

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Бормашов В.С.*, Шешин Е.П.

Московский Физико-Технический Институт,
Институтский пер. 9, Долгопрудный, Московская область, 141704 Россия

* Fax: +7 (095) 408 9543 E-mail: vitaly@lafeet.mipt.ru

Введение

Автокатоде из углеродных наноматериалов имеют широкое применение в приборах вакуумной микроэлектроники. Важнейшим параметром катода является срок службы. Во многих современных работах [1, 2] показано, что для планарных автокатодов на основе таких материалов характерно наличие двух резко отличающихся участков деградации. Для первого, более быстрого, участка характерно резкое изменение работы выхода автокатада, что приводит к его значительной деградации. Второй же участок деградации описывается медленной меняющейся, практически линейной, функцией во времени. Этот участок обусловлен уменьшением общей площади эмитирующей поверхности. Типичный эксперимент по изучению долговременной стабильности автокатада из углеродных наноматериалов показан на рисунке 1.

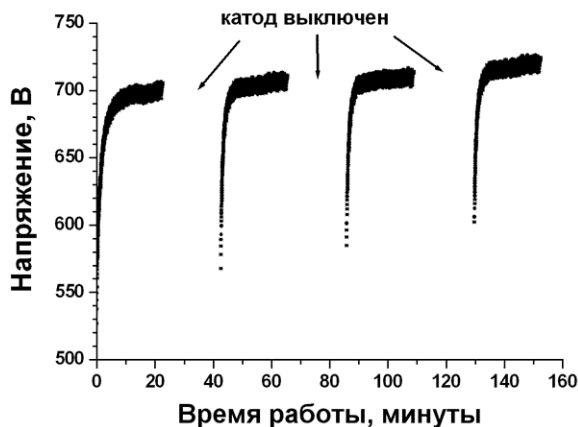


Рис. 1. Типичный эксперимент по изучению стабильности автокатада из углеродных наноматериалов (уровень тока ~ 100 мкА).

В данной работе рассмотрены процессы, которые приводят к изменению работы выхода автокатада. Для количественных оценок построена модель, описывающая деградацию катода в ходе его работы. Используя данную модель, можно предсказать характерный срок службы автокатада и его поведение в различных режимах работы.

Описание модели

Когда автокатод находится в нерабочем состоянии в условиях технического вакуума, происходит адсорбция молекул остаточных газов на поверхность эмиттера. Это приводит к изменению его работы выхода и, следовательно, к изменению рабочих напряжений. После включения автокатада под действием ионной бомбардировки происходит разрушение адсорбированного слоя. При этом происходит восстановление величины работы выхода к исходному значению для чистой поверхности.

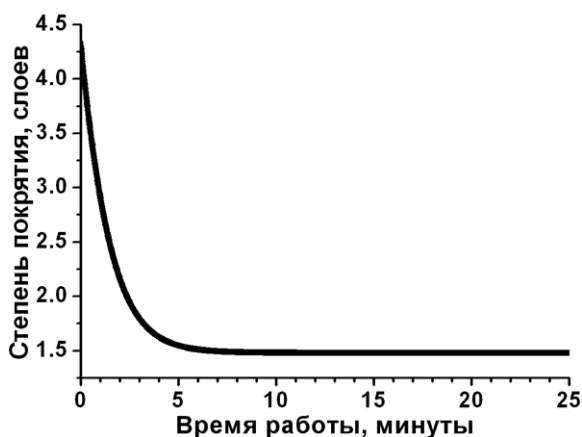
Численное описание модели основывается на следующих ключевых предположениях:

1. Адаптомы на поверхности автокатада могут существовать в двух разных состояниях [5]. В первом — молекула газа притягивается к адсорбенту одними лишь дисперсионными силами. Данное состояние отвечает случаю физической адсорбции, которой соответствует относительно небольшая энергия связи. Возможен также другой процесс — хемосорбция. В этом случае происходит частичный обмен электронами между адсорбентом и адатомом, т.е. образует прочная химическая связь.
2. Кроме этого, существует некоторый активационный барьер, преодолев который газовая частица может перейти из первого состояния во второе.
3. При работе прибора ионизированные в потоке электронов нейтральные молекулы остаточных газов ускоряются в электрическом поле и бомбардируют катод. При этом происходит очистка его поверхности от различного рода загрязнений благодаря катодному распылению, описанному, например, в [6].
4. Считаем, что при ударе иона в поверхность катода происходит быстрый разогрев некоторой области, что приводит к локальному взрыву. При этом данная область поверхности катода полностью очищается от адсорбата. Далее за счет поверхностной миграции

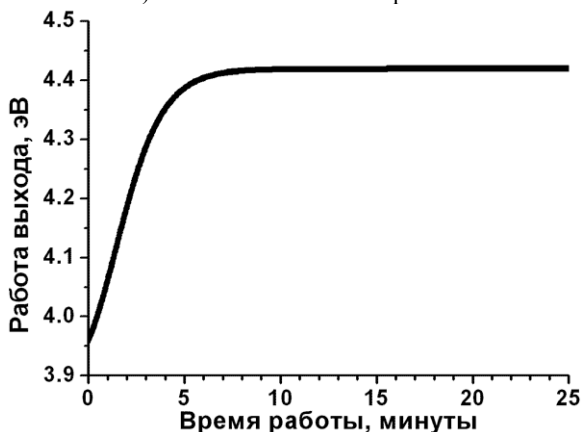
опять устанавливается равновесное распределение частиц газа на поверхности. Характерные времена такого процесса существенно ниже, чем времена десорбции частиц, так как порог энергии при миграции обычно в два-три раза ниже энергии связи при адсорбции [5]. Таким образом, можно утверждать, что ионный удар равномерно очищает поверхность с довольно большой эффективностью.

Результаты моделирования

На основе разработанной модели был проведен численный расчет изменения степени покрытия поверхности автокатада частицами остаточных газов и его работы выхода в течение времени хранения и работы прибора. Характерный вид данных зависимостей приведен на рисунке 2.



а) изменение степени покрытия



б) изменение работы выхода

Рис.2. Результаты моделирования для автокатада из углеродных нанотрубок.

Для моделирования были выбраны следующие значения параметров. Энергия связи в физадсорбированном состоянии была выбрана 0,5 эВ, в соответствии со значением

для кислорода. Энергия активации составляла 0,84 эВ, а энергия десорбции из хемосорбированного состояния – 6 эВ [6].

Заключение и выводы

Результаты расчета были сопоставлены с данными экспериментов по исследованию эмиссионной стабильности автокатодов из углеродных нанотрубок. Во всех режимах работы разработанная модель довольно хорошо описывает реальное поведение прибора. Следовательно, этой моделью можно пользоваться для описания переходных процессов при включении-выключении автокатада. Так с помощью предложенной модели можно подобрать необходимый режим работы прибора, чтобы обеспечить максимально быстрый выход на рабочий режим. Также на основе имеющихся в литературе сведений об адсорбции одиночных молекул различных газов на углеродную нанотрубку [3, 4] можно выбрать необходимые условия работы автокатада (состав газовой среды), чтобы добиться снижения рабочих напряжений.

При этом указанные перспективы, скорее всего, применимы к автокатадам из углеродных материалов вообще, а не только на основе нанотрубок. Данное утверждение основывается на результатах исследования долговременной стабильности катодов из естественного, терморасширенного графита и углеродных волокон. Однако для конкретных выводов по области применимости предложенной модели необходимо провести дополнительные исследования.

Более подробно разработанная модель, методика испытаний и результаты экспериментов будут отражены в докладе.

Литература

1. V.S. Bormashov, R.G. Tchesov, A.S. Baturin, K.N. Nikolski, E.P. Shehsin. IFES 04 Abstracts book, Graz, Austria, 2004, p. 109.
2. V.S. Bormashov, R.G. Tchesov, A.S. Baturin, K.N. Nikolski, E.P. Shehsin. ICAP 2004, Abstracts book, St. Petersburg, 2004, p. 122.
3. A. Maiti, J. Andzelm, N. Tanpipat, and P. von Allmen. Phys. Rev. Lett. 87, 2001, p. 15.
4. R. Collazo, R. Schlessner, Z. Sitar. Diamond and Related Materials 11, 2002, p. 769-773.
5. E. B. Henschke. Phys. Rev. 121, 1961, p. 1286.
6. Zhu X.Y., Lee S.M., Lee Y.H. Phys. Rev. Lett. 85, 2000, p. 2757.