

## Автоэмиссионные катоды из углеродных фольг

Тхет Хму Маунг, Е.П Шешин

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

**Аннотация:** Работа посвящена разработке автоэмиссионных катодов на основе наноструктурированных углеродных фольг для вакуумной электроники. Предложена многостадийная технология их формирования, обеспечивающая высокую стабильность и воспроизводимость характеристик. Полученные катоды демонстрируют низкое пороговое поле, высокую плотность тока и устойчивую работу при пониженных требованиях к вакууму.

**Ключевые слова:** автоэлектронная эмиссия; наноструктурированные углеродные фольги; автоэмиссионные катоды; вакуумная электроника.

### 1. Введение

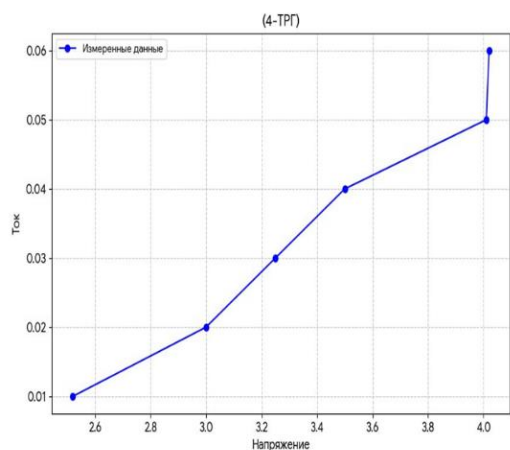
В работе рассматривается разработка и исследование автоэмиссионных катодов на основе наноструктурированных углеродных фольг, предназначенных для применения в вакуумной электронике. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания эффективных и долговечных источников электронной эмиссии, обладающих высокой стабильностью параметров и пониженными требованиями к вакуумным условиям эксплуатации.

Автоэлектронная эмиссия представляет собой процесс извлечения электронов с поверхности твёрдого тела под действием сильного электрического поля без существенных тепловых затрат. Данный механизм основан на квантовом туннелировании электронов через потенциальный барьер и позволяет получать устойчивые электронные токи при сравнительно низких рабочих напряжениях. По сравнению с термоэмиссионными катодами автоэмиссионные катоды характеризуются меньшим энергопотреблением, отсутствием тепловой инерции и высокой скоростью выхода на рабочий режим.

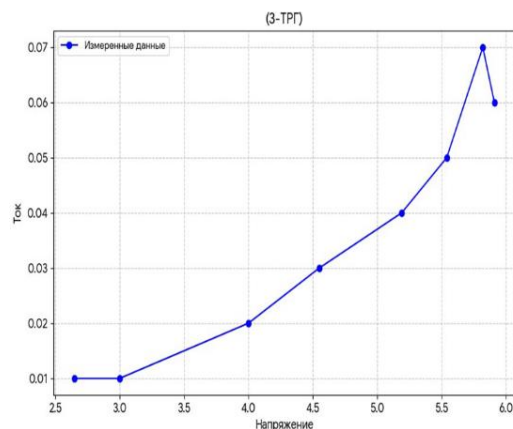
### 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Наноструктурированные углеродные фольги на рис (1), сформированные на основе графитоподобных углеродных фаз, обладают высокой плотностью эмиссионных центров, химической стойкостью и устойчивостью к воздействию сильных электрических полей. Наномасштабные неоднородности поверхности обеспечивают локальное усиление электрического поля, что приводит к снижению порогового поля автоэмиссии и повышению стабильности эмиссионных характеристик [1].

На рисунке 1 разработана технология формирования автоэмиссионных катодов с использованием промышленно доступных углеродных материалов. Для улучшения эмиссионных свойств применялся комплекс технологических процедур, включающий предварительную термическую обработку исходного материала, модификацию эмиссионной поверхности потоками ионов или фотонов с целью увеличения числа активных эмиссионных центров, а также заключительную термовакуумную тренировку. Применение многостадийной обработки позволило обеспечить воспроизводимость параметров, высокую стабильность эмиссии и увеличенный ресурс работы катодов.



а)



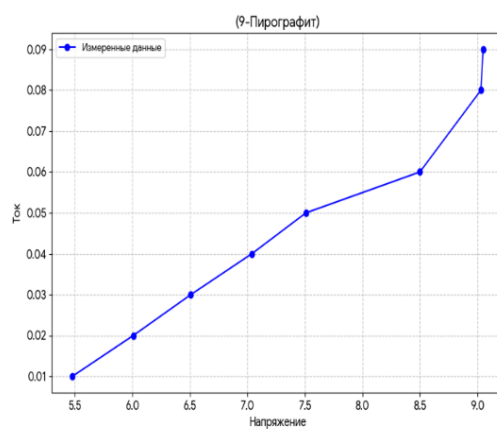
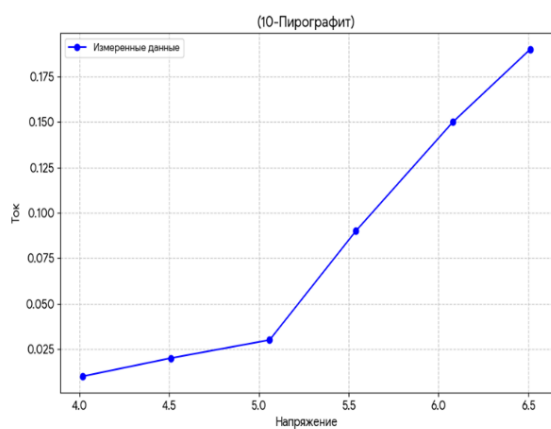
б)

**Рисунок 1.** Зависимость тока (А) автоэмиссии от времени (мин.) для катодов из: а) и б) ТРГ при напряженности поля 10,43 кВ/см;

Экспериментальные исследования показали, что автоэмиссионные катоды из наноструктурированных углеродных фольг демонстрируют устойчивую работу в течение длительного времени и сохраняют эмиссионные характеристики даже при неидеальных вакуумных условиях. Высокая химическая стойкость и способность эмиссионной поверхности к частичному самовосстановлению позволяют снизить требования к уровню вакуума и использовать стандартные технологии электровакуумного производства. [2]

Работа посвящена разработке катодов с автоэмиссией на основе наноструктурированных углеродных фольг для применения в вакуумной электронике. Был реализован многоступенчатый процесс изготовления, включающий термическую обработку исходного углеродного материала при температурах 800–1000 °С в течение 30–60 минут, за которой следовала модификация поверхности с помощью ионного облучения (энергия ионов 1–5 кэВ, плотность тока ~0,1 мА/см<sup>2</sup>) для увеличения плотности центров эмиссии. Финальная термовакуумная обработка проводилась при давлении ~10<sup>-6</sup> Торр.

На рисунке 2 приведены зависимость тока (А) автоэмиссии от времени (мин.) для автоэмиссионных катодов из пирографита при напряженности поля 10,43 кВ/см.



**Рисунок 2.** Зависимость тока (А) автоэмиссии от времени (мин.) для катодов из пирографита при напряженности поля 10,43 кВ/см;

Полученные катоды демонстрируют низкое пороговое электрическое поле 2–3

В/мкм и плотность эмиссионного тока до 10 мА/см<sup>2</sup>. Коэффициент усиления поля оценивается в диапазоне 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup>. Долговременные испытания стабильности показывают колебания тока ниже 5% в течение 10 часов непрерывной работы [2].

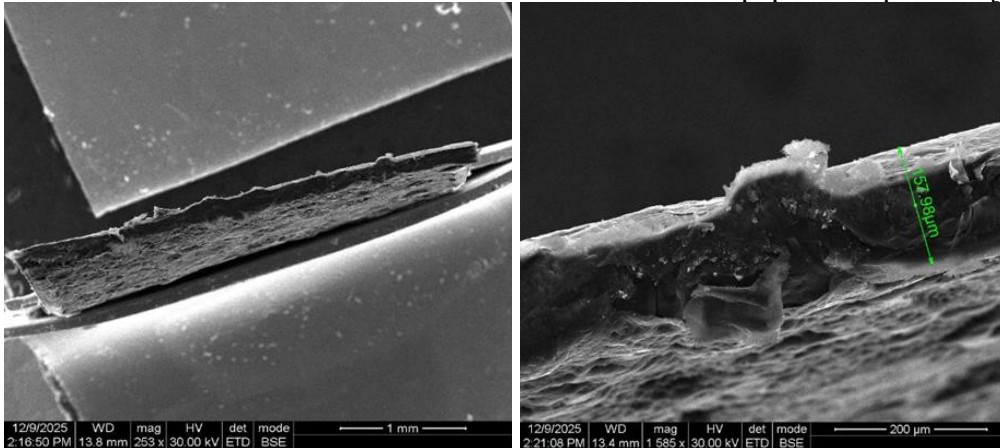


Рисунок 3. Микрофотография фрагмента катода из углеродной фольги

Результаты подтверждают, что наноструктурированные углеродные фольги являются перспективным материалом для изготовления стабильных и эффективных катодов с автоэмиссией, требующих сниженного вакуума.

### 3. Заключение

Результаты работы подтверждают, что наноструктурированные углеродные фольги являются перспективным материалом для создания эффективных и стабильных автоэмиссионных катодов. Разработанная многоступенчатая технология позволяет получать катоды с высокими эмиссионными характеристиками, длительным сроком службы и пониженными требованиями к вакууму.

Полученные данные открывают возможности для применения таких катодов в современных устройствах вакуумной электроники и источниках электронов нового поколения.

#### Список литературы

1. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М.: МФТИ, 2001.
2. Лейченко А.С., Стариков П.А., Шешин Е.П. Источник свободных электронов на основе автоэмиссионного катода из углеродной фольги // Материалы XIV науч.-техн. конференции «Вакуумная наука и техника». М.: МГИЭМ, 2007. С. 228-231.