

# **МЕТОД ТРАНСМІСІЙНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ**

## **У ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ З ФІЗИКИ**

**Колінько С.О.**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри фізики  
Черкаський державний технологічний університет  
м. Черкаси, Україна

**Бутенко Т.І.**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри фізики  
Черкаський державний технологічний університет  
м. Черкаси, Україна

Важливим аспектом викладання курсу загальної фізики студентам інженерних спеціальностей є практичне ознайомлення майбутніх фахівців з прикладами використання фізичних законів та закономірностей у роботі різноманітних технічних пристроїв. Арсенал науково-дослідних лабораторій Черкаського державного технологічного університету наповнений потужними експериментальними установками, зокрема, мас-спектрометрами, електронними мікроскопами, рентгенівськими дифрактометрами тощо. Розробка методичних рекомендацій щодо організації і проведення лабораторних робіт з метою знайомлення студентів з фізичними основами функціонування названих вище експериментальних установок є наразі одним із завдань викладачів кафедри фізики з метою ефективної підготовки майбутніх фахівців інженерних спеціальностей [1].

Дослідженню питань, пов'язаних з фаховою підготовкою інженерно-педагогічних кадрів присвячені праці С.Батишева, В.Блюхера, Г.Зборовського, Е.Зеєра, Р.Карпової, О.Коваленка, В.Лошкіної, А.Пастухова та інших. Але саме

питання методики організації лабораторного практикуму з фізики для студентів інженерних спеціальностей в методичній літературі висвітлені недостатньо та потребують подальшої розробки в контексті професійної спрямованості навчання [3].

Метою роботи є висвітлення методики організації і проведення лабораторної роботи з вивчення фізичних основ трансмісійної електронної мікроскопії.

Трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ) використовується для дослідження тонких об'єктів [4], зокрема, ця методика незамінна при дослідженні структури та фазового складу тонких плівок.

Наразі тонкі плівки ( $d = 10^{-9} - 10^{-6} \text{ м}$ ) широко застосовуються в різних галузях науки і техніки. Найважливіші завдання, які вирішуються плівковим матеріалознавством – отримання плівкових матеріалів з широким спектром властивостей (електрофізичних, механічних, оптичних), розвиток методів синтезування плівкових систем з наперед заданими властивостями.

Структурні та фазові дослідження на трансмісійному електронному мікроскопі (ТЕМ) є важливими при вивченні властивостей тонких плівок. ТЕМ дозволяє отримувати пряме зображення об'єкта за допомогою електронного променя. Техніка просвічування електронами тонких об'єктів дозволяє отримувати розділення до 0,08 нм. Згідно з гіпотезою де-Бройля електрон має властивості електромагнітної хвилі з  $\lambda = h/mv$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $h$  – стала Планка,  $m$  – маса електрона,  $v$  – швидкість електрона. Прискорюються електрони в сильному електричному полі, тому довжина хвилі електрона залежить від величини прискорюючої напруги  $U$ :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0eU(1 + \frac{eU}{2E_0})}}, \quad (1)$$

де  $m_0$  – маса спокою електрона,  $e$  – заряд електрона,  $E_0 = m_0c^2$  – енергія спокою електрона. За формулою (1) можна обчислити довжину хвилі електрона для різних значень прискорюючої напруги:

Таблиця 1.

**Довжина хвилі електрона при різних значеннях  
прискорюючої напруги**

| U (кВ) | $\lambda$ (пм) |
|--------|----------------|
| 100    | 3,70           |
| 300    | 1,97           |
| 1000   | 0,87           |

ТЕМ складається з електронної гармати (джерела електронів), системи магнітоелектричних лінз та системи детектування електронів. В електронній гарматі електрони вилітають із розігрітого катода за рахунок явища термоелектронної емісії і прискорюються високою напругою. Конденсорні лінзи формують паралельний електронний пучок, який потрапляє на зразок. У камері мікроскопа створюється високий вакуум ( $1,33 \cdot 10^{-4} - 6,66 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ ) для усунення взаємодії електронів з молекулами повітря. Режимми роботи ТЕМ є світлопольний та темнопольний.

Дифракційна картина утворюється внаслідок інтерференції електромагнітних хвиль, відбитих від кристалографічних площин кристалу і підлягає закону Вульфа-Брегга:

$$2d \sin \theta = \lambda, \quad (2)$$

де  $d$  – міжплощинна відстань;  $\theta$  – кут ковзання;  $\lambda$  – довжина хвилі.

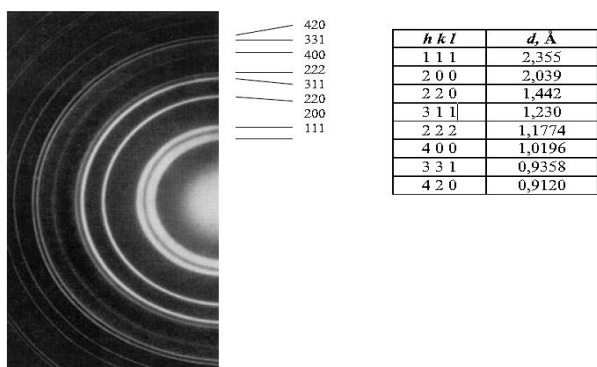


Рис. 1. Електронограма плівки золота.

У полікристалічному зразку окремі кристали мають різну орієнтацію один відносно одного, тому дифракційна картина, в цьому випадку, матиме вигляд концентричних кілець різного радіуса  $R$  відносно її центра  $O$  (рис.1).

**Технологія виконання лабораторної роботи.** Лабораторна робота виконується групами з 3-4 студентів, які працюють із роздатковим матеріалом,

опановують методику обробки експериментальних даних, аналізують результати проведених досліджень.

Кожна група отримує електронограму тест-об'єкту (Al), електронограми зразків, які потрібно розшифрувати, таблиці картотеки ASTM [2], що містять базу даних про міжплощинні відстані.

Для визначення міжплощинних відстаней використовують формулу

$$d = C/R,$$

де  $C$  – постійна приладу;  $R$  – радіус кільця на електронограмі. Постійну приладу  $C = d \cdot R$  визначають досліджуючи електронограму тест-об'єкта (Al). Для цього вимірюють радіуси кілець  $R_i$  і ставлять їм у відповідність відомі значення міжплощинних відстаней  $d_i$  у кристалі Al. Результати дослідження представляють у вигляді таблиці, наприклад:

**Таблиця 2.**

**Кристалографічні характеристики Al**

| № | $d_i$ (Å) | $R_i$ (мм) | $C_i$ (Å·мм) |
|---|-----------|------------|--------------|
| 1 | 2,33      | 13,8       | 32,15        |
| 2 | 2,02      | 15,3       | 30,9         |
| 3 | 1,43      | 16,8       | 25,02        |
| 4 | 1,219     | 23,6       | 28,8         |

Остаточне значення постійної приладу обчислюють за формулою

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}.$$

Щоб розшифрувати запропоновану викладачем електронограму, студенти вимірюють радіуси кілець  $R_i$  на електронограмі, та обчислюють міжплощинні відстані за формулою  $d_i = C/R_i$ . По таблицям ASTM знаходять схожий набір міжплощинних відстаней ( $d_{\text{табл}}$ ), а, отже, визначають, яка кристалічна фаза присутня в об'єкті дослідження. Отримані результати заносять в таблицю 3:

**Таблиця 3.**

**Кристалографічні характеристики дослідженого об'єкта**

|            |           |                |
|------------|-----------|----------------|
| $R_i$ (мм) | $d_i$ (Å) | $d_{табл}$ (Å) |
|            |           |                |

За результатами проведених досліджень студенти складають звіт та відповідають на питання для самоперевірки.

**Висновки.** Виконання лабораторної роботи по вивченню методу трансмісійної електронної мікроскопії сприятиме більш глибокому засвоєнню студентами наступних тем загальної фізики: термоелектронна емісія, взаємодія заряджених частинок з електричним та магнітним полями, хвилі де-Бройля, закон Вульфа-Брегга. Ознайомлення з практичним використанням фізичних законів, зокрема, для дослідження кристалічної будови речовини, підвищує інтерес студентів до вивчення фізики. Приклад застосування знань фундаментальних наук при конструюванні технічних пристроїв сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів, що, в свою чергу, підвищує рівень професійної підготовки майбутніх фахівців інженерного профілю.

#### Література:

1. Бутенко Т.І. Ознайомлення з методом лазерної мас-спектрометрії у лабораторному практикумі з фізики / Т.І. Бутенко, С.О. Колінько, О.Ю. Кулик. – Вісник ЧНУ. №12 (225). – Черкаси: ЧНУ, 2012. – С. 31 – 35.
2. Картотека ASTM, що містить базу даних про міжплощинні відстані.
3. Пастушенко С.М. Курс фізики в системі професійної компетентності випускника технічного університету / С.М. Пастушенко, Т.С. Лень // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Випуск 89. Серія: педагогічні науки: Збірник. – Чернігів: ЧДПУ, 2011. – С. 359 – 362.
4. Практические методы в электронной микроскопии / Под редакцией Одри М. Глоэра. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.