Лабораторная работа №3

*ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛЬФРАМА*

Выполнил: Туров

Николай Дмитриевич

Факультет ИТИП

Кафедра ИС

Группа 1511

Проверил: Попов

Валерий Владимирович

**Оглавление**

[**Цель работы** 3](#_Toc414999701)

[**Приборы и оборудование** 3](#_Toc414999702)

[**Основы теории термоэлектронной эмиссии** 3](#_Toc414999703)

[**Порядок выполнение работы.** 7](#_Toc414999704)

[*Задание 1.* Определение температуры катода. 7](#_Toc414999705)

[Аналогично проделаем при других значений силы тока и напряжения, занесем результат в таблицу 7](#_Toc414999706)

[*Задание 2.* Исследование вольт – амперной характеристики диода. 7](#_Toc414999707)

[*Задание 3.* Определение тока насыщения, работы выхода и эмиссионной постоянной . 7](#_Toc414999708)

[**Вывод:** 8](#_Toc414999709)

# **Цель работы**

1. Экспериментально изучить характеристики вакуумного диода;
2. Определить работу выхода электронов из вольфрама.

# **Приборы и оборудование**

1. Модуль «ФПЭ-О6/О5» с лампой 4Ц14С (4Ц5С).
2. Постоянное оборудование; источник питания «ИП», два цифровых вольтметра, соединительные провода.

# **Основы теории термоэлектронной эмиссии**

Термоэлектронной эмиссией называется явление испускания электронов нагретым металлом. Это явление, а также ряд других свойств металлов объясняются наличием в них относительно свободных электронов, которые образуют, так называемый, электронный газ.

Принципиальное отличие электронного газа в металле от классического идеального газа заключается в том, что при абсолютном нуле кинетическая энергия составляющих его частиц отлична от нуля. Согласно квантовой теории распределение электронов по энергиям в металле описывается функцией Ферми-Дирака. Максимальная кинетическая энергия Е, которую имеют электроны в металле при 0 К, называется энергией Ферми. Минимальную энергию W, которую нужно сообщить электрону при 0 К, чтобы удалить его из металла, называют работой выхода. С точки зрения классической теории наличие силы, препятствующей выходу электрона из металла, можно объяснить появлением в металле индуцированного заряда. Его действие эквивалентно притяжению симметрично расположенного относительно поверхности металла положительного точечного заряда, равного по величине заряду электрона. Однако для процессов на атомном уровне такое представление не является вполне точным.

При температуре Т > 0 К часть электронов в металле имеет энергию, превышающую энергию Ферми. В результате, некоторое количество электронов может покинуть металл, образуя вблизи его поверхности электронное облако. В отсутствие внешнего поля система металл - электронное облако находится в состоянии динамического равновесия, то есть в среднем число электронов, покидающих металл, равно числу электронов, возвращающихся обратно. В результате в непосредственной близости к поверхности металла образуется двойной электрический слой. Его поле, аналогичное полю плоского конденсатора, препятствует выходу электронов, образуя у поверхности металла потенциальный барьер. Если принять за начало отсчета энергию покоящегося электрона на достаточном удалении от поверхности металла, то можно считать, что свободные электроны в металле находятся в потенциальной яме глубиной EF (энергия Ферми).

В данной работе для изучения явления термоэлектронной эмиссии используется вакуумный диод. Исследуемый диод состоит из проволочного электрода (катода), изготовленного из вольфрама, и окружающего его другого электрода (анода). Электроды находятся в стеклянном баллоне, из которого удален воздух. Катод накаливается до высокой температуры вследствие пропускания через него электрического тока. Если анод имеет положительный относительно катода потенциал, то электрическое поле вызывает направленное движение электронов, испущенных катодом, к аноду. Так возникает электрический ток в вакууме.

Принципиальная схема включения диода изображена на рис.1

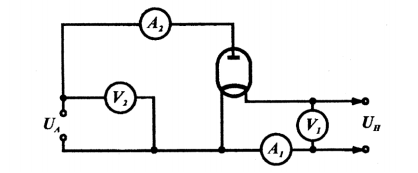


Рис. 1. Электрическая схема включения вакуумного диода.

Нить катода подключена к источнику накала (2,5 - 4,5 В), регулируя напряжение которого , можно менять ток накала , а следовательно, мощность нагрева и температуру катода. Варьирование напряжения на лампе (анодного напряжения ) приводит к изменению тока протекающего через диод. Ток накала и анодный ток измеряются амперметрами и , а соответствующие напряжения - вольтметрами и . Зависимость тока от напряжения называют вольт - амперной характеристикой. Типичный вид таких характеристик диода при различных токах накала приведен на рис.2.

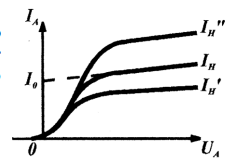


Рис.2. Вольт-амперные характеристики вакуумного диода.

Отметим, что на рисунке . Основным свойством диода является его односторонняя проводимость, что находит применение для выпрямления переменного тока, детектирования радиосигналов и других аналогичных целей. При отрицательных напряжениях на аноде () ток через диод практически равен нулю, поскольку в этом случае только незначительная часть электронов имеет энергию достаточную, чтобы достигнуть анода.

В области на вольт-амперной характеристике можно выделить два участка. При сравнительно малых анодных напряжениях выполняется «закон трех вторых»: , (1) где C - постоянная для данного диода величина. Теоретически выражение (1) было обосновано Ленгмюром и Богуславским. Указанный характер зависимости объясняется наличием электронного облака вокруг катода, объемный заряд которого препятствует достижению электронами анода. При увеличении анодного напряжения плотность объемного заряда уменьшается, что приводит к сравнительно резкому увеличению анодного тока.

При достаточно больших анодных напряжениях ток практически перестает меняться, то есть достигает насыщения. В этом случае объемный заряд незначителен и почти все испущенные катодом электроны достигают анода. Величина тока насыщения существенно зависит от температуры Т катода. Плотность тока насыщения , где S - площадь поверхности катода, определяется формулой Ричардсона - Дешмана:

(2)

Здесь постоянная Больцмана; G - эмиссионная постоянная, зависящая от материала катода.

Отметим, что специальная обработка поверхности катода позволяет уменьшить величину W.

Детальный анализ вольт - амперных характеристик диода показывает, что при повышении анодного напряжения ток насыщения несколько увеличивается. Зависимость от в области насыщения близка к линейной. Это явление называется эффектом Шоттки и объясняется тем, что поле, существующее между анодом и катодом, облегчает выход электронов из металла. Таким образом, в формуле (2) вместо W (фактически должно стоять эффективное значение работы выхода , которое зависит от . Для определения основной работы выхода можно использовать предельное соотношение: (3)

Методика определения работы выхода

Непосредственной целью исследования является определение работы выхода электронов из вольфрама на основе изучения вольтамперных характеристик диода. Фактически задача сводится к нахождению значений параметров G и W, обеспечивающих наилучшую аппроксимацию экспериментальных результатов формулой (2). Эта задача упрощается при использовании «метода прямых» Ричардсона, который сводится к линеаризации зависимости (2). Логарифмируя выражение (2), получаем:

Здесь величина является линейной функцией вида:

(5)

от аргумента , где , . Таким образом, если построить по экспериментальным данным график зависимости , то он должен иметь вид прямой линии. По графику можно найти величину A, как ординату точки пересечения прямой с осью у, и величину B, как угловой коэффициент , характеризующий наклон прямой (тангенс угла наклона). Отсюда получим значения параметров по формулам:

; (6)

Отметим, что задача нахождения параметров A и B может быть решена также численным способом на основе метода наименьших квадратов МНК (см. Приложение 1). Применение такого подхода целесообразно при использовании ЭВМ.

Учитывая соотношение (3), для определения W необходимо использовать величины плотности тока насыщения, соответствующие значениям . Для их нахождения требуется продолжить линейный участок вольт - амперной характеристики диода до пересечения с осью ординат, как показано на рис.2. Точка пересечения дает значение тока . Задача линейной экстраполяции может решаться либо графически, либо численным способом МНК на основе соотношения:

(7)

где - угловой коэффициент.

Необходимым условием применения описанного метода является знание температуры T катода при различных токах накала. В данной работе величина T определяется косвенным способом по измерению электрической мощности накала. Предполагается, что электрическая мощность , подводимая к катоду, расходуется в основном на тепловое излучение. Конвективным теплоотводом через токоподводящие электроды лампы пренебрегаем. Тогда для мощности накала справедливо соотношение:

(8)

где q - мощность излучения, отводимая с единицы площади катода, S - площадь его излучающей поверхности.

Поскольку температура анода сравнительно невелика, то поток излучения от анода к катоду незначителен. Таким образом, можно считать, что плотность потока энергии, рассеиваемой с поверхности катода, определяется формулой Стефана-Больцмана для теплового излучения:

(9)

где - постоянная Стефана – Больцмана; - степень черноты поверхности катода, которая для вольфрама при характерных температурах накала равна . В результате для определения температуры катода получаем выражение:

(10)

Площадь поверхности катода можно найти, зная его длину l и диаметр d , по формуле:

(11)

Для исследуемого диода d = 0.11 мм и l = 32 мм.

# **Порядок выполнение работы.**

## *Задание 1.* Определение температуры катода.

Найдем температуру катода при

определяем по графику, как точка пересечения с осью Ох. (График 1-5)

## Аналогично проделаем при других значений силы тока и напряжения, занесем результат в таблицу

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №, п/п | , А | , В | Т, К | , мА | x=1/T |  |
| 1 | 1,3 | 2,75 | 4427,89 | 0,0745 | 0,00023 | -19,3883 |
| 2 | 1,4 | 3,20 | 4684,87 | 0,3090 | 0,00021 | -18,0786 |
| 3 | 1,5 | 3,60 | 4908,81 | 1,3810 | 0,00020 | -16,6748 |
| 4 | 1,6 | 4,10 | 5153,52 | 4,5870 | 0,00019 | -15,5716 |
| 5 | 1,7 | 4,55 | 5370,23 | 9,5050 | 0,00019 | -14,9254 |

## *Задание 2.* Исследование вольт – амперной характеристики диода.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №, п/п | , В | , А |
| 1 | 11 | 0,9894 |
| 2 | 13 | 0,9982 |
| 3 | 15 | 1,0820 |
| 4 | 17 | 1,0146 |
| 5 | 19 | 1,0246 |
| 6 | 21 | 1,0321 |
| 7 | 31 | 1,0531 |
| 8 | 41 | 1,0722 |
| 9 | 51 | 1,0808 |
| 10 | 61 | 1,0914 |
| 11 | 71 | 1,1075 |
| 12 | 81 | 1,1103 |
| 13 | 91 | 1,1194 |
| 14 | 101 | 1,1285 |
| 15 | 111 | 1,1377 |

Построим ни миллиметровой бумаги график зависимости . (График 6)

## *Задание 3.* Определение тока насыщения, работы выхода и эмиссионной постоянной .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №, п/п | = 1,3 А | | = 1,4 А | | = 1,5 А | | = 1,6 А | | = 1,7 А | |
| , В | , мА | , В | , мА | , В | , мА | , В | , мА | , В | , мА |
| 1 | 40 | 0,0747 | 40 | 0,3104 | 40 | 1,3902 | 40 | 4,6160 | 40 | 9,5300 |
| 2 | 50 | 0,0758 | 50 | 0,3144 | 50 | 1,4045 | 50 | 4,6460 | 50 | 9,6500 |
| 3 | 60 | 0,0776 | 60 | 0,3178 | 60 | 1,4200 | 60 | 4,6850 | 60 | 9,7500 |
| 4 | 70 | 0,0767 | 70 | 0,3207 | 70 | 1,4333 | 70 | 4,7230 | 70 | 9,8300 |
| 5 | 80 | 0,0784 | 80 | 0,3239 | 80 | 1,4434 | 80 | 4,7610 | 80 | 9,9300 |
| 6 | 90 | 0,0791 | 90 | 0,3266 | 90 | 1,4525 | 90 | 4,7900 | 90 | 9,9600 |
| 7 | 100 | 0,0798 | 100 | 0,3290 | 100 | 1,4611 | 100 | 4,8200 | 100 | 9,9900 |
| , мА | 0,0745 | | 0,3090 | | 1,3810 | | 4,5870 | | 9,5050 | |

Поиск А:

Y=A+Bx

При х=0 Y=A=-15,686

Поиск B:

При y=0, x=0,0111

B=tg(α)=(-15,686)/(0,0111)=-1413,1

Вычисление G



Вычисление W



W=1,95\*10-20 /1,6\*10-19=0,121875 ЭВ

2.Расчет погрешности

Погрешность измерения Т



















Проводим измерение погрешности на основе 1 эксперимента.

















Погрешность измерения G

























Погрешность измерения W















# **Вывод:**

Из-за большой погрешности измерения температуры данный метод не пригоден для ее измерения.

В то же время малые погрешности измерения W и G дают возможность проводить исследования диодов для определения данных величин.

W=(0,121875±0,000008) ЭВ

G=(0,00129±0,00006)