

У блоці 2 відбувається порівняння сигналу розузгодження штучної нейтралі з опорним сигналом, який формується блоком 7, і на основі цього формувачем Ф створюється вихідний імпульс, який у разі виникнення аварійного режиму роботи двигуна зумовить спрацювання потужних ключів і реле захисту Р блока 3, яке, своєю чергою, відімкне ЕД від мережі. У цей момент у блоці 6 відбувається індикація спрацювання системи захисту та індикація місця виникнення аварії. Так, при обриві однієї або двох фаз живлення відбувається індикація фази, в якій сталось пошкодження. Якщо ж з'явилась вібрація вала ротора, то відбувається індикація зміни частоти обертання вала, а при погіршенні ізоляції обмоток здійснюється індикація значення напруги в службовій нейтралі ЕД.

Блок електронних фільтрів 5 з давачем вібрації М (конденсаторним чи п'єзокерамічним) слідкують за частотою обертання вала ротора двигуна. Смугові фільтри блока 5 налаштовуються на частоту другої гармоніки, яка сигналізує про биття вала, зумовлене його викривленням або виходом з ладу підшипників, що може призвести до аварії ЕД. Блок 5 з'єднаний з формувачем блока 2 і має можливість незалежно від блоків 1 і 2 здійснювати спрацювання системи захисту.

Якщо, наприклад, зникне напруга мережі в фазі, яка живить систему захисту, то це призведе до обезструмлення всіх блоків системи. Реле Р блока 3, у цьому випадку розімкне контакти живлення котушки теплового реле ЕД і він буде відімкнутий від мережі. Індикатори блока 6 вкажуть на аварію і покажуть фазу, в якій вона відбулась. Індикація відбуватиметься і при вимкненому джерелі живлення 7 внаслідок використання в системі захисту малогабаритних акумуляторів.

Систему захисту в процесі роботи ЕД можна застосовувати і для його діагностики. Діагностику можна проводити за показами індикатора напруги в службовій нейтралі, яка характеризує якість ізоляції та симетричність режимів роботи двигуна за напругами на резисторах R2, R4, R5, які свідчать про якість живлення ЕД.

Система апробована в умовах вузла навантаження централізованої теплової мережі впродовж 1996-1998 рр.

1. Когородский В.И. Релейная защита электродвигателей. М., 1987. 2. Справочное пособие по электротехнике и основам электроники / П.В.Ермуратский, А.А.Косякин, В.С.Листвин и др.; Под ред. А.В.Нетушина. М., 1986.

УДК 548.732

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ У КРИСТАЛІЧНИХ ПЛАСТИНАХ

© Криштійб Т.Г., Литвин О.С., Литвин П.М., Прокопенко І.В., 1998

Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ

*Запропонований метод контролю пружних деформацій в монокристалічних пластинах, який базується на рентгенодифрактометричних вимірюваннях радіуса кривизни атомних площин поверхні. Метод дає змогу підвищити експресність та локальність діагностики.*

При виробництві напівпровідникових електронних приладів визначальний вплив на їх електрофізичні та експлуатаційні характеристики має рівень структурної досконалості вихідних монокристалічних пластин. Присутні в монокристалі одно-, дво- та тривимірні дефекти кристалічної матриці складно відображаються в загальному розподілі полів пружних деформацій, які своєю чергою впливають на процеси зародження, міграції та анігіляції структурних дефектів. Тому контролю рівня пружних деформацій у монокристалічних пластинах на всіх ділянках технологічного циклу повинна приділятися особлива увага. Серед існуючих методів, які дають змогу прямо чи

опосередковано вимірювати пружні деформації в монокристалічних об'єктах, найширшого застосування набули неруйнівні рентгенодифрактометричні методи. Своєю чергою серед останніх найуніверсальнішим, щодо застосовуваності до різних матеріалів є метод вимірювання кривизни атомних площин. Цей метод існує в різних модифікаціях, однак, жодна з них не позбавлена недоліків. Так, метод трансляції зразка [1] вимагає виготовлення спеціальних прецизійно-трансляючих гоніометричних головок, а також обмежений мінімальним розміром зразків; застосування методів трикристалічної дифрактометрії [2, 3] обмежується складною рентгенооптичною геометрією, неоднозначністю

інтерпретації форми кривої дифракційного відбивання (КДВ) та наявністю верхньої і нижньої меж вимірювань; у методах двокристалної [4, 5] дифрактометрії з використанням спектрального складу випромінювання виникають труднощі із розподіленням на КДВ піків  $K_\alpha$  дублета, а при застосуванні  $\beta$ -лінії - із реєстрацією випромінювання, розподіленого в такому значному кутовому діапазоні. Автори пропонують метод вимірювання

кривизни приповерхневих атомних площин, який займає проміжне місце між дво- та трикристалними дифрактометричними методами.

Для збільшення розподільчої здатності методу в схемі дифрактометра автори використали блок монохроматора, вирізаний з досконалого монокрystalа кремнію з орієнтацією відбиваючих поверхонь (111). Схема методу показана на рисунку.

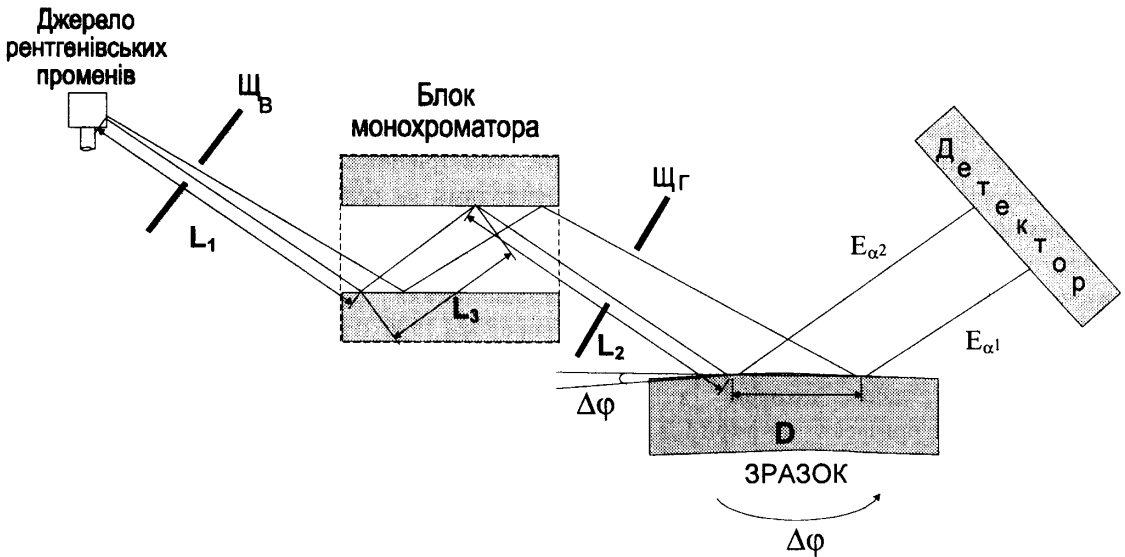


Схема методу вимірювання радіуса кривизни на двокристалному спектрометрі з блоком монохроматора: ЩВ - вертикальна щілина, ЩГ - горизонтальна.

Двократна монохроматизація падаючого випромінювання (відбиття (333)) дала змогу отримати  $CuK_{\alpha 1}$  та  $CuK_{\alpha 2}$  лінії із спектральною шириною  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \sim 10^{-5}$ . Як поворотно-вимірювальний пристрій у схемі установки використаний оптичний гоніометр ГС-5, який дає можливість вимірювати кути повороту з точністю до  $0,5''$ , що своєю чергою зняло необхідність точного вимірювання КДВ. Відстань  $L$  від фокуса рентгенівської трубки до центра гоніометра вибрана так, щоб відстань  $D$  між точками падіння променів  $K_{\alpha 1}$  та  $K_{\alpha 2}$  на досліджувальний зразок була якомога більшою, але в той же час, усувала можливість розходження променів  $K_{\alpha 1,2}$  на значення більше, ніж розміри вікна лічильника, а також не перевищувала мінімальний розмір зразків. Вимірювання проводяться як у бездисперсійній ( $n, n$ ), так і дисперсійній ( $n, m$ ) схемах дифракції. Так, наприклад, при вимірюванні радіуса кривизни кремнієвих пластин на відбитті (333), схема ( $n, n$ ) стане дисперсійною винятково за рахунок згину

зразка і значення кута  $\Delta\varphi$  між положеннями зразка, в яких детектор реєструє максимуми відбивань від дублета  $K_{\alpha 1,2}$ , однозначно визначатиме знак та радіус кривизни  $R$

$$R = \frac{D}{\Delta\varphi}, \quad D = L(\theta_{m2} - \theta_{m1}) = L \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{av}} \operatorname{tg} \theta_m, \quad (1)$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3,$$

де  $\theta_{m2} - \theta_{m1} = \Delta\theta_m$  - розбіжність променів  $K_\alpha$  дублета після монохроматора;  $\Delta\lambda$  - різниця довжин хвиль  $K_\alpha$  дублета;  $\lambda_{av}$  - середня довжина хвилі  $K_\alpha$  дублета;  $\theta_m$  - брегівський кут для монохроматора.

При дослідженнях зразків у схемі ( $n, m$ ) потрібно врахувати початкову дисперсійність схеми. Формула (1) у загальному випадку набуває вигляду

$$R = \frac{D}{\sin \theta_{cr} \Delta\varphi'}, \quad \Delta\varphi' = \Delta\theta_m - \Delta\theta_{cr} - \Delta\varphi, \quad (2)$$

де  $\theta_{cr}$  - кут брегівського відбиття для зразка;  $\Delta\theta_{cr}$  - розбіжність променів  $K_\alpha$  дублета після зразка.

В реалізованій нами геометрії установки чутливість методу становить  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м, а мінімальний розмір зразка – 3 мм. Потрібно зауважити, що дослідження зразків, кривизна яких настільки мала, що піки дублета не розділяються, потрібно проводити в дисперсійній схемі з використанням асиметричних відбиттів.

Значення пружної деформації  $\varepsilon$  у наближенні, що товщина кристала  $t$  значно менша від  $R$  та максимальне відхилення поверхні кристала від горизонтального рівня значно менше ніж  $t$ , задається досить простим співвідношенням

$$\varepsilon = \frac{t}{2R}. \quad (3)$$

Порівняння даних вимірювання радіуса кривизни монокристалічної пластини запропонованим методом та класичним методом трансляції зразка дає збіжність не гірше  $\pm 10\%$ .

Отже, запропонований метод визначення радіуса кривизни є експресним, не потребує точного вимірювання КДВ і його можна використовувати

для зразків малих розмірів або для визначення пружних напруг у локальних областях по пластині.

1. Godwod K., Nagy A.T., Rek Z. *The Application of the X-Ray Triple-Crystal-Spectrometer for Measuring the Radius Curvature of Bend Single Crystals* // *Phys. Stat. Sol. (A)*. 1976. Vol.34. N 2. P.705-710. 2. Мальцев Ю.Ф., Гаркушев Е.Н., Никифоров И.Я. *Новый метод измерения кривизны кристаллов на трехкристальном рентгеновском дифрактометре* // *Кристаллография*. 1998. Т. 43. № 2. С.360. 3. Завьялова А.А., Ломов А.А., Маргушев З.Ч. *Трехкристальная рентгеновская дифрактометрия в исследовании изогнутых монокристаллов* // *Кристаллография*. 1991. Т. 36. № 1. С.20-24. 4. Cohen B.G., Focht M.W. *X-ray Measurement of Elastic Strain and Annealing in Semiconductors* // *Solid-State Electronics*. 1970. Vol.13. P.105-112. 5. Носков А.Г., Труханов Е.М. *Повышение чувствительности метода измерения кривизны монокристаллов на рентгеновском спектрометре* // *ПТЭ*. 1985. № 5. С.173-175.

УДК. 541.1+681.2

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ПОСУДИНИ З РІДИНОЮ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИН МЕТОДОМ ВИТЯГУВАННЯ КІЛЬЦЯ

© Витвицька Л.А., 1998

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

*На основі математичного моделювання складного рідинно-газового мостика, утвореного між кільцем, розташованим на поверхні рідини, та стінкою посудини, в якій ця рідина знаходиться, отримано залежності для розрахунку оптимальних розмірів посудини при визначенні поверхневого натягу методом кільця.*

Вимірювання поверхневого натягу методом витягування кільця полягає у визначенні натягу рідини за вимірними значеннями сили, прикладеної до горизонтально підвішеного кільця при його витягуванні з досліджуваної рідини, та висоти підняття кільця відносно рівня незбуреної поверхні рідини [1]. У теоретичних викладках, що стосуються даного методу і описані в [1-3], вважається, що поверхня досліджуваної рідини не має обмежень у розмірах. Однак у реальних умовах рідина знаходиться в посудині певних розмірів. Так, у приладі, який реалізує вищевказаний метод [2], циліндрична посудина з досліджуваною рідиною розміщується на підйомному столику, який рухається вгору-вниз за допомогою крокового двигуна. Стінки посудини з рідиною впливають на значення сили, прикладеної до кільця. Цей вплив,

який називають «прістінним ефектом», зумовлений взаємодією між собою двох менісків, утворених наявністю кільця і стінки посудини. Оскільки місткість посудини є постійною, то при достатній близькості один від одного ці два меніски, накладаючись, змінюють положення рівня незбуреної рідини, відносно якого ведеться відлік об'єму піднятої рідини, що і впливає на значення прикладеної сили (рис.1). Тому сила  $F$ , яка необхідна для витягування кільця з рідини, є функцією не тільки розмірів кільця ( $R, r$ ), кута змочування його поверхні ( $\theta$ ) і значення поверхневого натягу ( $\sigma$ ), але й радіуса посудини циліндричної форми ( $R_{\text{пос}}$ ) та кута змочування рідиною її стінки ( $\theta_c$ ).