



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01L 31/1832 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019135004, 31.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.10.2019

Дата регистрации:
14.12.2020

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 31.10.2019

(45) Опубликовано: 14.12.2020 Бюл. № 35

Адрес для переписки:
620002, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул.
Мира, 19, ФГАОУ ВО "УРФУ", Центр
интеллектуальной собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Чуфарова Наталья Александровна (RU),
Марков Вячеслав Филиппович (RU),
Маскаева Лариса Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Forostyanaya N.A. Formation of solid
solutions via solid-state lead diffusion in
chemically deposited CdS films / N.A.
Forostyanayaa et al // Thin solid films. - 2018. -
V.657 - P. 101 - 109. CN 103073073 A, 01.05.2013.
DE 102016119454 A1, 12.04.2018. DE
102016004085 A1, 12.10.2017. RU 2553858 C1,
20.06.2015. RU 2203855 C2, 10.05.2003.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ЗАМЕЩЕНИЯ РЬCdS ПУТЕМ ИОНООБМЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПЛЕНОК CdS

(57) Реферат:

Пленки твердых растворов замещения CdPbS находят широкое применение в различных областях оптоэлектроники, в том числе в конструкциях фоторезисторов для ближнего ИК-диапазона, отличающихся высоким быстродействием и чувствительностью, лазерной техники, а также в областях сенсорной аналитики и гелиоэнергетики. Сущность предлагаемого метода состоит в применении для получения пленок $Cd_xPb_{1-x}S$ способа ионообменной трансформации пленок CdS, позволяющего

повысить содержание кадмия в составе твердого раствора за счет обработки предварительно полученных пленок сульфида кадмия (II) в водном растворе ацетата свинца (II), а также гомогенизации их с применением последующей термической обработки. Изобретение обеспечивает возможность повысить содержание кадмия в составе твердого раствора CdPbS и, кроме того, добиться получения однородных по составу пленок. 1 табл., 3 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01L 31/1832 (2020.02)

(21)(22) Application: **2019135004, 31.10.2019**

(24) Effective date for property rights:
31.10.2019

Registration date:
14.12.2020

Priority:

(22) Date of filing: **31.10.2019**

(45) Date of publication: **14.12.2020 Bull. № 35**

Mail address:

**620002, Sverdlovskaya obl., g. Ekaterinburg, ul.
Mira, 19, FGAOU VO "URFU", Tsentr
intellektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Chufarova Natalya Aleksandrovna (RU),
Markov Vyacheslav Filippovich (RU),
Maskaeva Larisa Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Ural Federal
University named after the first President of
Russia B.N.Yeltsin (RU)**

(54) **METHOD OF PRODUCING FILMS OF SOLID SOLUTIONS OF SUBSTITUTION OF PBCDS BY ION-EXCHANGE TRANSFORMATION OF CDS FILMS**

(57) Abstract:

FIELD: physics; chemistry.

SUBSTANCE: films of CdPbS substitution solid solutions find wide application in various fields of optoelectronics, including in designs of photoresistors for near infrared range, characterized by high speed and sensitivity, laser equipment, as well as in areas of sensor analytics and solar power engineering. Essence of the proposed method consists in using a method for obtaining $Cd_xPb_{1-x}S$ films of ion-exchange transformation of CdS films, allowing to increase

cadmium content in solid solution composition by treatment of cadmium (II) sulphide (II) films obtained in aqueous solution of lead (II) acetate, as well as their homogenization with subsequent thermal treatment.

EFFECT: invention enables to increase the content of cadmium in the solid solution of CdPbS and, in addition, to obtain films which are uniform in composition.

1 cl, 1 tbl, 3 ex

RU 2 738 586 C1

RU 2 738 586 C1

Изобретение относится к области полупроводникового материаловедения, а именно – к технологии изготовления изделий оптоэлектронной, сенсорной и лазерной техники, и может быть использовано при формировании чувствительных элементов фотодетекторов и фотоприемных устройств, работающих в видимом и ИК - диапазоне, а также структур для приборов солнечной энергетики.

Тонкопленочные твердые растворы на основе сульфидов свинца и кадмия, благодаря характеристикам, которых удается достичь в данных материалах, находят широкое применение в различных областях оптоэлектроники, в том числе в конструкциях фоторезисторов для ближнего ИК-диапазона, отличающимся высоким быстродействием и чувствительностью, полупроводниковых лазеров, а также активные элементов ПЗС-структур [1,2]. Кроме того, твердые растворы могут быть использованы в производстве высокоэффективных преобразователей солнечного излучения и в составе гетероструктур. Известно также использование тонких пленок твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ в качестве газовых сенсоров, чувствительных к различным видам газов [3].

Характерной особенностью твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ является возможность регулирования свойств в достаточно широких пределах от широкозонного сульфида кадмия ($E_g = 2.42$ эВ) до узкозонного сульфида свинца ($E_g = 0.41$ эВ) [4 – 7], изменяя состав твердого раствора. Путем оптимизации оптических и полупроводниковых свойств тонкопленочных твердых растворов можно получить слой с оптимальным для гелиоэнергетики значением ширины запрещенной зоны 1.5 эВ, что позволяет использовать материал для производства солнечных элементов. Диапазон функциональных свойств твердых растворов также обусловлен различием областей фотопроводимости составляющих его бинарных соединений: CdS характеризуется фотопроводимостью в видимой области спектра в диапазоне 500-700 нм, сульфид свинца же отличается фоточувствительностью в видимой и инфракрасной областях спектра 400-3100 нм. Различие свойств формирующих твердый раствор сульфидов позволяет получать на его основе приборы для решения различных задач оптоэлектроники.

Сложности получения твердых растворов связаны с неблагоприятными условиями изоморфной смесимости сульфидов свинца и кадмия. Согласно данным фазовой диаграммы [8], растворимость сульфида кадмия в сульфиде свинца при низких температурах пренебрежимо мала, а величина растворимости при температуре 1203 К не выше 0.1%. Экспериментально установленное содержание CdS в решетке PbS не превышает 4 мол. % при 823 К [8].

Для синтеза твердых растворов в системе CdS–PbS, как и для бинарных соединений, лежащих в его основе, применяют физические и химические методы.

В работе [9] для получения фотоактивной матрицы $Cd_xPb_{1-x}S$ ($x \geq 0.99$) с микроразмерными включениями на основе PbS был использован метод термического испарения в вакууме из шихты состава 10% PbS – 90% CdS, отожженных при температурах 813 и 833 К. Полученные образцы, содержащие широкозонную матрицу, представляющую собой твердый раствор PbS в CdS, и узкозонные низкоомные включения – твердого раствора CdS в PbS, характеризовались повышенной деградационной способностью и радиационной стойкостью, достигающейся за счет того, что процессы генерации при этом проходили преимущественно в широкозонной матрице, а рекомбинация определяется в значительной степени узкозонными включениями.

Пиролитическим напылением на нагретые до 573 К стеклянные подложки осаждались тонкие пленки $Cd_{1-x}Pb_xS$ в работе [10]. Доля замещения в них достигала $x = 0.2$, однако данное значение не было подтверждено в работе структурными исследованиями.

Недостатками физических методов являются использование сложного технологического оборудования, высоких температур (до нескольких сотен градусов Кельвина) и необходимости их точного контролирования в условиях вакуума. Кроме того, описанные способы требуют применения реагентов высокой степени чистоты или введения дополнительной стадии очистки исходных соединений для синтеза, что значительно повышает себестоимость процесса производства.

Альтернативой высокотемпературным физическим методам является более простой в технологическом отношении низкотемпературный метод осаждения из водных растворов, который позволяет получать твердые растворы замещения более широкого диапазона составов.

Получение твердых растворов системы CdS-PbS методом гидрохимического синтеза может считаться аналогом настоящего изобретения. Процесс синтеза твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ при этом осуществляется в реакционной ванне, содержащей соли металлов – кадмия и свинца, халькогенизатор (источник ионов серы), а также комплексообразующие ионы металлов лиганды, с помощью которых можно оказывать влияние на скорость процесса осаждения. Осаждение проводится на предварительно обезжиренные подложки, погруженные в реакционную смесь, при температурах, контролирующихся водным термостатом, а, следовательно, не превышающих 368 К.

В [11] методом совместного гидрохимического осаждения за счет изменения состава реакционной смеси были получены фоточувствительные пленки твердых растворов на основе сульфида свинца, содержание CdS в которых изменяется от 5.5 до 10.6 мол. %. Кроме того, описано получение пленок твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$, содержащих до 16 мол. % CdS [12]. При этом авторы отмечают, что с увеличением доли кадмия в решетке PbS максимум фоточувствительности слоев сдвигается в более коротковолновую область по сравнению с индивидуальным PbS. Кроме того, твердые растворы системы CdS-PbS, полученные гидрохимическим методом обладают временной стабильностью фотоэлектрических свойств, что снимает временные ограничения в практическом использовании исследуемых материалов в качестве чувствительных элементов ИК-детекторов.

Гидрохимический способ получения твердых растворов популярен и в зарубежных работах. Так, в публикации [13] тонкопленочные твердые растворы $Cd_xPb_{1-x}S$ с максимальной долей замещения $x = 0.15$, изучена зависимость доли замещения от температуры, pH и компонентов реакционной смеси. Также рассматривалось влияние ионов Cd^{2+} в составе раствора на свойства пленок сульфида свинца [14]. Отмечено, что увеличение содержания кадмия в составе пленки отражается на кристаллической структуре: уменьшается размер кристаллитов, а вместе с тем увеличивается значение ширины запрещенной зоны материала.

В качестве прототипа был взят способ получения твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ путем выдерживания пленки сульфида кадмия на ситалловой подложке в смеси, представляющую собой водный раствор соли свинца $PbAc_2$, концентрацией 0.04 М [15]. Синтез пленок твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ в прототипе заключался в погружении свежесозданной пленки CdS в водный раствор ацетата свинца (II). Продолжительность выдержки пленок сульфида кадмия в водных растворах, содержащих ацетат свинца, цитрат натрия и гидроксид аммония, варьировалась от 30 минут до 9 часов при температурах от 333-368 К. Проведены комплексные исследования процесса ионообменного замещения кадмия на границе “пленка CdS – водный раствор соли свинца” в зависимости от температуры процесса и продолжительности контакта. Однако полученные тонкие пленки твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$, имели неоднородный по

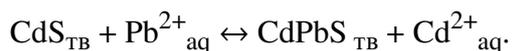
толщине состав, содержание кадмия в составе образца при этом изменялось от 3 мол. % до 31.1 мол. % в зависимости от расстояния до подложки.

5 Сущность предлагаемого метода состоит в применении для получения пленок $Cd_xPb_{1-x}S$ способа ионообменной трансформации пленок CdS , позволяющего повысить содержание кадмия в составе твердого раствора за счет обработки предварительно полученных пленок сульфида кадмия (II) в водном растворе ацетата свинца (II), а также гомогенизации их с применением последующей термической обработки.

10 Технический результат изобретения заключается в сдвиге спектрального диапазона фоточувствительности пленок твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$ в сторону видимого диапазона за счет повышения в их составе кадмия путем применения метода ионообменной трансформации пленок CdS с последующей термической обработкой на воздухе.

15 Задачей изобретения является увеличение кадмия в составе твердого раствора, а также гомогенизация полученных образцов с использованием метода ионообменной трансформации и последующей термической обработки на воздухе.

Решение поставленной задачи достигается путем обработки предварительно полученной на инертной подложке пленки сульфида кадмия(II) в водном растворе соли свинца (II) при температуре 368 К. При этом в пленке CdS путем замещения ионов кадмия (II) на ионы свинца (II) образуется фаза твердого раствора $CdPbS$ за счет
20 ионообменной реакции между металлами:



25 Реализация способа осуществляется следующим образом. Первой стадией является получение пленки сульфида кадмия в один или несколько слоев. В качестве метода синтеза при этом может быть использован любой доступный метод как физический (пиролиз на нагретой подложке [16 – 19], электронно-лучевое испарения [20], термическое испарение в вакууме [21, 22]), так и химический (электрохимическое осаждение [23], золь-гель метод [24], метод последовательной адсорбции ионов по
30 слоям с химической реакцией (SILAR) [25, 26], метод Ленгмюра – Блоджетт [27] и гидрохимическое осаждение [25, 28 – 30]).

Вторая стадия синтеза заключается в выдерживании подготовленной подложки с предварительно нанесенной пленкой сульфида кадмия в водном растворе, содержащем ацетат свинца (II). Время выдерживания пленки сульфида кадмия можно варьировать от 10 минут до 9 часов, а температуру от 353 К до 368 К. При этом происходит
35 трансформация исходной пленки сульфида кадмия в твердый раствор $CdPbS$ на основе сульфида свинца за счет замещения ионов кадмия в тонкой пленке на ионы Pb^{2+} из раствора.

40 Максимально достигнутое содержание олова в составе фазы твердого раствора замещения $CdPbS$ в заявляемом способе синтеза по данным рентгеновского анализа составило 39,4 ат. %.

Далее полученные пленки $CdPbS$ подвергаются термической обработке на воздухе при температуре 573 К с целью их гомогенизации.

45 Ионный обмен в системе «тонкая пленка CdS - водный раствор соли свинца» возможен благодаря разности эффективных произведений растворимости индивидуальных сульфидов металлов. При этом создаются такие условия, при которых ионы кадмия приобретают способность переходить в фазу водного раствора. Содержащиеся в растворе ионы Pb^{2+} , в свою очередь, взаимодействуя с ионами S^{2-} , смогут образовывать собственную фазу PbS , а подобный переход может быть сопряжен с образованием

промежуточных кристаллических фаз – твердых растворов замещения $Cd_xPb_{1-x}S$.

Тот факт, что полученный в ходе ионообменной трансформации пленки неоднородны по толщине объясняется диффузионной природой процесса, при этом диффузия свинца в глубь пленки протекает как минимум в две стадии: диффузия адсорбата по границам зерен и диффузию вглубь них, значения коэффициентов диффузии D для которых отличаются на несколько порядков. Гомогенизация образцов достигается путем термической обработки их на воздухе в течение 1 часа при температуре 573 К.

Таким образом, заявляемый способ получения твердых растворов замещения $Cd_xPb_{1-x}S$ методом ионообменной трансформации с последующей термообработкой на воздухе позволяет повысить содержание кадмия в составе твердого раствора $CdPbS$ по сравнению со способом синтеза по прототипу, и кроме того добиться получения однородных по составу пленок.

Пример 1. Подложку (из диэлектрического или проводящего материала) предварительно тщательно протирают ватным тампоном, смоченным в растворе кальцинированной соды или оксида магния, промывают дистиллированной водой, травят в 2-8%-ом растворе плавиковой кислоты в течение 10-15 сек, промывают дистиллированной водой. Затем подложку обрабатывают в хромовой смеси в течение 20 мин при 70 °С, тщательно промывают дистиллированной водой. Подготовленную подложку, до этого хранящуюся под слоем дистиллированной воды, помещают в реактор с раствором для химического осаждения пленки сульфида кадмия (II), содержащую: хлорид кадмия – источник ионов металла $CdCl_2$ (0.1 М), лимоннокислый натрий – лиганд для контролирования скорости реакции осаждения твердой фазы Na_3Cit (0.3 М), раствор аммиака в качестве щелочного агента, необходимого для гидролитического разложения тиокарбамида NH_4OH (4.0 М) и тиокарбамид – источник ионов серы $CS(NH_2)_2$ (0.6 М). Подложку выдерживают в растворе в течение 90 мин при температуре 353 К, что обеспечивает формирование слоя пленки сульфида кадмия (II) толщиной ~300 нм.

Далее подложку с полученной пленкой CdS погружают в водный раствор, содержащий 0,06 моль/л ацетата свинца (II), $pH \approx 6.5$. Подложку с пленкой CdS выдерживают в растворе данного состава в течение 9 часов при 368 К. По данным рентгеновского дифракционного анализа пленка после ионообменной трансформации имеет неоднородный по толщине состав от 3 до 41.2 ат. %. В ходе термообработки полученной пленки на воздухе при 573 К пленка приобретает однородный по толщине состав, содержание кадмия в составе твердого раствора при этом 39.4 ат.%. Оптическая ширина запрещенной зоны образца достигает 1.43 эВ.

Пример 2. Обезжиренную ситалловую подложку, обработанную аналогично примеру 1, помещают в реакционную смесь для гидрохимического осаждения пленки CdS , состав которой аналогичен описанному в примере 1. Далее подложку с полученной пленкой CdS погружают в водный раствор, содержащий 0,05 моль/л ацетата свинца (II), $pH \approx 6.3$. Подложку с пленкой CdS выдерживают в растворе указанного состава в течение 5 часов при 368 К. По данным рентгеновского дифракционного анализа обработанной пленки, максимальное содержание олова в составе твердого раствора $CdPbS$ составило 15 ат. %. Термообработка полученной пленки на воздухе в течение часа при 573 К придает ей однородность состава, доля замещения при этом составляет 11 ат.%, величина оптической ширины запрещенной зоны образца 1.7 эВ.

Пример 3. Обезжиренную стеклянную подложку, обработанную аналогично методике, описанной в примере 1, помещают в реакционную смесь для гидрохимического

осаждения пленки CdS, условия осаждения которой приведены в примере 1. Далее подложку с полученной пленкой CdS погружают в водный раствор, содержащий 0,04 моль/л ацетата свинца (II), pH \approx 6.3. Подложку с пленкой CdS выдерживают в растворе указанного состава в течение 7 часов при 368 К. По данным рентгеновского дифракционного анализа обработанной пленки максимальное содержание олова в составе твердого раствора CdPbS составило 19 ат. %. Термообработка полученной пленки на воздухе в течение часа при 573 К придает ей однородность состава, доля замещения при этом составляет 15 ат.%, величина оптической ширины запрещенной зоны образца 1.62 эВ.

В таблице приведены результаты синтеза пленок твердых растворов CdPbS и их спектральные свойства при варьировании условий процесса.

Таблица

Результаты синтеза пленок твердых растворов CdPbS и их спектральные свойства в зависимости от условий процесса ионообменного замещения

Условия процесса:	Примеры						
	а (прото-тип)	б	в	г	д	е	ж
Концентрация соли свинца (II), моль/л	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
Время, часов	9	7	5	9	5	7	9
Температура, °К	368	368	368	368	368	368	368
Содержание кадмия в составе CdPbS, ат. %	31.4	15.0	11.0	32.3	13.5	21.8	39.4
Величина оптической ширины запрещенной зоны, эВ	1.4 – 2.0	1.62	1.7	1.49	1,68	1,59	1.43
Температура термической обработки	нет	573	573	573	573	573	573
Время термической обработки	нет	1 час					

Из таблицы видно, что отсутствие термической обработки полученных образцов приводит к получению неоднородных по толщине пленок, что делает их фактически неприменимыми для многих областей оптоэлектроники. С другой стороны, проведение термической обработки в течение часа достаточно для получения однородного твердого раствора. При этом, увеличению кадмия в составе твердого раствора способствует увеличение концентрации свинца в растворе, контактирующем с тонкой пленкой, сравнивая примеры г и ж, можно увидеть, что увеличение концентрации свинца в растворе на 0,01 М способствует увеличению кадмия в составе твердого раствора в 1.2 раза.

Также можно заметить влияние времени выдержки на состав твердого раствора, чем больше время контакта тонкой пленки с раствором ацетата свинца, тем богаче по кадмию полученные твердые растворы. Увеличивая время контакта пленки с раствором на 4 часа при концентрации свинца в растворе 0.05 М (в и г), можно получить твердые растворы, почти в три раза содержащие больше кадмия в своем составе, ту же ситуацию можно наблюдать при увеличении концентрации свинца в растворе до 0.06 М (д и ж).

Следует отметить, что от содержания кадмия в тонкопленочных образцах зависит максимум фоточувствительности пленок, их оптические свойства. Таким образом, с помощью представленного изобретения, варьируя условия синтеза, можно получить материалы с оптической шириной запрещенной зоны, изменяющейся в широких пределах от 1.7 эВ (в) до 1.43 эВ (ж).

Список используемой литературы:

1. Osuva, J.C. Impurity effects of cadmium salt on the absorption edge and structure of chemically prepared PbS films / J. C. Osuva, C.I. Oriaku, F.I. Ezema // Chalcogenide letters. –

2009. – V. 6. – №8. – P. 385 – 391.

2. Марков, В.Ф. Химическая технология тонкопленочного синтеза фоточувствительных материалов. Фоторезисторы видимого и ИК-диапазона / В.Ф. Марков, Г.А. Китаев, С.Н. Уймин, Л.Н. Маскаева // Ж. Инновация. – 1998. – № 1. – С.55 – 56.

3. Bezdetnova A.E Sensor properties of thin films $Cd_xPb_{1-x}S(Br)$ in relation to presence at NO_2 air / A. E. Bezdetnova, V. F. Markov, L. N. Maskaeva, Yu. G. Shashmurin, and A. S. Frants // AIP Conference Proceedings. – 2019. – P. 2063; <https://doi.org/10.1063/1.5087341>

4. Kumar, S. Variation of band gap in $CdPbS$ with composition prepared by a precipitation technique / S. Kumar, B. Bhattacharya // Indian journal of pure & applied physics. – 2005. – V. 43. – P. 609 – 611.

5. Barote, M.A. Effect of deposition parameters on growth and characterization of chemically deposited $Cd_{1-x}Pb_xS$ thin films / M.A. Barote, A.A. Yadav, E.U. Masumdar // Chalcogenide letters. – 2011. – V. 8. – № 2. – P. 129 – 138.

6. Kamruzzman, M. Synthesis and characterization of the as deposited $Cd_{1-x}Pb_xS$ thin films prepared by spray pyrolysis technique / M. Kamruzzman, R. Dutta, J. Podder // Физика и техника полупроводников. – 2012. – Т. 46. – В. 7. – С. 979 – 983.

7. Al-Jumaili, H.S. Structural and optical properties of nanocrystalline $Pb_{1-x}Cd_xS$ thin films prepared by chemical bath deposition / H.S. Al-Jumaili // Applied physics research. – 2012. – V. 4. – № 3. – P. 75–82.

8. Bethke, P.M. Sub solids relations in the system $PbS - CdS$ / P.M. Bethke, P.B. Barton // Amer. Miner. – 1971. – V. 56. – № 11 – 12. P. 2034 – 2039.

9. Маляр, И.В. Формирование люминисцирующих кристаллов в результате распада пересыщенного твердого раствора $PbS-CdS$ / И.В. Маляр, М.Д. Матасов, С.В. Стецюра // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т.38. – В. 16. – С. 42 – 50.

10. Kamruzzman, M. Synthesis and characterization of the as deposited $Cd_{1-x}Pb_xS$ thin films prepared by spray pyrolysis technique / M. Kamruzzman, R. Dutta, J. Podder // Физика и техника полупроводников. – 2012. – Т. 46. – В. 7. – С. 979–983.

11. Китаев, Г.А. Оптические свойства и фотопроводимость пленок $Cd_{1-x}Pb_xS$ / Г.А. Китаев, Р.Д. Мухамедьяров, Л.Е. Васюнина, М.Л. Демчук // Физико – химические процессы в полупроводниках и на их поверхности. Воронеж. – 1981. – С. 110 – 114

12. Марков, В.Ф. Пленки пересыщенных твердых растворов $Cd_xPb_{1-x}S$, химически осажденные на пористом стекле, их структура и свойства / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, Ю.С. Поликарпова // Бутлеровские сообщения. – 2006. – Т.8. – №1. – С. 54 – 61.

13. Rabinovich, E. Chemical bath deposition of single – phase $(Pb, Cd) S$ Solid solutions / E. Rabinovich, E. Wachtel, G. Nodes // Thin solid films. – 2008. – 517. – P. 737 – 744.

14. Osuva, J.C. Impurity effects of cadmium salt on the absorption edge and structure of chemically prepared PbS films / J. C. Osuva, C.I. Oriaku, F.I. Ezema // Chalcogenide letters. – 2009. – V. 6. – №8. – P. 385 – 391.

15. Forostyanaya, N.A. Formation of solid solutions via solid-state lead diffusion in chemically deposited CdS films / N.A. Forostyanayaa, L.N. Maskaevaa, Z.I. Smirnova, S. Santra, G.V. Zyryanova, V.F. Markova, M.V. Kuznetsov // Thin solid films. – 2018. – V.657 – P. 101 – 109.

16. Майорова, Т.Л. Рекомбинационные процессы в пиролитических пленках сульфида кадмия / Т.Л. Майорова, В.Г. Клюев // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – В. 3. – С. 311 – 315.

17. Yadav, A.A. Studies on nanocrystalline cadmium sulphide (CdS) thin films deposited by spray pyrolysis / A.A. Yadav, M.A. Barote, E.U. Masumdar // Solid state science. – 2010. – V.

12. – P. 1173 – 1177.

18. Майорова, Т.Л. Фотопроводимость пиролитических пленок сульфида кадмия, легированных Cs / Т.Л. Майорова, В.Г. Ключев, Т.В. Самофалова // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45. – В. 5. – С. 577 – 581.

5 19. Hasnat, A. Optical and electrical characteristics of pure CdS thin films for different thickness / A. Hasnat, J. Podder // J. of Bangladesh Academy of sciences. – 2013. – V. 37. – № 1. – P. 33 – 41.

20. Dingyu, Y. Structural and optical properties of polycrystalline CdS thin films deposited by electron beam evaporation / Y. Dingyu, Z. Xinghua, W. Zhaorong, Y. Weiqing, L. Lezhong, Y. Jun, G. Xiuying // Journal of semiconductors. – 2011. – V. 32. – №2. – P. 245 – 252.

21. Стецюра, С.В. Создание ультратонкого источника примеси для снижения радиационных потерь фоточувствительных пленок CdS / С.В. Стецюра, Е.Г. Глуховской, А.В. Козловский, И.В. Маляр // Журнал технической физики. – 2015. – Т.85. – В. 5. – С. 116–122.

15 22. Роках, А.Г. Гетерогенный фотопроводник на основе CdS-PbS / А.Г. Роках, А.В. Кумаков, Н.В. Елагина // ФТП. – 1979. – Т. 13. – В. 4. – С. 787–790.

23. Ильчук, Г.А. Электрохимический синтез тонких пленок CdS / Г.А. Ильчук, О.В. Украинец, Ю.В. Рудь, О.И. Кунтый, Н.А. Украинец, Б.А. Лукиянец, Р.Ю. Петрусь // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т. 30. – В. 15. – С. 19 – 24.

20 24. Munirah Spectroscopic studies of sol – gel grown CdS nanocrystalline thin films for optoelectronic devices / Munirah, Mohd. Shahid Khan, Anver. Aziz, Saadah Abdul Ruhman // Materials science in semiconductor processing. – 2013. – V. 16. – P. 1894–1898.

25. Growrish, K. Influence of deposition parameters on structural and optical properties of CdS thin films obtained by micro – controlled SILAR / K. Growrish, V.K. Ashith // J. of physics and chemistry of solids. – 2015. – V. 77. – P. 14 – 22.

26. Mukherjee, A. Synthesis of nanocrystalline CdS thin film by SILAR and their characterization / A. Mukherjee, B. Satpati, S.R. Bhattacharyya, R. Ghosh, P. Mitra // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2015. – V. 65. – P. 51 – 55.

27. Зарубанов, А.А. Кинетика фотолюминисценции нанокластеров CdS, сформированных методом Ленгмюра – Блоджетт / А.А. Зарубанов, К.С. Журавлев // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 49. – В. 3. – С. 392 – 398.

28. Мокрушин, С.Г. Экспериментальные исследования ламинарных систем. Образование ультратонких пленок сульфида кадмия на границе раздела фаз твердое тело – раствор / С. Г. Мокрушин, Ю. Д. Ткачев // Коллоидный журнал. – 1961. – Т. 23. – № 4. – С. 438–441.

29. Китаев, Г.А. Условия химического осаждения тонких пленок сульфида кадмия на твердой поверхности / Г. А. Китаев, А. А. Урицкая, С. Г. Мокрушин // Журнал физической химии. – 1965. – Т. 39. – № 8. – С. 2065 – 2066.

30. Щербакова, В.Я. Особенности образования слоя CdS при химическом осаждении из растворов / В. Я. Щербакова, В. И. Двойнин, Г. А. Китаев, А. А. Урицкая // Неорганические материалы. – 1977. – Т. 13. – № 9. – С. 1719 – 1720.

(57) Формула изобретения

Способ получения пленок твердых растворов замещения CdPbS методом ионообменной трансформации пленок CdS, предварительно полученных на инертных или проводящих подложках, в водном растворе ацетата свинца (II), отличающийся тем, что обработку проводят в водном растворе, содержащем ацетат свинца в количестве до 0,06 моль/л, при температуре процесса 353–368 К, с последующей термической

обработкой на воздухе при температуре 573 К в течение 1 часа.

5

10

15

20

25

30

35

40

45