

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Ершов Виктор Евгеньевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование устройства оксидного катода, снятие вольт-
амперной характеристики**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18307

Научный руководитель:

М. А. Щеглов

Оценка

научного руководителя

«_____»

_____ 20__ г.

**Преподаватель
практикума**

С. Е.

Краснопевцев

Оценка

преподавателя практикума

«_____»
_____ 20____.

**Куратор
практикума:**

к. т. н. В. Т.
Астрелин

Итоговая
оценка

«_____» _____ 20____ г.

Аннотация

Целью данной работы являлось более углубленное изучение оксидного катода. Были разобраны преимущества и недостатки использования оксидных катодов. Изучены разные режимы работы диода. Рассмотрены разные методы нахождения температурной зависимости работы выхода катода и выбран оптимальный для нашего случая. В первой части, на основе полученных данных построена вольт — амперная характеристика (далее ВАХ) диода, в следствии чего определены пределы работы оксидного катода. Во второй части, опираясь на уже полученные результаты, вычислена работа выхода катода и построен соответствующий график зависимости от температуры нагрева катода. Теоретические выкладки совпали с полученными результатами.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, работа выхода, катод, термоэмиссия.

Оглавление

1.	
Введение.....	
.....4	
2.	Теоретическая
часть.....7	
3.	Экспериментальная
часть.....11	
3.1	Описание
установки.....11	
3.2	Проведение
эксперимента.....11	
4.	Результаты и обработка полученных
данных.....12	
5.	
Вывод.....	

.....13

6.	Список
литературы.....	
....14	

1. Введение

На сегодняшний момент оксидные катоды широко используются в различных электровакуумных приборах, которые в свою очередь, лежат в основе многих ускорителей. Главное достоинство оксидного катода от остальных в том, что его удельная эмиссия достигается при относительно небольших температурах. В тоже время он не пригоден для непрерывной работы при высоких напряжениях. В данной работе рассматривалось поведение катода при относительно невысоких температурах, поэтому использование режима непрерывной работы катода никак не ограничивало наши

измерения.

Сегодня существует несколько видов оксидных катодов. Они отличаются лишь материалом оксидного покрытия, который получается практически всегда из карбонатов путем разложения в уже готовой лампе под откачкой. Карбонаты нужного состава приготавливаются обычно из раствора нитратов осаждением содой, углекислым аммонием и углекислым газом. Окончательная эмиссионная способность оксида зависит от размера частиц, керна (металлическая подложка) условий работы лампы и др. После осаждения из раствора карбонаты отмывают от солей и сушатся. Затем порошок из карбоната смешивают с растворителем, добавляется небольшое количество клеящего вещества (биндера), и вся масса перемешивается и размалывается. Далее наносится вся суспензия на керн, толщина слоя может варьироваться в широких пределах (20-100 мкм). Далее карбонат помещается в лампу и происходит тренировка катода. В процессе откачки при достижении необходимого уровня вакуума катод прогревается с помощью внешнего индуктора. Происходит разложение карбонатов. Температуру выбирают такую, чтобы разложение и последующее обезгаживание происходило достаточно быстро, но при этом чрезвычайное повышение температуры приведет к запеканию оксида. В результате в исходных веществах, нанесенных на поверхность катода, протекают химические реакции. Все это делается для того, чтобы испарить биндер.

При активировании катод сначала нагревают до значительно более высоких температур, чем рабочая. Чем выше температура, тем меньше времени нужно, чтобы перевести оксидное покрытие в активное состояние с малой работой выхода. При этом происходит

дальнейшее улучшение вакуума в лампе и стабилизация контактной разности потенциалов между поверхностью катода и катодной сеткой.

Очень большое влияние на эмиссию и долговечность катода оказывает керн. В качестве материала сейчас применяется в основном никель с разными добавками.

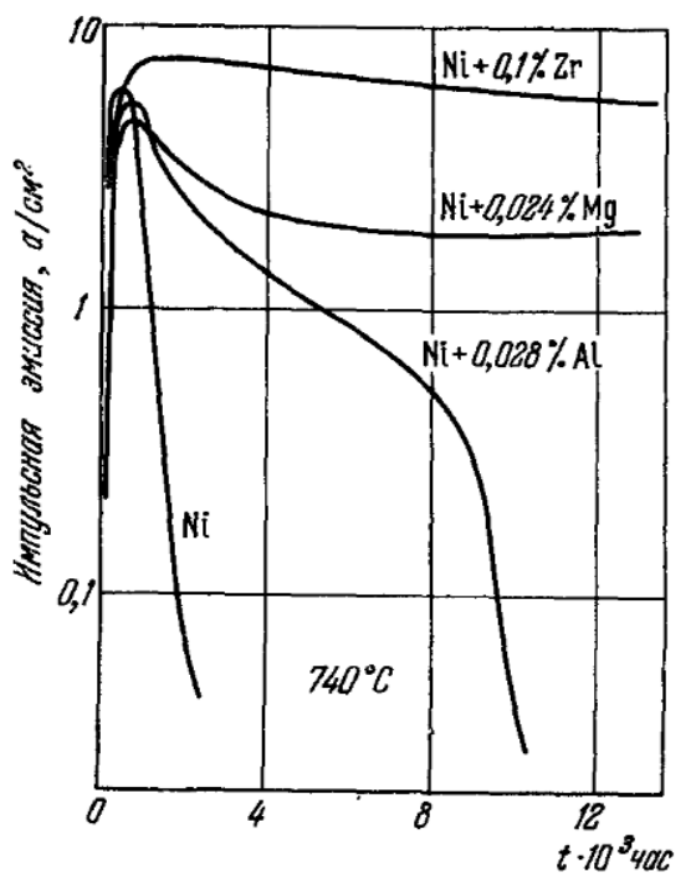


Рисунок : Эмиссия на

никелевом керне с разными концентрациями примесей

Сами по себе керны подразделяют на два типа:

1) Активные — содержат примеси, способные восстанавливать окислы щелочноземельных металлов, в качестве таких примесей, как правило, берут кальций, алюминий, вольфрам и углерод. Эти добавки обеспечивают более высокую эмиссию, ускоряют процесс активации. Но, используя их нужно соблюдать осторожность, так как в больших количествах эти добавки могут привести к очень быстрому распылению покрытия, образованию плохо проводящей прослойки на границе металл — оксид. Поэтому оптимальная концентрация примесей не превышает десятые доли процентов.

2) Пассивные — керны, которые если и содержат примеси, то в небольших количествах. Считается, что такие покрытия дают более устойчивую эмиссию.

На рис. 1 представлены эмиссии с разными концентрациями примесей в некоторых марках никеля. Из этих зависимостей можно сделать вывод, что чем больше примесей, тем менее устойчива эмиссия.

Оксидный катод обычно работает в интервале 900 — 1100 К. При хорошей активации оксидный катод имеет эмиссию около 1 а/см². Но такие результаты практически невозможно получить, потому что оксидный слой обладает большим собственным удельным сопротивлением и очень низкой теплопроводностью. Поэтому при избыточной мощности оксид перегревается и распыляется, что приводит к сокращению срока службы катода. Поэтому чаще всего используют лампы с плотностью тока около 0,1 а/см². Но такой нагрев ограничивается лишь в непрерывном режиме. В импульсном режиме при высокой температуре с оксидов катода

удается снимать токи до 100 а/см^2 .

Из минусов оксидного катода можно выделить:

1) Его эмиссия очень чувствительна к составу остаточных газов в баллоне. Даже небольшие давления кислорода приводят к отравлению оксида, происходит спад эмиссии и увеличивается сопротивление слоя.

2) Самый главный недостаток оксидного катода в том, что оксидное покрытие склонно к искрению. В этот момент на поверхности катода возникает одна или несколько светящихся точек. В этих местах образуются кратеры, вследствие испарения окислов. Искрение приводит к порче катода. Причина всего этого, скорее всего, в тепловой неустойчивости, возникающей из-за малой теплопроводности оксидного покрытия. Оно наблюдается, когда на анод подают слишком большое напряжение, при этом не дождавшись нагрева катода до нормальной температуры.

3) Разброс параметров ламп по эмиссии, контактной разности потенциалов, крутизне и т. п. Это происходит из-за чувствительности оксида к изменениям в процессе изготовления, изменения скорости химических реакций и т. п.

2. Теоретическая часть

Мы знаем что вольт-амперная характеристика диода должна состоять из трех частей:

1) область задержки при отрицательных напряжениях на аноде, тогда ток меняется по экспоненциальному закону.

$$J_k = j_{em} \exp() ,$$

$$j_{em} = AT^2 \exp(-)$$

$$A = = 120 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2 \text{град}^2$$

где j_k - плотность катодного тока [A/cm^2], j_{em} - плотность тока термоэмиссии [A/cm^2], $U < 0$ - анодное напряжение [В], ϕ - работа выхода электронов [Дж], T - температура катода, A - постоянная.

2) область пространственного заряда, когда ток приблизительно пропорционален анодному напряжению в степени $3/2$. В соответствии с теоремой Гаусса, пространственный заряд пропорционален потоку вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность, ограничивающую этот объем. Поток напряженности через боковые поверхности равен нулю, через основание, примыкающее к катоду тоже в силу граничного условия. Поэтому поток вектора через поверхность призмы равен произведению напряженности в точке на площадь основания призмы:

$$Q(x) = e_0 E(x) s$$

В тоже время пространственный заряд в объеме призмы равен произведению тока анода на время пролета электрона от катода до плоскости, удаленной от катода:

$$Q(x) = I_a t(x)$$

Поэтому напряженность поля и ускорение электронов в выделенной точке можно выразить через ток анода и время пролета от катода до выделенной точки:

$$E(x) = , \tag{1}$$

$$= , \tag{2}$$

где e и m заряд и масса электрона,

далее интегрируя (1) и (2) по времени получаем уравнения на координату и скорость электрона по времени полета и сопоставив кинетическую и потенциальную энергию получаем:

(3)

3) область насыщения, когда ток увеличивается по закону Шоттки

(4)

где $j_{\text{ди}}$ - плотность тока насыщения на катоде, E_k – напряженность поля на катоде, создаваемая анодным напряжением.

Оксидное покрытие, полученное при разложении карбонатов в лампе, состоит из кристаллов окислов, поэтому поверхность будет шероховатой. Распределение потенциала в оксидном слое в вакуумном промежутке между катодом и анодом показано на рис. 2 в двух случаях: а - анодный ток ограничен пространственным зарядом и б – ток ограничен эмиссией катода.

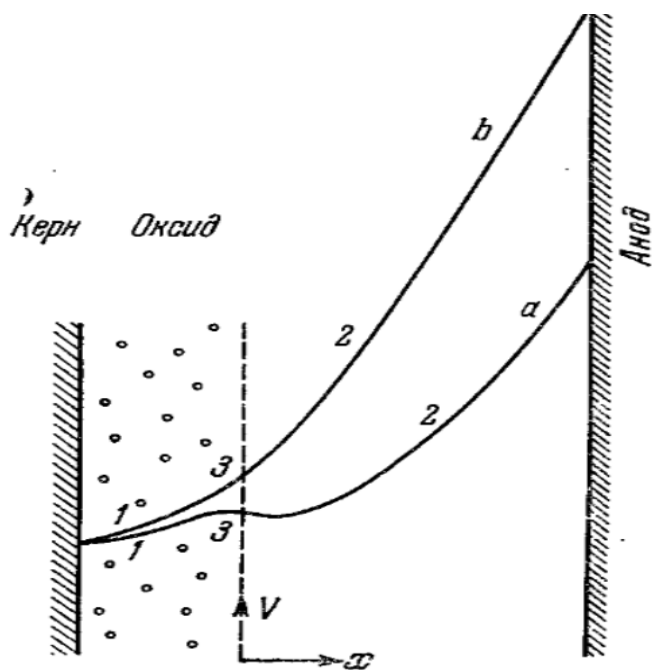


Рисунок : Распределение

электрического потенциала в оксидном слое в вакуумном промежутке

Кривые состоят из линейного участка (1), соответствующего омическому падению напряжения в слое оксида, падения напряжения на вакуумном промежутке (2) и переходной области (3) у поверхности оксида, где напряжение плавно меняется от значения в вакууме до значения в слое оксида. Когда анодный ток ограничен пространственным зарядом (участок *a*) , то напряженность в переходном слое у поверхности меньше чем в объеме слоя. В случае, когда анодный ток ограничен эмиссией (участок *b*) напряженность поля в вакууме значительно больше чем в слое оксида, и в поверхностном слое напряженность быстро убывает с углублением в слой. Практически, доказано, что пока у поверхности катода существует задерживающее поле вольт-амперная характеристика не будет отличаться от идеальной.

В случае задерживающего поля у поверхности катода при снятии токов задержки или когда анодный ток ограничен большим пространственным зарядом, структура эмиссионного слоя ОК не сказывается на величине тока эмиссии.

Наличие ускоряющего поля у поверхности катода может приводить к увеличению тока эмиссии, так как часть электронов при $E = 0$ перелетали в приповерхностном слое с одного зерна на другое, в тянущем поле могут вылететь наружу. Таким образом, в ускоряющем поле как бы увеличивается эффективная поверхность эмиттера за счет боковой и тыловой части поверхности наружных зерен и большего участия в эмиссии оксидного покрытия.

Работой выхода называется такая работа, которую должен совершить электрон, чтобы выйти за пределы объема металла, в

нашем случае эта работа совершается за счет нагрева катода, поэтому процесс вылета электронов из металла называется термоэлектронной эмиссией. Для определения работы выхода катода нужно знать температуру наружной поверхности катода, обычно она принимается равной температуре металлической подложки, в нашей работе для её измерения мы использовали пирометр.

Температурную зависимость работы выхода можно определить разными методами:

1) По току насыщения в данном случае работа выхода вычисляется по формуле

$$,$$

где $A = 120,4 \text{ а} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{град}^{-2}$,

Получается что ϕ растет с температурой по линейному закону

2) Калориметрически по тепловому эффекту, связанному с эмиссией электронов формулой

$$,$$

В формуле вместо работы выхода катода ϕ , входит величина потенциальной энергии электрона в минимуме потенциала, отсчитываемая от уровня ферми, которая определяется током эмиссии. Калориметрический метод применим тогда, когда ток ограничен эмиссией катода, а не пространственным зарядом, поэтому в нашем случае он нам не подходит.

3. Экспериментальная часть

• 3.1 Описание установки

Экспериментальная схема для измерения ВАХ, содержит: Источник питания (1), генератор постоянного тока ГЗ-123 (2), вакуумный насос (3), лампа (4), катод (5), анод (6), осциллограф (7), пирометр (8), мультиметр (9)

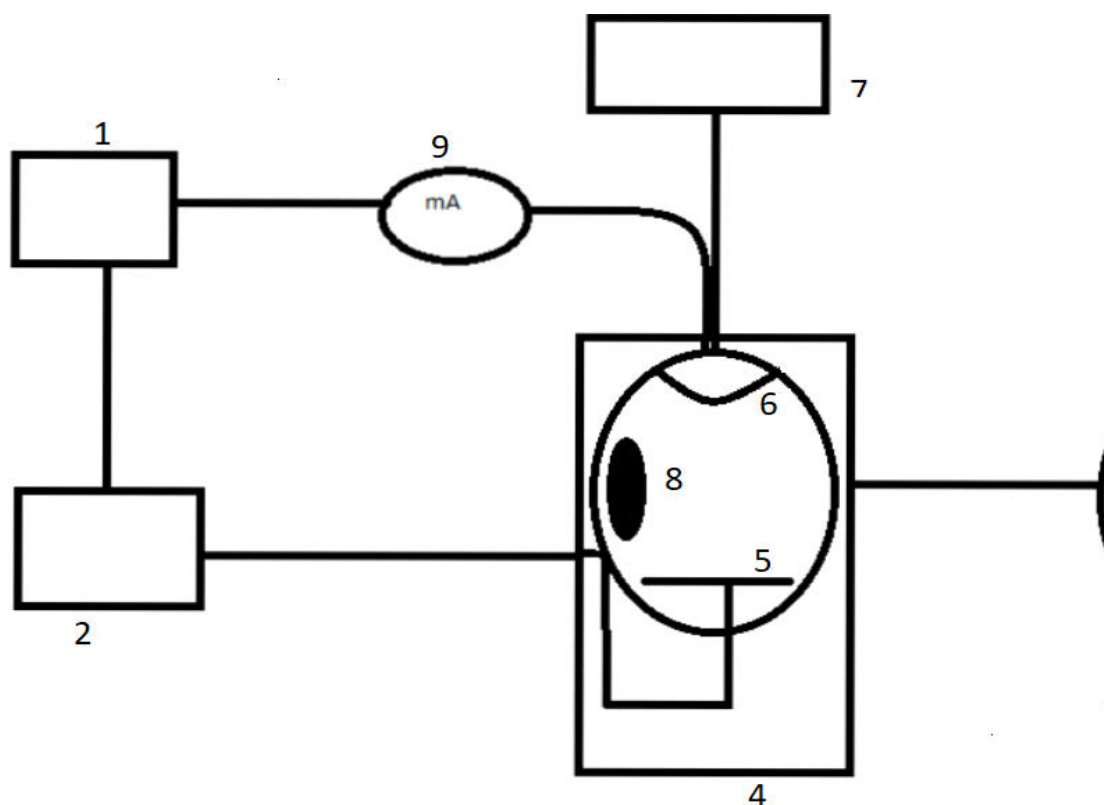


Рисунок : Схема установки

• 3.2 Проведение эксперимента

1) Поместив диод в электронную лампу сняли вольт-амперную характеристику;

2) Используя формулы, определили плотность тока насыщения, затем нашли работу выхода катода.

4. Результаты и обработка полученных данных

I накала, мА	U анода, В	j A/см ²	T, К	A, эВ
0,6	-0,2	-	-	-
3	0,2	0,000649	357	1,245
8	2,4	0,04	389	1,278
16	4,6	0,106144	422	1,305
25	7,1	0,228386	484	1,326
50	8,6	0,300222	529	1,371
88	10	0,402902	586	1,429
126	11,4	0,449283	646	1,483
148	13,1	0,570029	707	1,511
196	15,2	0,725022	753	1,563
285	18,1	0,791451	796	1,598
325	19,6	0,865127	843	1,624
338	21,5	0,946	884	1,653
354	26,4	0,98	935	1,687

График : ВАХ диода с оксидным катодом

График : Температурная зависимость работы выхода

Из первого графика видно, что для данного катода область задержки до 7,5 В, область закона $3/2$ от 7,5 В до 19,6 В и от 19,6 В и далее область токов насыщения. Из второго же графика мы можем увидеть, что зависимость работы выхода катода от температуры действительно линейна с небольшими погрешностями (5%).

5. Вывод

Мы качественно рассмотрели режим работы диода с оксидным катодом. Определили для него области задержки до 7,5 В, область закона $3/2$ от 7,5 В до 19,6 В и область токов насыщения от 19,6 В и более. Также нашли температурную зависимость работы выхода оксидного катода. Данные сошлись с теоретическими выкладками.

6. Список литературы

1. Мойжес Б. Я. Физические процессы в оксидном катоде. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1968.
2. Естигнеев С. И. Катоды и подогреватели электро-вакуумных приборов. Издательство Высшая школа, 1970.

**Исследование устройства оксидного катода, снятие вольт —
амперной характеристики**

Ершов Виктор Евгеньевич

Физический факультет. Электромагнитный практикум.

Курсовая работа

Группа №18307, 3 семестр, 2019.

Научный руководитель:

Щеглов М. А. Ведущий научный сотрудник

Аннотация

Целью данной работы являлось более углубленное изучение оксидного катода. Были разобраны преимущества и недостатки использования оксидных катодов. Изучены разные режимы работы диода. Рассмотрены разные методы нахождения температурной зависимости работы выхода катода и выбран оптимальный для нашего случая. В первой части, на основе полученных данных построена вольт — амперная характеристика (далее ВАХ) диода, в следствии чего определены пределы работы оксидного катода. Во второй части, опираясь на уже полученные результаты, вычислена работа выхода катода и построен соответствующий график зависимости от температуры нагрева катода. Теоретические выкладки совпали с полученными результатами.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, работа выхода, катод, термоэмиссия.