

Перспективные скандийсодержащие материалы для наполнения металлогалогенных ламп

**П. Г. Бережко, В. В. Мокрушин,
В. Ф. Проскудин, М. В. Царев,
Е. Н. Беляев, Е. Г. Орликова,
Н. М. Крекнина, А. Г. Лещинская**

Газоразрядные металлогалогенные лампы с излучающими добавками из безводных йодидов натрия и скандия являются одним из типов металлогалогенных ламп, выпускаемых отечественной светотехнической промышленностью. В настоящей работе представлены результаты, полученные при выполнении комплекса научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование технологии получения и дозирования указанных излучающих добавок в горелки металлогалогенных ламп, а также результаты рассмотрения возможности использования в производстве ламп добавок на основе менее гигроскопичных исходных компонентов.

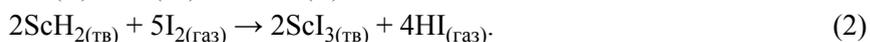
Введение

Газоразрядные металлогалогенные лампы (МГЛ) с излучающими добавками из безводных йодидов натрия и скандия являются одним из типов МГЛ, выпускаемых отечественной светотехнической промышленностью. При этом основные сложности при их производстве обусловлены необходимостью использования высокочистых безводных йодидов натрия и скандия, обладающих высокой гигроскопичностью, а также трудностью получения микродоз этих материалов для их помещения в колбы МГЛ. В настоящей работе предложены и отработаны пути совершенствования технологии получения и дозирования указанных излучающих добавок, а также проработан вариант использования при сборке МГЛ менее гигроскопичных исходных компонентов, чем указанные йодиды металлов, в частности:

- 1) предложена технология получения высокочистого йодида скандия прямым синтезом из простых веществ в количествах, способных удовлетворить потребности отечественной светотехнической промышленности;
- 2) опробован перспективный способ получения микродоз этого соединения и его смесей с йодидом натрия в виде гранул из затвердевшего плава с постоянной массой;
- 3) изложены результаты поисковых работ, направленных на получение высокочистого металлического скандия для нужд светотехнической промышленности путем термического разложения его йодида.

1. Синтез йодида скандия

Получение йодида скандия из простых веществ различными способами и в разных условиях описано во многих работах [1–18]. Нам предстояло обобщить этот опыт и разработать технологию получения требуемых количеств ScI_3 (~10 г за один технологический цикл) при условии выполнения также и других требований к техпроцессу: безопасности, воспроизводимости, рентабельности. При решении данной задачи нами были рассмотрены следующие возможные схемы синтеза целевого продукта:



С учетом требований, предъявляемых к разрабатываемой технологии, было принято решение осуществлять синтез с использованием кварцевых ампул, в которые помещали вольфрамовые тигли с исходными веществами. В качестве исходных материалов в данной работе использовали порошок металлического скандия марки СкМ-1-7 и йод ОСЧ 20-4. После снаряжения и вакуумирования ампулы запаивали и нагревали с использованием шахтной печи или печи сопротивления.

В ходе выбора оптимальных условий осуществления синтеза ScI_3 нами были проработаны три различных варианта получения целевого продукта. Первый вариант заключался в проведении реакции (1) в двухсекционных кварцевых ампулах при температуре в реакционной зоне ~(550–700) °С с последующей сублимацией продукта при ~(720–800) °С во вторую секцию ампулы с целью очистки от примесей. Такой «низкотемпературный» вариант синтеза приводил к получению поликристаллов ScI_3 с сильно выраженной текстурой, однако его основными недостатками являлись плохая воспроизводимость результатов и большая длительность процесса (до ~250 ч).

Для уменьшения времени синтеза ScI_3 была проведена серия опытов по получению целевого продукта по схеме (2) после предварительного гидрирования металлического скандия. Изначально предполагалось, что эта операция приведет к получению порошка ScH_2 , более высокодисперсного, чем исходный металлический скандий, что, в свою очередь, интенсифицирует процесс синтеза ScI_3 . Это предположение было подтверждено серией экспериментов, показавших, что при температуре ~900 °С время синтеза ScI_3 сокращается в ~10 раз. На способ получения йодида скандия из гидрида скандия по указанной схеме нами был получен патент [19], прототип которого описан в [20]. Тем не менее данный способ синтеза также имеет ряд недостатков, в первую очередь, связанных с образованием газообразных продуктов реакции (водорода), которые затрудняют последующую сублимацию целевого продукта и усложняют процесс вскрытия ампул в инертной среде перчаточного бокса. Устранение этих недостатков стало возможным за счет использования ампул с вакуумными кранами для откачивания газа после окончания синтеза и проведения дальнейшей возгонки ScI_3 в динамическом вакууме.

В то же время наиболее оптимальным вариантом осуществления синтеза ScI_3 стало его проведение по реакции (1) при температурах ~(870–920) °С с использованием трехсекционных запаянных кварцевых ампул (рис. 1). Такая конструкция позволяла очищать целевой продукт в процессе его последующей сублимации во вторую секцию ампулы, в том числе за счет «отгонки» легколетучих примесей в третью секцию ампулы. Продолжительность такого «высокотемпературного» синтеза составляла от двух до шести часов, а продолжительность последующей сублимации ScI_3 – от ~0,5 до ~8 ч. Таким образом, общее время синтеза при температурах ~(870–920) °С, по сравнению с продолжительностью при температурах ~(550–700) °С, значительно сократилось. Результаты «высокотемпературных» синтезов отличались хорошей воспроизводимостью,

при этом выход целевого продукта составлял $\sim(76-95)\%$. Во всех опытах образовывались твердые кристаллы йодида скандия с сильно выраженной текстурой, суммарная массовая доля примесей в которых, по данным атомно-эмиссионного спектрального анализа, не превышала $\sim 0,03\%$.

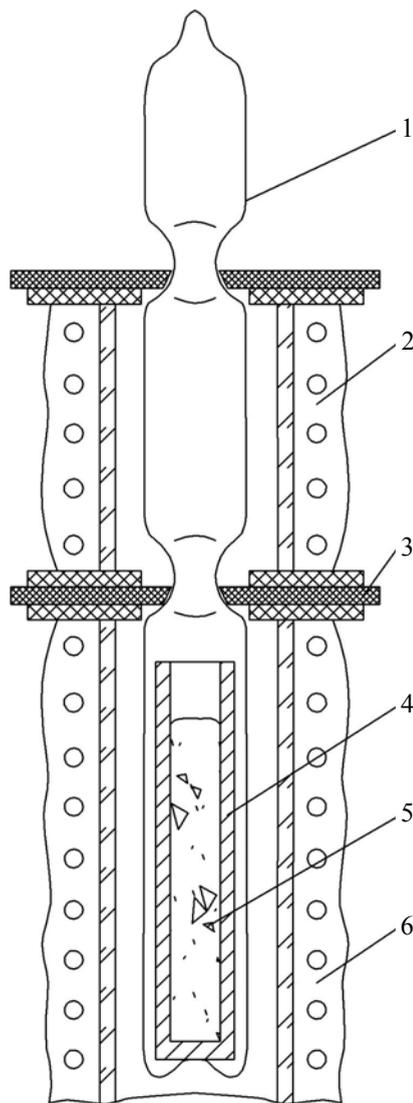


Рис. 1. Схема аппарата для синтеза йодида скандия: 1 – трехсекционная кварцевая ампула; 2 – электрическая печь № 1; 3 – прокладка из асбеста; 4 – вольфрамовый тигель; 5 – йодид скандия; 6 – электрическая печь № 2

Для дополнительной очистки целевого продукта от основной аппаратурной примеси (кремния) была отработана технология его повторной сублимации в динамическом вакууме после перегрузки синтезированного йодида скандия из ампул для синтеза (см. рис. 1) в чистые кварцевые ампулы с вакуумными кранами (рис. 2). В результате серии экспериментов с использованием раздельного нагрева «нижней» и «средней» частей ампул было установлено, что в зависимости от условий проведения сублимации содержание примеси кремния может быть снижено на один–два порядка. Анализ полученных результатов (рис. 3) показал, что при остаточном давлении на уровне

$\sim 1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. оптимальная температура сублимации ScI_3 , задаваемая нижней печью, составляет $\sim (600-630)^\circ\text{C}$, что обеспечивает достаточно высокую скорость процесса при достижении приемлемой степени очистки. При этом для достижения наилучшего результата температуру в средней части ампулы (в месте осаждения целевого продукта), задаваемую верхней печью, следует поддерживать на уровне $\sim (330-350)^\circ\text{C}$, что позволяет эффективно «отгонять» легколетучие кремнийсодержащие примеси в верхнюю часть ампулы.

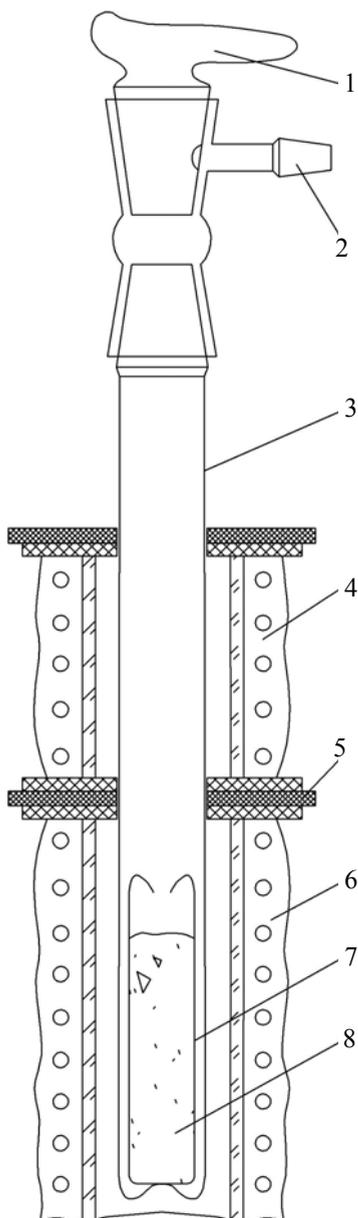


Рис. 2. Схема аппарата для сублимации йодида скандия: 1 – вакуумный кран; 2 – керн для подстыковки аппарата к вакуумному насосу; 3 – кварцевая ампула; 4 – электрическая печь № 1; 5 – прокладка из асбеста; 6 – электрическая печь № 2; 7 – кварцевая ампула; 8 – йодид скандия

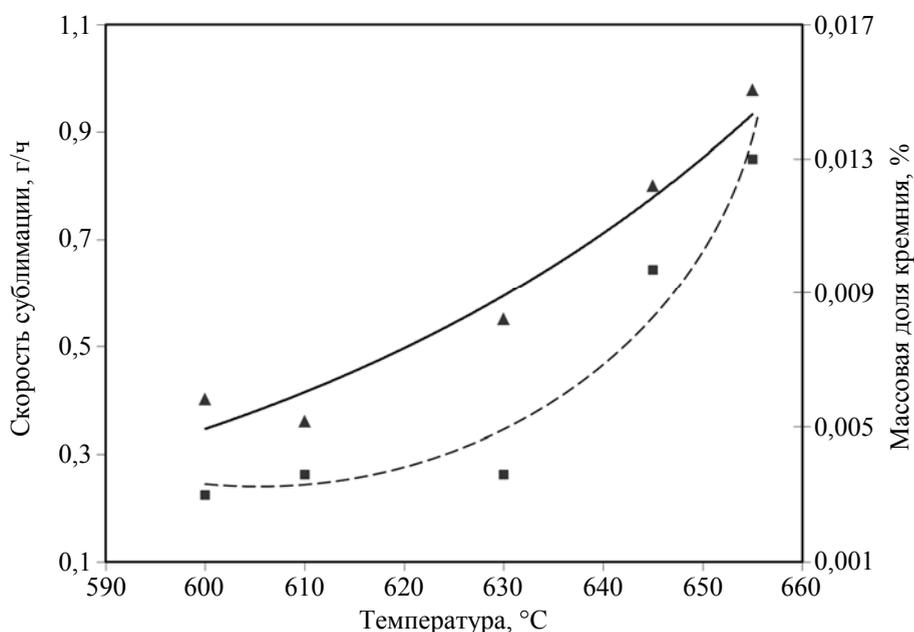


Рис. 3. Зависимость скорости сублимации йодида скандия (▲) и массовой доли примеси кремния (■) в конечном продукте от температуры сублимации

Таким образом, результатом первого этапа данной работы явилось создание воспроизводимой и достаточно эффективной технологии синтеза йодида скандия из простых веществ в количествах, способных удовлетворять потребности предприятий светотехнической промышленности в данном компоненте наполнения МГЛ. Фотография демонстрационного образца высокочистого йодида скандия, полученного по разработанной нами технологии, представлена на рис. 4.



Рис. 4. Демонстрационный образец безводного йодида скандия, полученного по разработанной технологии

2. Создание микродоз йодидов натрия и скандия в качестве перспективного наполнения МГЛ

Одним из путей повышения производительности операции наполнения металлогалогенных ламп излучающими добавками и увеличения точности дозирования галогенидов металлов в колбы МГЛ является использование не полидисперсных порошков безводных йодидов натрия и скандия, а дискретных доз этих соединений в виде квазимонодисперсных частиц или гранул

с постоянной массой. При этом в соответствии с требованиями производства МГЛ среднее значение массы этих частиц для ламп малой мощности (до 170 Вт) должно составлять $\sim(0,05-0,5)$ мг, а отклонение массы от среднего значения не должно превышать $\sim 20\%$.

Нами были рассмотрены и частично экспериментально опробованы несколько способов получения микродоз из безводных йодидов металлов. Результаты этих исследований показали, что наиболее перспективным и эффективным способом дозирования этих соединений является получение из них сферических гранул путем принудительного дробления капиллярной струи жидкого расплава исходного вещества энергией колебаний ультразвукового генератора с последующей кристаллизацией капель при их падении в среде инертного газа [21–23]. Данный способ дозирования был экспериментально реализован нами совместно с сотрудниками Центра высоких технологий Московского энергетического института (МЭИ). В результате были изготовлены гранулы из безводного йодида натрия (рис. 5,а), а также из специально приготовленного плава смеси безводных йодидов натрия и скандия, синтезированного по описанной выше технологии (рис. 5,б).

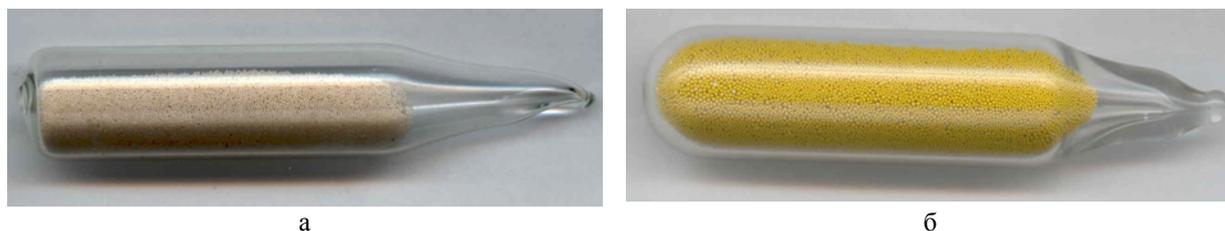


Рис. 5. Образцы гранул NaI (а) и двойной смеси NaI + ScI₃ (б), полученные методом принудительного дробления капиллярной струи жидкого расплава энергией колебаний ультразвукового генератора

Для аттестации полученных образцов применительно к использованию в МГЛ нами был разработан весовой метод оценки степени полидисперсности гранул, который при сопоставлении с данными химического анализа показал хорошую сходимость результатов. Так, например, согласно оценке, проведенной с использованием весового метода, для образца, представленного на рис. 5,а, средняя масса гранулы составляет $0,108 \pm 0,003$ мг.

Гранулы двойной смеси NaI + ScI₃ (рис. 5,б) прошли испытание на предприятии светотехнической промышленности ОАО «Лисма-Лайтинг» (г. Саранск) в металлогалогенных лампах мощностью 35, 50, 70, 100 и 150 Вт и показали соответствие этих ламп требованиям действующих стандартов. Результаты испытаний продемонстрировали, что предложенный способ дозирования исходных компонентов открывает новые возможности для повышения эффективности стадии сборки МГЛ, обеспечивая при этом поддержание требуемого качества серийной продукции.

Тем не менее трудности, связанные с высокой гигроскопичностью безводного йодида скандия, даже в случае использования гранул из плава NaI + ScI₃, заставляют исследователей в области разработки излучающих добавок для МГЛ искать пути создания более технологичных в обращении наполнителей. В этой связи более перспективным способом дозирования является использование не гигроскопичного ScI₃, а смеси металлического скандия с гранулами слабогигроскопичного йодида ртути [24, 25]. При таком наполнении ScI₃ образуется в герметичной горелке МГЛ при первом включении лампы по реакции



Для реализации этого предложения необходимо осуществить получение микродоз высокочистого металлического скандия. Одним из возможных способов получения таких микродоз может являться термическое разложение высокочистого йодида скандия, приводящее к осаждению

пленок скандия на подложку из тугоплавкого металла (например, из вольфрама), являющегося инертным по отношению к процессам, происходящим в лампе [26, 27]. Последующее разрезание подложки с пленкой целевого вещества на порции позволит получить микродозы металла, требуемые для наполнения МГЛ. Далее изложены результаты комплекса научно-исследовательских работ, выполненных сотрудниками РФЯЦ-ВНИИЭФ для проверки возможности практической реализации этого предложения.

3. Особенности термического разложения йодида скандия с целью получения металлического скандия

Хорошо известно, что метод йодидного рафинирования позволяет получать наиболее чистые металлы [27–33]. Однако в случае скандия практическая реализация полного цикла рафинирования («сырой» металл – йодид металла – йодидный металл) в одной герметичной камере осложнена высокой устойчивостью «сырого» скандия к воздействию паров йода. В этом случае, как отмечено в работе [27], синтез и последующее разложение ScI_3 следует осуществлять в две последовательные стадии.

Еще более важным осложняющим обстоятельством является то, что при реально достижимом в технологическом процессе давлении паров йодида скандия температура его разложения может оказаться значительно выше температуры сублимации металлического скандия, что наглядно иллюстрируют результаты проведенных нами термодинамических расчетов (рис. 6). В соответствии с ними осаждение металла следует ожидать не на той подложке, где происходит

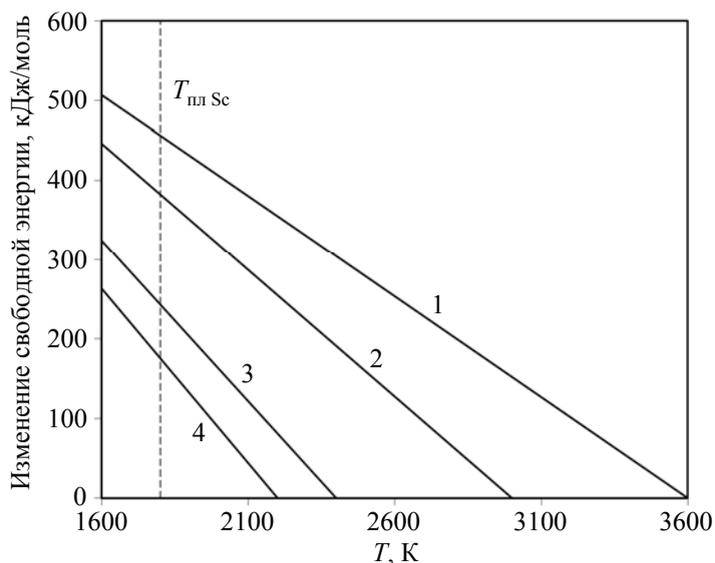


Рис. 6. Зависимость изменения энергии Гиббса реакции разложения ScI_3 от температуры при заданных значениях равновесных парциальных давлений ScI_3 и I_2 : 1 – $P_{\text{ScI}_3} = 10^{-4}$ атм, $P_{\text{I}_2} = 10^{-2}$ атм; 2 – $P_{\text{ScI}_3} = 10^{-2}$ атм, $P_{\text{I}_2} = 10^{-2}$ атм; 3 – $P_{\text{ScI}_3} = 10^{-4}$ атм, $P_{\text{I}_2} = 10^{-4}$ атм; 4 – $P_{\text{ScI}_3} = 10^{-2}$ атм, $P_{\text{I}_2} = 10^{-4}$ атм

разложение его йодида, а на какой-то другой, более «холодной» поверхности. Кроме того, результаты термодинамических расчетов свидетельствуют, что для заметного смещения равновесия реакции (4) в сторону образования целевого продукта общее давление в системе должно быть минимальным, а образующиеся пары йода необходимо непрерывно отводить из зоны реакции (рис. 7),



Учитывая наличие этих особенностей, эксперименты по термическому разложению йодида скандия в настоящей работе проводили в кварцевых ампулах, которые отличались наличием «отростка», помещаемого в жидкий азот для вымораживания йода. Необходимым условием успешного проведения процесса являлся отказ от использования динамического вакуума, приводящего к окислению целевого продукта, вследствие чего все ампулы запаивали после их снаряжения. Для удаления остаточного кислорода из объема системы до начала разложения в большинстве опытов использовали геттер из металлического скандия или титана, который при сборке аппарата помещался в отросток, предназначенный для вымораживания йода. После вакуумирования и запаивания кварцевых ампул геттер прогревался и расплывался на внутренние стенки «отростка» с помощью горелки, во время чего происходило поглощение остаточного кислорода. Осаждение металлического скандия предполагалось осуществлять на подложки из тугоплавких металлов различной геометрии, которые располагали в наиболее «горячей» реакционной зоне, разогреваемой за счет использования индукционного нагрева токами высокой частоты. Примеры конструкций использованных нами аппаратов изображены на рис. 8, 9.

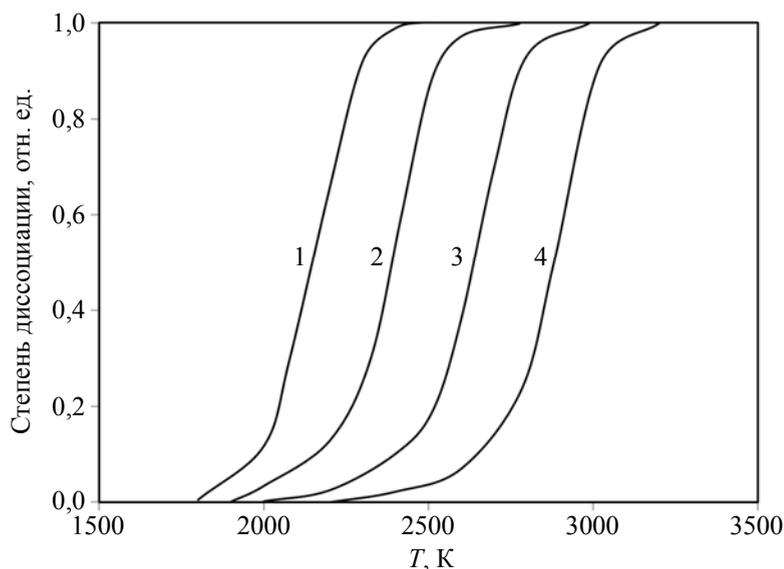


Рис. 7. Зависимость степени диссоциации ScI_3 от температуры при различных значениях общего давления $P_{\text{общ}}$ в системе: 1 – $1,3 \cdot 10^{-5}$ атм; 2 – $1,3 \cdot 10^{-4}$ атм; 3 – $1,3 \cdot 10^{-3}$ атм; 4 – $1,3 \cdot 10^{-2}$ атм

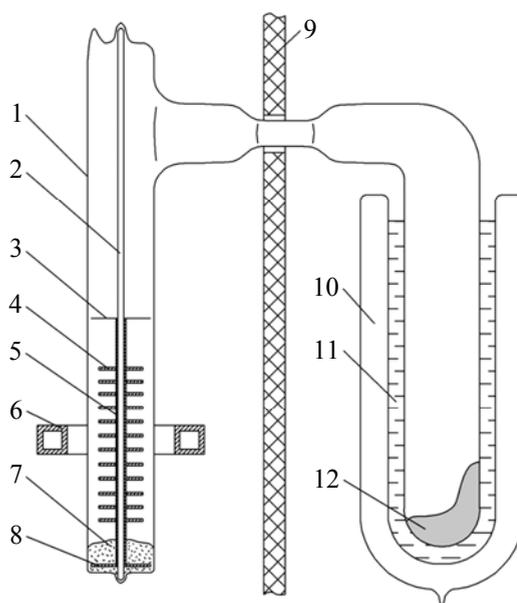


Рис. 8. Схема одного из использованных в работе аппаратов для разложения йодида скандия на поверхности вольфрамовых подложек: 1 – кварцевая ампула; 2 – вольфрамовый стержень; 3 – кварцевая центрирующая вставка; 4 – вольфрамовые диски; 5 – втулки из тантала; 6 – кольцо индуктора ВЧ печи; 7 – йодид скандия; 8 – подложка из тантала; 9 – теплоизолятор из асбеста; 10 – сосуд Дьюара; 11 – жидкий азот; 12 – распыленный геттер

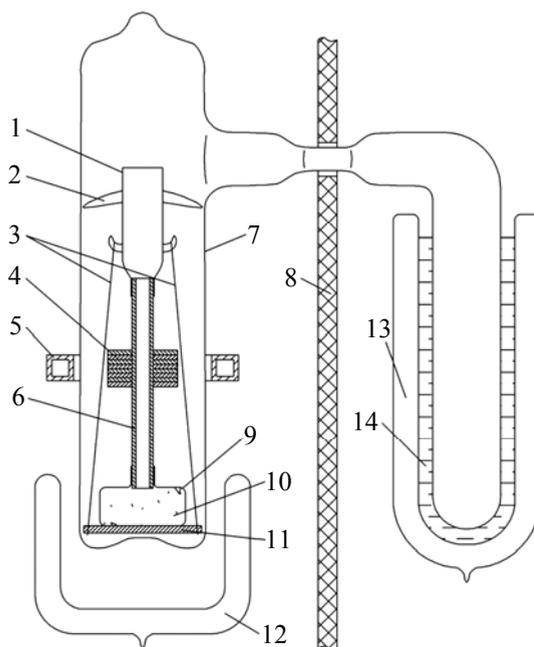
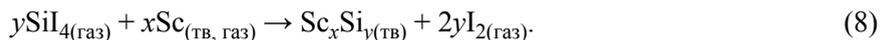
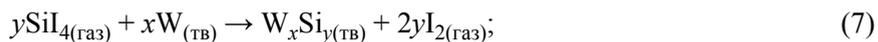
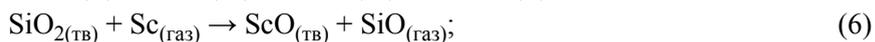
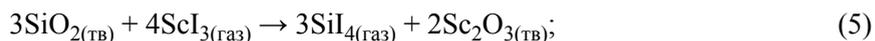


Рис. 9. Схема одного из использованных в работе аппаратов для разложения йодида скандия на поверхности танталовой фольги: 1 – кварцевый конденсатор паров неразложившегося йодида скандия; 2 – кварцевые центрирующие направляющие; 3 – стяжки из молибденовой проволоки; 4 – нагревательные кольца из тантала; 5 – кольцо индуктора ВЧ печи; 6 – трубка из танталовой фольги; 7 – кварцевая ампула; 8 – теплоизолятор из асбеста; 9 – кварцевый тигель; 10 – йодид скандия; 11 – пластина из тантала; 12 – стеклянный теплоизолятор; 13 – сосуд Дьюара; 14 – жидкий азот

Пробные эксперименты по разложению йодида скандия показали целесообразность использования раздельного нагрева средней и нижней частей ампулы от разных источников тепла, что позволяет отдельно контролировать процессы разложения и сублимации исходного соединения. По этой причине в последующих экспериментах нижнюю часть ампулы нагревали до $\sim(630-700)$ °С с помощью электрической шахтной печи, контролируя температуру в «зоне сублимации» с помощью термопары. Нагрев средней части ампулы до $\sim(1800-2000)$ °С осуществляли с использованием высокочастотной печи индукционного нагрева, при этом температуру в «зоне разложения» оценивали с помощью пирометра. Общее время прохождения процесса в указанных условиях составляло от ~ 12 до ~ 18 ч.

Анализ подложек из вольфрама, использованных в аппарате, изображенном на рис. 8, показал, что после опытов на их поверхности присутствуют налеты металлического скандия, сильно загрязненного аппаратными примесями. При этом осаждение металлического скандия было независимо установлено в РФЯЦ-ВНИИЭФ методами рентгенофазового и волнометрического анализа, а также подтверждено с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и атомно-эмиссионного спектрального анализа в РИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва). Таким образом, полученные результаты подтвердили принципиальную возможность получения металлического скандия путем разложением его йодида, причем, согласно полученным нами данным, скандий действительно осаждается не в «зоне разложения», а в других зонах, нагретых до температуры $\sim(1200-1400)$ °С, что подтверждает термодинамические расчеты. С другой стороны, высокая степень загрязнения вольфрамовых подложек продуктами побочных реакций компонентов реакционной системы с кварцем выводила на первый план поиск путей подавления этих процессов, которые при высоких температурах протекают, вероятно, по следующим схемам:



Существенно снизить степень загрязнения продукта аппаратными примесями стало возможным после осуществления процесса разложения внутри оболочки из тантала, помещенной в кварцевую ампулу (рис. 10). При высоких температурах тантал инертен по отношению к Sc и ScI_3 , тогда как его взаимодействие с парами йода приводит к образованию легколетучих йодидов тантала, которые «отгоняются» вместе с йодом в азотную ловушку. Анализ вольфрамовых подложек после проведения опыта с использованием аппарата, схема которого приведена на рис. 10, показал практически полное отсутствие силицидных фаз в зоне осаждения целевого продукта, однако металл, осажденный на вольфрамовые подложки, продолжал оставаться в сильной степени окисленным.

Дальнейшим направлением улучшения конструкции экспериментальных аппаратов стало размещение металлического геттера вблизи «горячей» реакционной зоны с внешней стороны танталовой оболочки (рис. 11) для поглощения агрессивных компонентов газовой среды непосредственно в процессе экспериментов. Кроме того, было использовано дополнительное охлаждение наружных стенок кварцевых ампул водой для снижения скорости коррозии кварца и возможности достижения более высоких температур в «зоне разложения». Однако существенной степени диссоциации исходного йодида скандия в таких аппаратах удавалось достичь только при разогреве реакционной зоны до температур $\sim(2000-2100)$ °С, при которых коррозия существенно ускорилась и в отдельных экспериментах приводила к проплавлению стенок кварцевых ампул и их разгерметизации.

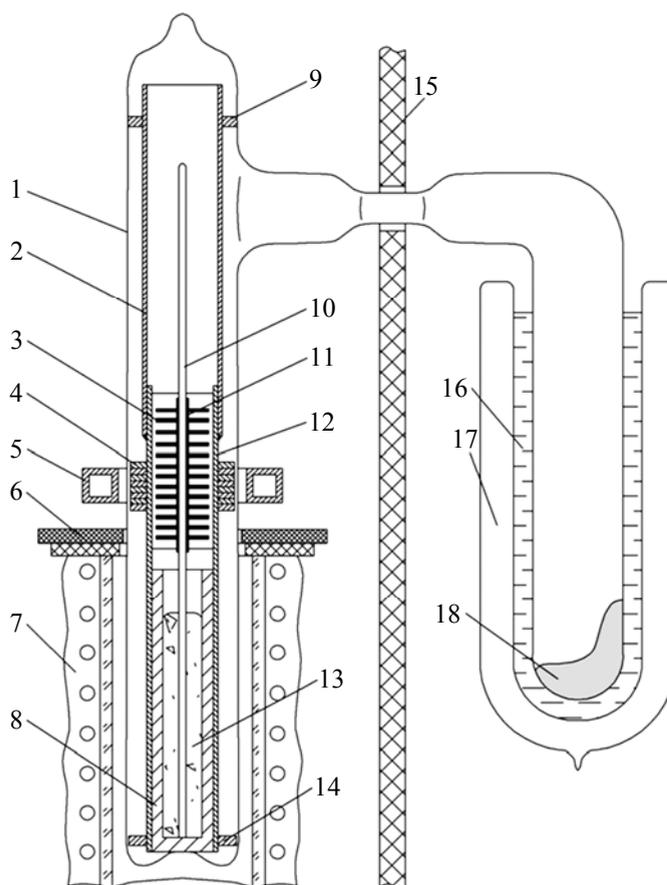


Рис. 10. Схема аппарата для разложения йодида скандия с использованием оболочки из тантала: 1 – кварцевая ампула; 2 – оболочка из тантала; 3 – вольфрамовые диски; 4 – нагревательные кольца из тантала; 5 – кольцо индуктора ВЧ печи; 6 – стальной экран; 7 – электрическая печь; 8 – вольфрамовый тигель; 9 – центрирующее кольцо из тантала; 10 – вольфрамовый стержень; 11 – втулки из тантала; 12 – оболочка из вольфрама; 13 – йодид скандия; 14 – центрирующее кольцо из вольфрама; 15 – теплоизолятор из асбеста; 16 – жидкий азот; 17 – сосуд Дьюара; 18 – распыленный геттер



Рис. 11. Аппарат для разложения йодида скандия, аналогичный изображенному на рис. 10 и отличающийся «емкостью» со скандиевым геттером, которая размещена около «зоны разложения»

Таким образом, в ходе проведенных работ образцы металлического скандия, возможно, впервые были получены методом термического разложения йодида скандия. Несмотря на это, полученные результаты показали, что практическая реализация указанного направления в масштабах, способных удовлетворить нужды отечественной светотехнической промышленности, затруднительна вследствие целого ряда технологических сложностей. В первую очередь, эти сложности связаны с высокой термической стабильностью йодида скандия, обуславливающей необходимость использования жаропрочных и термостойких вакуумных материалов, способных сохранять устойчивость при высоких температурах.

Заключение

1. Разработана воспроизводимая и достаточно эффективная технология синтеза высокочистого йодида скандия из металлического скандия и йода, в количествах, способных удовлетворять потребности отечественной светотехнической промышленности в данном компоненте наполнения газоразрядных металлогалогенных ламп.

2. Предложен и опробован перспективный способ создания микродоз компонентов наполнения маломощных газоразрядных металлогалогенных ламп, в том числе и из гигроскопичных исходных соединений, путем принудительного дробления капиллярной струи жидкого расплава компонента энергией колебаний ультразвукового генератора с последующей кристаллизацией капель при их падении в среде чистого инертного газа.

3. Исследована возможность создания технологии получения высокочистого металлического скандия путем термического разложения йодида скандия. По данной схеме, возможно, впервые получены образцы йодидного скандия, осажденного на вольфрамовых подложках, однако установлено, что практическое осуществление данного способа для нужд светотехнической промышленности затруднительно вследствие ряда технологических сложностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра по проектам МНТЦ № 765-98 и № 1835-02.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллаборатору проектов МНТЦ № 765-98 и № 1835-02 и участнику данной работы профессору химии Университета штата Колорадо (Форт Коллинз, США) Питеру Дорхауту (Peter Dorhout) за помощь в организации и проведении исследований и полезные замечания, сделанные при обсуждении результатов.

Также авторы выражают благодарность сотрудникам Центра высоких технологий Московского энергетического института: В. Б. Анкудинову, М. Г. Кленову, Ю. А. Марухину и В. П. Огородникову – за изготовление гранул компонентов, предназначенных для наполнения МГЛ; сотрудникам РНЦ «Курчатовский институт» и лично профессору Ю. А. Тетерину за проведение исследования состава поверхности вольфрамовых подложек методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии; сотрудникам РФЯЦ-ВНИИЭФ К. В. Коршунову, И. Ф. Кашафдинову и Ю. С. Иванушкину за помощь при оформлении материалов статьи.

Список литературы

1. McCollum B. C., Dudis D. S., Lachgar A., Corbett J. D. The layered, metallic scandium iodide $Sc_{0,93}I_2$: synthesis, structure and properties // *Inorganic Chemistry*, 1990. Vol. 29, N 10. P. 2030–2032.

2. Fischer W., Gewehr R., Wingchen H. Über thermische Eigenschaften von Halogeniden. 12. Über eine neue Anordnung zur Dampfdruckmessung und über die Schmelzpunkte und Sättigungsdrucke von Scandium, – Thorium – und Hafnium halogeniden // Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie, 1939, Bd 242, Heft 2, S. 161–187.
3. Spedding F. H., Daane A. H. The Rare-Earth Metals // Metallurgical Review, 1960. Vol. 5, N 19. P. 297–348.
4. Меньков А. А., Комиссарова Л. Н. Рентгенографическое изучение иодида скандия // Журнал неорганической химии, 1964. Т. 9. Вып. 3. С. 766–767.
5. Браун Д. Галогениды лантаноидов и актиноидов / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1972.
6. Яровой А. А., Ревзин Г. Е., Петрова Л. М. Получение безводных иодидов металлов III–IV групп и железа // Известия АН СССР. Неорганические материалы, 1971. Т. 7, № 3. С. 437–441.
7. Corbett J. D. High purity rare earth metal iodides. Preparation and reaction with silica containers // Inorganic and Nuclear Chemistry Letters, 1972. Vol. 8, N 4. P. 337–340.
8. Hirayama C., Castle P. M., Snider W. E. and Kleinosky R. L. Mass spectra and vapor pressure of scandium triiodide, and thermochemistry for the dimerization of ScI_3 (g) // Journal of the Less-Common Metals, 1978. Vol. 57. P. 69–77.
9. Work D. On the vaporization thermodynamics of scandium iodide // Journal of the Less-Common Metals, 1980. Vol. 69. P. 383–387.
10. Руководство по неорганическому синтезу / Под ред. Г. Брауэра / Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. Т. 4.
11. Druding L. F., Corbett J. D. Lower oxidation states of the lanthanides. Neodymium (II) chloride and iodide // Journal of the American Chemical Society, 1961. Vol. 83, N 11. P. 2462–2467.
12. Corbett J. D. Lanthanum triiodides (and other rare earth metal triiodides) // Inorganic Syntheses, 1983. Vol. 22. P. 31–36.
13. Dudis D. S., Corbett J. D., Hwu S.-J. Synthesis, characterization and crystal structures of two scandium cluster carbides and a boride, $\text{Sc}_7\text{X}_{12}\text{C}$ (X = I, Br) and $\text{Sc}_7\text{I}_{12}\text{B}$ // Inorganic Chemistry, 1986. Vol. 25. P. 3434–3438.
14. Lachgar A., Dudis D. S., Dorhout P. K., Corbett J. D. Synthesis and properties of two novel line phases that contain linear scandium chains, LiScI_3 and $\text{Na}_{0,5}\text{ScI}_3$ // Inorganic Chemistry, 1991. Vol. 30. P. 3321–3326.
15. Cotton S. A. Recent advances in the chemistry of scandium // Polyhedron, 1999. Vol. 18. P. 1691–1715.
16. Meyer G., Gerlitzki N., Hammerich S. Rare-earth diiodides and derivatives // Journal of Alloys and Compounds, 2004. Vol. 380, N 1–2. P. 71–78.
17. Meyer G., Jongen L. Scandium iodides without and with carbon // Journal of Alloys and Compounds, 2006. Vol. 418, N 1–2. P. 53–57.
18. Meyer G. Reduced rare-earth iodides without and with carbon // Journal of Alloys and Compounds, 2008., Vol. 451, N 1–2. P. 666–668.
19. Пат. 2189358 РФ, МКИ С 01F 17/00. Способ получения безводного иодида скандия / П. Г. Бережко, В. Ф. Проскудин, Е. Н. Беляев, В. В. Мокрушин // Изобретения. Полезные модели. 2002. № 26.
20. Блэкледж Д. П. Гидриды металлов / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1973.

21. Пат. 2032498 РФ, МКИ В 22F 9/06. Способ получения сферических гранул / В. Б. Анкудинов, Ю. А. Марухин // Изобретения. 1995. № 10.
22. Пат. 2115514 РФ, МКИ В 22F 9/06. Способ получения монодисперсных сферических гранул / В. Б. Анкудинов, М. Г. Кленов, Ю. А. Марухин, В. П. Огородников // Изобретения. 1998, № 20.
23. Анкудинов В. Б., Кленов М. Г., Марухин Ю. А., Огородников В. П. Получение монодисперсных сферических гранул методом вынужденного капиллярного распада струи расплава металла // Материаловедение. 1997, № 5. С. 9–14.
24. А.с. 385349 СССР, МКИ Н 01j 61/18. Способ изготовления металлогалогенных ламп / Ю. А. Буханов, Л. Б. Прикупец, Г. С. Сарычев // Бюллетень изобретений и товарных знаков. 1973, № 25.
25. Pat. 4310774A US; Н 01j 61/18. Arc discharge lamp containing scandium and scandium halide / R. J. Karlotski, D. E. Work. Issued: January 12, 1982.
26. Ключарев А. П., Коваленко Л. И., Лищенко Л. Г. и др. Тонкие фольги из изотопов металлов. Методы получения. – М.: Энергоиздат. 1981.
27. Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии. Производство металлических порошков / Пер. с англ. – М.: Мир, 1964.
28. Ролстен Р. Ф. Иодидные металлы и иодиды металлов / Пер. с англ. – М.: Металлургия. 1968.
29. Джемрек У. Д. Процессы и аппараты химико-металлургической технологии редких металлов. – М.: Атомиздат, 1965.
30. Осаждение из газовой фазы / Под ред. С. Ф. Роуэла и др. / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1970.
31. Шефер Г. Химические транспортные реакции / Пер. с нем. – М.: Мир, 1964.
32. Van Arkel A. E., de Boer J. H. Darstellung von reinen Titanium-, Zirkonium-, Hafnium und Thoriummetall // Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie, 1925, Bd 148, S. 345–358.
33. Spirlet J. C., Peterson J. R., Asprey L. B. Preparation and purification of actinide metals // In: Advances in Inorganic Chemistry, 1983. Vol. 31. P. 10–11.

Advanced scandium-containing materials for metal halide arc discharge lamp fill

P. G. Berezhko, V. V. Mokrushin, V. F. Proskudin, M. V. Tsarev, E. N. Belyaev,
E. G. Orlikova, N. M. Kreknina, A. G. Leshchinskaya

Arc discharge metal halide lamps (MHL) with emitting additives of dry sodium iodide (NaI) and scandium iodide (ScI₃) are one of the types of MHL which have produced in commercial scale by the national lighting industry. The results obtained during the performance of complex researches aimed of improvement of the synthesis technology and dosing of these emitting additives in MHL as well as the results obtained during the consideration of possibility using of less hygroscopic initial components in the lighting industry are presented.