

УДК 537.9

СЛОИСТЫЕ СТРУКТУРЫ НИТРИДОВ И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕНАКАЛИВАЕМЫХ КАТОДАХ

Д. т. н. А. Ф. Белянин¹, В. В. Борисов², к. т. н. Н. И. Сушенцов³¹ЦНИТИ «Техномаш»; ²НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва;³Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
Россия

belyanin@cnititm.ru

Рассмотрены условия формирования слоистых структур на основе пленок нитридов Ti и Zr и углеродных материалов методами тонкопленочной технологии. Изучено строение пленок методами электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Показаны результаты использования разработанных слоистых структур в ненакаливаемых катодах.

Ключевые слова: пленки нитридов, углеродные пленки, ненакаливаемые катоды.

В настоящее время активно ведутся работы по созданию устройств эмиссионной электроники на основе слоистых ненакаливаемых (автоэмиссионных) катодов, содержащих слои, включающие кристаллические и некристаллические упорядоченные фазы углерода (графен, нанотрубки, наностенки и другие) [1, 2]. Проблемы применения углеродных наностенок в автоэмиссионных катодах связаны с изменениями в процессе эксплуатации их морфологии и, как следствие, деградацией параметров катодов на их основе. Если использовать дополнительный слой электропроводящих нитридов, нанесенных на подложку, тогда за счет эффективного изменения межфазного взаимодействия углерода с указанными подложками можно увеличить адгезионную прочность углеродных пленок, а также повлиять на особенности их морфологий. В настоящей работе было изучено влияния строения пленок нитридов и углеродных материалов на характеристики автоэмиссионных катодов на их основе.

Для создания слоистых структур на подложках из Si последовательно осаждали пленки нитридов (TiN и ZrN) методом дугового разряда и углеродные пленки — методом тлеющего разряда [2—4]. Перед формированием углеродных пленок создавали затравочные частицы (C_n) бомбардировкой ионами C_xH_y⁺ в ВЧ-разряде. При осаждении затравочных частиц изменяется состав и строение поверхности подложки, что проявляется в виде новых полос на спектрах комбинационного рассеяния (КР) света (лазерный микрорамаановский спектрометр LabRam HR 800, HORIBA Jobin-Yvon, линия 632,8 нм He-Ne-лазера) (рис. 1, а, б), в частности полос графита при 1330–1335 и 1614–1618 см⁻¹.

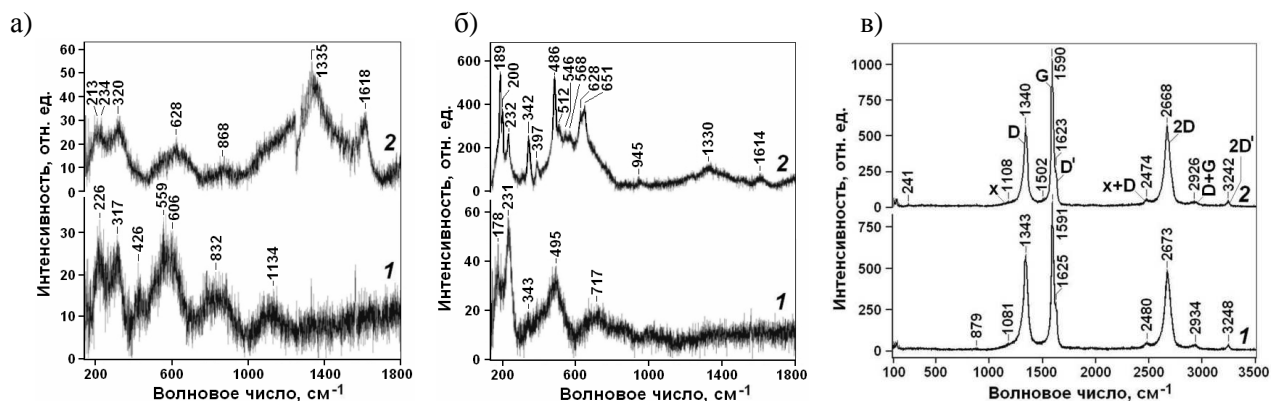


Рис. 1. Спектры КР, полученные от слоистых структур Si/TiN (а) и Si/ZrN (б) до (1) и после (2) формирования затравочных частиц (слоистые структуры Si/TiN/C_n и Si/ZrN/C_n); углеродных пленок (в), сформированных на подложках из Si/TiN/C_n (1) и Si/ZrN/C_n (2)

Полученные на слоистых структурах Si/TiN/C_H и Si/ZrN/C_H углеродные пленки (структуры вида Si/TiN/C_H/C и Si/ZrN/C_H/C) состоят по результатам растровой электронной микроскопии (прибор Carl Zeiss Supra 40-30-87) из изогнутых пластинчатых форм уплощенных по {0001} кристаллитов графита. По данным рентгеновской дифрактометрии (прибор Rigaku D/MAX-2500/PC) показано, что концентрация графитовой фазы в многофазных углеродных пленках составляет до 95% [2—4]. На спектрах КР углеродных пленок наблюдались интенсивные *D*, *G* и *2D*-полосы, расположенные на частотах 1327—1340; 1576—1592 и 2652—2674 см⁻¹, соответственно. Также имеются слабые полосы на частотах 233—243, 863—879; 1081—1167 (*x*-полоса); 1612—1627 (*D'*-полоса); 2449—2482 (*x+D*-полоса); 2909—2934 (*D+G*-полоса) и 3221—3248 см⁻¹ (*2D'*-полоса) рис. 1, в. Размер частиц графита в базисной плоскости (толщина пластинок графита), рассчитанный по соотношению интенсивностей *I_D/I_G* полос на спектрах КР дает значения 6,8—8,1 нм для углеродных пленок слоистых структур Si/TiN/C_H/C и Si/ZrN/C_H/C. С учетом межплоскостного расстояния графита в направлении <0001>, равного 0,335 нм, можно утверждать о наличии в пластинах графита примерно 20—25 слоев графена.

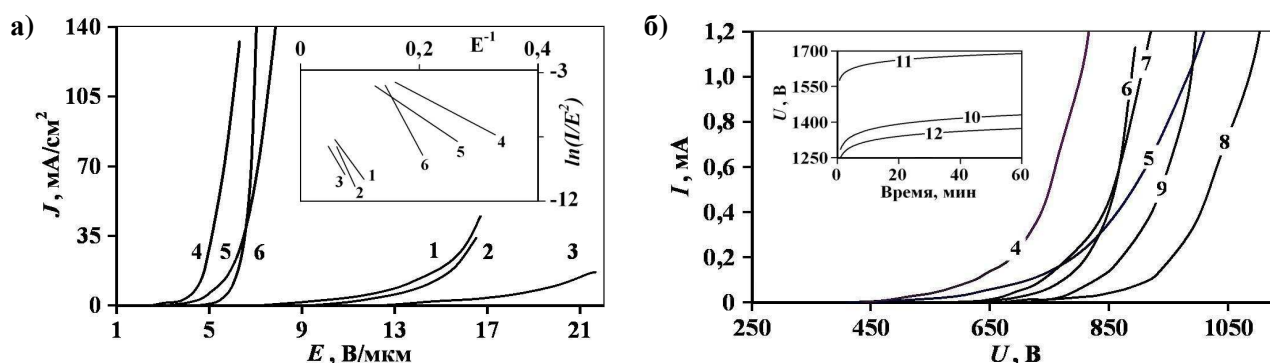


Рис. 2. Характеристики катодов на основе слоистых структур с затравочными частицами (1—3) и с углеродными пленками до (4—6) и после (7—9) ресурсных испытаний:

1 — Si/TiN/C_H; 2 — Si/ZrN/C_H; 3 — Si/C_H; 4, 7, 10 — Si/TiN/C_H/C; 5, 8, 11 — Si/ZrN/C_H/C; 6, 9, 12 — Si/C_H/C
Вставки: на а) — диаграмма ФН; на б) — кривые старения катодов (10—12)

Автоэмиссионные характеристики катодов измеряли при давлении 10⁻⁵ Па в импульсном режиме (частота $f=50$ Гц, длительность $\tau=100$ мкс) в диодной ячейке. Строились характеристики в координатах ($E=U/\Delta$, $J=I/S$) и диаграммы Фаулера—Нордгейма (ФН) в координатах (E^{-1} , $\ln(I/E^2)$), где E — напряженность электрического поля (В/мкм) в зазоре катод-анод, I — ток, U — напряжение, J — плотность тока, S — площадь рабочей поверхности анода (рис. 2, а). Также были построены вольт-амперные характеристики с графиками старения катодов (рис. 2, б). Для сравнения испытывались катоды на основе слоистых структур Si/C_H и Si/C_H/C. Наименьшая скорость старения (V_a) была у катода на слоистой структуре Si/ZrN/C_H/C — 12,29 В/ч по сравнению с 15 В/ч для Si/C_H/C и 17,3 В/ч для Si/TiN/C_H/C.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Tzeng Y., Chen C-L., Chen Y-Y., Liu C-Y. Carbon nanowalls on graphite for cold cathode applications // *Diamond and Related Materials*.— 2010.— Vol. 19 (2-3).— P. 201-204.
2. Белянин А.Ф., Борисов В.В., Самойлович М.И., Киреева Е.Д. Пленки углеродных материалов в автоэмиссионных катодах // *Наноинженерия*.— 2014.— № 4.— С. 20-25.
3. Белянин А.Ф., Самойлович М.И., Борисов В.В., Евлашин С.А. Исследование многофазных углеродных пленок автоэмиссионных катодов методами электронной микроскопии, комбинационного рассеяния света и рентгеновской дифрактометрии // *Нано- и микросистемная техника*.— 2014.— № 2.— С. 20-25.
4. Белянин А.Ф., Самойлович М.И., Борисов В.В. Влияние термообработки углеродных пленок на характеристики автоэмиссионных катодов на их основе // *Нано- и микросистемная техника*.— 2014.— № 8.— С. 20-27.

A. F. Belyanin, V. V. Borisov, N. I. Sushentsov

Layered structures of nitrides and carbon materials for cold cathodes.

The conditions for the formation of layered structures based on nanostructured films of nitrides of Ti and Zr and carbon materials by thin-film technology are considered. The structure of films is studied using electron microscopy and Raman spectroscopy methods. The results of the developed layered structures application in cold cathodes are presented.

Keywords: *nitride films, carbon films, cold cathodes.*