spbstu.ru

КРЫЛОВ Николай Иванович – доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, канд. хим. наук.

E-mail: nikkrylov49@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1256-1131>

ПОЛЯКОВА Вера Витальевна – доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, канд. техн. наук.

E-mail: werpolka@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4381-9836>

REFERENCES

- [1] L.N. Blinov, Khalkogenidnyye stekloobraznyye materialy v Politekhicheskom: monografiya / L. N. Blinov, A. V. Semencha. SPb.: POLITEKKh-PRESS, 2019. 280 s.
- [2] N.I. Krylov, L.N. Blinov, V.V. Polyakova, Galogenkhalkogenidnyye i oksigalogenidnyye poluprovodnikovyye i dielektricheskiye stekla: polucheniye i svoystva // Fizika i khimiya stekla. 2021. T. 47. № 6. S. 641–645.
- [3] V.A. Klinkov, Opticheskiye i magnetokhimicheskiye svoystva neklassicheskikh stekloobraznykh materialov / V.A. Klinkov, A.V. Semencha, L.N. Blinov – SPb.: Izd-vo VVM, 2021. 124 s.
- [4] D. Adler, Pribory na amorfnykh poluprovodnikakh // Uspekhi fizicheskikh nauk. 1978. T. 125, № 4. S. 707–730.
- [5] O.P. Andreyev, L.N. Blinov, Yu.N. Mokhov, Vliyaniye tekhnologii izgotovleniya poluprovodnikovyx napopiteley FEP na ikh televizionnyye parametry // IV Vsesoyuznaya konferentsiya po ELP i FEP. 1971. Vyp. 5 (31), T. V. S. 314–317.
- [6] O.P. Andreyev, L.N. Blinov, Yu.N. Mokhov, Impulsnyy metod zapisi opticheskogo izobrazheniya na bezvakuumnyye napopiteliye videoinformatsii // Tezisy dokladov Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po televizionnoy tekhnike. L., 1970. 135 s.
- [7] L.N. Blinov, V.P. Grigoryeva, Ye.O. Kurchevskaya, Yu.F. Orlov, M.A. Sokolova, Zavisimost elektrofizicheskikh kharakteristik fraktsionno napylennykh sloeyev dlya elementov FEP ot sostava smeshannykh telluridov svintsa i olova // Materialy V Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po elektronno-luchevym i fotoelektricheskim priboram. Vyp.1 (II), sektsiya V. M.: Izd-vo TsNII «Elektronika», 1973. 48 s.
- [8] L.N. Blinov, A.V. Semencha, Mass Spectrometry of Chalcogenide Glass and Carbon Nitrides // Glass Physics and Chemistry. 2019. V. 45, № 6. P. 428–438.
- [9] V.M. Fridkin, Fizicheskiye osnovy elektrofotograficheskogo protsessa. M-L: Izd-vo «Energiya», 1966.
- [10] L.N. Blinov, N.I. Krylov, Yu.A. Khvatov, Metody matematicheskikh vychisleniy v ponyatiyakh i zakonakh khimii // Materialovedeniye. Energetika. 2022. T. 28. № 2. S. 18–28.
- [11] A. Felts, Amorfnyye i stekloobraznyye neorganicheskiye tverdyye tela. M.: Mir, 1986. 558 s.
- [12] L.N. Blinov, Khimiya i fizika khalkogenidnykh, galogenkhalkogenidnykh i fullerenkhalkogenidnykh stekloobraznykh materialov. SPb.: SPbGPU, 2003. 210 s.
- [13] L.N. Blinov, A.V. Semencha, N.I. Krylov, Polucheniye chistykh amorfnykh plenok steklometricheskogo sostava As₂S₃ // Fizika i khimiya stekla. 2017. T. 44. № 1. S. 75–77.
- [14] L.N. Blinov, V.V. Polyakova, O korrelyatsii mezhdu ispolzovaniyem sostavlyayushchikh magnitnoy vospriimchivosti valentnykh elektronov i algoritmom poiska stekloobraznykh i kristallicheskikh diamagnetikov

nanometrovoogo diapazona, primenyayemykh v meditsine // Sbornik dokladov III Rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. SPb.: Izd-vo IKhS RAN, 2021. S. 194.

[15] **L.N. Blinov, I.L. Perfilova, V.V. Polyakova**, Primeneniye neorganicheskikh nanomaterialov v meditsine: perspektivnyye napravleniya, riski, prognozirovaniye novykh sostavov // Meditsinskiy nauchno-prakticheskiy zhurnal. 2022. T. 16. № 3. S. 1169–1174.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lev N. BLYNOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: blinov_ln@spbstu.ru

Nikolay I. KRYLOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: nikkrylov49@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1256-1131>

Vera V. POLYAKOVA – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: werpolka@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4381-9836>

Поступила: 13.03.2023; Одобрена: 14.05.2023; Принята: 15.05.2023.

Submitted: 13.03.2023; Approved: 14.05.2023; Accepted: 15.05.2023.