

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков Ю. П., Гижевский Б. А., Мостовщикова Е. В. и др. // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – Вып. 3. – С. 81–89.
2. Гарасько Е. В., Тесакова М. В., Чуловская С. А. и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2008. – Т.51. – № 10. – С. 116–119.
3. Коробочкин В. В., Усольцева Н. В., Горлушко Д. А., Балмашнов М. А. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 3. – С. 3–16.
4. Ушаков А. В., Карпов И. В., Лепешев А. А. и др. // Материаловедение. – 2013. – № 7. – С. 29–32.
5. Назаренко О. Б., Тихонов Д. В. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 25–29.
6. A. A. Sivkov, A. S. Saygash, Y. L. Kolganova, I.I. Shanenkov, Phase analysis study of the copper-aluminum contact pair obtained by plasma dynamic method IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 66 (2014) 012048 doi:10.1088/1757-899X/66/1/012048, pp.1-5
7. Singh D. P., Ojha A. K., and Srivastava O.N. // J. Phys. Chem. C. – 2009. – V. 113. – P. 3409–3418.

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО КАТОДА В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ

Закусилов В. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Явление электронной эмиссии в современном мире представляет большой интерес благодаря развитию электроники и широкому использованию устройств генерирующих потоки электронов. Однако остаётся актуальной проблема поиска новых эффективных эмиттеров и улучшение характеристик существующих типов катодов.

Как известно стабильность работы эмиссионного катода зависит от материала, из которого он изготовлен. Важны такие характеристики как низкая работа выхода, достаточно высокая температура плавления и кипения, высокая механическая прочность, электропроводность и плотность тока эмиссии. Работа выхода является основной характеристикой в выборе материала, которая равна энергии, затраченной на удаление электрона с поверхности Ферми твёрдого тела в среду [1].

Можно выделить несколько групп катодов: полупроводниковые, пленочные, катоды чистых металлов, тугоплавкие соединения переходных металлов с бором и углеродом и сложные катоды.

Катоды, содержащие в себе металл, являются высокотемпературными эмиттерами, работа выхода которых зависит от электронного строения вещества. Их особенность базируется на электронной структуре металлов, с которой связаны также и особенности строения поверхностно расположенных атомов. Щелочные и редкоземельные металлы из-за низких сил межатомной связи имеют минимальную работу выхода в каждой периоде. В случае длинных периодов по мере заполнения *d*-оболочки работа выхода металлов увеличивается, достигая максимального значения для металлов VIII группы в пятом и шестом периодах [2].

В последнее десятилетие интенсивно разрабатываются для различных физических устройств катодные узлы на основе тугоплавких соединений. Это карбиды и бориды переходных металлов, а также бориды редкоземельных элементов. В конструкции

таких катодных узлов учитывается высокая химическая активность этих соединений по отношению к материалам, из которых изготавливаются элементы, устройства. Сплавы тугоплавких металлов с редкоземельными элементами имеют работу выхода менее 3 эВ. Катоды из этих сплавов обладают низкой скоростью испарения и большой долговечностью, которая составляет более 2000 часов при температуре 2000 К [3].

Соединения металлов с бором представляют интерес за счёт своих разнообразных свойств, заложенных структурой атома. Было обследовано большое количество систем боридов и наиболее активными из боридов по отношению к металлам являются гексабориды. Сравнение эмиссионных свойств гексаборидов лантана, бария и самария произведено в таблице 1 [3].

Таблица 1. Эмиссионные свойства гексаборидов

Гексаборид	Работа выхода, эВ	Плотность тока эмиссии при 1600 К, А/см ²
LaB ₆	2,70±0,05	1,0
SmB ₆	3,92±0,05	1,4·10 ⁻⁴
BaB ₆	3,40±0,05	5,3·10 ⁻³

Наиболее перспективным среди гексаборидов редкоземельных металлов является гексаборид лантана. Экспериментальные значения работы выхода LaB₆, полученные на поликристаллах находятся в интервале 2,66-4,00 эВ. Низкая работа выхода LaB₆ обусловлена особенностью кристаллической структуры и электронного строения вещества.

Низкая работа выхода LaB₆ обусловлена особенностью кристаллической структуры и электронного строения вещества. Формирование на поверхности стехиометрического состава слоя из атомов лантана происходит не диффузионным путём, а за счёт особенности испарения боридов в вакууме. На основе данных по термоэмиссионным свойствам и испарению гексаборид лантана является наиболее перспективным эмиссионным материалом [2].

Производство катодов из гексаборидов лантана, как правило, связывают с методами порошковой металлургией. Однако известные методы имеют ряд существенных недостатков:

а) отравление конечного продукта оксидами, нитридами или гидридами, образующимися в результате процесса синтеза, что отрицательно сказывается на эмиссионных свойствах за счёт недостаточной частоты полученного катодного материала;

б) технически сложное оборудование (электролизные ванны, дуговые печи, тигли из особо чистых материалов), большие затраты энергии на длительное проведение синтеза и отжига конечных продуктов, для удаления примесей, а так же наличие исходных компонентов точного стехиометрического состава приводит к увеличению стоимости конечного продукта.

Таким образом появляется необходимость поиска альтернативных методов получения гексаборидов лантана. Одним из наиболее перспективных методов порошковой металлургии является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) обеспечивающий чистоту продукта для стабильной работы катода.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – экзотермическая реакция, инициирование которой происходит локально, в результате чего химические

превращения перемещаются по смеси в режиме волны горения (самораспространение) с образованием твердых продуктов [4].

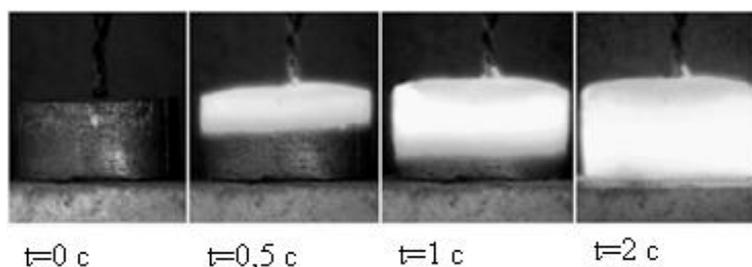


Рис. 1. Протекание СВ-синтеза гексаборида лантана

Для проведения эксперимента использовались химически чистые тонкодисперсные порошки оксида лантана (99,9 мас. %) и бора (99,9 мас. %) ($\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$), смешанные в необходимой пропорции по стехиометрическому соотношению. Порошковые смеси предварительно были высушены в муфельной печи при температуре 100 °С в течение 5 часов при атмосферном давлении. Реагенты были тщательно перемешаны в кубическом смесителе ERWEKA AR 403S в течение 30 минут. Механоактивация была проведена в шаровой планетарной мельнице АГО-2С. Мелющими телами мельницы выступили металлические шары диаметром 4 мм. Число шаров в каждом барабане было выбрано из соотношения 100 грамм массы шаров к 20 граммам массы порошка. После проведения механоактивации реагенты были запрессованы методом глухого прессования в специальную цилиндрическую форму диаметром 30 мм в течение 10 минут. Процесс прессования проводился с помощью гидравлического пресса ПЛГ- 12. После подготовки реагентов, спрессованные порошки помещаются в СВС-реактор, в котором реализуется самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

После проведения синтеза был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) полученных образцов. В результате проведения РФА обнаружено, что в полученных образцах содержится фаза гексаборида лантана, что подтверждает возможность получения данного материала методом СВС.

Таким образом, доказана возможность получения гексаборида лантана методом СВС, в дальнейшем необходимо отработать технологические этапы получения гексаборида лантана методом СВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомоюнова М.В., Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника. – М.: Наука, 1966. – С. 109 – 114.
2. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка. – С. 167 – 187.
3. Высокоэффективный эмиттер электронов на основе гексаборида лантана / Керсанов В. С., Малахов Н. П. Морозов В. В. И др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 152 с.
4. Мержанов А. Г., Мукасян А. С. Твердопламенное горение. – М.: Тороус пресс, 2007. – 336 с.