

## Лабораторна робота № 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНКИХ МЕТАЛЕВИХ ШАРІВ

#### Мета роботи:

1. Познайомитися з будовою універсальної вакуумної установки ВУП -2 і напилити металеву плівку (Сі, Ві, і т.д.) на скляну підкладку.
2. Познайомитися з різними методами розрахунку товщини шарів, які напиляються.
3. Вивчити призначення та режим роботи приладу "мікрофотометр". З його допомогою отримати функцію розподілу густини речовини плівки на підкладці при заданій геометрії нанесенням плівки.

#### Загальні відомості.

Напилення плівок проводиться при такому рівні розрядження газу, який оточує метал, коли середня довжина вільного пробігу  $\lambda$  атомів металу буде більше, ніж поперечні розміри  $d$  посудини, в якому відбувається випаровування. При низькому тиску, тобто високому вакуумі, можуть бути отримані умови майже повної відсутності зіткнення між атомами металу в газовій фазі. В цьому випадку всі атоми металу, які виходять із поверхні металу, рухаються прямолінійно.

Із кінетичної теорії газів витікає, що  $\frac{N}{N_0} = e^{-d/\lambda}$ , тобто із  $N_0$  частинок, які перетинають деякий елемент поверхні на початку свого шляху, на такий же елемент поверхні, який знаходиться на відстані  $d$  від першого, попадає лише  $N$  частинок. Зі збільшенням  $\lambda$ ,  $\frac{N}{N_0}$  швидко прямує до 1.

Прямолінійність шляху атомних потоків у високому вакуумі дозволяє вивести прості закономірності, що управляють розподілом конденсату на поверхні конденсатора (підкладки).

Для найпростіших геометричних форм випарника (в нашій роботі сферичної) і плоскій поверхні пластинки, на яку конденсується атомарний пучок, задача про розподіл речовини в плівці може бути вирішена точно. При розмірах сферичного випарника значно менших ніж відстань від нього до поверхні пластинки, випарник можна вважати точковим.

Якщо точковий випарник за час  $\tau$  випаровує рівномірно у всіх напрямках  $Q$  грамів металу, то на одиницю площі сферичної поверхні, яка описана радіусом  $R_0$  навколо випарника як центра, припадає  $q_0 = \frac{Q}{4\pi R_0^2}$  грамів метала, а не елемент його поверхні  $dS_0$ , що лежить навколо висоти  $R_0$  (рис.1), конденсується кількість речовини  $dQ = \frac{Q}{4\pi R_0^2} dS_0$ . Рівність  $q_0 = \frac{dQ}{dS_0} = \frac{Q}{4\pi R_0^2} = const$ , де  $q_0$  - локальна густина конденсату, виражає умову рівномірного розподілу атомів на поверхні сфери, концентричної із випарником. Для будь якого елемента  $dS$  поверхні пластинки, що знаходиться на відстані  $R$  від елемента  $dS_0$  і знаходиться в такому ж тілесному куті  $d\omega$ , кількість сконденсованої речовини повинна бути рівною  $dQ$ . Зв'язок  $dS$  та  $dS_0$  визначається формулою

$$dS = dS_0 \frac{R^2}{R_0^2} \frac{1}{\cos \varphi} \quad (1).$$

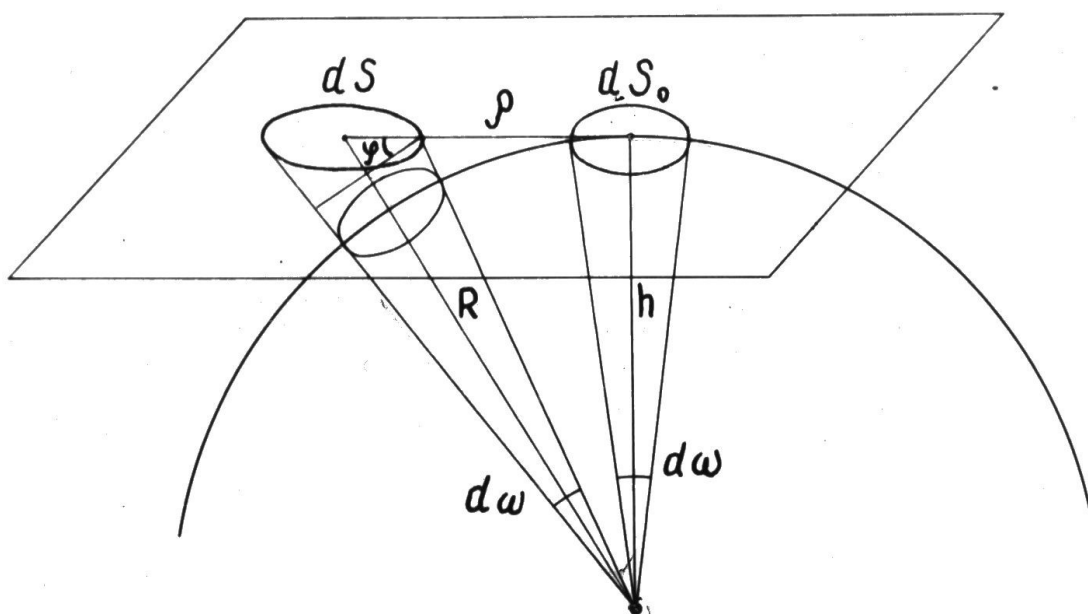


Рис. 1. Схема, що пояснює розподіл речовини на поверхні пластинки після випаровування з точкового випарника. Якщо підставити в (1)  $R^2 = \rho^2 + R_0^2$  та  $\cos \varphi = \frac{R_0}{R}$  одержимо

$$dS = dS_0 \frac{(R_0^2 + \rho^2)^{3/2}}{R_0} \quad (2).$$

Якщо ввести позначення  $\rho/R_0 = \alpha$ , остаточно маємо

$$dS = dS_0 (1 + \alpha^2)^{3/2} \quad (3).$$

Для розподілу конденсату одержимо

$$q = \frac{dQ}{dS} = \frac{dQ}{dS_0} \frac{1}{(1 + \alpha^2)^{3/2}} = \frac{Q}{4\pi R_0^2} \frac{1}{(1 + \alpha^2)^{3/2}} \quad (4).$$

Отже маємо функцію розподілу конденсату

$$\varphi(\alpha) = \frac{q}{q_0} = \frac{1}{(1 + \alpha^2)^{3/2}} \quad (5).$$

Шар конденсату, який утворився на плоскій поверхні від сферичного випарника, утворює симетрично-круговий горб.

При випаровуванні металу із постійною швидкістю, приріст маси конденсату на лобовій ділянці поверхні пластинки за одиницю часу лишається постійним. Тоді зв'язок товщини  $H$  шару в точці із координатами  $(x, y)$ , густини конденсату  $(\delta)$  та функції розподілу задається співвідношенням:

$$q(x, y) = H(x, y)\delta \quad (6).$$

Тоді

$$\varphi(\alpha) = \frac{H(x, y)\delta}{q_0}.$$

Вимірювання товщини плівки в різних точках дає можливість перевірити закон розподілу. В нашому випадку

$$q_0 = \frac{Q}{4\pi R_0}$$

$$\varphi(\alpha) = \frac{H(x, y)4\pi R_0^2 \delta}{Q} \quad (7).$$

Якщо знаємо  $H$  як функцію  $x, y$ , то зможемо перевірити закон розподілу. Розподіл  $H$  по поверхні пластинки (тобто як функцію  $x, y$ ) можна знайти за допомогою мікрофотометра.

Інтенсивність світла  $I$ , яке проходить через плівку, однозначно пов'язана із товщиною плівки  $H$ . Одержавши на мікрофотометрі розподіл інтенсивності пучка світла, який пройшов через плівку, ми будемо мати розподіл товщини плівки по поверхні пластинки.

Скористаємося формулою послаблення пучка світла, який пройшов крізь шар речовини товщиною  $H(x, y)$

$$I(x, y) = I_0 e^{-\mu H(x, y)} \quad (8)$$

де  $\mu$  - натуральний показник поглинання;  $\frac{1}{\mu}$  - товщина, яка дає послаблення інтенсивності світла в  $e$  раз.

$$\text{Із формули (8) маємо } H(x, y) = \frac{1}{\mu} \ln \frac{I_0}{I(x, y)}.$$

Для визначення  $H(x, y)$  треба знати показник поглинання речовини плівки. Щоб визначити  $\mu$ , треба виміряти товщину напиленого шару в визначеному місці пластинки. В цьому вибраному місці робиться дряпинка до підкладки і на інтерферометрі вимірюється товщина плівки в даному місці  $H_1$ . Тоді

$$\frac{1}{\mu} = \frac{H_1}{\ln \frac{I_0}{I_1}} \quad (9)$$

і для визначення функції розподілу  $H(x, y)$  необхідно знати лише співвідношення  $\frac{I_0}{I(x, y)}$ , яке визначається за допомогою мікрофотометра.

### Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися із будовою і послідовністю вмикання і вимикання установки ВУП-4.
2. Шматочок металу (Cu, Al, Ag, Bi) помістити в тигель. В такому тиглі крапля розплавленого металу приймає сферичну форму. Пластинка із скла, на яку проводиться напилення, закріплюється строго горизонтально на відстані  $R$  від тигля. На поверхні скляної пластинки закріпити шматочок монокристала КСІ. Після досягнення вакууму  $\sim 10^{-5}$  торр провести напилення.
3. Познайомитися з принциповою будовою і методами роботи на приладі «Мікрофотометр-4» (МФ-4). За допомогою МФ-4 знайти розподіл конденсату на поверхні пластинки. Для цього скляна пластинка із плівкою вміщується на предметний столик мікрофотометра. Вибирається й установлюється масштаб і швидкість запису інтенсивності. Швидкість запису вибирається такою, щоб час дії світового сигналу на фотоелемент був не менше часу встановлення відліку рівного 0,7 сек. Далі встановлюється чутливість приладу. Повний відхил

світлового пятна на пластинці, що реєструє його, відповідає відліку на міліметровій шкалі 600-650 поділок. Чутливість приладу повинна бути підібрана таким чином, щоб прозора ділянка об'єкта при реєстрації давала відлік, що не перевищує цього значення (600-650 поділок). Тепер установлюється початок запису на пластинці і на об'єкті. Матова пластинка змінюється зарядженою фотопапером касетою. Вмикається електродвигун і проводиться запис.

4. Визначити показник поглинання  $\mu$  для напиленої плівки. Для цього в області максимальної товщини обережно зніміть тоненьку ділянку напиленого шару (зробіть дряпину) і виміряйте товщину плівки в цьому місці за допомогою інтерферометра. Скористайтесь співвідношенням (9) і визначте  $\mu$ .

5. Розрахуйте розподіл товщини плівки по довжині пластинки.

### **Звіт**

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

- 1) Графік залежності інтенсивності світла, яке пройшло через плівку, від довжини пластини.
- 2) Графік залежності товщини плівки від довжини пластинки.
- 3) Дані вимірювання товщини плівки, виконаного на приладі «МІІІ-4»

### **Контрольні питання.**

1. Коли можна проводити напилення тонких плівок?
2. Як пов'язана Інтенсивність світла  $I$ , яке проходить через плівку, із товщиною плівки  $H$ ?
3. Принцип роботи ВУП-4.
4. Принцип роботи мікрофотометра.

### **Література:**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М: Наука, 1978.