

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра фізики і методики викладання

Лабораторна робота № 6 (ФПЕ-06м)

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ З МЕТАЛУ

м. Івано-Франківськ

Мета роботи: побудова і вивчення вольт - амперної характеристики діода; дослідження залежності густини струму насичення термoeмісії від температури катода і визначення роботи виходу електрона з вольфраму методом прямих Річардсона.

Загальні відомості

Властивості металів в значній мірі визначаються станом електронів провідності, тобто електронів, здатних переміщатися в металі.

Розподіл енергії електрона для обмеженого металу зображений на енергетичній діаграмі (рис.1). За нульову енергію тут вибрана енергія вільного електрона, який знаходиться за межами металу з кінетичною енергією рівною нулю.

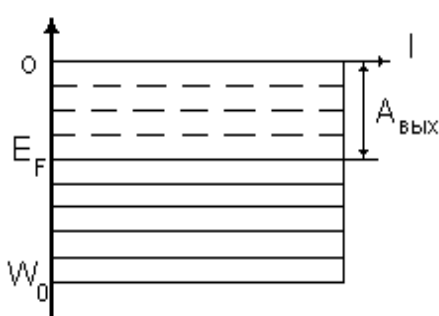


рис.1

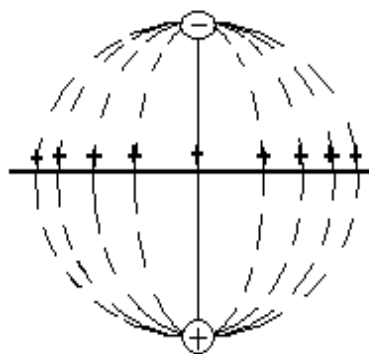


рис. 2

Пунктиром зображені не зайняті енергетичні рівні при $T=0K$. Енергетичні рівні електронів позначені тонкими горизонтальними лініями, що заповнюють інтервал енергій від дна потенційної ями до енергії E_F . E_F – енергія Фермі, максимальна кінетична енергія яку може мати електрон при $T=0K$.

Електронам, що знаходяться в потенційній ямі на різних енергетичних рівнях, для виходу за межі металу необхідно мати різну енергію. Мінімальна енергія, необхідна для виходу електрона з металу:

$$A_{вых} = W_0 - E_F \quad (1)$$

називається роботою виходу електрона з металу у вакуумі при $T=0K$.

При температурі $T>0K$ електрони знаходяться в тепловій рівновазі, тому до енергії Фермі додається ще теплова енергія. Величина роботи виходу залежить від стану поверхні металу. Стан рівня Фермі при нагріві металу аж до розплавлення практично не змінюється, але при цьому виникає деяке число (невеликий відсоток) швидких електронів, які здатні подолати роботу виходу і вийти з металу.

Розглянемо природу сил, перешкоджаючих виходу електронів з металу і визначають роботу виходу $A_{вих}$. Окремі електрони провідності, рухаючись всередині металу з великими швидкостями, можуть перетинати поверхню металу. Електрон, що вилетів з металу, віддаляється від поверхні до тих пір, поки кулонівська взаємодія з надлишковим позитивним зарядом, що виник на місці, яке покинув електрон, не примусить його повернутися в метал. Процес «випаровування» і «конденсації» електронів відбувається постійно і вчерез деякий момент часу зрівноважується. Тому метал, стає, оповитий хмарою електронів, створюючих із зовнішнім шаром позитивних іонів подвійний електричний шар, подібно плоскому конденсатору. Поле подвійного шару перешкоджає виходу електронів з металу.

Іншою силою, перешкоджаючою виходу електрона з металу, є кулонівська сила індукованого ним позитивного заряду (рис.2). Ця сила носить назву "Сили електричного зображення", оскільки дія розподіленого по поверхні провідника заряду еквівалентна дії рівного по величині позитивного заряду, що є дзеркальним зображенням електрона в площині РР. Обидва ці фізичні процеси і визначають величину $A_{вих}$. При кімнатній температурі практично всі вільні електрони замкнуті в межах провідника, є лише невелика кількість електронів, енергія яких достатня для того, щоб подолати потенціальний бар'єр і вийти з металу.

Додаткової енергії електронам можна надати різними способами. При цьому частина електронів дістає можливість покинути метал і спостерігається електронна емісія. Залежно від того, яким способом електрону надали енергії, розрізняють типи електронної емісії. Якщо електрони одержують енергію за рахунок підвищення його температури, то такий вид емісії називається термоелектронною емісією. Якщо енергія надається за допомогою світла – маємо явище фотоемісії. Якщо енергія надається електронам при бомбардуванні їх ззовні іншими частинками, спостерігається вторинна емісія.

Для спостереження термоелектронної емісії можна використовувати двохелектродну вакуумну лампу — діод (рис.3). Струм в цьому колі з'являється тільки в тому випадку, якщо позитивний полюс батареї сполучений з анодом, а негативний – з катодом. Це доводить, що катод випускає негативні частинки, електрони. Сила термоелектронного струму в діоді залежить від величини потенціалу анода відносно катода.

Крива, що зображує залежність сили струму в діоді від анодної напруги, називається вольт - амперною характеристикою.

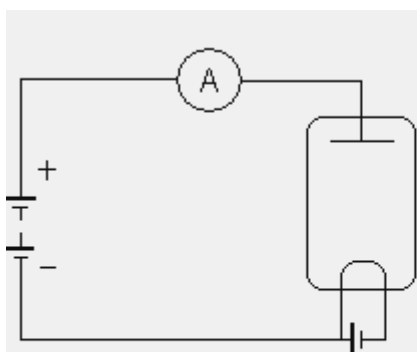


рис. 3

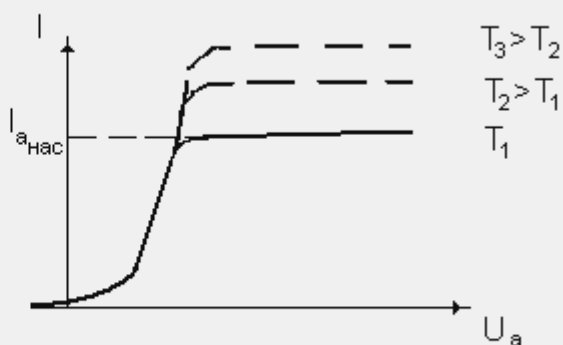


рис. 4

На рис.4 вказані вольт-амперні характеристики діода при різних температурах катода. Коли потенціал анода рівний нулю, сила струму мала, вона визначається лише найшвидшими термоелектронами, здатними досягти анода. При збільшенні позитивного потенціалу анода сила струму зростає і потім досягає насичення, тобто майже перестає залежати від анодної напруги.

При збільшенні температури катода збільшується і значення струму, при якому досягається насичення. Одночасно збільшується і анодна напруга, при якій встановлюється струм насичення.

Таким чином, вольт-амперна характеристика діода виявляється є нелінійною, тобто закон Ома не виконується. Це пояснюється тим, що при термоелектронній емісії біля поверхні катода створюється досить велика кількість електронів. Вони створюють просторовий негативний заряд, і електрони, що вилітають з малою швидкістю, не можуть його проскочити. Із збільшенням анодної напруги концентрація електронів в хмарі просторового заряду зменшується. Тому і гальмуюча дія просторового заряду стає меншою, а анодний струм росте швидше, ніж в прямій залежності від анодної напруги.

Теоретична залежність анодного струму від анодної напруги на ділянці 1-2 була одержана Ленгмюром і Богуславським. Вона називається ще "законом трьох других".

У міру зростання анодної напруги все більше електронів, що вилітають з катода, долітають до анода. При певному значенні U_a всі електрони які вилетіли з катода за одиницю часу досягають анода. Подальше зростання анодної напруги не може збільшити силу анодного струму, оскільки досягається насичення.

Максимальний термоелектронний струм, можливий при даній температурі катода, називається струмом насичення.

При підвищенні температури збільшується швидкість хаотичного руху електронів в металі. При цьому число електронів, здатних покинути метал, різко зростає. Густина струму насичення, тобто сила струму насичення на кожен одиницю поверхні катода S , обчислюється за формулою Річардсона-Дешмана:

$$j_{нас} = BT^2 \exp\left(-\frac{A_{вих}}{kT}\right) \quad (1)$$

де B – постійна емісії; k – стала Больцмана. Густина струму насичення характеризує емісійну здатність катода, яка залежить від природи катода і його температури.

Метод вимірювання

Вимірюючи на досліді залежність струму насичення від температури, можна визначити роботу виходу для даного металу.

У нашому випадку для визначення роботи виходу використовується метод прямих Річардсона. Пояснимо ідею методу. Для цього прологарифмуємо рівняння

$$j_{нас} = BT^2 \exp\left(-\frac{A_{вих}}{kT}\right) \quad (2)$$

і одержимо:

$$\ln\left(\frac{j_{нас}}{T^2}\right) = \ln B - \frac{A_{вих}}{k} \frac{1}{T} \quad (3)$$

Такий вигляд рівняння зручний для його експериментальної перевірки. Графік залежності $\ln\left(\frac{j_{нас}}{T^2}\right)$ від $\frac{1}{T}$ є прямою лінією з кутовим коефіцієнтом $-\frac{A_{вих}}{k}$.

Визначивши тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, розраховуємо роботу виходу:

$$A_{вих} = k \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

Для побудови графіка необхідно знати густину анодного струму насичення і температуру катода. Температуру катода можна визначити таким чином. Потужність, що підводиться до катода, витрачається у вакуумній лампі в основному на теплове випромінювання. Для вольфраму була експериментально визначена залежність температури катода від потужності, що витрачається на його нагрівання яка припадає на одиницю площі поверхні катода. На графіку, рис. 6, приведені результати цих

вимірювань. По цьому графіку, знаючи потужність, що підводиться до катода, можна визначити його температуру.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методом визначення роботи виходу електрона з металу. Спрощена електрична схема установки представлена на рис.5.

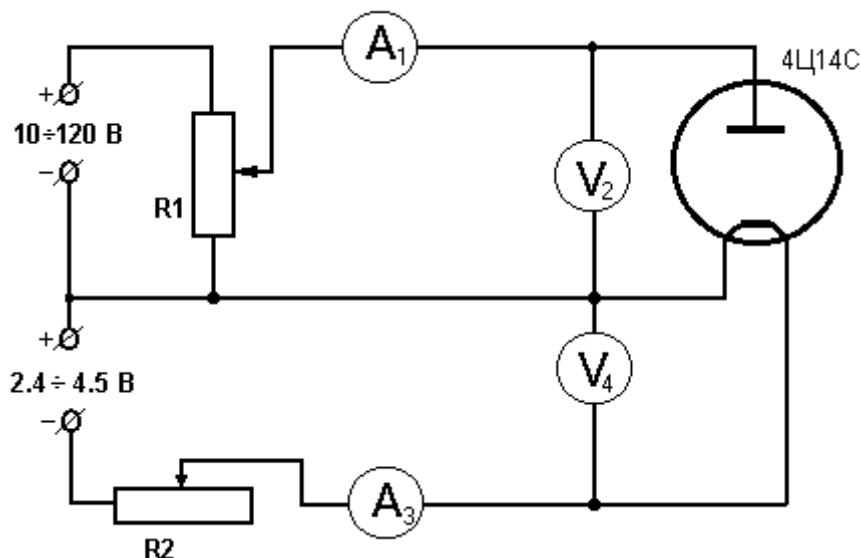


рис.5

2. Підключити касету ФПЕ до джерела живлення, при цьому тумблер живлення повинен знаходитися в положенні "Вимкнено". Всі ручки регулювання напруги на блоці живлення перевести в крайнє проти годинникової стрілки положення. Амперметр на панелі джерела живлення служить для контролювання струму розжарювання катода I_H , максимальне значення якого не повинне перевищувати $2.2A$; струм розжарювання також відображається на екрані монітора. Плавне регулювання напруги розжарювання здійснюється ручкою, розташованою під амперметром. Напруга U_H вимірюється вольтметром, при цьому перемикач вибору діапазону напруг повинен бути встановлений в положення $2.5 - 4,5V$. При перемиканні перемикача в положення $10 - 120V$ вольтметр на панелі джерела живлення вимірюватиме анодну напругу. Струм анода, також як і інші вимірювані величини відображаються на екрані монітора.

У разі виконання роботи без використання ЕОМ вимірювання анодного струму проводиться міліамперметром ($0 - 20mA$), що підключається до клем PA на касеті ФПЕ.

3. Запустити програму ФПЕ. Включити живлення касети ФПЕ.

Увага, в процесі проведення експерименту струм і напруга розжарювання змінюватися не повинні!

3. Провести вимірювання (пункт 2) для будь-яких п'яти значень напруги розжарювання в інтервалі від 3,5 до 4,5В.

Після проведення експерименту автоматично буде визначений струм насичення. Якщо даних недостатньо, то на екран виводиться відповідне попередження. В цьому випадку необхідно повернутися в режим вимірювань і продовжити виконання роботи.

4. Для всіх значень напруги розжарювання розрахувати потужність, що виділяється на катоді, за формулою $P=U_H I_H$, а також потужність, що припадає на одиницю площі поверхні катода. Для даної лампи площу поверхні катода прийняти $S_K=0.0352 \text{ см}^2$.

5. По графіку залежності температури катода від P/S визначити температуру катода для кожного значення потужності нагріву.

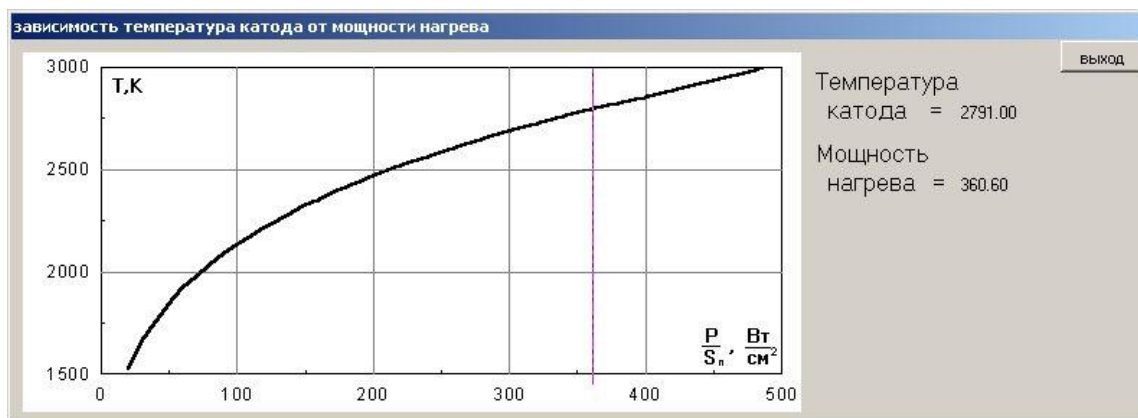


Рис. 6.

6. Розрахувати густину анодного струму насичення за формулою $j_{нас} = \frac{I_{нас}}{S_a}$, $S_a = 11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

7. Всі одержані дані занести в таблицю 1.

Таблиця 1

№	$U_H, \text{ В}$	$I_H, \text{ А}$	$P/S_K, \text{ Вт/см}^2$	$T, \text{ К}$	$1/T, \text{ К}^{-1}$	$I_{нас}, \text{ мА}$	$j_{нас}, \text{ мА/м}^2$	$j_{нас}/T^2, \text{ мА/(м}^2\text{К}^2)$	$\ln(j_{нас}/T^2)$
1									
2									
3									
4									
5									

8. Побудувати графік залежності $\ln \frac{j_{нас}}{T^2}$ від $\frac{1}{T}$ відкладаючи по осі абсцис $\frac{1}{T}$ а по осі ординат $\ln \frac{j_{нас}}{T^2}$

9. Визначити тангенс кута нахилу одержаної прямої до осі абсцис і розрахувати роботу виходу за формулою

$$A_{вих} = k \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

10. Розрахувати похибку вимірювань за правилом графічної обробки результатів вимірювань.

Контрольні питання

1. Що називається роботою виходу електрона? Яка природа сил, що утримують електрони в металі?
2. Струм у вакуумі. Вольт-амперна характеристика діода.
3. Закон Богуславського-Ленгмюра. Фізична природа закону.
4. Що таке струм насичення і як він залежить від температури?
5. Формула Річардсона. Метод прямих Річардсона.