

Исследование характеристик фоторезисторов на основе гидрохимически осажденных пленок твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$

© Х.Н. Мухамедзянов[¶], В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина,
620002 Екатеринбург, Россия

(Получена 4 июня 2012 г. Принята к печати 15 июня 2012 г.)

Разработаны экспериментальные образцы фоторезисторов на основе полупроводниковой пленки твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, полученной по технологии послойного осаждения индивидуальных селенидов свинца и олова (II) с последующей термоактивацией. Исследованы структура и морфология тонкопленочных композиций $(SnSe-PbSe)_2$. Изучены температурные зависимости темнового сопротивления, сигнала, шумов и их соотношения, а также частотные и спектральные характеристики фоторезисторов, изготовленных на основе пленок $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, в диапазоне 205–300 К. Определены оптимальные значения напряжения смещения. Показано, что для фоторезисторов на основе $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ положение максимума и правой границы фотоответа сдвигается по сравнению с $PbSe$ в длинноволновую область спектра на 0.7 мкм. Полученное при 230 К максимальное значение обнаружительной способности исследованных фоторезисторов (2.0×2.0 мм) составило $9 \cdot 10^9$ см \cdot Вт $^{-1}$ Гц $^{1/2}$. Показаны преимущества использования фоторезисторов на основе пленок $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ по сравнению с $PbSe$ в спектральном диапазоне 3.0–5.5 мкм.

1. Введение

Создание новых фоточувствительных материалов для среднего и дальнего инфракрасных (ИК) диапазонов (3–14 мкм) является актуальной задачей в развитии современной инфракрасной техники [1–5]. Используемые в этих диапазонах в настоящее время фотоприемники на основе $CdHgTe$ и $PbSnTe$ сложны в изготовлении и им характерна нестабильность свойств. Альтернативными материалами являются твердые растворы замещения в системе селенид свинца–селенид олова (II) [6–8]. Им присуща инверсия зон проводимости при формировании общей структуры $PbSe-SnSe$, обуславливающая уменьшение ширины запрещенной зоны твердого раствора с увеличением содержания в нем селенида олова, приводящее к сдвигу диапазона спектральной чувствительности длинноволновую область ИК спектра [9,10]. Для получения твердых растворов $PbSnSe$ перспективен метод гидрохимического осаждения, не требующий сложного технологического оборудования и хорошо апробированный для получения слоев селенида свинца [11–13]. В выполненных нами ранее работах определены условия синтеза пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($0 < x < 0.132$) путем совместного [14] и послойного [15] гидрохимического осаждения индивидуальных селенидов свинца и олова (II) с их последующей термообработкой на воздухе. Однако исследование фотоэлектрических параметров изготовленных на их основе фоторезисторов (ФР) проведено не было.

Цель данной работы — исследование фотоэлектрических, частотных и спектральных характеристик фоторезисторов, изготовленных на основе пленок твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, полученных методом послойного

гидрохимического осаждения $SnSe$ и $PbSe$ с последующей термообработкой на воздухе [16].

2. Методика эксперимента

Гидрохимический синтез пленок $SnSe$ и $PbSe$ осуществляли в стеклянных герметичных реакторах из молибденового стекла объемом 100 мл, помещенных в термостат марки U-10, точность измерения температуры в котором составляла $\pm 0.1\%$. В качестве материала подложек использовали ситалл марки СТ-50-1-2.

Пленки $PbSe$ получали из ванны, содержащей ацетат свинца, этилендиамин, селенокарбамид, ацетат аммония, иодид аммония и сульфит натрия. Температуру синтеза задавали 308 К при времени процесса 60 мин. Для осаждения пленок селенида олова использовалась реакционная смесь, приготовленная из хлорида олова (II), трилона Б, гидроксида натрия, селенокарбамида, сульфита натрия. Пленки $SnSe$ получали при 343 К в течение 90 мин. Для формирования пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ проводили последовательное нанесение слоев $SnSe$ и $PbSe$ с получением многослойных композиций. Для их термообработки использовалась электрическая печь ПМ-1.0-7 с точностью поддержания температуры ± 2 К.

Измерение толщины пленок проводили оптическим методом с использованием инфракрасного спектрофотометра Specord-75-IR в интервале длин волн 2.5–25.0 мкм.

Фазовый состав и структуру пленок изучали методом рентгеновской дифракции на дифрактометре ДРОН-3 с медным излучением в режиме сканирования с шагом 0.02° и временем накопления сигнала в точке 5 с. Доля селенида олова в структуре твердого раствора $Pb_{1-x}Sn_xSe$ рассчитывалась по правилу Вегарда [17],

[¶] E-mail: newage@isnet.ru

при этом использовалось значение периода решетки псевдокубического SnSe, равное 0.6002 нм [18]. Ошибка определения содержания замещающего компонента в твердом растворе не превышала ± 0.4 мол% с достоверной вероятностью 90%.

Исследование фотоэлектрических характеристик фоторезисторов (ФР) проводили в соответствии с ГОСТ 177892-79. Для измерения вольт-ваттной чувствительности и темнового сопротивления использовали измерительный стенд К.54.410. Размеры чувствительного элемента исследованных образцов составляли 2×2 мм. Постоянную времени измеряли двухчастотным методом с точностью $\pm 10\%$.

Низкотемпературные исследования фотоэлектрических характеристик ФР проводили с использованием двухкаскадного термоэлектрического охладителя (ТЭО) в интервале температур 205–300 К с точностью поддержания температуры 0.2 К. В качестве ТЭО использовали двухкаскадный охладитель производства ГНИПП ТФП „Остерм“ (г. Санкт-Петербург).

Относительные спектральные характеристики фоторезисторов снимали с использованием двойного монохроматора SPM-2 на частоте модуляции излучения 1000 Гц.

Формирование контактных площадок на чувствительных элементах проводили путем электрохимического нанесения никеля. К контактным площадкам с использованием низкотемпературного припоя ПОСК припаивали золотые проводники.

Фоточувствительные элементы ФР устанавливали с помощью теплопроводящего компаунда в корпус типа ТО-5, либо в корпус „Бурт“ с двухкаскадным ТЭО. Корпуса заполняли осушенным воздухом.

В качестве входного окна в неохлаждаемых ФР использовали сапфировое стекло (Al_2O_3), правый край пропускания которого составляет 6.5 мкм. Входное окно специальным компаундом вклеивали в крышку корпуса ФР. Крышку закрепляли на корпусе пайкой или лазерной сваркой. В охлаждаемых фоторезисторах в качестве входного окна использовали флюорит (CaF_2), который в диапазоне 0.13–7.0 мкм имеет пропускание до 90% [2].

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

При анализе рентгенограмм полученных пленок PbSe была идентифицирована только кубическая структура типа NaCl (B1), характерная для кристаллов селенида свинца. Сопоставление значений межплоскостных расстояний кристаллической решетки пленок со справочными данными для монокристалла PbSe показало, что они практически совпадают, что говорит о высокой упорядоченности кристаллической структуры.

В отличие от PbSe рост пленки селенида олова (II) протекает в более медленном кинетическом режиме.

Анализ рентгенограмм слоев селенида олова (II) показал, что пленки отличаются высокой кристаллическостью, а основные рефлексы дифракционных отражений соответствуют орторомбической структуре SnSe (тип SnS (B29), пространственная группа $D_{2h}^{16}-P_{cm}$).

Для достижения конечной цели в работе были получены многослойные структуры путем поочередного осаждения пленок PbSe и SnSe. Число слоев индивидуальных селенидов варьировалось от двух до восьми. Были синтезированы и исследованы следующие композиции: двухслойные — SnSe–PbSe; трехслойные — PbSe–SnSe–PbSe; четырехслойные — SnSe–PbSe–SnSe–PbSe; пятислойные — PbSe–SnSe–PbSe–SnSe–PbSe; шестислойные — SnSe–PbSe–SnSe–PbSe–SnSe–PbSe; восьмислойные — SnSe–PbSe–SnSe–PbSe–SnSe–PbSe–SnSe–PbSe. Суммарная их толщина с ростом числа слоев увеличивалась и составила для двухслойных структур ~ 1.0 мкм, трехслойных — 1.4–1.5 мкм, четырехслойных — 1.7–1.8 мкм, шестислойных — 2.6–2.8 мкм и восьмислойных — 3.4–3.6 мкм.

Из результатов рентгеновских исследований синтезированных структур следует, что рефлексы дифракционных отражений во всех случаях отвечают кубической структуре NaCl (B1). Установлено, что архитектура пленки селенида свинца, являющегося верхним слоем композиции, отличается от индивидуального PbSe, осажденного на ситалловую подложку. Для четырехслойной структуры отмечено уменьшение размеров кристаллитов по сравнению с PbSe: с 900–1200 нм до 200–300 нм, а по данным уширения рентгеновских отражений до 30 нм. Объяснение этому факту может быть дано с позиций изменения условий зародышеобразования каждого последующего слоя селенида свинца. Следует сказать, что уменьшение размеров кристаллитов должно способствовать интенсификации диффузионных процессов между смежными слоями селенидов металлов, создавая благоприятные потенциальные возможности для формирования структуры твердого раствора замещения в системе PbSe–SnSe.

Для сенсбилизации полученных структур к инфракрасному (ИК) излучению в работе использовали их термический отжиг на воздухе в интервале температур 593–723 К. Было установлено, что термообработка существенно меняет морфологию пленок и их состав.

Принципиально важным является установление смещения рефлексов отражения у термообработанных многослойных композиций в область дальних углов, что связано с образованием твердых растворов замещения $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($0 \leq x \leq 0.132$). В слоях были также идентифицированы рефлексы, относящиеся к фазам оксида и селенита свинца (PbO , $PbSeO_3$), ответственным за фоточувствительные свойства. Полученные данные по термообработке многослойных композиций позволяют сделать важный вывод о том, что для различных пленок существует своя рабочая температура активации, характеризующая их оптимальную степень окисления

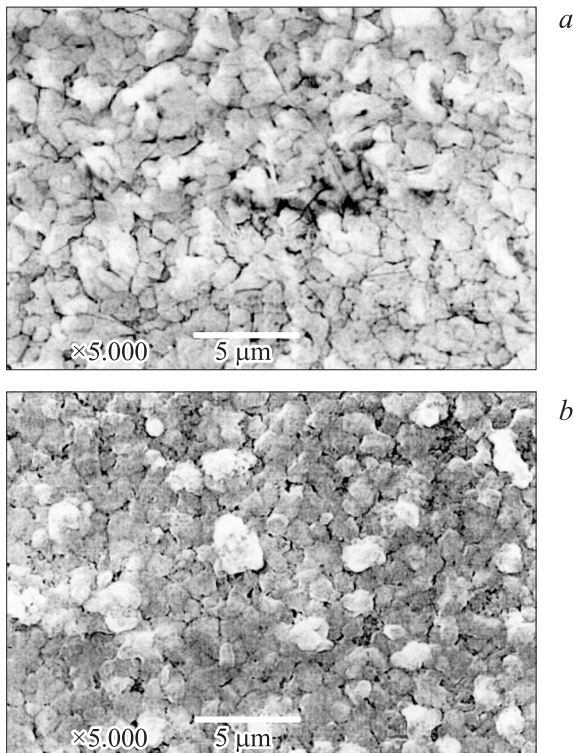


Рис. 1. Микроизображения пленок PbSe (а) и твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ (b). Температура обработки 643 К.

и максимальный для этих условий уровень фотоответа. С увеличением числа слоев максимум фоточувствительности сдвигается в область более высоких температур активации. В то же время с увеличением числа слоев наблюдается возрастание неоднородности кристаллитов по размерам и составу. Оптимальным вариантом является синтез однородных четырехслойных композиций с последующей термоактивацией, обеспечивающей формирование твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$.

Для сравнения на рис. 1 приведены микроизображения термообработанных пленок PbSe (рис. 1, а) и твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ (рис. 1, б), полученного из четырехслойной композиции $(SnSe-PbSe)_2$. Из рисунка видно различие в микроструктуре пленок: средние размеры кристаллитов при формировании твердого раствора составляют 220–300 нм против 770 нм для PbSe. На основе слоев $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ в работе были изготовлены чувствительные элементы для ФР.

С целью повышения уровня фотоответа процесс термоактивации композиций проводили в негерметичном объеме, что оптимизирует кинетику окисления пленок. Для четырехслойной композиции максимальная фоточувствительность достигается при 643 К и отношении объема среды в $см^3$ к площади обрабатываемых пленок в $см^2$, равном 32 [19].

На рис. 2 приведены температурные зависимости пороговых параметров изготовленных ФР: темнового сопротивления R_D , сигнала фотоответа S и шумов N в тем-

пературном интервале 230–300 К. На рисунке указаны параметры относительно их значений при 300 К: $R_D(300\text{ К})$, $S(300\text{ К})$, $N(300\text{ К})$. Анализ зависимостей показывает, что темновое сопротивление ФР при охлаждении с 300 до 230 К увеличивается примерно в 8 раз (с 80–100 до 650–800 кОм), сигнал фотоответа возрастает в 38 раз, а величина шумов повышается только в 1.7 раза. В результате отношение сигнал/шум, а следовательно, и обнаружительная способность ФР с охлаждением возрастают почти в 22 раза, что обеспечивает их широкое практическое использование. Важным преимуществом ФР является также малая постоянная времени: около 3 мкс при 300 К.

В работе была исследована также зависимость сигнала фотоответа ФР на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ от частоты модуляции f_m падающего потока излучения от АЧТ 573 К при 300 и 205 К (рис. 3).

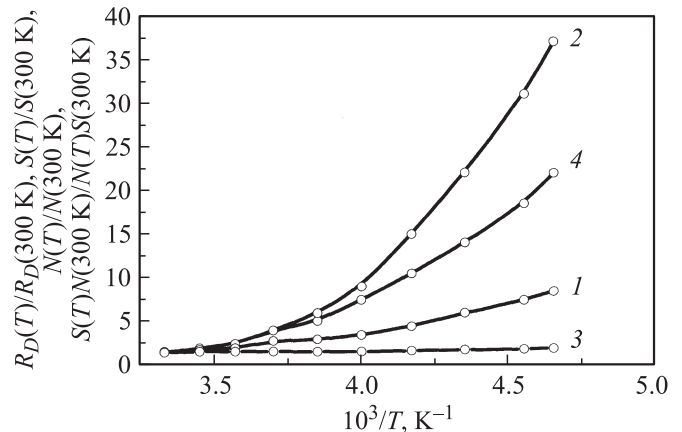


Рис. 2. Температурные зависимости отношений значений темнового сопротивления $R_D(T)/R_D(300\text{ К})$ (1), сигнала фотоответа $S(T)/S(300\text{ К})$ (2), шумов $N(T)/N(300\text{ К})$ (3) и отношения $S(T)N(300\text{ К})/N(T)S(300\text{ К})$ (4) для фоторезистора на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$.

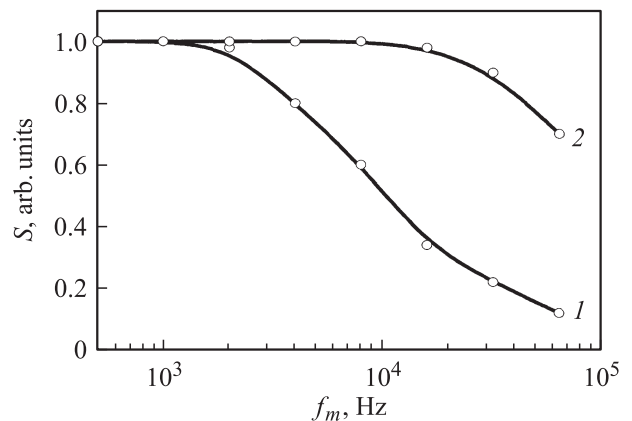


Рис. 3. Зависимости сигнала фотоответа S фоторезистора на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ от частоты модуляции f_m оптического потока при 205 (1) и 300 К (2). Источник излучения — АЧТ 573 К. Напряжение смещения 24 В.

Фотоэлектрические параметры фотоприемников на основе PbSe и пленок $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, полученных по технологии послойного осаждения

Фотоэлектрические параметры	Материал слоя			
	PbSe		$Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$	
	Температура, К			
	300	230	300	230
Спектральный диапазон, мкм	0.6–4.5	0.6–5.5	1.0–5.5	1.0–6.0
λ_{max} , мкм	3.6 ± 0.1	4.1 ± 0.1	4.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2
Обнаружительная способность, $D^*(\lambda_{max}; 1000)$, $cm \cdot W^{-1} \cdot Hz^{1/2}$	$(2-6) \cdot 10^9$	$(3-9) \cdot 10^9$	$(2-6) \cdot 10^9$	$(3-9) \cdot 10^9$
Вольт-ваттная чувствительность, В/Вт	$(2-6) \cdot 10^2$	$(6-11) \cdot 10^2$	$(2-6) \cdot 10^2$	$(6-11) \cdot 10^2$
Постоянная времени, τ , мкс	3–5	30–40	2–4	12–30
Темновое сопротивление, кОм/квадрат	150–400	250–800	60–300	200–800
Напряжение смещения, В	24	24	24	24
Размеры чувствительного элемента, мм	2.0×2.0	2.0×2.0	2.0×2.0	2.0×2.0
Материал входного окна	Сапфир	Сапфир	Флюорит	Флюорит

Приведенные частотные характеристики демонстрируют высокое быстродействие фоторезисторов. Из рисунка видно, что фоторезисторы способны работать без снижения сигнала фотоответа при частоте модуляции падающего потока излучения при 300 К до 30 кГц, а при снижении температуры до 205 К — до 5 кГц.

Приведенная на рис. 4 зависимость отношения сигнал/шум S/N от приложенного напряжения смещения U позволила сделать вывод о том, что оптимальным значением напряжения смещения для разработанных ФР является 24 В. Видно, что при изменении (нестабильности) приложенного напряжения смещения в пределах ± 5 В отношение сигнал/шум и, следовательно, обнаружительная способность ФР практически не изменяется.

Зависимости обнаружительной способности D^* фоторезисторов на основе пленок PbSe и $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ от длины волны λ регистрируемого излучения для двух различных температур 230 и 300 К показаны на рис. 5.

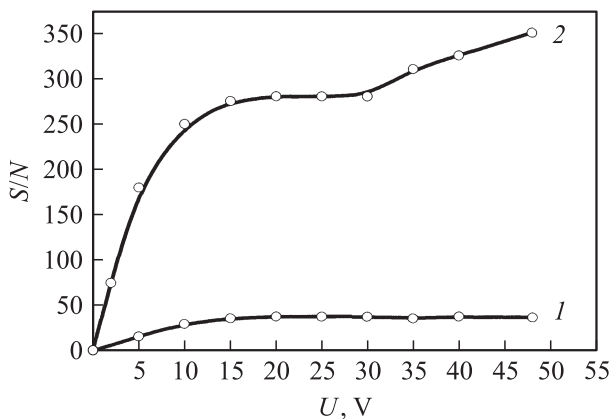


Рис. 4. Зависимости отношения сигнал/шум S/N от напряжения смещения U для фоторезистора на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ при 300 (1) и 230 К (2). Размеры чувствительного элемента — 2.0×2.0 мм.

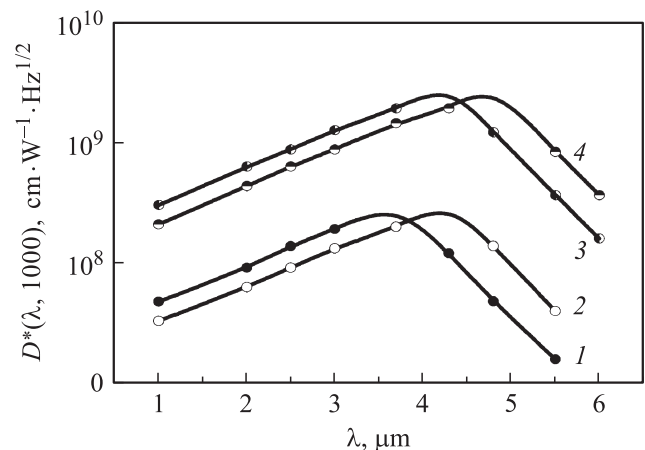


Рис. 5. Зависимости обнаружительной способности D^* фоторезисторов (средние значения) на основе пленок PbSe (1, 3) и $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ (2, 4) от длины волны λ при 300 (1, 2) и 230 К (3, 4).

На рисунке приведены средние значения обнаружительной способности для выборки из 100 фоторезисторов каждого типа. Для используемого твердого раствора отчетливо наблюдается существенный сдвиг спектральной характеристики фоточувствительности в длинноволновую область спектра. Из рисунка видно, что положение максимума фоточувствительности ФР на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ смещается по сравнению с PbSe на 0.7 мкм. В свою очередь в интервале 300–230 К максимум спектральной характеристики фоточувствительности сдвигается с 4.2 до 4.7 мкм. Длинноволновая граница фоточувствительности твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ при этом смещается с 5.5 до 6.0 мкм. Отсюда можно заключить, что оптическая ширина запрещенной зоны $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ изменяется от 0.225 до 0.207 эВ, в то время как для пленки PbSe при 300 К

составляет 0.248 эВ. Более глубокое охлаждение ФР на основе $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ показало, что при 80 К правый край фотоответа по уровню 0.1 находится на длине волны 7.9–8.1 мкм.

Необходимо отметить, что максимальные значения обнаружительной способности ФР $D^*(\lambda_{max})$, охлаждаемых до 230 К, достигали $9 \cdot 10^9 \text{ см} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{Гц}^{1/2}$. Разработанные фоторезисторы характеризуются высокой стабильностью параметров во времени. Так, в течение 3 лет после корпусирования величина фотосигнала уменьшилась в среднем всего на 5.8%, а темнового сопротивления на 10%.

Основные характеристики ФР на основе пленок $PbSe$ и твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, полученного путем послойного осаждения и последующей термообработки композиций селенидов свинца и олова (II), приведены в таблице.

Отметим потенциальные преимущества использования ИК детекторов на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ по сравнению с $PbSe$ в фотоприемных устройствах для окна прозрачности атмосферы 3.0–5.5 мкм. Так, одной из важных практических задач является своевременное обнаружение начальных стадий возгорания и низкотемпературных источников ИК излучения, в том числе по полосе поглощения диоксида углерода (4.3 мкм). Известно [20], что на спектре пламени, „видимого“ сквозь атмосферу с учетом поглощения диоксида углерода, выделяется максимум в спектре излучения 4.02–4.18 мкм, а также два максимума меньшей интенсивности 4.4 и 4.82 мкм. Фоторезистор на основе $PbSe$ в этом диапазоне длин волн имеет низкую обнаружительную способность (не более $1 \cdot 10^8 \text{ см} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{Гц}^{1/2}$ при 295 К) и лишь при глубоком охлаждении (77 К) $D^*(\lambda_{max})$ достигает значения $1 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{Гц}^{1/2}$. Фотоприемники на основе $InSb$ также требуют глубокого охлаждения до 77 К, что влечет их значительное удорожание и снижение надежности работы [21]. При этом себестоимость изготовления фоточувствительных элементов на основе $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ незначительно превышает стоимость ФР на основе пленок $PbSe$ при использовании гидрохимического метода их получения.

Учитывая то, что значение постоянной времени разработанных экспериментальных ФР на основе пленки $Pb_{0.938}Sn_{0.062}Se$ на два порядка меньше, а чувствительность вчетверо выше, чем у серийных болометров, применяемых в системах железнодорожной автоматики температурного контроля буксовых узлов колесных пар [22]. Их использование позволит практически на порядок увеличить скорость движения поездов на линейных пунктах контроля.

4. Заключение

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы неохлаждаемых и охлаждаемых одноэлементных фо-

торезисторов, фоточувствительных в ИК области спектра (1.0–6.0 мкм), на основе пленок твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$, полученных методом послойного гидрохимического осаждения $PbSe$ и $SnSe$ с последующей термической активацией.

Разработанные ФР на основе пленки твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ в интервале рабочих температур фоточувствительного элемента 230–300 К обладают темновым сопротивлением 80–800 кОм, обнаружительной способностью $D^*(\lambda_{max}; 1000)$ до $9 \cdot 10^9 \text{ см} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{Гц}^{1/2}$ и характеризуются высоким быстродействием, допуская работу без снижения сигнала фотоответа при частоте модуляции падающего потока излучения при 300 К до 30 кГц, а при 205 К — до 5 кГц.

Фоторезисторы на основе твердого раствора $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ имеют существенные преимущества по сравнению с $PbSe$ для решения ряда практических задач в спектральном диапазоне (3.0–5.5 мкм).

Список литературы

- [1] Р.Ж. Киес, П.В. Крузе, Э.Г. Патли. *Фотоприемники видимого и ИК диапазонов* (М., Радио и связь, 1985).
- [2] Ж. Госсорг. *Инфракрасная термография. Основы, техника, применение* (М., Мир, 1988).
- [3] Б.Н. Формозов. *Аэрокосмические фотоприемные устройства видимого и инфракрасного диапазона* (СПб., ГУАП, 2002).
- [4] Л.Н. Курбатов. Прикл. физика, **3**, 5 (1999).
- [5] А.М. Юшин. *Оптоэлектронные приборы и их зарубежные аналоги. Справочник* (М., ИП Радиософт, 2000).
- [6] Б.А. Волков, О.А. Панкратов, А.В. Сазонов. ФТТ, **26** (2), 430 (1984).
- [7] В.С. Земсков, В.Б. Лазарев. *Твердые растворы в полупроводниковых системах. Справочник* (М., Наука, 1978).
- [8] Н.П. Гавалешко, П.Н. Горлей, В.А. Шендеровский. *Узкозонные полупроводники. Получение и физические свойства* (Киев, Наук. думка, 1984).
- [9] A. Szczerbakow, J. Berger. J. Cryst. Growth, **139** (1,2), 172 (1994).
- [10] А.В. Сазонов. Автореф. канд. дис. (М., 1984).
- [11] Х.Н. Мухамедзянов, М.П. Миронов, С.И. Ягодин, Л.Н. Маскаева, В.Ф. Марков. Цветные металлы, **12**, 57 (2009).
- [12] Н.А. Третьякова, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, Х.Н. Мухамедзянов. Конденсированные среды и межфазные границы, **7** (2), 189 (2005).
- [13] В.Ф. Марков, М.П. Миронов, С.В. Брежнев, Л.Н. Маскаева. Бултеровские сообщения, **17** (6), 22 (2000).
- [14] Н.А. Третьякова, В.Ф. Марков, М.П. Миронов, В.Ф. Дьяков, Л.Н. Маскаева. Химия и хим. технология, **51** (7), 37 (2008).
- [15] М.П. Миронов, А.Ю. Кирсанов, В.Ф. Дьяков, Л.Н. Маскаева, В.Ф. Марков. Бултеровские сообщения, **19** (3), 45 (2010).
- [16] В.Ф. Марков, Х.Н. Мухамедзянов, Л.Н. Маскаева, З.И. Смирнова. ФТП, **45**, 1459 (2011).
- [17] L. Vegard. Z. Phys., **5**, 17 (1921).
- [18] *ASTM X-ray diffraction data cards*, Philadelphia, 14–159 (1968).

- [19] М.П. Миронов, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, В.Ф. Дьяков, Р.Д. Мухамедьяров, Х.Н. Мухамедзянов, З.И. Смирнова. Патент РФ № 2357321 (15) МЖГ Н01L21/36. Оpubл. 27.05.2009. Бюл. № 15. 4 с.
- [20] В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. *Инфракрасные системы „смотрящего“ типа* (М., Логос, 2004).
- [21] Я.П. Салий. ФТП, 40 (2), 177 (2006).
- [22] В.Ф. Дьяков, М.П. Миронов, Р.Д. Мухамедьяров, Х.Н. Мухамедзянов, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева. Журн. „Транспорт Урала“, 21 (2), 94 (2009).

Редактор Т.А. Полянская

Investigation of characteristics of photoresistors made of hydrochemically deposited films of $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ solid solutions

H.N. Mukhamedzyanov, V.F. Markov, L.N. Maskaeva

Ural Federal University named after First President
of Russia B.N. Yeltsin,
620008 Ekaterinburg, Russia

Abstract Experimental samples of photoresistors (PR) made of semiconductor film of $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ solid solution, obtained by the technology of level-by-level deposition of individual lead and tin (II) selenides with their subsequent heat treatment, have been developed. The structure and morphology of the thin film compositions $(SnSe-PnSe)_2$ have been investigated. On temperature dependencies of the dark resistance, signal, noise, signal-to-noise ratio, frequency and spectral characteristics of PR made of films of $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ solid solutions have been investigated in the range of 205–300 K. Optimal voltage bias has been determined. It has been shown, that the maximum and the right edge of photosensitivity of PR made of $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ is shifted on $0.7 \mu m$ to the long-wave region of a spectra compared to PbSe. Maximal detectivity of the investigated PR (2.0×2.0 mm) has reached $9 \cdot 10^9 \text{ cm} \cdot \text{W}^{-1} \text{ Hz}^{1/2}$ at 230 K. The advantages of photoresistors made of the films of $Pb_{0.902}Sn_{0.098}Se$ compared to PnSe in 3.0–5.5 μm spectral range have been shown.