

УДК 661.691

DOI 10.17073/0021-3438-2015-3-40-48

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКОВ СЕЛЕНА И СОЕДИНЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

© 2015 г. Н.А. Кульчицкий, А.В. Наумов

Московский государственный университет (МГУ) им. М.В. Ломоносова

ООО «КВАР», г. Москва

Статья поступила в редакцию 07.11.13 г., подписана в печать 03.12.13 г.

Обзор описывает текущее состояние и изменения рынка селена и соединений на его основе под влиянием появляющихся новых секторов их применения, а также состояние и перспективы российского рынка. Показана динамика мирового производства и цен на селен и его соединения за последние годы. Проведен анализ изменений в сферах использования селена, оценены перспективы роста селеносодержащих соединений. Оценена потребность в селене и селеносодержащих соединениях в средне- и долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: селен, производство, рынок, оптоэлектроника, цены, прогноз.

The review describes the current state and changes of the market of selenium under the influence of appearing new sectors of their application as well as the condition and prospects of the Russian market. The dynamics of world production and the prices for selenium in recent years are given. The changes in scopes of application of selenium are analyzed and prospects of growth of selenium-containing compounds are evaluated. The demand for selenium and selenium-containing compounds in medium-term and long-term prospects is evaluated.

Keywords: selenium, production, market, optoelectronics, prices, forecast.

Настоящий обзор является продолжением работы [1] и посвящен анализу изменений за последние 8 лет на рынке селена, а также соединений на его основе. Рассмотрено современное состояние и дан анализ тенденций развития указанных рынков. Оценен баланс «спрос—предложение», а также потребность в селене в среднесрочной перспективе. Обсуждаются перспективы производства и использования селеносодержащих соединений и их влияние на рынок селена в целом.

Общие вопросы

В земной коре содержится $6 \cdot 10^{-5}$ мас.% селена (или около 500 мг/т), он относится к редким рассеянными элементам. Основные черты геохимии

селена в земной коре определяются близостью его ионного радиуса к ионному радиусу серы. Селен образует 37 минералов, в том числе ашавалит (FeSe), клаусталит (PbSe), тиманнит (HgSe), гуанахуатит ($\text{Bi}_2(\text{Se}, \text{S})_3$), хастит (CoSe_2), платинит ($\text{PbBi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$), ассоциирующие с различными сульфидами, а иногда также с касситеритом. Главное промышленное значение имеют сульфидные месторождения. Содержание селена в сульфидах колеблется от 7 до 110 г/т. Мировые запасы селена оцениваются в ~90 тыс. т по медным месторождениям. Селен содержится еще, например, в угле и сырой нефти (от 0,5 до 12 ppm), а также в морской воде (4 ppm), что увеличивает его мировые запасы в 80—90 раз, но эти ресурсы сегодня не вовлечены в промышленный оборот. Основными промышленными ис-

Кульчицкий Н.А. — докт. техн. наук, профессор кафедры микросистемной техники МИРЭА (119454, г. Москва, пр-т Вернадского, 78), вед. науч. сотр. химического факультета МГУ (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3). Тел.: (495) 232-91-08. E-mail: n.kulchitsky@gmail.com.

Наумов А.В. — нач. производства ООО «КВАР» (123458, г. Москва, ул. Таллинская, 24, оф. 108). Тел.: (495) 232-91-08. E-mail: kvar@comail.ru; arkadii@mail.ru.

точниками селена служат шламы, образующиеся при электролитической очистке анодов меди. Медные шламы содержат 5—25 % Se в виде соединений с благородными металлами.

Общее производство селена оценивается в ~2500 т/год (по некоторым оценкам — до 3500 т/год) — это маленький по мировым меркам рынок. Цифры не могут претендовать на высокую точность — из ~80 медерафинировочных предприятий в мире только ~20 информируют о том, что получают Se либо собирают шламы для его извлечения [1, 2].

История цен на селен

Особенности изменения цены на селен за последние 10 лет ярко характеризуют явления, происходившие на сырьевых рынках в рамках так называемого сырьевого суперцикла. «Сырьевой суперцикл» — период общего роста цен на мировых товарных биржах. С 2000 г. цены на энергоносители, сельхозпродукцию и большинство металлов повысились более чем вдвое. На селен цены в отдельные периоды увеличились более чем в 10 раз. Динамика цен на селен с 2000 г. приведена на рис. 1.

Цены на селен значительно выросли в период с 2003 по 2005 г. — с 10 долл. США/кг в начале 2003 г. до ~100 долл. США/кг в середине 2005 г. Это увеличение было результатом превышения спроса над предложением и отражало возрастание мирового спроса на стекло в строительных проектах, так же как и усиление спроса из-за ожидаемого широкого использования селена в солнечных батареях. В то же время, отчасти, цены на селен повторяли общие закономерности «сырьевого суперцикла», когда цены

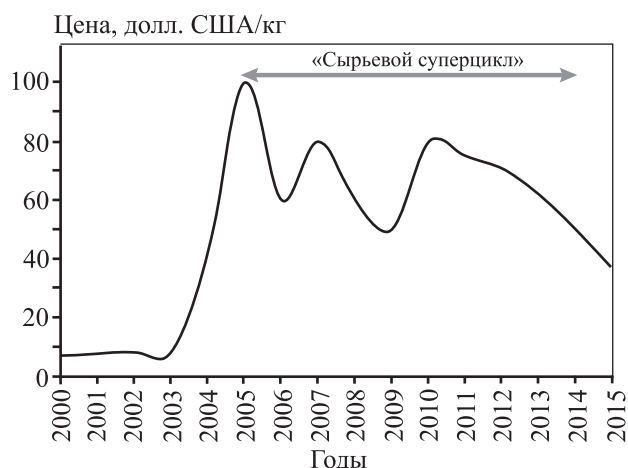


Рис. 1. Динамика цен на селен в 2000–2015 гг. [3, 4]

на металлы стали в большей степени финансовым инструментом, чем индикатором спроса и предложения.

В 2006 г. цены на селен снизились до 60 долл./кг, в 2007 г. — вновь поднялись до ~100 долл./кг, а в период 2007–2010 гг. — находились на уровне, не превышающем 40–50 долл./кг. Причиной этому было насыщение рынка, а также мировой экономический кризис (2009–2009 гг.), который привел к спаду во многих отраслях, где применяется селен. В конце 2010 г. цены на селен снова стали расти и в 2011 г. достигли отметки 140 долл./кг, после чего начали уменьшаться. В 2011 г. среднегодовая цена на селен вновь выросла и составила 147 долл./кг, что на 75 % выше, чем в 2010 г. С 2012 г. цена на селен стала устойчиво снижаться вследствие сокращения его потребления в Китае и начавшегося роста собственного производства селена в КНР. В 2015 г. тенденция спада продолжилась — цены составляют 36–40 долл./кг [5–9].

Источники селена

Производство меди в мире продолжает увеличиваться, при этом часть его осуществляется путем выщелачивания оксидных и сульфидных руд без изготовления анодов, содержащих селен. Поэтому в последние годы основной промышленный источник первичного селена отраслевыми аналитиками рассматривался как ограниченный. Однако новые данные показывают, что суммарно наблюдается прирост общего количества традиционной электролитически рафинированной меди (рис. 2) [10, 11]. Следовательно, сырьевая база селена, получаемого из шламов, хоть и медленно, но растет.

Уголь — потенциально значимый источник селена, однако извлечение селена из угля не осуществляется (рис. 3). Представляется, что для внедрения

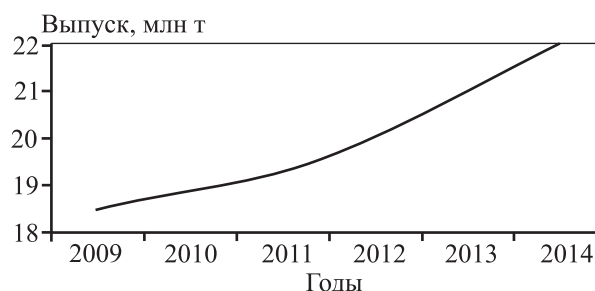


Рис. 2. Мировое производство электролитически рафинированной меди [11]

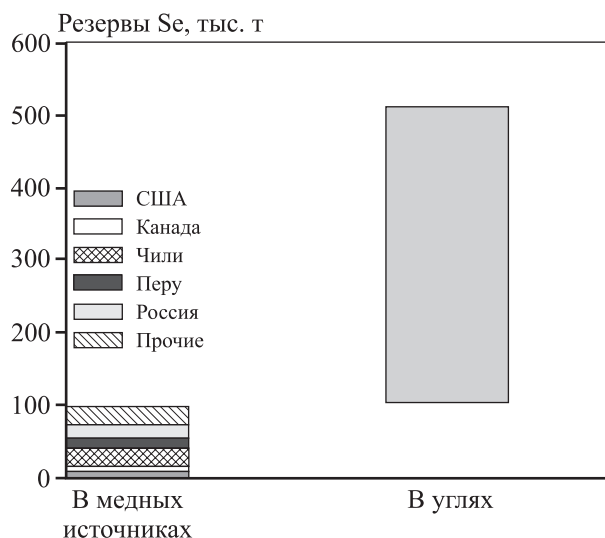


Рис. 3. Потенциальные ресурсы селена в рудных источниках и углях [2]

этой технологии должен произойти существенный рост цен на селен — для сравнения можно сказать, что германий, который добывается в России и Китае из углей, стабильно имеет цену в диапазоне 1800—2000 долл./кг.

Мировое производство селена рафинировочными заводами в 2013 г., по данным (неполным) USGS, составило ~2170 т, что примерно на 1 % больше, чем в 2012 г. Приблизительно 250—300 т селена, как оценивается, получают из вторичных источников [2—5, 8, 10].

Основные производители селена

Япония. Собственное производство селена составляет 600—750 т/год. Оно снизилось из-за падения производства меди после землетрясения в марте 2011 г. Крупнейшими производителями селена в Японии являются компании «Kisan Kinzoku Chemicals Co., Ltd.», «Mitsubishi Materials Corp.», «Mitsui Metal Mining and Smelting Co., Ltd.», «Nippon Rare Metals, Inc.», «Pan Pacific Copper Co., Ltd.», «Shinko Chemicals Co., Ltd.» и «Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.».

Канада. За последние годы выпуск первичного селена падает. Производители «Noranda Inc.» и «Falconbridge» снизили его производство с 240—250 т/год в начале 2000-х годов до 90—120 т/год в последние годы. Крупным игроком является компания «5N Plus», купившая в 2005 г. англо-бельгийскую «MCP-Sidech Group».

Европа — один из крупнейших производителей селена (свыше 730 т/год). Свой вклад вносят «Umicore S.A.» (Бельгия) — до 200 т/год, «Retorte GmbH» (подразделение «Aurubis», бывшее «Norddeutsche Affiniere AG», Германия) — около 150 т/год. Финляндия выпускает около 66—70 т/год селена, Польша — 80 т/год, Швеция — 130 т/год.

США. Компании «Phelps Dodge Refining Corp.», «Rio Tinto Zinc» передают шламы для переработки по толлингу в страны Азии, поэтому точные цифры по выпуску Se неизвестны, но в целом считается, что на долю США приходится до 20 % мирового производства селена.

Мексика. Компания «Southern Copper Corp.» (Аризона, США) владеет заводом драгоценных металлов «La Caridad», мощность которого, по официальным данным, составляет 342 кг Se/день (или 100—120 т/год). Производство в 2011—2015 гг., вероятно, несколько увеличилось вследствие роста производства очищенной меди.

Китай. Являясь крупнейшим потребителем селена для производства электролитического марганца, Китай производит селена свыше 1000 т/год и увеличивает собственный выпуск на ~7 %/год. Основные производители — «Jiangxi Copper» (120 т), «Yunnan Copper» (80 т), «Jinchuan Group» (36 т), «Tongling Nonferrous» (30 т), «Daye Nonferrous» (20 т), «Baiyin Nonferrous» (15 т). В 2011—2015 гг. Китай был по-прежнему крупнейшим нетто-импортером селена, импортируя из 21 страны от 40 до 50 % его мирового потребления. Так, в 2013 г. КНР ввозил 1750 т селена, в 2012 г. — 1606 т, в 2010 г. — 1560 т. Однако в последние 5 лет Китай стал заметным производителем собственного селена, и в 2014—2015 гг. его импорт в КНР сократился — как в связи с общим замедлением мировой экономики, так и ввиду роста внутреннего производства.

Перу. Компания «Southern Copper» производит селен на своем рафинировочном заводе WLO в южном Перу. В 2011 г. производство селена составляло 56 т, что на 5 % меньше, чем в 2010 г.

Чили. Являясь крупнейшим производителем меди и обладая значительными резервами селена, Чили выпускает, по разным данным, всего 80—90 т/год Se. Представляется, что часть Se-содержащих шламов передается другим предприятиям и не учитывается в статистике.

Филиппины. Компания «Pacific Rare Speciality Metals & Chemicals» (PRM) производит селена от 40 до 120 т/год.

Россия располагает тремя производителями Se — это горно-металлургическая компания «Норильский никель» (около 80 т/год), Уральская горно-металлургическая компания (до 110 т/год) и Кыштымский медеплавильный завод (до 15–20 т/год) [1–5].

Традиционные области применения селена

В табл. 1 представлены данные о потреблении селена в мире в период 2008–2012 гг.

Основные сферы применения селена приведены на рис. 4.

Химическая промышленность. Селен используют в составе катализаторов или окислителей в процессах органического синтеза, а также в резиновой промышленности в качестве вулканизаторов и для повышения стойкости резины. Пигменты от желтого до темно-бордового цвета получают сочетанием сульфида и селенида кадмия.

Стекольная промышленность. Селен необходим для обесцвечивания стекла и изготовления цветного стекла. При производстве архитектурного стекла

бронзового цвета или тонированного автомобильного также применяют Se и оксиды кобальта и железа.

Металлургия. Селен в количествах до 1 % добавляют в сплавы на основе железа или меди для повышения прочностных и пластических характеристик. Легированный селеном свинец используют для изготовления решеток аккумуляторов. В магниево-марганцевых сплавах примесь 0,3–0,5 % Se увеличивает стойкость против коррозии. Основной сферой применения Se остается получение электролитического марганца в Китае — SeO_2 добавляют в ванну при электролизе марганца.

О новых применениях селена

1. Оптоэлектроника

Селенид кадмия (CdSe). Это соединение со структурой вюрцита является важнейшим представителем полупроводников группы $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$. Основными областями применения CdSe являются оптоэлектроника, лазерные диоды, нанотехнологии (в том числе солнечные батареи на основе квантовых точек селенида кадмия с сульфидом цинка).

Данный материал используется для изготовления перестраиваемых ИК-лазеров, лазеров с электронной накачкой в видимой области излучения, волновых пластин. Монокристаллы CdSe могут применяться в CO_2 -лазерах в качестве поляризаторов, устройств вывода, а также для создания фокусирующих и направляющих зеркал ИК-оптики.

Для солнечной энергетики и фоторезисторов возможно использование поликристаллических пленок CdSe. В настоящее время проводятся исследования по применению наноразмерного селенида кадмия в качестве материала для солнечных батарей, точнее квантовых точек на основе либо чистого селенида кадмия, либо селенида кадмия/сульфида цинка.

Также возможно использование селенида кадмия в качестве

Таблица 1

Потребление селена (первичный + вторичный) в мире, т*

Страна	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
США	519,0	263,0	480,0	601,0	475,0
Китай	1600,0	1650,0	1700,0	1700,0	2000,0
Япония	176,5	132,7	172,1	227,0	200,0
Россия	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
Прочие страны	1049,5	899,3	992,9	917,0	1070,0
Всего	3400,0	3000,0	3400,0	3500,0	3800,0

*Сводные приблизительные данные (из информации, предоставляемой компаниями).

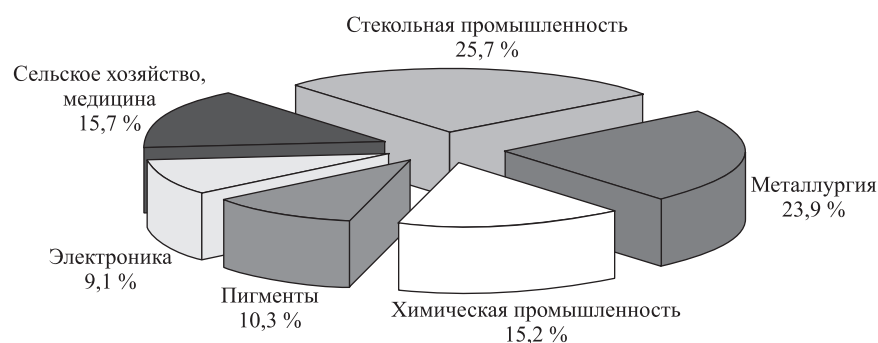


Рис. 4. Области применения селена

Таблица 2

Потенциальные области использования селенида цинка

Состояние	Изготавливаемые элементы	Применение
Монокристалл	Материал лазерного качества	Лазерный микрочип среднего ИК-диапазона
	ИК-оптика, выходные и входные окна	Полупроводниковые лазеры
	Кристалл	Акустооптический модулятор
	Кристалл ZnS : Mn (5 %) на подложке	Электролюминофор, LED
	Подложка	Электронный прибор на ПАВ
Поликристалл	Материал для инфракрасной оптики	Тепловизионные системы переднего обзора (FLIR-системы)
Порошок, крошка	Сцинтилляционные детекторы	Детекторы α - и рентгеновского излучений
	Пленка	Детекторы γ - и рентгеновского излучений
	Пленка на прозрачной подложке CaF ₂ (PbF ₂)	Двух- и трехслойное просветляющее покрытие
	Порошок	Компонент белого пигмента Литофон
	Пленка на прозрачной подложке (например, графит)	Электролюминофор для рентгеновских трубок, сцинтилляторов
	Пленка на стеклянной подложке	Ультралегкие солнечные батареи

оптических модуляторов (в виде поликристаллической пленки) [9, 10].

Селенид цинка (ZnSe). Это светло-желтое твердое вещество, являющееся прямозонным полупроводником. В виде монокристаллов оно применяется для изготовления оптических окон, линз, призм и зеркал, в частности для ИК-техники (табл. 2). Диапазон пропускания составляет 0,5—22,0 мкм. ZnSe также используется в качестве фокусирующей и проходной оптики, в системах CO₂-лазеров высокой мощности ($\lambda = 10,6$ мкм). Поликристалл можно применять для создания выходных устройств в лазерах.

У монокристалла ZnSe наблюдается пьезоэлектрический эффект, перспективный для акустооптики, но в настоящее время его использование ограничено научными целями, поскольку существуют более эффективные материалы для решения стандартных задач.

Легированный селенид цинка является люминофором для экранов электронно-лучевых и рентгеновских трубок, сцинтилляторов, а также для фоторезисторов, дозиметров и счетчиков радиоизлучения.

Нелегированный монокристаллический селенид цинка применяется для изготовления источников излучения голубого и синего цвета, поликристаллический — в производстве пассивных элементов ИК-оптики.

Наиболее широкое распространение среди легированных материалов получили электролюминофоры, активированные медью, которые излучают в зеленой и голубой областях спектра. Также селенид цинка легируют теллуром и хромом.

Селенид цинка, легированный теллуром, представляет собой сцинтиллятор с пиком излучения в 640 нм. По таким параметрам, как конверсионная эффективность, световой выход, послесвечение, гигроскопичность, ZnSe имеет преимущества перед другими сцинтилляционными материалами. Вследствие этого в массово используемых рентгеновских установках для неразрушающего контроля и инспекции багажа, в медицинских флюорографах и других аппаратах подобного назначения детекторами на основе ZnSe комплектуются низкоэнергетические (10—20 кэВ) линейки.

Селенид цинка, легированный хромом, применяется в качестве ИК-лазерного материала с излучением в 2,5 мкм.

Поликристаллический ZnSe активно используется в приборах ночного видения, тепловизионных системах переднего обзора (FLIR-системы), монокристалл ZnSe — в качестве подложек для детекторов, сцинтилляционный монокристалл находит применение в приборах для досмотра багажа. Сегодня данное направление активно развивается.

Селенид цинка применяется в устройствах ИК-оптики с диапазоном прозрачности 0,5–13,0 мкм. Поликристаллический ZnSe является наиболее часто используемым материалом для ИК-техники при производстве окон, зеркал и линз. В виде порошков и крошки селенид цинка широко применяется в качестве просветляющих оптических покрытий. Из общего количества произведенного ZnSe 87 % приходится на моно- и поликристаллы селенида цинка и 13 % — на селенид цинка в виде порошков и крошки.

ИК-устройства широко востребованы как в гражданской, так и в военной сферах. Спрос на приборы инфракрасного спектрального диапазона в оборонном секторе составляет порядка 70 % от общего спроса на данные устройства. Среди применений оборонного назначения можно назвать авиационные, морские, наземные ближнего и среднего ИК-диапазонов тепловизионные системы слежения — как независимо используемые, так и встроенные в военную технику. Тепловизионные ИК-приборы активно входят в бытовое пользование в разных странах. На территории РФ применение устройств ИК-оптики бытового назначения пока не распространено. Перспективными считаются разработки для автомобильной, энергетической и нефтегазовой промышленности. В последние годы неоднократно появлялись системы ночного видения для автомобилей, которые могут дать в ближайшие годы мощный толчок развитию рынка.

Помимо устройств регистрации сигнала для оборонных, коммерческих и бытовых назначений немалую долю рынка составляют приложения генерации излучения данного спектрального диапазона. В последние годы рынок технологических CO₂-лазеров составил более 1 млрд долл. США. Использование поликристаллического селенида цинка в CO₂-лазерах обусловлено рядом уникальных характеристик материала (низкое поглощение на длине волны генерации и высокая лучевая стойкость), которые допускают его применение в мощных технологических лазерных системах.

Рынок всех оптических элементов для инфракрасных устройств оценивается в 450 млн долл. США, из них значительная доля приходится на ZnSe-оптику — порядка 90 млн долл. США (более 70 т кристаллов в натуральном исчислении) (рис. 5).

Ежегодный рост рынка ИК-устройств для гражданских применений к 2016 г. ожидается 17 %. На настоящий момент наблюдается повышение спроса

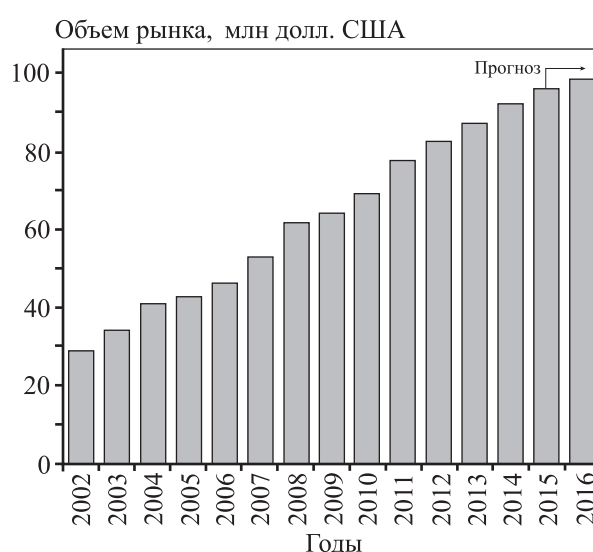


Рис. 5. Динамика и прогноз рынка оптики из селенида цинка [10]

на приборы среднего и теплового ИК-диапазонов. Отмечено значительное увеличение объемов рынка ИК-устройств за счет расширения областей применения и выхода на рынок приборов ИК-диапазона гражданского назначения. На протяжении последних 12 лет тенденция роста спроса на ZnSe на этом рынке сохраняется. Объем внутреннего российского рынка значительно меньше — в натуральном выражении не превышает 1,5–2,0 т.

Основными игроками на рынке производства ZnSe для ИК-устройств являются компании «II-VI Infrared» и «Rohm & Haas» — вместе они занимают 50 % рынка производства кристаллов селенида и сульфида цинка. Большая часть компаний, функционирующих на данном рынке, представляют собой вертикально-интегрированные структуры, объединяющие в себе предприятия нескольких уровней переработки.

Основной потребитель изделий из ZnSe на внутреннем рынке России — Министерство обороны РФ. Потребность военных приложений в данном материале растет, и в 2015 г. и последующих годах может возникнуть некоторый его дефицит на российском внутреннем рынке [9, 10].

Селенид галлия (GaSe и Ga₂Se₃). Этот материал имеет огромный потенциал для использования в нелинейной оптике, что обусловлено такими его свойствами, как широкая пропускная способность (от 0,65 до 18 мкм) с малыми потерями и большая нелинейная характеристика. Однако в связи со сложностью выращивания кристаллов

GaSe их применимость на данный момент ограничена.

На основе нелинейно-оптических кристаллов селенида галлия возможно создание детекторов ядерных частиц, фотоприемников, активных элементов генераторов высокочастотных импульсов, твердотельных лазеров и оптических модуляторов. Селенид галлия имеет большие возможности в области оптоэлектронных устройств. На его основе созданы датчики поляризованного излучения, высокоэффективные фотодиоды, фоторезисторы с изменяемым диапазоном fotocувствительности.

Благодаря высоким значениям нелинейной восприимчивости и лучевой прочности, широким диапазонам температурного, спектрального и углового синхронизма кристаллы GaSe относятся к наиболее перспективным нелинейным оптическим материалам для среднего ИК-диапазона. Селенид галлия успешно применяется в системах генерации второй гармоники углекислотных лазеров и в лазерах на фтористом дейтерии.

Возрастание интереса к исследованиям этого материала в последнее время связано и с возможностями его использования для изготовления различного типа наночастиц (включая нанотрубки), а также для использования в планарных нанотехнологиях.

Несмотря на уникальные характеристики и большой ряд различных применений, такой перспективный материал, как селенид галлия, пока не используется в массовом производстве.

Среди производителей кристаллов GaSe лидерами являются компании из США («ESPI Metals», «American Elements», «CERAC, Inc.»). Также в шестерку лидеров входят компании из Японии («Kojundo Chemical Laboratory Co., Ltd.») и Литвы («Optolita uab», под брендом «Eksma Optics»).

Селенид свинца (PbSe) — исторически он был одним из первых материалов для детекторов квантового (фотонного) типа. Технология производства неохлаждаемых фотопроводящих детекторов средневолновой области ИК-спектра на поликристаллических халькогенидах свинца была изобретена около полувека назад. При сравнении с другими неохлаждаемыми детекторами, детекторы на основе PbSe имеют ряд преимуществ: большая обнаруживающая способность, повышенная скорость реакции, тугоплавкость, возможность работы при комнатной температуре. В детекторах, как правило, применяются чувствительные поликристаллические или монокристаллические тонкие пленки.

Традиционно такие приборы относят к одноэлементным детекторам и относительно небольшим матрицам аналоговых элементов из-за ограничений производственных процессов. Однако недавно появившийся метод осаждения из паровой фазы при производстве детекторов позволяет создать двумерную структуру с хорошими электрооптическими характеристиками.

Еще несколько лет назад большинство ИК-устройств на основе халькогенидов свинца производились для военной и оборонной отраслей, где они используются для обнаружения объектов, в системе противоракетной обороны и для управления самонаводящимися боеголовками. Узкая сфера практического применения была обусловлена высокой стоимостью ИК-устройств. Сегодня, когда благодаря появлению новых технологий стало возможно значительное снижение цены, устройства на основе PbSe уже используются в ИК газовой спектроскопии, системах формирования изображений, термофотозлектрических конвертерах энергии, фотогальванических и фотопроводящих детекторах.

Селенид ртути (HgSe). Этот материал является полупроводником *n*-типа проводимости, что объясняется внедрением атомов ртути в междоузлия или вакансии в подрешетке селена. Наиболее вероятное значение ширины запрещенной зоны селенида ртути составляет 0,2 эВ.

Пленки из селенида ртути, благодаря высокой подвижности электронов, применяют для изготовления высокочувствительных датчиков Холла. Высокая эффективность излучательной рекомбинации позволяет использовать монокристаллы селенида ртути в качестве рабочего тела полупроводниковых лазеров, возбуждаемых электронным пучком.

2. Солнечная энергетика

В последнее время значительно расширяется еще один новый сектор применения селена, связанный с производством тонкопленочных солнечных элементов (СЭ). Способ выработки электроэнергии с помощью солнечных элементов (солнечная энергетика) лег в основу одной из самых быстрорастущих индустрий в мире, которую не остановил даже кризис. В период с 1999 по 2015 г. среднегодовой рост рынка солнечной энергетики составил более 35 %. Промышленно развитые страны планируют дальнейшее увеличение мощности солнечных электростанций в общемировом балансе до 25–30 % к 2030–2040 гг. В производстве солнечных элементов

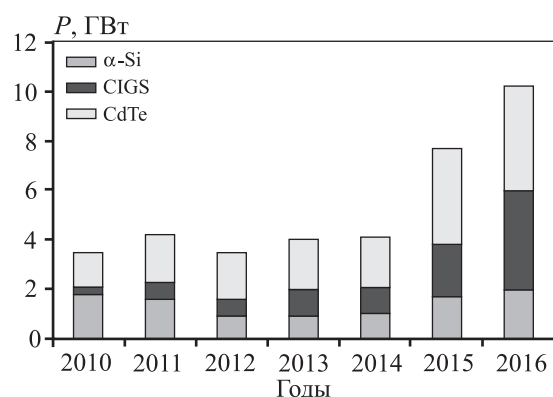


Рис. 6. Прогноз развития рынка CIGS и других солнечных элементов [12]

P – суммарная мощность произведенных солнечных элементов



Рис. 7. Потребность в селене для предполагаемого развития солнечной энергетики [9]

используют, кроме кремния, соединения Cu—In—Ga—Se₂, или CIGS (содержат 10 % Cu, 28 % In, 10 % Ga, 52 % Se) (рис. 6).

С 2012 г. рынок СЭ становится перенасыщенным, что принудило нескольких производителей объявить о банкротстве или сократить часть производства. Следует также отметить, что из-за применяемых тонкопленочных технологий в изготовлении СЭ на основе CIGS расход селена на их производство невелик (рис. 7) — так, в 2020 г. для всех ожидаемых СЭ, использующих CIGS, потребуется не более 550 т селена [14–16].

3. Медицина

Использование селена в виде селенита натрия в удобрениях, пищевых и витаминных добавках также увеличилось за последние 5 лет, поскольку его польза для здоровья человека широко признана. В тканях большинства живых существ есть селен — от 0,01 до 1 мг/кг. Недостаток селена в организме вызывает те же изменения, что и недостаток вита-

мина Е. Население регионов, где в почве и воде селена мало, подвергается большому риску сердечно-сосудистых и раковых заболеваний по сравнению с другими областями. Низкое содержание Se в почве отмечается в Китае, Швеции, Финляндии; в России — в Бурятии и Читинской обл. В ряде стран Западной Европы, в США и Китае приняты государственные программы, стимулирующие выпуск пищевых добавок для людей и животных. Удобрения, обогащенные селеном, используются в Финляндии, Новой Зеландии, Китае и США для получения селена в пищевой цепи и как альтернатива добавкам селена непосредственно в корм. Эта сфера применения селена растет [1–5, 7, 16].

Заключение

Макроэкономический фон. «Сырьевой суперцикл», продолжавшийся в мире в течение последних 14 лет, по мнению ряда аналитиков, завершен [13]. Резкий рост производства сырья за последние два года и признаки торможения экономики Китая, являющегося крупнейшим мировым потребителем самых разных видов сырья, побудили аналитические компании «Goldman Sachs Group Inc.», «Platts» и «Citigroup Inc.» объявить о конце суперцикла.

Отраслевые соображения. Начиная с 2013 г. происходит падение спроса, а соответственно, цен и объемов реализации селена в целом на рынке. Рынок Se в настоящий момент характеризуется устойчивым превышением предложения товара над его спросом.

Существенное снижение производства марганца в Китае в 2012–2013 гг. «высвободило» на рынке, по некоторым данным, до 600–700 т селена. Важно отметить, что даже прирост спроса на селен в таких областях его потребления, как фармацевтика (в том числе добавки к животным кормам), опто- и микроэлектроника, солнечная энергетика, ни в коей мере не может в ближайшей перспективе перекрыть в физическом исчислении падение потребления селена в китайской металлургии, состояние которой пока является определяющим фактором спроса на этот продукт.

Учитывая эти факторы, а также принимая во внимание, что в ближайшей перспективе существенного подъема китайской экономики и/или оздоровления мировой экономики не предвидится, напрашиваются следующие выводы:

— увеличения объемов спроса на селен в бли-

жайшей перспективе (1,0—1,5 года) ожидать не приходится;

— состояние цен на селен в среднесрочной перспективе будет более или менее стабильным, но, скорее, с умеренной понижающей тенденцией;

— в долгосрочной перспективе роль селена и Se-содержащих соединений будет возрастать в связи с развитием новых инновационных секторов применения. Так, существуют оценки, по которым к 2030 г. мировая потребность в селене может вырасти до 8—9 тыс. т/год [15—17].

Литература

1. *Naumov A.V.* A survey of the world market for selenium and tellurium (the economic of selenium and tellurium) // *Russ. J. Non-Ferr. Metals*. 2006. Vol. 47, № 4. P. 18—26.
2. US Geological Survey Publications // <http://minerals.usgs.gov>.
3. Metal-Pages // <http://www.metal-pages.com>.
4. Asian metal // <http://www.asaian-metal.com>.
5. World Mineral Production 2008-12 // Nottingham, UK, British Geological Survey, 2014.
6. Historical statistics for mineral commodities in the United States. Open File Report OF-01-006, vers. 6.4. 2003.
7. *Butterman W.C., Brown R.D.* Selenium // U.S. Department of the Interior, US Geological Survey, Open File Report OF-03-018. 2004.
8. *Коровин С.С., Букин В.И., Федоров П.И., Резник А.М.* Редкие и рассеянные элементы. М.: МИСиС, 2003. Т. 3.
9. *Наумов А.В., Плеханов С.И.* О сырьевых ограничениях развития солнечной энергетики в 2012—2020 гг. // Сб. матер. IX Междунар. конф. «Кремний-2012» по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, наноразмерных структур и приборов на его основе (Санкт-Петербург, 10—13 июля 2012 г.). СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2012. С. 120—121.
10. *Кульчицкий Н.А., Наумов А.В.* Обзор мировых рынков кадмия, теллура и соединений на их основе // *Цв. металлургия*. 2010. № 2. С. 31—44.
11. *Funsho Ojebuoboh.* Selenium and tellurium from copper refinery slimes and their changing applications // *World of Metallurgy-ERZMETALL*. 2008. Vol. 61, № 1. P. 255—261.
12. Thin Film 2012—2016: Technologies, markets and strategies for survival // <http://www.greentechmedia.com>.
13. Citigroup: Сырьевой суперцикл закончился, а что дальше? // <http://www.techcapfx.ru/research/forex-news/citigroup-believes-commodity-supercycle-is-over.html>.
14. *Achzet B., Reller A., Zepf V.* Materials critical to the energy industry: An introduction: Report for the BP Energy Sustainability Challenge. Augsburg, Germany: University of Augsburg, 2011.
15. *Willis P., Chapman A., Fryer A.* Study of by products of copper, lead, zinc and nickel. International Lead and Zinc Study Group, International Nickel Study Group, International Copper Study Group, 2010.
16. *Prabhu R.* Global solar PV installed capacity crosses 100GW Mark // www.renewindians.com/2013/02/global-solar-pv-installed-capacity-crosses-100GW-Mark.html.
17. *Fthenakis V.* Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. № 13(9). P. 2746—2750.