

Лобанов С.В., Федоров И.А., Шешин Е.П.
Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Изготовление наноструктурированных катодов, на основе пирографита, интеркалированного тройным карбонатом щелочноземельных металлов

В данной работе описывается технология изготовления композитного катода, в котором графит и эмиссионно-активное вещество образуют интеркалированное химическое соединение. В ходе исследований был получен композиционный материал, а также выявлен рабочий диапазон давлений прессования, при котором возможно получение рабочих катодов из предложенного выше материала.

Ключевые слова: вакуумная электроника, пирографитные материалы, термоэлектронная эмиссия, композиционный катод.

В наши дни всё больший интерес в самых разных областях науки и техники вызывают наноматериалы. Особое внимание привлекают материалы на основе графита [1], ввиду его широкой доступности, дешевизны и простоты обработки. Структурные характеристики таких пирографитных материалов приводят к возникновению уникальных в своем роде физических свойств, имеющих большое прикладное значение.

Композиционный катод выполняется в виде слоистой структуры, в которой проводящий материал - графит и эмиссионно-активное вещество образуют интеркалированное химическое соединение [2], где молекулярные слои графита регулярно чередуются с молекулярными слоями бария, а оксид бария сосредоточен в дефектах межслойных пространств, например, в углублениях и микропорах. Катод, изготовленный из такого соединения, не расслаивается при нагреве в процессе активирования и работы, а сохраняет свою исходную слоистую структуру и первоначальную геометрию. Слоистая структура обеспечивает устойчивость катода в активированном состоянии к воздействию атмосферы, т.к. активное вещество, сосредоточенное в межслойных пространствах, а также в закрытых микродефектах кристаллической структуры, не подвергается воздействию кислорода. Выходы торцов слоистого соединения создают на эмитирующей поверхности микро рельеф, на котором при приложении напряжения между катодом и анодом происходит значительная концентрация электрического поля, что повышает эффективность работы такого катода в режимах термоавто- и автоэмиссии.

Для получения исходных порошков производилось совместное измельчение порошка карбоната бария и термообработанного пирографита. Измельчение может происходить с разной степенью энергетической обработки, что в результате влияет на размер отдельных частиц порошка.

Для изготовления катода полученный порошок прессуется в матрице требуемой формы. В процессе прессования формируется слоистая композиция графита и карбоната бария во всем объеме заготовки катода, причем слои располагаются преимущественно в

направлении, перпендикулярном направлению силы давления, а в дефектах межслойных пространств создаются закрытые микрорезервуары, заполненные эмиссионно-активным веществом. Наши образцы прессовались между стальными прокладками, покрытыми графитом и обработанные спреем. При прессовании порошка в матрице под давлением менее 300 кг/см² прочность спрессованного катода оказывается недостаточной, а при работе, в особенности в режиме автоэмиссии под действием пондеромоторных сил, из катода в межэлектродный зазор вырываются частицы, что приводит к браку по коротким замыканиям. Также было выяснено, что величина давления прессования не должна превосходить 1000 кг/см², т.к. при этом давлении происходит разрушение самих графитовых частиц и слоистая структура не образовывается.

После этого производится термообработка (термополевое активирование) катода с образованием интеркалированного соединения графита с барием. Процесс происходит при нагреве до 600-650°C и приложении анодного напряжения 500-300 В.

В процессе термообработки слоистой композиции формируется слоистое соединение графита, а заключенное в дефектах межслойных пространств эмиссионно-активное вещество - карбонат бария - переходит в оксид бария.

Важным преимуществом катода является возможность его экспонирования на атмосферу в течение длительного времени. Традиционные оксидные катоды, прошедшие стадию активирования, на воздухе необратимо (из-за гидротации) теряют свои эмиссионные свойства. В отличие от них катод, спрессованный из смеси термообработанного пирографита и тройного карбоната, после термополевого активирования и работы может быть вынесен на воздух. Повторно установленный в установку и вакуумированный он легко возвращается к первоначальному уровню токоотбора.

Устойчивость к выносу на атмосферу и сравнительно высокая плотность эмиссионного тока даёт возможность уже сейчас рассматривать катоды из предложенного материала как альтернативу катодам из монокристалла гексаборида лантана, применяемым, например, в установках электронной литографии [3]. Дополнительным существенным преимуществом композиционных катодов является низкая рабочая температура (1000-1300 К по сравнению с 1770-1820 К для гексаборита лантана) и относительная простота изготовления. На рис. 1 представлено полученное на РЭМ (JEOL JSM-7001F) изображение поверхности образца катода, спрессованного из смеси термообработанного пирографита и тройного карбоната.

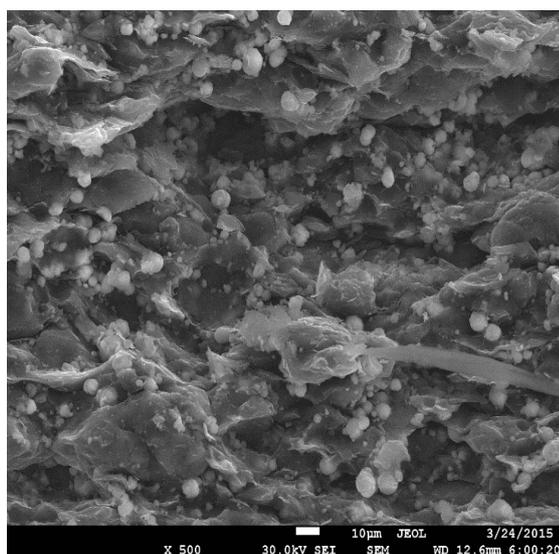


Рис. 1. РЭМ изображение типичной эмитирующей поверхности образца

В ходе исследований был получен композиционный материал, а также выявлен рабочий диапазон давлений прессования, при котором возможно получение рабочих катодов из предложенного выше материала.

Работа выполнена при поддержке российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-07-00003 А.

Библиографический список

1. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. — М.: МФТИ, 2001. — 287 с.
2. M. S. Dresselhaus and G. Dresselhaus. Intercalation compounds of graphite. // *Advances in Physics*. — 2002. — Vol. 51, — P. 22.
3. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронной технологии. - М.: Высшая школа, 1988.