

УДК 621.387.322

А.Е. Чижиков, С.С. Бурукин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КАТОДОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ АКТИВИРОВАНИИ В РАЗРЯДЕ

*Проведены аналитические и экспериментальные исследования процессов, протекающих во время активирования холодных гексаборидлантановых катодов в разряде. Подтверждено положение о возможности плавления частиц функционального материала и образования на поверхности катода тонкого сплошного слоя гексаборида лантана.*

**Введение.** Одним из альтернативных материалов для формирования катодов в ГИП постоянного тока является гексаборид лантана ( $\text{LaB}_6$ ), отличающийся низкой работой выхода, высокой плотностью эмиссионного тока в значительном диапазоне давлений и достаточно высокой эрозионной стойкостью к ионной бомбардировке [1]. Холодные катоды на основе  $\text{LaB}_6$  часто получают методом трафаретной печати пасты, состоящей из порошка  $\text{LaB}_6$  и легкоплавкого стекла, на слой проводящего материала. Спекание катодов производят при температурах 550–600 °С. Процесс изготовления катодов заканчивается активированием. При этом эрозионная стойкость сформированного катода может определяться не только исходным составом пасты, т. е. соотношением долей гексаборида и стекла, но и параметрами режима активирования катода в разряде. В работе [2] утверждается, что в процессе активирования гексаборидлантанового катода в разряде с высокой плотностью тока (1–2,5  $\text{А/см}^2$ ) вместе с удалением с поверхности катода плёнки легкоплавкого стекла происходит и сплавление зёрен  $\text{LaB}_6$ . Образование на поверхности катода тонкого сплошного слоя гексаборида лантана должно повысить срок его службы, т. к. стойкость такой плёнки к ионной бомбардировке весьма высока [3].

Задача данной работы заключается в аналитическом и экспериментальном исследовании процессов плавления частиц гексаборидлантанового катода во время активирования его в разряде.

**Методика исследований.** Структура катода (рисунок 1) представляла собой напечатанный на стеклянную подложку слой серебра, на который наносилась паста, состоящая из порошка  $\text{LaB}_6$  с размером зерна  $4\div 10$  мкм, легкоплавкого стекла С82-3 состава 71%  $\text{PbO}$ , 15,6%  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 11,4%  $\text{SiO}_2$ , 2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и органического связую-

щего. Содержание стекла в пасте – 30% весовых. Спекание покрытий производилось на воздухе при температуре  $T=550$  °С в течение 30 мин. Основные размеры структуры катода следующие: ширина 0,4 мм, длина 1,6 мм, толщина 0,03 мм.

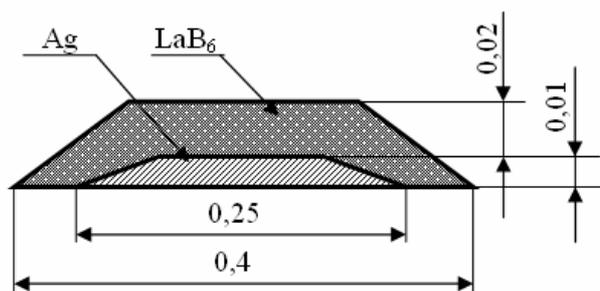


Рисунок 1 – Структура  $\text{LaB}_6$ -катода

Параллельно плоскости катода на расстоянии 0,3 мм от него располагался проволочный анод из сплава 47НД диаметром 0,12 мм. Разрядный промежуток ограничивался диэлектрическими барьерами, герметизировался, откачивался и наполнялся рабочим газом  $\text{Ne}+5\% \text{Xe}$  до давления 150 Торр.

Обработка катода проводилась в импульсном режиме. При подаче между катодом и анодом напряжения зажигался разряд. В работе [4] было доказано, что обработка  $\text{LaB}_6$ -катодов в разряде с плотностью тока в импульсе более 3  $\text{А/см}^2$  приводит к разрушению покрытия, поэтому в данном эксперименте был выбран режим с плотностью тока 1,75  $\text{А/см}^2$ , амплитудой импульса напряжения  $U_{\text{имп}}=450$  В, амплитудой импульса тока  $I_{\text{имп}}=14$  мА, длительностью импульса  $\tau=100$  нс и частотой следования импульсов  $f=32$  кГц.

С помощью полевого растрового электронного микроскопа JSM-6700F методом энергодисперсионной спектроскопии определялся со-

став приповерхностных (до 1 мкм) слоёв катода и сравнивался с исходным. Для визуальной оценки структуры поверхности были получены фотографии катода во вторичных электронах.

**Результаты эксперимента.** На рисунке 2,а показана структура поверхности исследуемого  $\text{LaB}_6$ -катода в исходном состоянии. До обработки в разряде покрытие имеет достаточно пористую и неоднородную по размеру зёрен структуру. Результаты спектрального анализа поверхности (преобладание на диаграмме пиков Pb, O и Si) говорят о том, что поверхностный слой катода образован частицами гексаборида лантана, покрытыми плёнкой легкоплавкого стекла.

Состояние поверхности после обработки катода в разряде при указанных выше параметрах в течение 5 минут представлено на рисунке 2,б. Вид поверхности позволяет сделать вывод об образовании конгломератов из частиц гексаборида. При этом снижение содержания Pb в спектральном составе излучения указывает на удаление с поверхности гексаборида лантана плёнки легкоплавкого стекла.

Длительная (30 мин) обработка катода в разряде с той же плотностью тока приводит к полному удалению с поверхности плёнки стекла и дальнейшему сплавлению зёрен гексаборида, что уменьшает пористость покрытия (рисунок 2,в). Вместе с тем уменьшение отношения содержания лантана к бору в спектральном составе излучения свидетельствует об изменении стехиометрии состава поверхностного слоя катода.

**Расчетный анализ ионной обработки катода.** С целью подтверждения результатов эксперимента была проведена расчетная оценка возможности плавления зёрен гексаборида лантана во время активирования в указанном режиме.

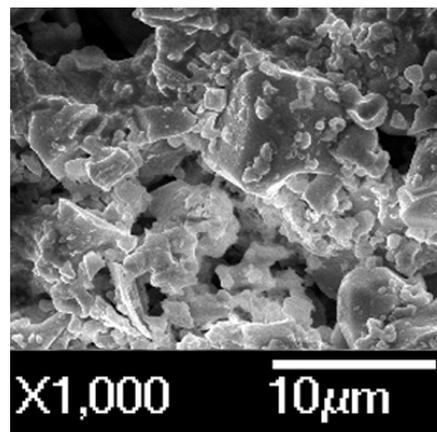
При малой длительности  $\tau$  импульса за время прохождения тока прогревается слой поверхности катода толщиной  $h$ , определяемой по формуле:

$$h = \sqrt{a \cdot \tau}, \quad (1)$$

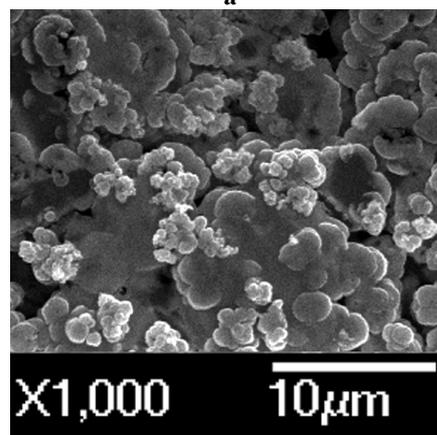
где  $a$  - температуропроводность, которая находится как:

$$a = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c}, \quad (2)$$

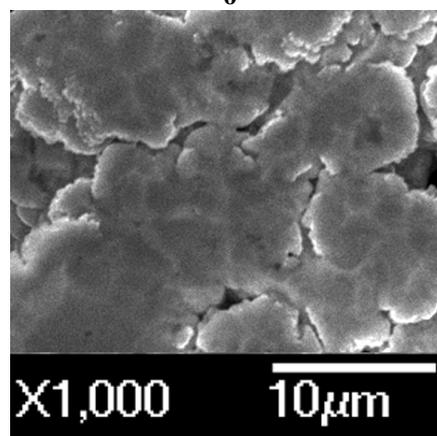
где  $\lambda$  - теплопроводность,  $\gamma$  - плотность,  $c$  - теплоёмкость материала.



а



б



в

**Рисунок 2 – Фотографии  $\text{LaB}_6$ -катода до ионной обработки (а), после 5 мин обработки в разряде (б), после 30 мин обработки в разряде (в)**

Масса  $m$  прогреваемого слоя высотой  $h$  и площадью  $S$  определяется выражением:

$$m = h \cdot S \cdot \gamma, \quad (3)$$

Энергия  $W_{nl}$ , необходимая для плавления данного слоя без учёта энергии фазового перехода:

$$W_{nl} = m \cdot c \cdot (T_{nl} - T_0), \quad (4)$$

где  $T_{nl}$  - температура плавления,  $T_0$  - начальная температура.

Энергия  $W_{имп}$ , выделяемая за время действия импульса:

$$W_{имп} = P_{имп} \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $P_{имп}$  - импульсная мощность, определяемая как:

$$P_{имп} = U_{имп} \cdot I_{имп}. \quad (6)$$

Последовательно подставляя в выражения (1) – (6) заданные параметры импульсов, размеры покрытия, а также известные для гексаборида лантана справочные величины ( $\lambda=0,5$  Вт/см·К,  $\gamma=4,72$  г/см<sup>3</sup>,  $c=0,137$  кал/г·град,  $T_{пл}=2200$  °С) [5], получаем, что  $a = 0,185$  см<sup>2</sup>/с,  $h=1,36 \cdot 10^{-4}$  см,  $m=5,14 \cdot 10^{-6}$  г,  $W_{пл}=5,9 \cdot 10^{-3}$  Дж,  $P_{имп} = 6,3$  Вт, соответственно  $W_{имп} = 6,3 \cdot 10^{-7}$  Дж.

Результаты проведённого расчёта, на первый взгляд, говорят о невозможности разогрева поверхностного слоя до температуры плавления гексаборида лантана. Однако необходимо отметить, что распределение электрического поля в системе таково, что разряд зажигается на части площади катода (около 1/5). Кроме того, в процессе активирования наблюдается контракция разряда. Таким образом, площадь, занятая разрядом, составляет лишь малую часть всей площади катода (области плавления на рис. 2 находятся в пределах 10 мкм) и величина  $S$  в выражении (3) приблизительно будет соответствовать значению  $10^{-6}$  см<sup>2</sup>.

Пересчет выражения (4) с учётом этого фактора показывает, что выделяемой в разряде импульсной энергии достаточно для плавления мелких частиц и тонких слоёв LaB<sub>6</sub> ( $W_{пл}'=7,3 \cdot 10^{-7}$  Дж).

**Заключение.** Результаты проведённых расчётных и экспериментальных исследований позволяют утверждать, что активирование гексаборид-лантанового катода рассматриваемой конструкции в разряде с высокой плотностью тока действительно может сопровождаться процессами плавления функционального материала. На начальном этапе обработки происходит сплавление мелких зёрен гексаборида. Длительная ионная обработка катода приводит к плавлению тонкого поверхностного слоя материала. Полученные данные дают дополнительные основания для выбора режима активирования LaB<sub>6</sub>-катодов в плазменных панелях.

#### Библиографический список

1. Светликина И.А., Камарычева Н.Н. Катоды. Часть 3 // Обзоры по Э. Т. Серия «Электроника СВЧ». Вып. 7 (238). - М., 1974. - С. 30.
2. Патент №4600397 США, МКИ 4 Н 01 j 9/12, НКИ 445-6. Метод изготовления газоразрядной индикаторной панели. – заявл. 11.04.85; опублик. 15.07.86, Т.1068, №3. Приоритет 19.04.84, №59-79216, Япония.
3. E. Munemoto, K. Yoshida, N. Awaji, Y. Amano. Screened LaB<sub>6</sub> cathode for DC-PDP.// Jap. INTERNATIONAL DISPLAY RESEARCH CONFERENCE. – 1988. p. 114 – 117.
4. Создание состава и методов активирования толстополеночного эмиссионного покрытия катодов газоразрядных индикаторов: Отчет о НИР/ Ряз. радиотех. ин-т. Руководитель А. Е. Чижиков. – ГР У52770/8003164. Инв. №Т58229. Отв. исполн. Ю.К. Молчанов. -Рязань. 1989. – 144 с.
5. Кудинцева Г. А., Мельников А. И., Морозов А.В. и др. Термоэлектродные катоды. -М.: Энергия, 1966.-368 с.