

АНАЛІЗ І КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. *Описані оптичні методи неруйнівного контролю напівпровідникових структур та приладів. Розглядаються візуальні, інтерференційні, поляризаційні та інші методи. Обговорюються їхні переваги, недоліки та практичне застосування. Оптичні методи дозволяють досліджувати склад, властивості, структуру та параметри напівпровідників без їх руйнування. Ці методи ґрунтуються на відбитті, поглинанні, інтерференції та дифракції світла.*

Ключові слова: *напівпровідникові прилади, поляризаційний контроль, інтерференційний контроль, візуальний контроль.*

Вступ

Оптичні методи дослідження та контролю ґрунтуються на таких фізичних явищах, як відбиття, поглинання, інтерференція та дифракція світла. Для неруйнівного контролю напівпровідникових структур застосовують реєстрацію та аналіз оптичного випромінювання, яке взаємодіє з досліджуваним зразком [1], [2], [3].

Оптичні методи неруйнівного контролю характеристик напівпровідникових структур і приладів дозволяють контролювати склад і властивості матеріалів, проводити операційний контроль структур і аналіз технологічних процесів шляхом реєстрації інтенсивності, фази, поляризації, спектрального складу або просторового розподілу оптичного випромінювання при взаємодії з досліджуваними зразками. Розглянемо переваги і недоліки таких методів більш детально.

Аналіз і класифікація методів оптичного контролю

На рис. 1 наведено класифікацію оптичних методів неруйнівного контролю характеристик поверхонь і структур напівпровідникових матеріалів та виробів електроніки і фотоніки.

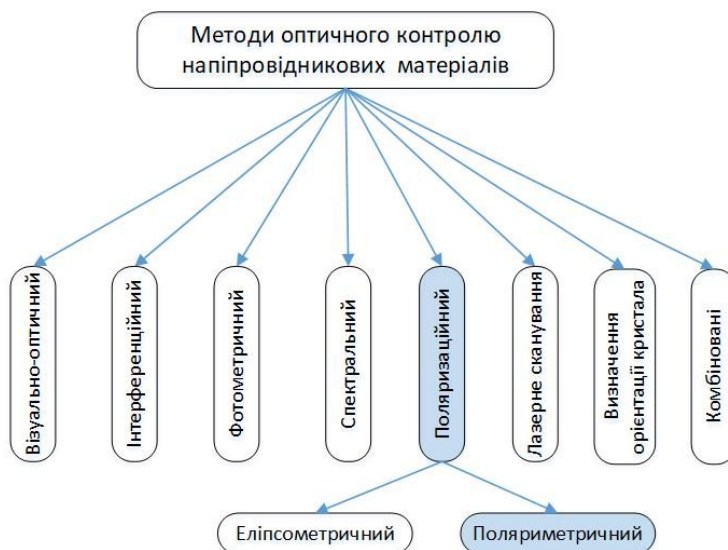


Рисунок 1 – Класифікація оптичних методів контролю напівпровідникових виробів

Візуально-оптичний метод як спосіб контролю характеристик зразка полягає у візуальному огляді у оптичному мікроскопі досліджуваного виробу та порівнянні його з еталонним зразком (чи його зображенням). Якість значного ряду технологічних операцій контролюється візуально, за допомогою різних типів оптичних мікроскопів, що працюють у видимому, інфрачервоному та

ультрафіолетовому спектральних діапазонах [3], [4], [5]. Метод є простим і доволі поширеним, однак дозволяє контролювати лише поверхневі дефекти у структурі.

Для контролю виробів на стадії підготовки технологічного процесу використовується поляризаційний метод, який ґрунтується на вимірюванні змін поляризації світла при його взаємодії з об'єктом. Аналіз поляризаційних параметрів напівпровідникових матеріалів займає важливе місце у практиці матеріалознавства. Випромінювання, що розсіюється зразком, в загальному може бути охарактеризовано як неполяризоване, частково або повністю поляризоване (лінійно, циркулярно або еліптично). Методика аналізу стану поляризації випромінювання полягає у визначенні такої поляризаційної структури, яка відповідає вихідному випромінюванню об'єкта [1], [4].

Схема використання поляризаційного датчика для контролю зразка, що вимірює відмінності інтенсивності горизонтально та вертикально поляризованого світла при відбиванні променів від досліджуваного зразка, наведена на рис. 2 [4].

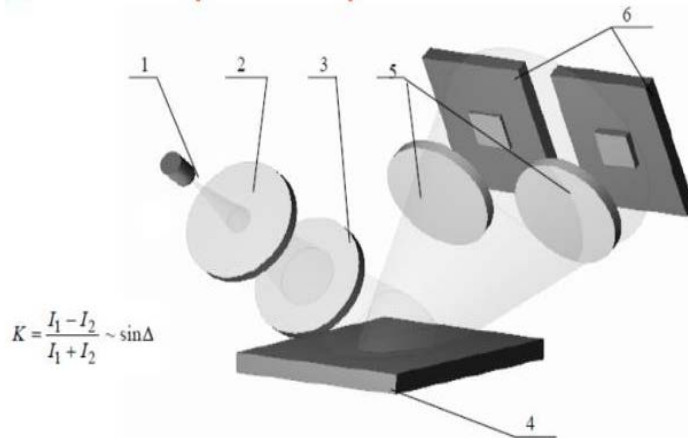


Рисунок 2 – Схема поляризаційного датчика контролю: 1 - випромінювач (світлодіод або лазер), 2 – поляризатор, 3 – $\lambda/4$ фазова пластинка, 4 – зразок, 5 – аналізатор, 6 – фотоприймачі

Для контролю поляризаційних властивостей матеріалів пропонується використання наведеної схеми та підходів, які розглянуто у працях [1] та [4].

На рис. 3 наведено універсальну схему аналізу поляризаційних характеристик випромінювання [1], що його розсіює зразок (оптичний кристал, напівпровідникова пластина).

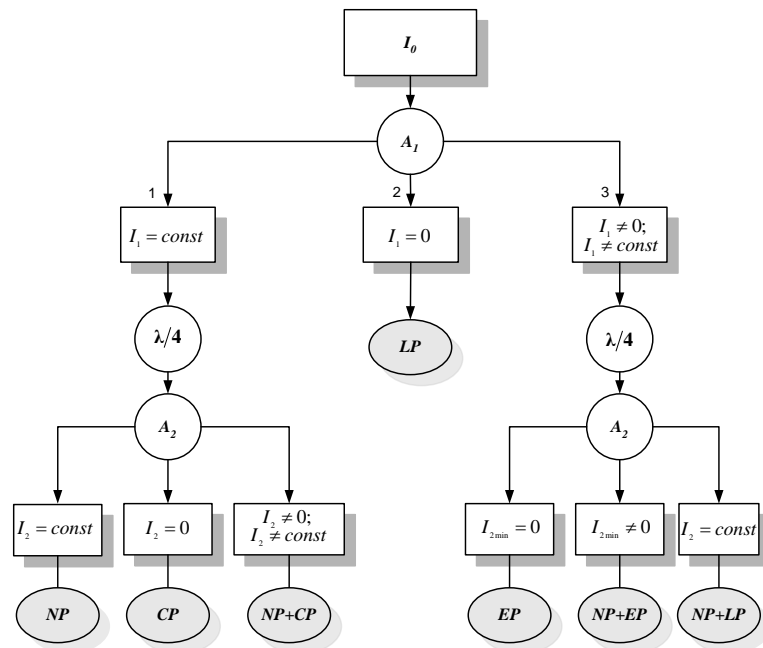


Рисунок 3 – Узагальнена схема аналізу стану поляризації світла [1]: I_0 – розсіяне зразком випромінювання; A_1, A_2 – аналізатори; $\lambda/4$ – чвертьхвильова фазова пластинка

На першому етапі на шляху світлового пучка встановлюємо аналізатор A_1 (поляризаційну призму, поляроїд), який обертаємо навколо оптичної осі. Мають місце три варіанти:

Інтенсивність світла після проходження аналізатора A_1 не змінюється при зміні орієнтації A_1 ($I_1 = \text{const}$). Вихідне випромінювання може бути неполяризованим (NP), циркулярно (CP) або частково циркулярно (NP+CP) поляризованим.

Для виявлення наявності у розсіяному випромінюванні циркулярно поляризованої складової виконуємо додатковий етап досліджень.

При певній орієнтації аналізатора $I_1 = 0$ і випромінювання є лінійно поляризованим (LP).

Інтенсивність світла $I_1 \neq 0$ після проходження крізь аналізатор A_1 при будь-якій його орієнтації, хоча має місце зміна інтенсивності. Досліджуване випромінювання характеризується еліптично поляризованою (EP), частково еліптично (NP+EP) або частково лінійно (NP+LP) поляризованою структурою.

Для визначення наявності еліптичної або лінійної поляризації також необхідно провести додатковий етап. При цьому, як і у першому варіанті, аналізатор A_1 вилучається з ходу променів, а на шляху випромінювання вводять додаткову фазову пластинку $\lambda/4$ та аналізатор A_2 .

У першому варіанті при обертанні аналізатора A_2 маємо циркулярно поляризовану структуру випромінювання (якщо $I_2 = 0$), неполяризоване світло (якщо інтенсивність I_2 при обертанні A_2 не змінюється) або частково циркулярно поляризоване випромінювання (інтенсивність I_2 на виході A_2 змінюється, а повному погашенню циркулярної складової відповідає мінімальне значення I_2).

У третьому варіанті здійснюють як зміну орієнтації пластинки $\lambda/4$, так і обертання аналізатора A_2 . Якщо існує деяке положення фазової пластинки $\lambda/4$, при якому на виході аналізатора $I_{2\text{min}} = 0$, вихідне випромінювання є еліптично поляризованим. Якщо при певній орієнтації елемента $\lambda/4$ існує максимум, а мінімальна інтенсивність при будь-якому положенні аналізатора $I_{2\text{min}} \neq 0$, випромінювання є частково еліптично поляризованим. Якщо ж при певному положенні пластинки $\lambda/4$ обертання поляризатора не впливає на значення інтенсивності ($I_2 = \text{const}$), вихідне випромінювання є частково поляризованим.

На основі наведеної схеми розроблено ряд експериментальних методів досліджень, зокрема метод визначення параметрів Стокса випромінювання при взаємодії з середовищем, компенсаційні та інші методи [1], [4], [5].

Висновки

Оптичні методи неруйнівного контролю є важливим інструментом для забезпечення якості напівпровідникових структур і приладів. Розглянуті методи дозволяють здійснювати оптичний контроль складу і властивостей матеріалів, проводити операційний контроль напівпровідникових структур та аналіз технологічних процесів. Поляризаційний метод оптичного контролю напівпровідникових зразків дозволяє розширити функціональні можливості контролю за рахунок аналізу як поверхневих, так і приповерхневих структур у об'ємі зразка.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тужанський С. С., Лисенко Г. Л. Системи лазерної відеополяриметрії для автоматизованого контролю параметрів неоднорідних біотканин : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2011. 156 с.
2. Бондарчук Я.М. Технологія і обробка оптичних матеріалів. Львів: Ліга-Прес, 2001. 242 с.
3. Ушенко О.Г., Солтис І.В., Дуболазов О.В. [та ін.]. Поліграфічна лазерна томографічна система та алгоритми комп'ютерної цифрової реконструкції структури дифузних полімерних матеріалів. *Технологія і техніка друкарства*. 2(76), с.16-21.
4. Оксанич А.П. Промислові методи і пристрої дослідження напружено-деформованого стану напівпровідникових матеріалів. Харків: Інститут монокристалів, 2001. 206 с.
5. Кожем'яко В.П., Готра З.Ю., Павлов С.В., Микитюк З.М., Готра О.З. Схемотехніка сучасного приладобудування. Ч.3 – Оптичні сенсори. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2002. 164 с.

Фельчин Владислав Максимович – студент групи ЛТО-23м кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, vladfelchin@gmail.com.

Тужанський Станіслав Євгенович – к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, slavat@vntu.edu.ua.

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF METHODS OF OPTICAL CONTROL OF SEMICONDUCTORS

Abstract.

Optical methods of non-destructive testing of semiconductor structures and devices are described. Visual, interference, polarization and other methods are considered. Their advantages, disadvantages and practical application are discussed. Optical methods allow studying the composition, properties, structure and parameters of semiconductors without destroying them. These methods are based on reflection, absorption, interference and diffraction of light.

Keywords: semiconductor devices, polarization control, interference control, visual control.

Felchyn Vladyslav Maksymovych – Student of the group JTO-23M, Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vladfelchin@gmail.com.

Tuzhanskyi Stanislav Yevhenovych - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University slavat@vntu.edu.ua.