

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Автоэлектронная эмиссия

выполнил студент Б04-852 группы ФЭФМ

Яромир Водзяновский

1 Цель работы

- Изучить цели и особенности автоэлектронной эмиссии и ее применения
- Ознакомиться с техникой автоэлектронной микроскопии и областями ее применения, а также с методикой получения острий для автоэлектронных микроскопов
- Исследовать автоэмиссионные свойства катода из углеродных волокон, а также механизмы неустойчивости автоэмиссионного тока в нем.

2 Теория

При наличии электростатического поля над поверхностью металла наблюдается внешняя автоэлектронная эмиссия или просто **автоэмиссия**.

Автоэлектронной эмиссией называется явление испускания электронов в вакуум с поверхности твердого тела и другой среды под действием очень сильного электрического поля напряженностью $E = 10^7 - 10^8$ (В/см).

Для того чтобы создать такие сильные электрические поля, к обычным макроскопическим электродам необходимо приложить напряжение в десятки миллион эВ. Практически автоэлектронную эмиссию можно возбудить при гораздо меньших напряжениях, если придать катоду форму тонкого острия с радиусом вершины в десятые или сотые доли микрона. Сейчас реализованы условия, когда при микроскопических расстояниях катод-анод, равных единицам или долям микрона, и очень малых радиусах кривизны катода $z = 20 - 50 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$).

Автоэлектронная эмиссия не требует возбуждения электронов. Суть явления состоит в туннелировании электронов сквозь потенциальный барьер на поверхности тела. Такое туннелирование становится возможным за счет искривления потенциального барьера при приближении электрона. Электрон может существовать с той же полной энергией которой он обладает, находясь в теле. Таким образом, автоэлектронная эмиссия обусловлена волновыми свойствами электронов. Впервые такое объяснение автоэмиссии было предложено в 1928 году Фаулером и Нордгеймом. Ими впервые была получена формула, описывающая взаимосвязь плотности автоэлектронного тока j с напряженностью E :

$$j = \frac{e^3}{4\pi^2\hbar} \cdot \frac{E_f^{1/2}}{W_a\phi^{1/2}} \cdot E^2 \cdot \exp\left(-\frac{4\sqrt{2m}}{3e\hbar} \cdot \frac{\phi^{3/2}}{E}\right)$$

где $W_a - E_f$ - работа выхода, E_f - энергия Ферми, W_a - уровень вакуума. Вся энергии отсчитываются от дна зоны проводимости. Эта формула получена для полубесконечного металла с плоской поверхностью, подчиняющегося модели Зоммерфельда и находящегося при температуре $T = 0(K)$.

3 Оборудование

В работе используется следующая установка:



Рис. 1: Измеритель тока и вольтметр

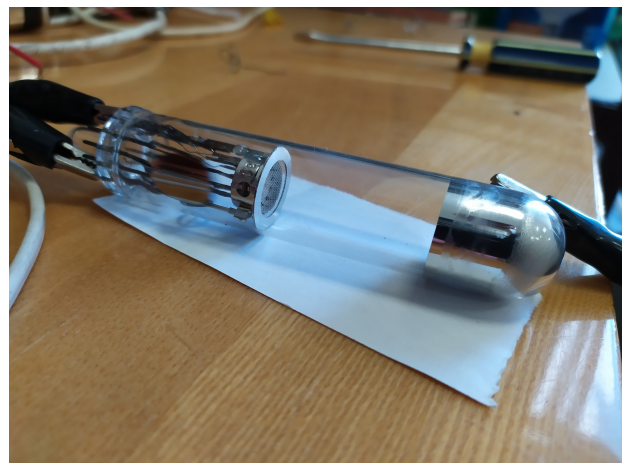


Рис. 2: Диод

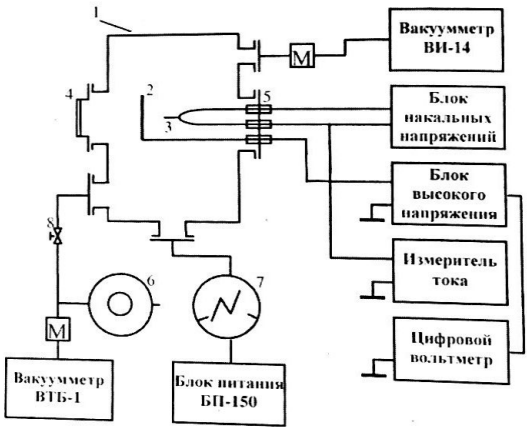


Рис. 3: Блок-схема установки

1 - вакуумная камера, 2 - анод, 3 - исследуемый образец, 4 - смотровое окно, 5 - фланец с высоковольтными выводами, 6 - цеолитовый насос, 7 - магниторазрядный насос.

4 Ход работы

- 1. Снимем зависимость силы тока от напряжения при возрастании напряжения начиная с точки, где навчинается свечение образца

Таблица 1

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| U, кВ | 2.20 | 2.25 | 2.30 | 2.35 | 2.40 | 2.45 | 2.50 | 2.55 | 2.60 | 2.65 | 2.70 | 2.75 | 2.80 | 2.85 |
| I, мА | 0 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.13 | 0.02 |

В момент перехода от 2.8 кВ к 2.85 кВ ток резко упал до 0.02 мА. Скачек тока сопровождался щелчком, с этого момент ана аноде наблюдалось яркое свечение.

- 2. Построим график зависимости I(U) и сделаем фит экспонентой:

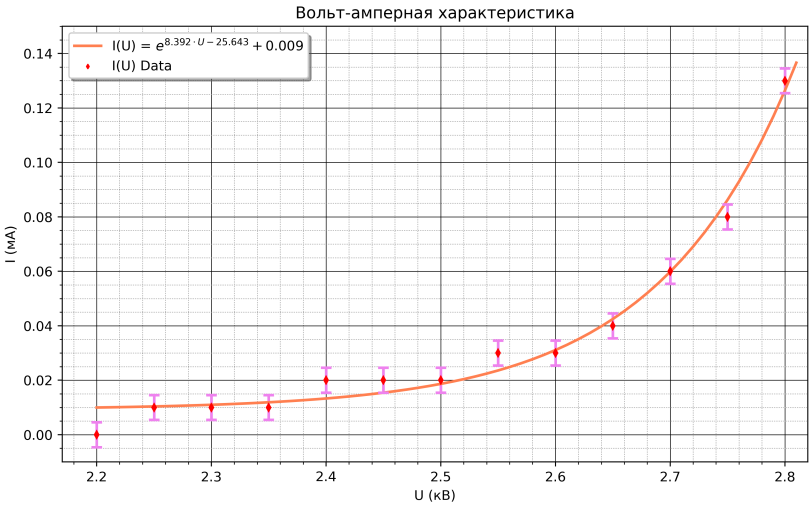


Рис. 4: VAX фит exp

Погрешность по вертикали ~ 0.0046 мА.

3. Пересчитаем координаты в координаты Фаулера-Нордгейма $\ln\left(\frac{I}{U^2}\right)$ от $\frac{1}{U}$

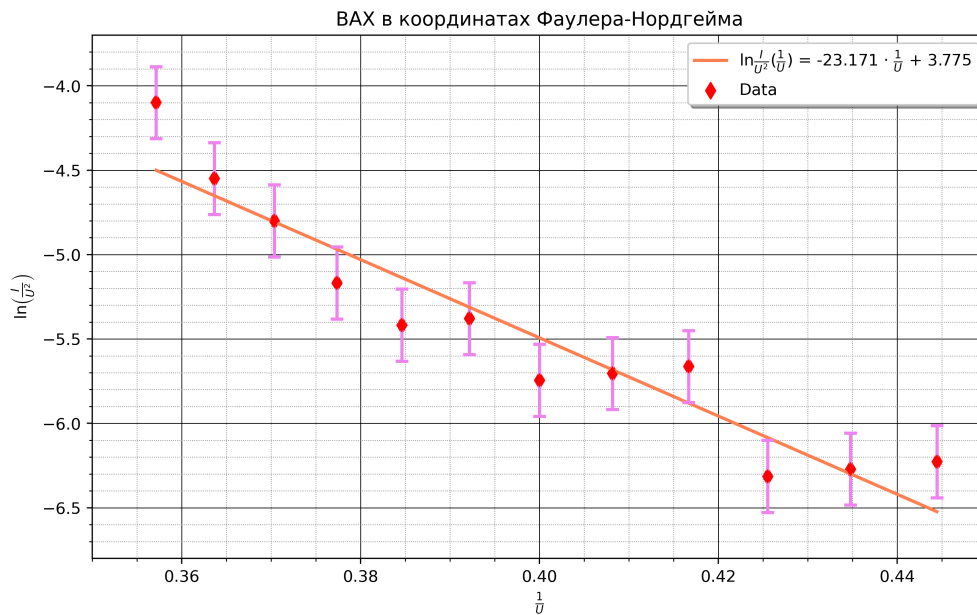


Рис. 5: ВАХ в координатах Фаулера-Нордгейма

Ошибка по вертикали ~ 0.215

5 Ответы на контрольные вопросы

1. Расскажите о травлении углеродных трубок

- В ходе опытов установилось, что у автоэмиссионного катода происходит отклонение периферийных волокон под действием электростатических сил. В результате механического колебания возможен отрыв отдельных волокон из пучка. Оторванные волокна могут закоротить межэлектронный промежуток катод-модулятор. Во избежание этого необходимо придать катоду форму, которая обеспечит одинаковое электроическое поле у волокон в пучке.
- Выбран метод травления катодного пучка углеродных волокон коронным разрядом в воздухе, т.к. коронный разряд близок по своей сути к автоэмиссии. Действие коронного разряда на углеродные волокна заключается в том, что за счет бомбардировки катода ионами кислорода O_2 происходит окисление углерода C и происходит травление материала катода. Длина отдельного выступающего волокна уменьшается до тех пор, пока фактор усиления электрического поля для него не станет меньше или равным другим.
- Установка для травления состоит из анода и катода. Напряжение U_A на аноде и расстояние h подбираются таким образом, чтобы возник коронный разряд. Ток коронного разряда порядка автоэмиссионного тока.

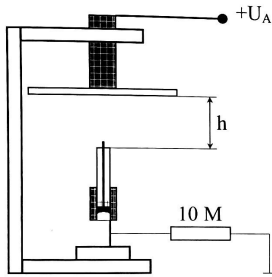


Рис. 6: Схема установки для проведения травления

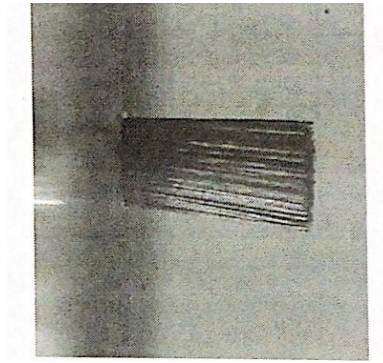


Рис. 7: До травления

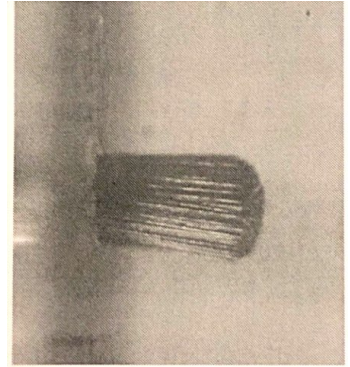


Рис. 8: После травления

2. Привести способ расчета площади катода.

Можно найти коэффициент наклона прямой в координатах Фаулера-Нордгейма и по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = -0.683 \cdot \frac{\phi^{3/2}}{\beta}$$

при известной работе выхода ϕ можем найти формфактор

$$\beta = \frac{1}{k \cdot r \cdot \ln \frac{R}{r}}$$

откуда найдем радиус катода. Далее по формуле

$$S = N \cdot \alpha \cdot r^2$$

найдем площадь S .

N - число эмиссионных центров, α - коэффициент, зависящий от формы эмиссионных центров. (Формула для β выведена в приближении параболического эмиссионного центра, здесь $k = 1/2$, R - расстояние анод-катод).

3. Объяснить физический смысл щелчка в конце измерения ВАХ.

4. Привести зависимость автоэмиссионного тока от времени и дать пояснения участкам.

5. Есть эмиссионная лампа с модулятором. Напряжение на аноде фиксировано ($U_A = 10$ кВ, но это не особо важно), а на катоде повышается. На модуляторе присутствует небольшой потенциал. В результате всего этого со временем на катоде происходит просадка по току на катоде (на выходе из модулятора). Почему так происходит?