

10;11;12

Стабильность электронной эмиссии жидкометаллического многоострийного катода

© О.П. Коровин, Е.О. Попов, С.С. Каратецкий, В.Н. Шредник

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 30 декабря 1999 г.

Измерены низкочастотные флуктуации тока многоострийного жидкометаллического эмиттера при различных режимах электропитания. Получены изображения поверхности эмиттера до и после работы. Проведена оценка ширины диапазона напряжения при переходе от режима автоэлектронной эмиссии к взрывной эмиссии.

В работе [1] показано, что многоострийный жидкометаллический эмиттер, выполненный в виде лавсановой пленки с отверстиями, лежащей на поверхности жидкого галлия, является эффективным источником автоэлектронов. Принимая во внимание потенциальные возможности такого эмиттера для создания дисплеев с большой площадью и для других целей, следует обратить внимание на исследование различных параметров эмиттеров, таких как шумы и др.

Многоострийный жидкометаллический эмиттер следует рассматривать как ансамбль, состоящий из большого числа отдельных эмиттеров, каждый из которых представляет собой во время эмиссии острие из жидкого металла. Форма и размеры острия обуславливаются динамическим равновесием между силами электрического поля и поверхностным натяжением жидкого металла. В отличие от твердотельного острия при изменении напряжения изменяется не только ток с острия, но и его радиус, вызывая в свою очередь дополнительное изменение тока. Поэтому следует ожидать, что эмиссия многоострийного жидкометаллического эмиттера будет отличаться большей нестабильностью по сравнению с эмиссией с твердого острия.

Для исследования высказанного предположения была проведена запись тока эмиссии на самописце ЛКД-4. На рис. 1 представлены зависимости тока эмиссии от времени при различных режимах электропитания. Различные режимы электропитания при одинаковом среднем

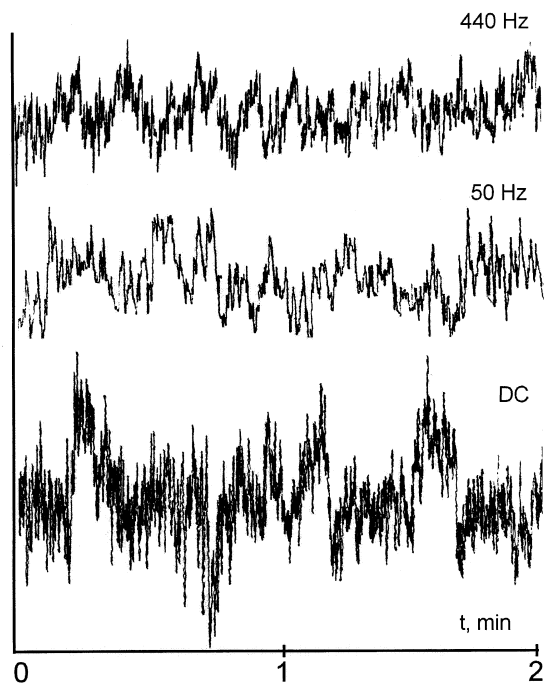


Рис. 1. Зависимость тока от времени при различных режимах электропитания.

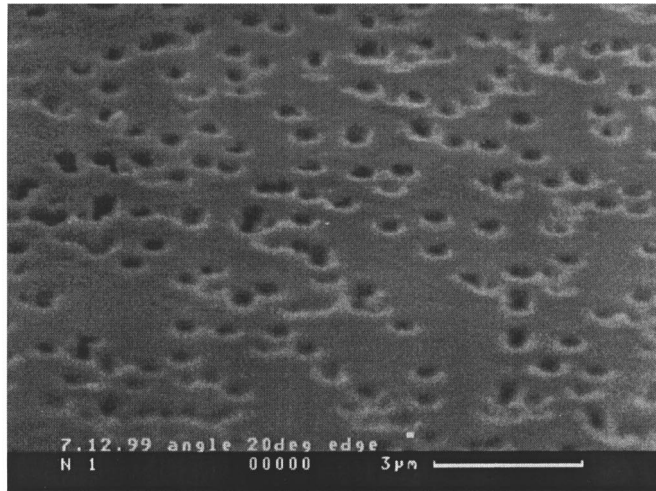
токе эмиссии создают различную токовую нагрузку, а следовательно, по-разному могут нагревать эмиттеры. В случае жидкометаллических острий различное электропитание создает дополнительно разные условия роста самих острий. На рис. 1 представлены зависимости тока на цилиндр Фарадея от времени при различных режимах: синусоидальном с частотой 50 и 440 Hz и постоянном напряжении. Токопрохождение на цилиндр Фарадея составляло $\sim 10\%$. Средний ток эмиттера во всех случаях равнялся $40 \mu\text{A}$. Из графиков видно, что колебания тока зависят от режима питания. Наибольшие флуктуации отмечаются при питании постоянным напряжением. Наряду с быстрыми флуктуациями отмечаются сравнительно медленные отклонения от среднего значения длительностью 5–10 s, которые можно предположительно связать с перераспределением тока между коллектором и цилиндром Фарадея,

вызванным изменением эмиссионной способности различных участков эмиттера, особенно заметным при питании постоянным напряжением. Непосредственное наблюдение показало, что в режиме питания синусоидальным напряжением и постоянным напряжением наблюдается слабое свечение эмиттера, более стабильное при переменном напряжении.

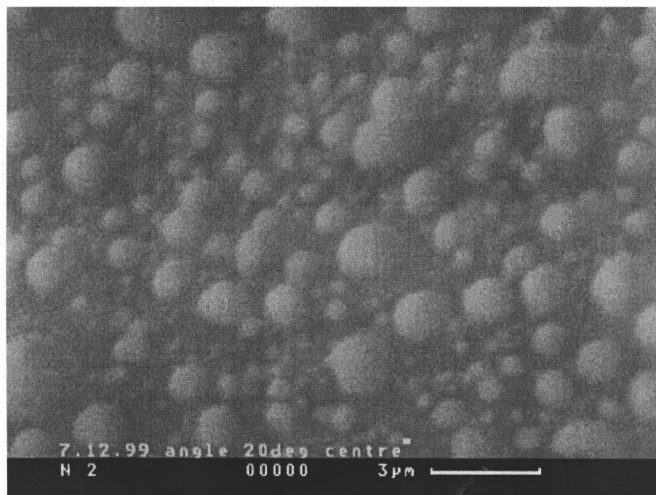
Для исследования кратковременной нестабильности тока был использован метод регистрации с помощью аналого-цифрового преобразователя с частотой дискретизации 200 кГц и 40 МГц при электропитании, аналогичном предыдущим случаям. Запись данных проводилась на персональный компьютер с последующей обработкой. Анализ данных с частотой дискретизации 40 МГц не показал наличие флуктуаций. Фурье-анализ данных, записанных с частотой дискретизации 200 кГц, показал наличие непрерывного спектра фликкер-шума, начинающегося с нулевой частоты и кончающегося характерным для фликкер-шума спадом с ростом частоты $1/f^\gamma$, где $\gamma = 0.85$, f — частота шума.

В отличие от постоянного напряжения в синусоидальном режиме при осциллографическом наблюдении тока не наблюдаются резкие выбросы и ток может быть интерпретирован как автоэмиссионный, без взрывов. Однако не исключено, что гладкий характер кривых тока может быть обусловлен сложением большого количества микровзрывов большого числа отдельных острий, не разделяемых по времени регистрирующей аппаратурой. Этот вопрос требует специального исследования. При питании постоянным напряжением отмечается сходство зависимости тока от времени жидкого многоострийного эмиттера и углеродных нанотрубок [2].

Предположение о том, что при работе жидкометаллического многоострийного эмиттера имеет место одновременная эмиссия большого числа галлиевых острий, подтверждается фотографиями в растровом электронном микроскопе на рис. 2, *a* и *b*. На рис. 2, *a* представлен участок эмиттера до работы. Мембрана из лавсана, видимая на снимке, лежит на слое жидкого галлия. Отчетливо видны не заполненные галлием поры диаметром $0.4 \mu\text{m}$. На рис. 2, *b* представлен участок эмиттера после длительной работы. Электрическое поле протянуло галлий через поры в мембране толщиной $10 \mu\text{m}$ и образовало на конце каждого столбика галлия сферическую поверхность. Можно предположить, что при помещении эмиттера в электрическое поле из наблюдаемых сферических образований будут возникать эмиттирующие острия, форма и размеры которых, как подчеркивалось выше, будут



а



б

Рис. 2. Трековая мембрана с подслоем галлия до работы под напряжением (*a*); поверхность трековой мембраны после длительной работы катода (*b*).

определяться условиями равновесия между силами электрического поля и поверхностным натяжением жидкого галлия. Заметим, что при синусоидальном электропитании процесс возникновения и исчезновения эмиттирующих острий происходит соответственно 50 и 440 раз за секунду, т. е. поверхность "дышит". Это приводит к очищению поверхности от загрязнений, вполне возможных в условиях сравнительно невысокого вакуума ($6 \cdot 10^{-3} - 1.3 \cdot 10^{-4}$ Па). Из рис. 2, *b* также видно, что наблюдаемая структура более однородна, чем система углеродных трубок. Заметим, что в отличие от нанотрубок жидкие острия способны восстанавливаться после случайных пробоев и взрывной эмиссии. Как показывает опыт эксплуатации в случае синусоидального питания, легче подобрать условия, когда не возникает взрывной эмиссии. Это объясняется тем, что в течение полупериода не успевают сформироваться условия для перехода в режим взрывной эмиссии.

Условия для управляемого перехода из автоэмиссионного режима во взрывной также могут быть созданы при синусоидальном режиме. На рис. 3 представлена (не в масштабе) зависимость от времени тока эмиссии при синусоидальном электропитании с частотой 50 Hz. Взрывной импульс тока возникает на пьедестале автоэмиссии при превышении определенной величины амплитудного напряжения. Дальнейшее повышение напряжения приводит к появлению второго импульса, отстоящего на несколько десятков микросекунд от первого.

Дальнейшее повышение напряжения вызывает сближение 1-го и 2-го импульсов на экране осциллографа до минимального промежутка $\sim 25 \mu\text{s}$. После этого появляется 3-й взрывной импульс, который при повышении напряжения приближается к двум первым, и т. д. Длительность импульсов взрывной эмиссии и амплитуда меняются в зависимости от электрической емкости катодной системы и достигают в наших условиях 40 ns на уровне половины амплитуды и 40 А соответственно. Обращает на себя внимание тот факт, что интервал изменения напряжения, при котором наблюдается переход, составляет $\sim 0.02\%$.

В ходе исследования процесса комбинированной эмиссии нами отмечено явление, на которое следует обратить внимание как при исследовании автоэлектронной эмиссии, так и ионной. Речь идет о переносе вещества с эмиттера на коллектор. Несколько микровзрывов оказывается достаточно для того, чтобы на поверхности коллектора возник ансамбль из жидких капель диаметром 20–400 Å [3]. При соответствующей полярности этот ансамбль является также много-

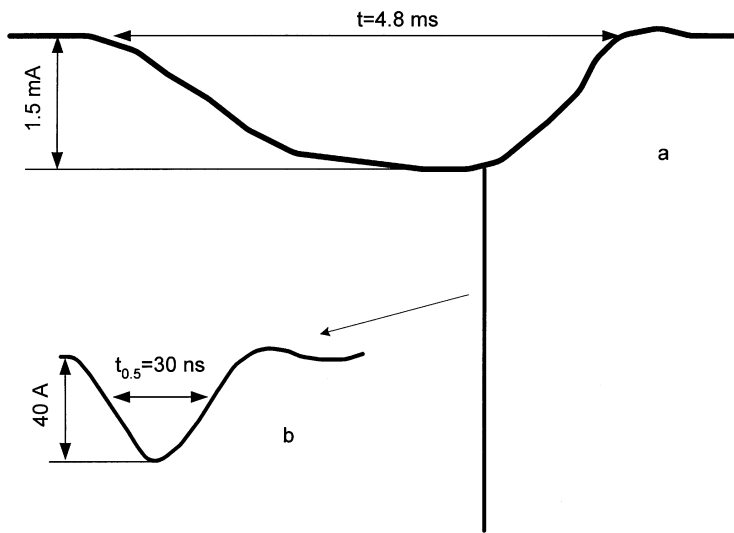


Рис. 3. Форма импульса в режиме комбинированной (а) и взрывной (b) эмиссии (масштаб не соблюден).

острийным жидкометаллическим эмиттером, по своим характеристикам мало уступающим эмиттеру с лавсановой пленкой.

Как показали исследования, жидкометаллический многоострый эмиттер на основе галлия помимо уже отмечавшихся достоинств способен обеспечить большие импульсные токи с шумовыми характеристиками и нестабильностью лучшими, чем у существующих многоостристых твердотельных эмиттеров.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 98-02-18414.

Список литературы

- [1] Коровин О.П., Каратецкий С.С., Попов Е.О., Шредник В.Н. // ПЖТФ. 1999. № 8. С. 39–44.
- [2] Jean-Marc Bonard // Ultramicroscopy. June 1998. V. 73. N 1–4. P.7–15.
- [3] Гасанов И.С. // Прикладная физика. 1999. В. 3. С. 108–111.