

ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР З ПОРОШКІВ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ З РІЗНИМ ТИПОМ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ

Д. А. Торубарова, к. ф.-м. н. О. Ю. Ляшков

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Україна, м. Дніпро
alexndu@ukr.net

Наведено результати досліджень вольт-амперних характеристик структур, що складаються з порошків напівпровідникових оксидів металів з різним типом електропровідності. Виявлено, що на межі між міддю та оксидами олова, цинку, нікелю та міді не виникає бар'єра Шотткі. Вольт-амперні характеристики систем $ZnO - CuO$, $SnO_2 - NiO$ та $ZnO - NiO$ є нелінійними та несиметричними, що вказує на виникнення на межі між цими матеріалами енергетичного бар'єра. Вольт-амперні характеристики якісно ідентичні характеристикам напівпровідникових діодів.

Ключові слова: діод, вольт-амперна характеристика, напівпровідник, оксид металу, $p-n$ -перехід.

Одними з перших спостережень відхилення від закону Ома під час протікання електричного струму через контакт між різнорідними матеріалами були зроблені ще в 1874 році Ф. Брауном і А. Шустером. У 1883-му Ч. Е. Фрітц створив перший сухий випрямляч на основі селену. У 20-ті роки минулого століття були розроблені випрямлячі на основі оксиду міді, а також на основі селену, які отримали комерційне використання. Почавши разом із колегами 1935 року роботи з отримання очищеного кремнію, 1939 року Р. Ш. Ол виявив $p-n$ -перехід у місці контакту двох областей із різним типом електропровідності. Він визнав його властивості ідеально придатними для випрямлення струму і створення фотоелементів [1]. Таким чином було вперше виготовлено напівпровідниковий діод сучасного типу на основі кремнію. Однак, хоча технологія одержання, очищення та легування кремнію добре опрацьована, температура його відновлення з SiO_2 — понад $2000^\circ C$ [2] та плавлення — $1410^\circ C$ призводить до досить високої енергоємності цього процесу. Ширина забороненої зони кремнію (1,12 eV) [3] обмежує температурний діапазон роботи напівпровідникових приладів на його основі. Тому актуальним є пошук нових матеріалів і технологій виготовлення радіоелектронних компонентів.

Відомо, що багато оксидів металів за своїми електричними властивостями належать до напівпровідників. У цій роботі досліджувалися структури, що складаються з порошків напівпровідникових оксидів металів з різним типом електропровідності. Для попередньої перевірки можливості виникнення енергетичного бар'єра між оксидами металів з різним типом електропровідності були використані їхні порошки субмікронного розміру. Досліджувалися порошки, що за даними [4] мають приналежність до електропровідності n -типу — ZnO , SnO_2 , та p -типу — CuO , NiO . Усі застосовані в експериментах матеріали мали кваліфікацію “хімічно чисті”.

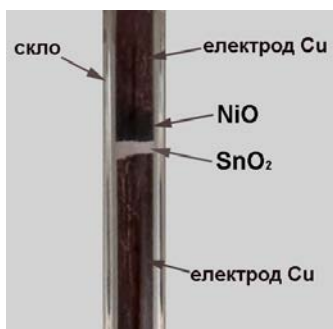


Рис. 1. Тримач з системою електродів та шарів оксидів олова та нікелю

Тримач установки для дослідження структур з порошків оксидів металів складався зі скляної трубочки з внутрішнім діаметром 4 мм і такого самого діаметру мідних електродів, між якими й розміщували шари досліджуваних порошків (рис. 1). Товщина шарів кожного з досліджуваних матеріалів становила 1—3 мм. Оскільки опір порошкоподібних матеріалів достатньо сильно залежить від прикладеного тиску, на верхній електрод ставили вантаж, що дозволяло знімати всі характеристики за однакових умов. Величина аксіального тиску в експериментах становила 250 кПа. Подачу постійної напруги на вимірюваний зразок здійснювали за допомогою лабораторного блока живлення PS-3010D YINUA, вимірювання напруги на зразку і струмовому резисторі за допомогою цифрових вольтметрів В7-27А/1.

Для правильного розуміння процесів, що впливають на електропровідність таких структур порошки оксидів металів спочатку досліджувались окремо. Вольт-амперні характеристики (ВАХ) систем «мідний електрод — оксид металу — мідний електрод» виявилися лінійними, тобто для досліджених оксидів бар'єри Шоттки між мідним електродом і напівпровідником не формувалися. ВАХ систем $\text{SnO}_2 - \text{CuO}$ були симетричними та лінійними, $\text{ZnO} - \text{CuO}$ — слабо нелінійними та дещо несиметричними, $\text{SnO}_2 - \text{NiO}$ та $\text{ZnO} - \text{NiO}$ — нелінійними та несиметричними. Типовий їхній вигляд для системи $\text{SnO}_2 - \text{NiO}$ представлено на рис. 2. Характеристика якісно схожа з ВАХ напівпровідникових діодів. При застосуванні напруги додатної полярності спостерігається нелінійне збільшення струму. Зворотна полярність напруги формує більш пологі гілку ВАХ.

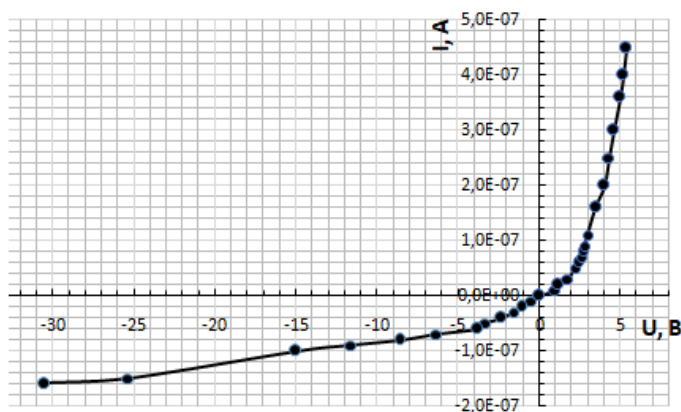


Рис. 2. ВАХ системи порошоків $\text{SnO}_2 - \text{NiO}$

Частина характеристики, що відповідає ділянці електричного пробію у діодів, не спостерігалася, очевидно, через недостатню напруженість електричного поля, що прикладалося. Для виключення впливу процесів поляризації на формування ВАХ черговість прикладання полярності напруги в експериментах була різною. Виявилося, що це не впливає на форму характеристик. Електропровідність систем мала тенденцію до зменшення при застосуванні порівняно невеликої напруги та до збільшення при за-

стосуванні відносно великих її значень. Це може бути пов'язано з переважним впливом процесів накопичення заряду за низької напруженості поля та локальним розігрівом структури в місцях контакту окремих зерен уздовж каналів протікання струму за великої напруженості. Також було помічено вплив на електропровідність освітленості.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в структурах, які складаються з порошкоподібних напівпровідникових оксидів металів з різним типом електропровідності, виникає гетероперехід. Відпрацювання технологій формування $p-n$ -переходів на основі полікристалічних оксидів металів відкриває значні перспективи в зниженні енергоємності виготовлення напівпровідникових приладів на їхній основі. Також відкриваються можливості для створення приладів з великою площею переходу на основі, наприклад, композитів. Внаслідок оптичної прозорості оксиду цинку можливе застосування подібних структур для створення фотоелементів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Pearson G. L., Brattain W. H. History of semiconductor research. *Proceedings of the IRE*, 1955, vol. 43, N12, p. 1794–1806.
2. Таиров Ю. М., Цветков В. Ф. *Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов*. Москва, Высшая школа, 1990.
3. Ozpineci B., Tolbert L. M. *Comparison of wide-bandgap semiconductors for power electronics applications*. United States, Department of Energy, 2004.
4. Kupriyanov L.Y. et al. *Semiconductor Sensors in Physico-Chemical Studies*. Amsterdam, Elsevier, 1996.

D. A. Torubarova, A. Yu. Lyashkov

Current-voltage characteristics of metal oxide powder structures with different types of electrical conductivity

The paper presents the research results on the current-voltage characteristics of structures consisting of powders of semiconductor metal oxides with different types of electrical conductivity. It is found that no Schottky barrier is formed at the interface between copper and oxides of lead, zinc, nickel, and copper. The current-voltage characteristics of the ZnO-CuO , $\text{SnO}_2\text{-NiO}$, and ZnO-NiO systems are nonlinear and asymmetric, indicating the presence of an energy barrier at the interface between these materials. The current-voltage characteristics are qualitatively identical to those of semiconductor diodes.

Keywords: diode, current-voltage characteristic, semiconductor, metal oxide, $p-n$ junction.