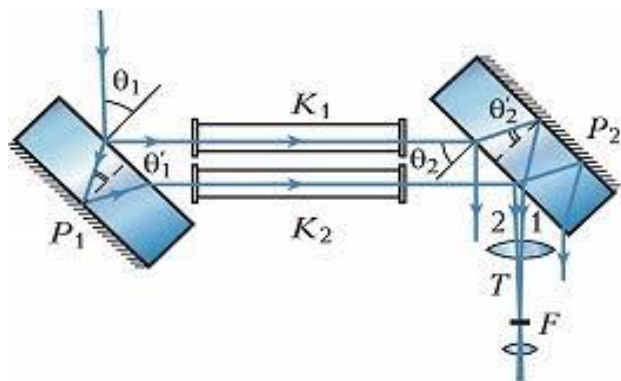




СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



Методи контролю товщини плівок



доц. Шумакова Н.І.

Суми 2019

ВСТУП

Товщина плівкового зразка є найважливішою характеристикою. В одних випадках вона є структурним, а в інших - термодинамічним параметром. Незважаючи на те, що цьому питанню приділяли значну увагу на всіх етапах розвитку технології тонких плівок, визначення товщини залишається серйозною методичною проблемою.

На даний момент відомо ряд прямих та непрямих методів, які гарантують різну точність.

Історично першим був розроблений ваговий метод, суть якого полягає у визначенні за кількістю випаровуваної речовини маси плівки та площі, яку вона займає. Вважаючи, що густина плівки така ж, як і масивного зразка, товщину можна знайти за відношенням об'єму плівки до її площі.

Мікрозважування

Основним робочим елементом пристрою є крутильні **мікротерези**, що дозволяють визначати вагу моноатомної плівки площею $\sim 1\text{см}^2$. Плівка осаджується на слюдяну фольгу, яка підвішується вертикально на нитці. У результаті осадження плівки приводиться в рух невелике дзеркальце, зв'язане з коромислом терезів, на яке потрапляє промінь світла.

За зміщенням світлового зайчика на шкалі можна визначити зміщення коромисла, тобто визначити масу. Як правило, в мікротерезах передбачена компенсація зміщення коромисла за допомогою електромагніту. У цьому випадку терези можуть використовуватися як прилад з нульовим відліком.

Метод кварцового резонатора



Кварцовий резонатор — п'єзоелектричний резонатор, основною складовою частиною якого є кристалічний елемент з кварцу. Замість кварца часто використовують і інші п'єзоелектрики, наприклад, кераміку.

Суть методу базується на вимірюванні **зміни частоти кварцу** при осадженні на нього тонкої плівки. Пристрій для вимірювання товщини складається із кварцового генератора, кварцового еталона частоти, вимірника частоти (*типу ЧЗ-34А*), самозаписувача, стабілізатора температури кварцового кристала генератора. Кварцовий кристал встановлюється в тримачі так, що одна спеціально зрізана грань залишається відкритою для потоку атомів випаровуваної речовини. Конденсація плівки **зменшує резонансну частоту** порівняно з опорною частотою ($\sim 1\text{Гц}$) прямо пропорційно масі сконденсованої речовини

$$\Delta m = C (\omega_o - \omega), \quad (1.15)$$

де C - стала приладу.

Вибір частоти залежить від діапазону товщин плівок. При вимірюванні малих значень товщини слід використовувати більш чутливі височастотні кварци. Але якщо діапазон товщин широкий, то для забезпечення лінійності кривої градування краще брати кварци з малою частотою.

Оптичні методи

У технології тонких плівок **метод оптичної інтерференції** з його модифікаціями застосовується найбільш широко. Це пов'язано з тим, що товщина плівок має величину порядку довжини світлової хвилі. На рисунку 1.15 схематично показано хід променів у найбільш простому (двопроменевому) інтерферометрі.

Цей метод буде досить ефективним за умови, що відбивання променів на межах вакуум-плівка та плівка-підкладка несильне. Тоді інтерференційна картина формуватиметься двома променями (1 та 2). Але в цьому випадку різкість інтерференційних смуг буде слабкою, і відповідно це призведе до великої похибки у визначенні товщини. Цей недолік відсутній у більш громіздкому методі багатопроменевої інтерференції. Для його реалізації необхідно, щоб відбивання променів на межах розділу було дуже інтенсивним (це досягається штучно за допомогою скляних пластин, одна з яких є підкладкою з нанесеною на неї напівпрозорою плівкою срібла).

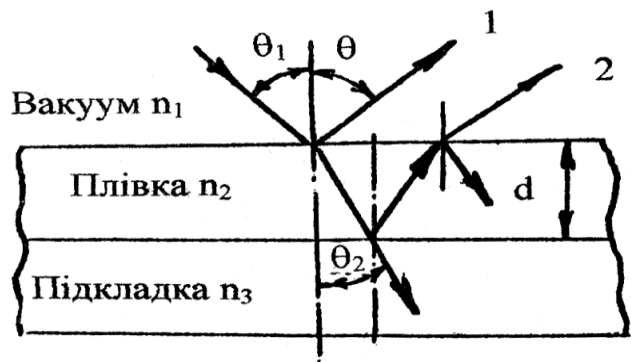
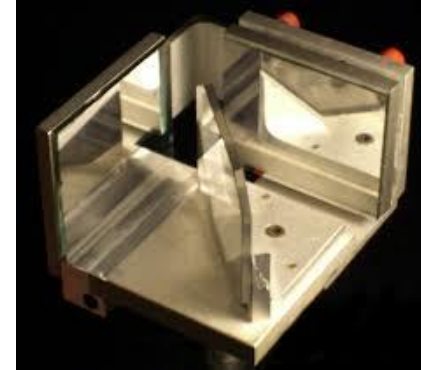


Рисунок 1.15 - Схематичне зображення двопроменевого відбиття та проходження променів світла через тонку плівку (n -коефіцієнт заломлення).

Інші методи

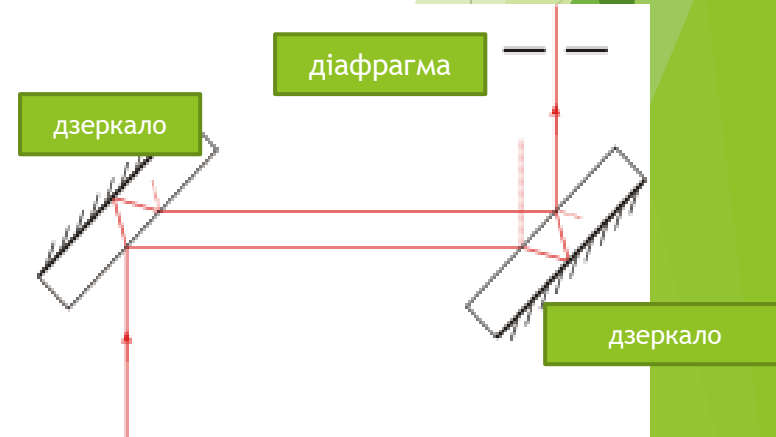


- ▶ **Інтерферометр Майкельсона** — оптичний прилад, призначений для отримання і аналізу інтерференційної картини від когерентних світлових променів, що пройшли різний шлях. Прилад носить ім'я свого винахідника - Альберта Майкельсона. Центральним елементом інтерферометра Майкельсона є напівпрозора пластинка, призначена для того, щоб розділити світловий промінь на два когерентні промені, а потім знову об'єднати їх, забезпечуючи інтерференцію. Світловий промінь від джерела світла падає на пластинку під кутом 45° .
- ▶ Світло частково відбивається від пластинки, а частково проходить її. На певній віддалі від пластинки під прямим кутом до променів встановлені дзеркала. Відбившись від дзеркал, промені знову повертаються до пластинки, частково відбиваючись, а частково проходячи її. Проміжки між напівпрозорою пластинкою та дзеркалом називаються *плечами* інтерферометра. Екран, на якому формується інтерференційна картина, або детектор оптичного випромінювання встановлений навпроти одного із дзеркал, так, що джерело світла, два дзеркала і детектор утворюють хрест.
- ▶ Світловий промінь розділяється на два. Один із променів відбивається від напівпрозорої пластинки і проходить до дзеркала (вгору на схемі). Відбившись від дзеркала, промінь повертається і проходить через напівпрозору пластинку до детектора. Інший промінь проходить через напівпрозору пластинку до іншого дзеркала, відбивається від нього, повертається до пластинки і відбивається в напрямку детектора.
- ▶ Інтерференційна картина залежить від різниці оптичного шляху двох променів.

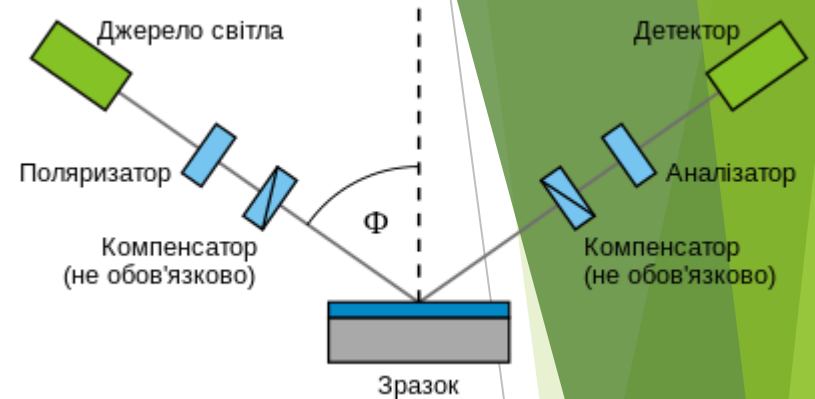
Інші методи



- **Інтерферометр Фабрі-Пéро** або **еталон Фабрі-Пéро** — багатопроменевий інтерференційний спектральний прилад з високою роздільною здатністю, збудований у 1913 році французькими фізиками Шарлем Фабрі та Альфредом Перо. За своєю будовою інтерферометр — плоскопаралельна пластинка (зазвичай повітряна), утворена двома старанно відшліфованими та відполірованими плоскими поверхнями (скляні або кварцові). Зовні ці пластини можуть утворювати невеликий кут із внутрішнім, для того щоб світлові блиски не заважали спостереженню головної частини інтерференційної картини. Внутрішня частина пластин вкривається сріблом або іншим металом, щоб вони мали високий коефіцієнт відбиття.
- **Інтерферометр Джаміна** - це тип інтерферометра, пов'язаний з інтерферометром Маха-Зендера. Він був розроблений в 1856 році французьким фізиком Жюлем Джаміном. Інтерферометр складається з двох дзеркал, виготовлених з найгустішого можливого скла.



Еліпсометрія



- **Еліпсометрія** — високочутливий і точний поляризаційно-оптичний метод дослідження поверхонь і меж поділу різних середовищ (твердих, рідких, газоподібних), заснований на вивченні зміни стану поляризації світла після взаємодії його з поверхнею меж поділу цих середовищ.
- **Еліпсометрія** — сукупність методів вивчення поверхонь рідких і твердих тіл за станом поляризації світлового пучка, відбитого цією поверхнею і заломленого на ній. Плоскополяризоване світло, що падає на поверхню, набуває при віддзеркаленні і заломленні еліптичної поляризації унаслідок наявності тонкого перехідного шару на межі поділу середовищ. Залежність між оптичними постійними шару і параметрами еліптично поляризованого світла встановлюється на підставі формул Френеля. На принципах еліпсометрії ґрунтуються методи чутливих безконтактних досліджень поверхні рідини або твердих речовин, процесів абсорбції, корозії та ін. Як джерело світла в еліпсометрії використовується монохроматичне випромінювання, інколи лазерне, яке дає можливість досліджувати мікронеоднорідності на поверхні об'єкту, що вивчається.

Дякую за увагу!

