

05;11;12

Влияние тонкого алмазоподобного покрытия на эмиссионные характеристики вольфрамовых острий

© С.А. Пшеничнюк, Ю.М. Юмагузин

Башкирский государственный университет

Поступило в Редакцию 5 июля 1999 г.

Исследовано влияние углеродного покрытия, полученного методом ионно-лучевого осаждения, на полевую электронную эмиссию вольфрамовых острий. Анализ вольт-амперных характеристик показал значительное увеличение эмиссионного тока вследствие уменьшения работы выхода и лучшую стабильность эмиссии после нанесения тонкого углеродного покрытия.

В настоящее время наиболее привлекательным и перспективным материалом для изготовления полевых эмиссионных катодов, стабильно работающих в условиях сравнительно низкого вакуума, являются тонкие алмазоподобные углеродные пленки [1]. Рядом авторов уже сообщалось об увеличении эмиссионного тока и стабильности полевой эмиссии кремниевых и молибденовых острий при покрытии их алмазными пленками методами химического парофазного осаждения и электрофореза. При этом поверхности острий изначально подвергаются принудительному зародышеобразованию путем выдержки в суспензии на основе алмазного порошка в этаноле, что приводит либо к поликристаллической структуре слоя, либо к выращиванию отдельных кристаллитов алмаза на боковой поверхности или кончике острия [2]. В настоящей работе исследованы образцы вольфрамовых эмиттеров, покрытых тонкой алмазоподобной пленкой, имеющей аморфную структуру, что определялось методом полевой электронной микроскопии поверхности острия в процессе изучения его эмиссионных характеристик. Углеродные покрытия на поверхности металлического острия получались в данной работе методом ионно-лучевого осаждения [3]. Перед осаждением пленки острие, укрепленное на дужке, прогревалось проходящим током до температуры около 1100°C в течение одной минуты с целью очистки его поверхности. Осаждение углеродного слоя продолжалось в течение

часа при токе ионов $1 \mu\text{A}$ и энергии 80 eV . Толщина алмазоподобного покрытия на поверхности острия не превышала 10 nm .

Для сравнения эмиссионных характеристик чистого острия и покрытия углеродной пленкой с целью выяснения роли покрытия использовалась следующая методика. Как известно, наклон вольт-амперной характеристики (ВАХ) при построении в координатах Фаулера–Нордгейма определяется величиной $\varphi^{3/2}/\beta$, где φ — работа выхода участка поверхности эмиттера, с которого производились измерения, а β — геометрический параметр острия. Таким образом, при неизменности величины β для чистого вольфрамового катода и после покрытия его алмазоподобной пленкой можно с высокой точностью оценить изменение работы выхода поверхности пленки и определить ее влияние на эмиссионные характеристики острия. При значениях радиусов кривизны вольфрамовых острий около $1 \mu\text{m}$ и толщин осажденных слоев не более 10 nm можно считать, что напыление слоя практически не изменяет формы эмиттера и соответственно поля у его поверхности.

В данной работе экспериментально исследовалась эмиссия чистого вольфрамового острия, причем определялась температура дужки, при которой формировалась характерная эмиссионная картина атомарно-чистого вольфрама. Прогрев до этой температуры не изменял геометрической формы острия, что контролировалось по ВАХ. Затем острие переносилось в камеру напыления углеродного слоя, прогревалось до ранее определенной температуры, после чего производилось осаждение тонкой алмазоподобной пленки. Далее эмиттер снова устанавливался в камеру полевого эмиссионного спектрометра для получения сравнительных ВПХ. Эмиссия вышеописанных катодов изучалась в вакууме не хуже 10^{-9} Torr .

На рис. 1 приведены зависимости от времени полного автоэмиссионного тока чистого вольфрамового острия и после его покрытия алмазоподобной пленкой. Обе зависимости получены сразу же после слабого прогрева эмиттеров для снятия слоя адсорбированных атомов. Об его удалении можно было судить по эмиссионной картине, наблюдаемой на люминесцентном экране. Как видно на рис. 1, начиная с момента подачи на острие высокого напряжения, ток чистого вольфрамового острия сильно уменьшается за время около 10 min . Это падение тока обусловлено ионной бомбардировкой поверхности острия и адсорбцией молекул остаточного газа, что явно наблюдалось на эмиссионной картине, которая соответствовала идеальной вольфрамовой в начальный

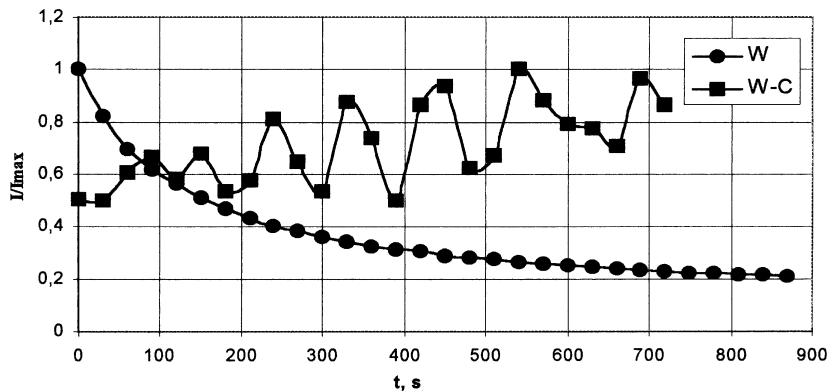


Рис. 1. Зависимости полного эмиссионного тока острий с алмазоподобным покрытием (W-C) и без него (W) от времени.

момент и расплываясь с потерей четкости с течением времени. Отметим, что очередной прогрев эмиттера восстанавливал общеизвестное изображение чистого вольфрамового острия. В отличие от этого полевого ток эмиттера на основе алмазоподобной пленки не испытывает такого необратимого уменьшения, т.е. можно говорить о долговременной стабильности. Как показали результаты полевой электронной микроскопии, его поверхность совершенно не чувствительна к бомбардировке ионами остаточного газа. Некоторые флуктуации тока со сравнительно большой амплитудой объясняются следующим.

Лучшая стабильность тока наблюдалась либо при малых, либо при больших эмиссионных напряжениях. Это обусловлено существованием некоторой промежуточной области полей, в которой наблюдается наиболее интенсивная миграция поверхностных атомов, возникновение и исчезновение эмитирующих участков. Видимо, при меньших полях полевая стимуляция поверхностной миграции еще мала, а при больших — уже проявлены все эмитирующие участки и стабильность картины обусловлена установившимся стационарным распределением поля по поверхности эмиттера и силами, действующими с его стороны на поверхностные атомы. Кривая на рис. 1, соответствующая катоду с покрытием, намеренно снималась в области "средних" полей, т.е. наименьшей стабильности картины. Слабая чувствительность эмиттера к

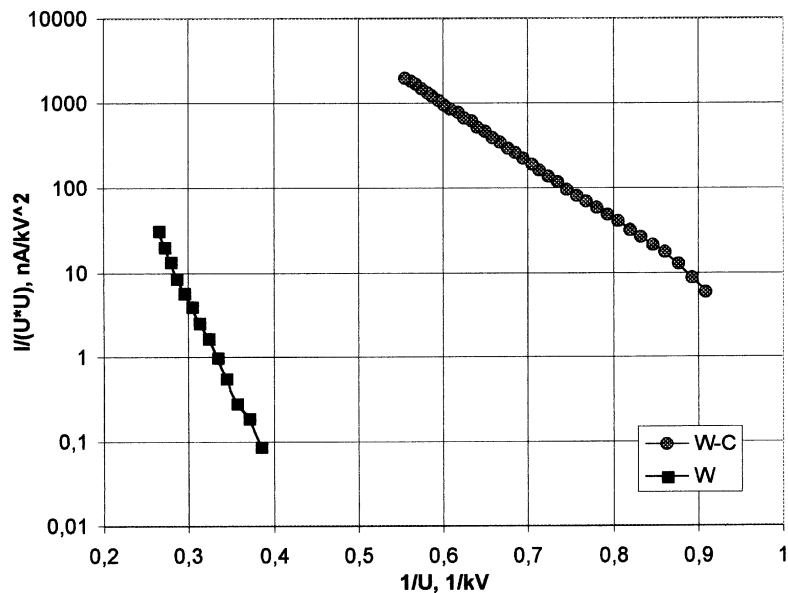


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики в координатах Фаулера–Нордгейма для чистого вольфрамового острия (W) и острия, покрытого алмазной пленкой (W–C).

остаточному газу в нашем случае, видимо, обусловлена не столько химической инертностью поверхности пленки, поскольку ее структура далека от тетраэдрального аморфного углерода с большой долей sp^3 -связанных компонентов, наиболее похожего на алмаз, сколько устойчивостью углеродных материалов по отношению к бомбардировке ионами остаточного газа. Однако нельзя исключить и возможность того, что адсорбция на поверхности полученного материала затруднена вследствие отсутствия свободных связей.

Данные об изменении работы выхода поверхности вольфрамового острия при нанесении тонкого слоя углерода можно извлечь из вольт-амперных характеристик, построенных в координатах Фаулера–Нордгейма (рис. 2). Видно, что нанесение пленки на острие позволяет увеличить эмиссионный ток более чем на два порядка при прочих

равных условиях. Поскольку эти зависимости соответствуют полному току острия, а не какой-либо отдельной кристаллической грани, при расчетах необходимо пользоваться некоторой средней работой выхода поверхности, в случае вольфрама — равной 4.5 eV. Оцененное при этом значение работы выхода покрытой поверхности, проведенное по наклону графиков, оказывается равным 2.1 eV, что позволяет электронам туннелировать в вакуум при значительно меньших приложенных полях.

В заключение нами получены аморфные углеродные покрытия малой толщины на поверхности тонких вольфрамовых острий. Установлено, что влияние такой обработки эмиттера сводится к значительному увеличению стабильности полевого эмиссионного тока катода и интенсивности эмиссии, что обусловлено сильным уменьшением работы выхода поверхности, значение которой оценено по наклону кривых вольт-амперных характеристик, построенных в координатах Фаулера–Нордгейма. Также приведены некоторые объяснения повышенной стабильности эмиссионного процесса при нанесении тонкой алмазоподобной пленки.

Список литературы

- [1] *Geis M.W., Twichell J.C., Lyszczyarz T.M.* // J. Vac. Sci. Technol. B. 1996. V. 14 (3). P. 2060–2067.
- [2] *Givargizov E., Zhirnov V.V., Kuznetsov A.V.* et al. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1996. V. 14 (3). P. 2030–2033.
- [3] *Пшеничнюк С.А., Юмагузин Ю.М., Бахтизин Р.З.* // ПТЭ. 1998. № 6. С. 143–144.