

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра мікроелектроніки

Методичні вказівки до виконання комплексного практикуму з
кредитного модуля
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ»

***Визначення питомого опору матеріалу чотирьохзондовим
методом***

Київ 2020

Мета роботи – освоїти методику визначення питомого опору плівкових покриттів чотирьохзондовим методом шляхом проведення чисельного експерименту.

Теоретичні відомості

При дослідженні електричних властивостей та виробництві напівпровідникових матеріалів, структур і приладів виникає необхідність вимірювання питомого електричного опору або питомої електричної провідності напівпровідникових матеріалів у вигляді монокристалічних злитків, зразків різної геометричної форми, пластин, дифузійних, епітаксійних та іонно-легованих шарів, які складають частину напівпровідникових структур. Вимірювання питомого опору здійснюється не тільки для встановлення його значення, але також для визначення інших важливих параметрів напівпровідникового матеріалу на основі теоретичних розрахунків або додаткових експериментальних даних.

Вибір методу вимірювання здійснюють з урахуванням отримання необхідної інформації, особливостей досліджуваного матеріалу, можливості виготовлення електричних контактів, геометричної форми зразка, метрологічних характеристик методу вимірювання. В ідеальному випадку вимір характеристик матеріалів не повинен призводити до руйнування зразка і не повинен вимагати його спеціальної обробки.

Для швидкого вимірювання питомого опору використовують чотирьохзондовий метод. Зазначений метод дозволяє виконувати вимірювання не тільки на однорідних зразках, але і на дифузійних, епітаксійних та іонно-легованих шарах, а також дослідити просторову зміну питомого опору. Для зондових методів силові лінії напруженості електричного поля непаралельні і розподілені неоднорідно по перетину зразка, через що спочатку необхідно теоретично розраховувати розподіл електричного потенціалу в зразку, а потім знаходити взаємозв'язок між питомим опором і вимірюваними величинами, струмом та напругою.

Чотирьохзондовий метод вимірювання питомого опору напівпровідників є найпоширенішим. Крім високих метрологічних показників перевага чотирьохзондового методу полягає в тому, що для його застосування не потрібно створення омичних контактів до зразка, можливо вимірювати питомий опір об'ємних зразків найрізноманітнішої форми та розмірів, а також питомий опір шарів напівпровідникових структур.

Розглянемо теоретичні основи чотирьохзондового методу вимірювання питомого опору відносно зразка, який представляє собою напівбезкінечний об'єм, обмежений плоскою поверхнею.

На плоскій поверхні зразка (рис. 1) вздовж прямої лінії розміщені чотири металевих зонди з малою площею дотику, відстані між якими s_1, s_2, s_3 . Через два зовнішніх зонда 1 і 4 пропускають електричний струм I_{14} , на двох внутрішніх зондах 2 і 3 вимірюють різницю потенціалів U_{23} . За вимірним значенням різниці потенціалів між зондами 2 і 3 та струмом, що протікає через зонди 1 і 4, можна визначити питомий опір зразка.

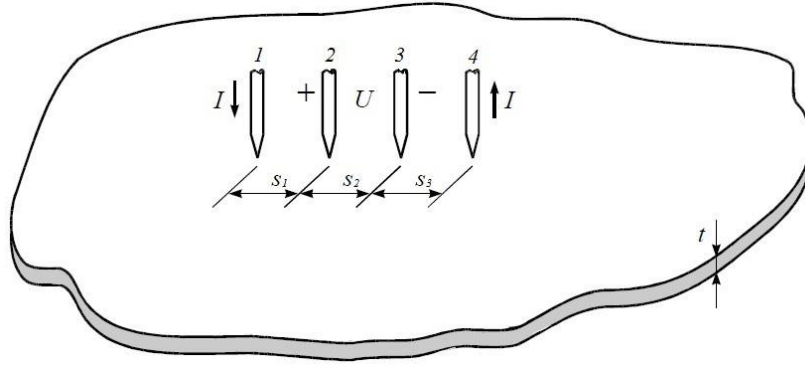


Рис. 1.

Щоб знайти аналітичний зв'язок між питомим опором ρ , струмом I_{14} і напругою U_{23} , необхідно спочатку вирішити більш просту задачу, пов'язану з протіканням струму через окремий точковий зонд, що знаходиться в контакті з плоскою поверхнею напівпровідникового зразка напівбезкінечного об'єму.

За принципом суперпозиції електричний потенціал в будь-якій точці зразка дорівнює сумі потенціалів, створюваних в цій точці струмом кожного зонда. При цьому потенціал має позитивний знак для струму, що втікає в зразок (зонд 1) і негативний знак для струму, що витікає з зразка (зонд 4) для системи зондів, відстань між якими s_1, s_2, s_3 , потенціали вимірювальних зондів 2 і 3.

$$U_2 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} \right), \quad (1)$$

$$U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1 + s_2} - \frac{1}{s_3} \right) \quad (2)$$

Різниця потенціалів

$$U_{23} = U_2 - U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3} \right) \quad (3)$$

Згідно (3), питомий опір зразка

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3}} \frac{U_{23}}{I_{14}} [\text{Ом} \cdot \text{см}] \quad (4)$$

Щоб уникнути похибки при вимірах струму і напруги, які можуть виникнути внаслідок відтікання струму та виникнення напруги на контактних опорах тощо, необхідно ряд вимірювань n .

Статистична обробка результатів досліджень

Для цього визначать наступне:

- значення точкової оцінки вимірюваної величини

$$\tilde{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

де x_i – i -та виміряна величина.

- значення оцінки середньоквадратичного відхилення одиничного вимірювання серед n вимірів

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2} \quad (6)$$

- значення оцінки середньоквадратичного відхилення середнього арифметичного виконаних вимірів

$$\tilde{\sigma}_0 = \tilde{\sigma} / \sqrt{n} \quad (7)$$

- вважаючи, що довірна ймовірність $\rho_{\partial \ddot{u}} = 0,95$, знаходимо квантиль

$$t_s \left(\frac{1 + \rho_{\partial \ddot{u}}}{2}; n - 1 \right) \quad (8)$$

- значення півширини довірчого інтервалу

$$\delta_\rho = t_s \left(\frac{1 + \rho_{\partial \ddot{u}}}{2}; n - 1 \right) \tilde{\sigma}_0 \quad (9)$$

- значення абсцис кінців довірчого інтервалу

$$\begin{aligned} \overline{m}_n &= \tilde{m} - \delta_\rho \\ \overline{m}_g &= \tilde{m} + \delta_\rho \end{aligned} \quad (10)$$

- відносну похибку вимірювання

$$\Delta = \frac{\delta_\rho \cdot 100}{\tilde{m}} \quad (11)$$

Завдання

1. Згідно з вашим варіантом, відповідно таблицями 1-3, обираються експериментально визначені значення $s_1, s_2, s_3, U_{23}, I_{14}$.
2. За формулою (4) розрахувати значення питомого опору ρ досліджуваного зразка (для кожного виміру).
3. Відповідно формулам (5) - (11) провести статистичну обробку результатів дослідження.
4. Провести аналіз методу вимірювання питомого опору Ван дер Пау.
5. Провести аналіз одержаних результатів та сформулювати висновки по роботі.

Вимоги до оформлення звіту по лабораторній роботі

Оформлений звіт по роботі повинен містити:

- детальне робоче завдання та варіант для самостійної роботи;
- розрахункові формули для визначення параметрів моделі та результати обчислень з необхідними поясненнями;
- результати моделювання у вигляді таблиць, графіків тощо.
- таблиці і рисунки повинні мати підписи, а всі скорочення і умовні позначення – роз'яснення в тексті;
- обговорення результатів і допущених помилок;
- висновки по роботі.

Рекомендована література

1. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учебник для вузов по специальности “Полупроводниковые и микроэлектронные приборы” – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Высшая школа, 1987. – 239 с.: ил.