

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕКОМБІНАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ
НАПІВПРОВІДНИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
НЕРУЙНІВНИХ МЕТОДІВ**

Бабиченко С.В.

Науковий керівник – к.ф-м.н., доцент Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

e-mail: serhii.babychenko@nure.ua

There are a large number of different methods aimed at ensuring control of various parameters of semiconductor structures. All of them are not universal and each has its limitations. At the same time, semiconductor materials and structures can be quite completely and qualitatively studied using non-destructive contactless resonator and waveguide microwave methods. Universal methods and equipment for microwave monitoring have been developed, which allow multi-parameter monitoring. The creation of universal methods and tools for microwave diagnostics of semiconductor structures is an important area of research. These methods enhance the understanding of material properties, optimize manufacturing processes and improve the efficiency of semiconductor applications in various fields such as electronics, photonics and sensors.

Система показників якості напівпровідникових матеріалів, включаючи елементарні напівпровідники (кремній, германій) та їх сполуки (наприклад, типу A^IVB^V), що виготовляються як гомогенними (злитки, пластини), так і комплексно-неоднорідними (епітаксійні та дифузійні структури) матеріалами, описується наступними параметрами та характеристиками:

- питомим електричним опором;
- рухливістю вільних носіїв заряду;
- концентрацією вільних носіїв заряду;
- часом життя та швидкістю поверхневої рекомбінації нерівноважних носіїв заряду;
- товщиною підкладок та епітаксійних шарів.

У процесі проектування напівпровідникових приладів і мікросхем на основі теоретичних розрахунків і експериментальних даних підбираються відповідні параметри напівпровідникових матеріалів. При випробуванні приладу в дослідному виробництві уточнюються вимоги до матеріалів, так як для будь-якого типу приладу і ІС існують оптимальні значення параметрів напівпровідника (Si, Ge, GaAs і ін.), що відповідають оптимальним параметрам приладу. Відтворюваність та відсоток виходу придатних виробів безпосередньо пов'язані з якістю та розкидом параметрів використовуваних матеріалів.

Таким чином, напівпровідникові матеріали, що використовуються при виготовленні приладів і мікросхем, повинні відповідати наступним загальним вимогам [1]:

- матеріали не повинні містити значної кількості сторонніх домішок в порівнянні з концентрацією зазначеної однієї або декількох домішок, так як при наявності таких домішок можуть спостерігатися неконтрольовані і невідтворювані зміни електрофізичних властивостей при термічній обробці в процесі виготовлення приладів і ІС;

- матеріали повинні мати цілком відтворюване, задане і однорідно розподілене число структурних дефектів (дислокацій, вакансій);

- кристали повинні бути без дефектів, таких як включення і мікротріщини;

- у зливках повинні бути відсутні значні механічні напруги.

Порушення цих вимог може призвести до збільшення браку в операціях різання злитків та пластин, шліфування та травлення, а також на операціях вплавлення р-п-переходів, фотолітографії та ін.

Найбільш широке застосування знайшли традиційні контактнo-зондові методи для контролю якості матеріалів при їх прийманні та постачанні, а також при вхідному контролі. Неруйнівні методи застосовуються, перш за все, при дослідженні властивостей матеріалів, розробці технології їх виробництва та обробки, при технологічному контролі [2].

Одним з важливих напрямків неруйнівного та безконтактного дослідження характеристик матеріалів та структур є використання НВЧ методів та засобів. Ці методи дозволяють проводити дослідження властивостей матеріалів без необхідності прямого контакту з ними, що є важливим аспектом в багатьох відносинах, включаючи збереження цілісності та уникнення будь-якого впливу на досліджуваний матеріал.

НВЧ методи діагностики параметрів та характеристик матеріалів можна розділити на дві групи: нерезонансні та резонансні. Нерезонансні методи зазвичай застосовуються для отримання залежності властивостей матеріалів у діапазоні частот, а резонансні методи – щоб отримати точне значення параметра матеріалу (наприклад, діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат) за певної частоти або кількох дискретних значень частот [3, 4].

В нерезонансних методах властивості матеріалів визначаються переважно з імпедансу та швидкостей хвилі у матеріалі. Їх можна розділити на два методи: відбиття та проходження/відбиття. У першому випадку властивості матеріалів визначаються на основі відбиття від зразка, а другому – на основі відбиття від зразка та проходження через зразок. Для цих методів придатні всі типи ліній передач, наприклад, коаксіальна лінія, порожнистий металевий або діелектричний хвилевод або смужкова лінія.

В резонансних методах параметри та характеристики матеріалів визначаються з їхнього впливу на резонансну частоту та добротність вимірювального перетворювача. Для реалізації цих методів застосовуються прямокутні, циліндричні, коаксіальні та інші види НВЧ резонаторів, а також смужкові резонатори.

Таким чином, отримання високоякісних матеріалів в сучасних умовах високих стандартів вимагає використання ефективніших методів контролю. Забезпечення високої якості матеріалів може бути оптимально вирішено за допомогою безконтактних, неруйнівних методів, які забезпечують точний контроль параметрів без пошкодження самого матеріалу. Це особливо важливо в контексті сучасних вимог до надійності та функціональності матеріалів, які використовуються в різних галузях, включаючи промисловість, електроніку та медицину. Такі неруйнівні методи дозволяють вчасно виявляти та усувати можливі дефекти чи невідповідності, сприяючи тим самим підвищенню якості та довговічності матеріалів.

Одними з основних параметрів напівпровідникових матеріалів, які необхідно враховувати під час розробки та експлуатації електронних пристроїв, є рекомбінаційні параметри. У пристроях, таких як транзистори, діоди та сонячні батареї, ці параметри можуть суттєво впливати на ефективність їхньої роботи. Наприклад, у сонячних батареях безпосередньо впливають на кількість генерованих фотоелектронів, що зрештою позначається на ефективності перетворення [5].

У роботі пропонується неруйнівний безконтактний метод визначення рекомбінаційних параметрів напівпровідникових матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Product Reliability & Accelerated Life Testing Services Since 1982. IEC 60068-2. Electronic Equipment & Product Standards. URL: <https://www.desolutions.com/testing-services/test-standards/> (дата звернення: 12.02.2024).
2. Baker John D. Reliability of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, 2003. 640 p.
3. Li E., Gao Y., Zhang Y., Gao C., Zheng H., Zeng Z. Nonlinear behavior of microwave semiconductor materials measured under a strong electromagnetic environment using a compressed rectangular resonant cavity // Applied Physics A: Materials Science & Processing is a copyright of Springe. 2017. P. 414–420.
4. Bondarenko I. N., Bliznyuk I. Yu., Gorbenko E. A. Microwave irregular resonant structures // Telecommunications and Radio Engineering. 2019. Vol.78(№5), P. 385–392.
5. Babychenko O. Y., Pashchenko A. G. Kinetics of photoconductivity of c-Si with amorphous inhomogeneities. // Telecommunications and Radio Engineering. 2018. Vol 77(№ 2). P. 161–171.