

УДК 53.082.73, 622.377.6, 666.655, 681.11.032.32, 681.586.35, 681.586.48

Дослідження п'єзоелектричних властивостей гетеропереходів на основі плівок А2В6

Клименко В.А., к.т.н., Семікіна Т.В., к.т.н. доц. Шмирьова Л.М.

Анотація: У роботі представлено основні етапи розробленої технології осадження п'єзоелектричних структур вакуумним методом термічного осадження в квазі-замкнутому просторі. Досліджено вольт-амперні характеристики (ВАХ) гетероструктур на основі плівок А2В6 в умовах вимірювання без тиску і при прикладанні тиску до структури. На основі зміни прямої гілки ВАХ зроблено висновок, що отримані гетероструктури володіють п'єзоелектричними властивостями.

Вступ

Розробки в області створення нових п'єзоелектричних перетворювачів є необхідними в зв'язку з різноманітними областями їх застосування. Так п'єзоелектричні перетворювачі використовуються [1]:

- в приладах для вимірювання параметрів механічних процесів, в тому числі: сили, акустичного і швидкозмінного тиску, лінійних і кутових прискорень, а також вібрації, ударів;
- в гідроакустиці і дефектоскопії як випромінювачі ультразвуку;

- для юстування дзеркал оптичних приладів та виконавчих елементів систем автоматики;
- в смугових фільтрах, лініях затримки, перетворювачах переміщення або приєднаної маси в частоту для датчиків рівня, щільності та ін. в якості п'єзоелектричних резонаторів, що найбільш ефективно випромінюють і приймають енергію на фіксованій резонансній частоті.

Як правило, в конструкціях п'єзоперетворювачів використовується об'ємний матеріал, що має п'єзоелектричні властивості. На даний момент найбільш широко використовуваними п'єзоматеріалами є [2,3,4]: титанат барію $BaTiO_3$, п'єзокераміка, метаніобат свинцю, титанат свинцю, багатошарові перовскіто-подібні з'єднання, метаніобати лужних металів. У зв'язку з тим, що йде загальна мінітюаризація електронних приладів і пристроїв, попереду стоїть завдання заміни об'ємних п'єзоматеріалів, використовуваних в конструкціях перетворювачів, на тонкоплівкові матеріали. Використання плівкових

матеріалів замість об'ємних має також привести до зменшення собівартості пристрою. Однак далеко не кожен матеріал можна отримати в плівковому виконанні. Так, наприклад, кераміку отримують за рахунок спікання порошків і в разі зменшення товщини шару керамічна плівка буде тріскатися. Тому актуальною є задача розробок технологічних прийомів, що дозволяють отримувати тонкі шари, що мають п'єзоелектричні властивості. Відомо, що плівки A_2B_6 мають п'єзоелектричні властивості.

Плівки A_2B_6 можуть бути отримані різними технологічними методами [5,6,7]. Найбільш широко використовуваними є хімічні методи отримання завдяки своїй дешевизні і можливості осаджувати плівки на великі площі. Однак в хімічних методах використовуються операції відпалу при високих температурах ($\sim 900 - 1000$ °C) протягом 30 хвилин і більше, що є неприйнятним в разі використання полімерних плівок або скла в якості підкладок. Тому в даній роботі розглядається вакуумний метод термічного випаровування. В роботі представлено опис розробленої технології отримання плівок A_2B_6 і гетеропереходів на їх основі методом термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі. Отримані гетеропереходи на основі плівок: CdS - ZnS, CdSe - ZnS, CdS - CdTe були раніше досліджені в якості фотоприймачів ультрафіолетового випромінювання [8-11]. У роботі представлена методика дослідження п'єзоелектричних властивостей даних

гетеро структур на основі виміру вольт-амперних характеристик (ВАХ) при прикладанні тиску.

1. Технології осадження в квазі-замкненому просторі

Технологія осадження плівок проходила в вакуумі 10^{-5} мм.рт.ст. Порошки матеріалів CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe насипалися в кварцові ампули, які нагрівалися до температур випаровування даних матеріалів. Особливістю даної технології є те, що осадження плівок йде в об'ємі кварцового стакану. Геометрія цього стакану впливає на наступні технологічні чинники:

- Температуру підкладки;
- Насиченість парів матеріалів, з яких росте плівка;
- Енергія атомів, кластерів, іонів, що надходять до підкладки.

Змінюючи геометрію стакану та ампулу можна суттєво впливати на властивості плівок, що осаджуються.

Від стакану, знизу, йдуть два кварцових трубки-відростки, всередину яких поміщається напилюваний порошок (в нашому випадку ZnS і CdS, CdSe, CdTe).

Кварцова колба встановлюється в спеціальне посадкове місце установки, накривається графітово-молібденовим екраном, і вся конструкція герметично закривається ковпаком.

- За допомогою двох насосів електродвигуна під ковпаком створюється і підтримується вакуум — $2-3 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.

– Після створення вакууму виконується процес нагріву кварцової колби, та двох відростків. Температура контролюється за допомогою термопар. Завдяки нагріву ампул починається сублімація порошків матеріалів, котрі насипані в ампули.

Повний процес, включаючи нагрів, наплення та охолодження установки – займає 100 хвилин, із них:

1. Підкладинка - ситал знаходиться 25 хвилин в проміжку 196-228 °С.
2. Камера нагрівається 44-45 хвилин при температурах 550-554 °С.
3. ZnS – 25 хвилин підтримується при температурі 546-577 °С, після чого вона піднімається до температури сублімації, і на протязі 10 хвилин знаходиться при температурах 850-854 °С.
4. CdS – 39-40 хвилин нагрівається при температурі 780-783 °С.

Мікропроцесорний модуль Tritan 6000 перетворює показники чотирьох термопар і виводить їх на екран графіком температурно-часової залежності.

Після завершення процесу осадження структур вакуумна установка вимикається.

Із охолодженої установки отримуємо зібрану конструкція вже із напиленими шарами ZnS и CdS на молібден, після чого вона відправляється в схожу за принципом роботи установку, де так само під

високим вакуумом відбувається нанесення контактного шару на основі напівпровідника р- типу провідності Cu_xS .

Для осадження плівок CdTe, CdSe було використано інші температури сублімації та час осадження. Крім підкладинки ситалу з нанесеним на нього шаром молібдену, який був нижнім струмоз'ємним контактом, ми також осаджували структури на інші підкладинки, а саме кварцове скло, на яке було нанесено шар оксиду цинку ZnO.

2. Дослідження електричних властивостей гетероструктур

Отримані в результаті осадження структури були досліджені за результатами вимірів вольт-амперних характеристик без тиску та при прикладанні тиску. ВАХ знімалися за схемою, представленою на рис. 1.

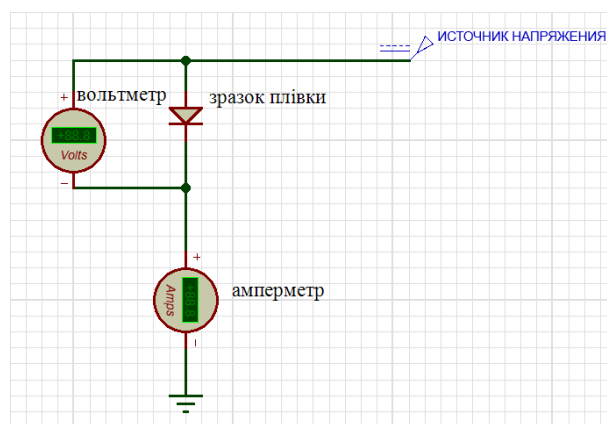


Рис. 1. Вимірювальна установка відтворена в середовищі Proteus.

Для перевірки наявності п'єзоефекту ми прикладали до структури тиск (рис. 2). Зверху ставилася металева шайба, яка

підтримувалася руками. Таким чином тиск кожен раз був однаковим від зразка до зразка.



Рис. 2. Процес прикладення тиску на плівку для перевірки наявності п'єзоефекту.

Схематичне зображення отриманих та досліджених структур представлено на рис. 3 та рис. 5.

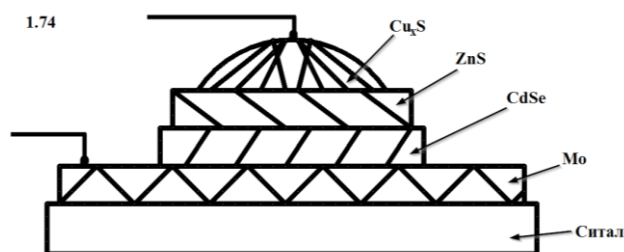


Рис. 3. Гетероструктура для зразку 1.74: n-ZnS; CdSe – n-тип; Cu_xS – p-тип (де $x=1.8 - 1.95$)

Отримані ВАХ представлено на рис.6 та рис.8. ВАХ мають вигляд діодних характеристик, що є показником того, що сформовано випрямний бар'єр між осадженими плівками n-типу та p-типу провідності, а оскільки ті матеріали різні, то ми маємо гетероструктуру. На представлених ВАХ видно, що гілка при прямому зміщенні реагує на прикладений тиск і зміщується вниз (струм стає меншим).

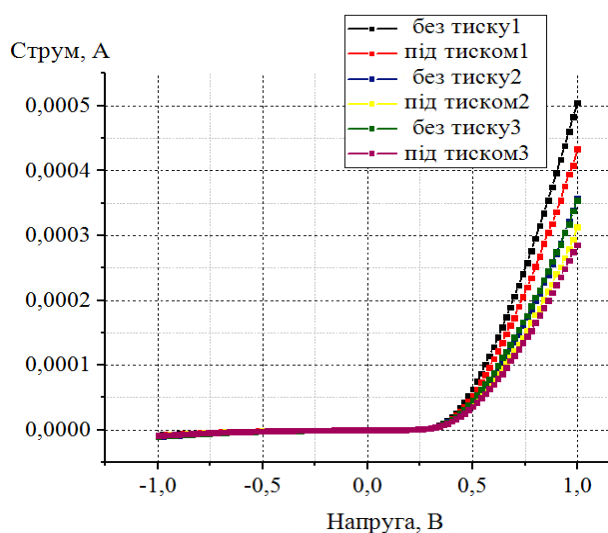


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика для зразку 1.74 – ситал/Mo/CdSe/ZnS/ Cu_xS .

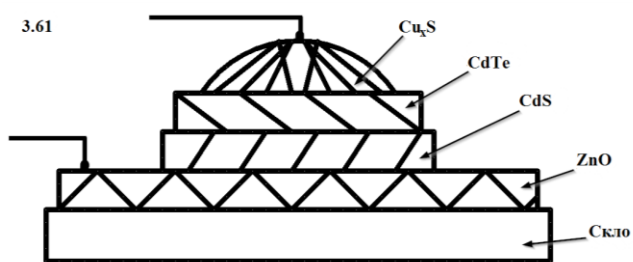


Рис. 5. Гетероструктура для зразку 3.61: CdS – n-тип; CdTe – p-тип; Cu_xS – p-тип

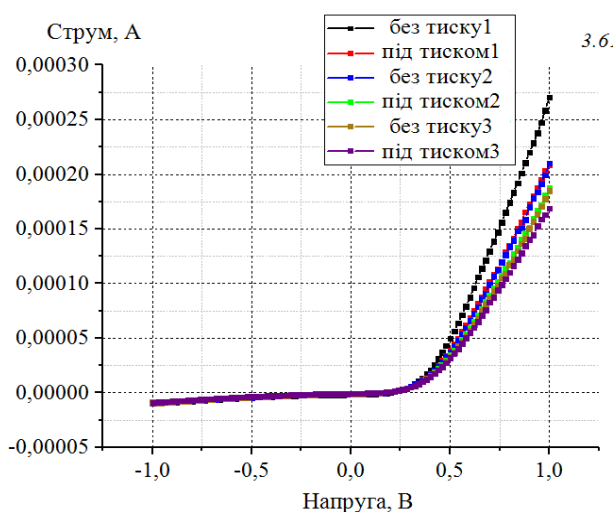


Рис. 6. Вольт-амперна характеристика для зразку 3.61 – скло/ZnO/CdS/CdTe/ Cu_xS .

Таким чином ми можемо стверджувати про наявність п'єзо ефекту при спостереженні змін вольт-амперних характеристик зразків. Зразки мають п'єзо ефект, тому їх доречно використовувати в конструкціях п'єзодатчиків.

Висновки

В результаті вимірювання ВАХ гетероструктур на основі плівок А2В6 при прикладанні тиску показано, що прямі ВАХ мають істотне відхилення, що говорить про те, що досліджені гетероструктури мають

п'єзоелектричний ефект. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вивчення п'єзоелектричних характеристик окремих плівок А2В6.

Подяка

Автори висловлюють подяку В. Косареву (Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарева Національної академії наук України) за приготування зразків, С. Мамикіну (Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарева Національної академії наук України) за допомогу при вимірі електричних характеристик.

Література

1. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств. / [А.И. Морозов, В.В. Проклов, Б.А. Станковский] — М.: Радио и связь, 1981. — 184 с.: ил.
2. Яхонтова Л. К. Основы минералогии гипергенеза: [учеб. пособие] / Зверева В. П. — Владивосток: Дальнаука, 2000. — 331 с.
3. Gene H. Haertling. Ferroelectric Ceramics: History and Technology. / J. Am. Ceram. Soc. — 1999 — С. 797 — 818.
4. Пьезоэлектрическая керамика./ [Яффе Б., Кук У., Яффе Г.] — М.: Мир, 1974. — 289 с.
5. Goldade Victor. Полупроводниковые соединения группы АІВVI. [Електронний ресурс]: Полупроводниковые

- материалы и технология их получения. // Томский Политехнический Университет — Глава 12 — 184 Кб — 2004. [3]
6. Agarwal R. Lasing in Single Cadmium Sulfide Nanowire Optical Cavities. [Електронний ресурс]: Nano Letters 5 — С. 917 — 920 — 2005.
7. Георгобиани А.Н. Физика соединенный АИВVI. / М.К. Шейнкман — М.: Наука, 1986. — 284 с.
8. Ю.Н. Бобренко, А.М. Павелец, С.Ю. Павелец, В.М. Ткаченко, Коротковолновая фоточувствительность поверхностно-барьерных структур на основе переходов вырожденный полупроводник-полупроводник, Письма в ЖТФ **20** (12), 9 (1994).
9. S.Yu. Pavelets, Yu.N. Bobrenko, T.V. Semikina, K.B. Krulikovska, G.I. Sheremetova, B.S. Atdaev, M.V. Yaroshenko, Effective polycrystalline sensor of ultraviolet radiation, Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics 20 (3), 335 (2017).
10. Yu. N. Bobrenko, S. Yu. Pavelets, A. M. Pavelets, Effective Photoelectric Converters of Ultraviolet Radiation with Graded-Gap ZnS-Based Layers, Semiconductor 43 (6), 801 (2009).
11. Yu. N. Bobrenko, S. Yu. Pavelets, A. M. Pavelets, T. V. Semikina, N. V. Yaroshenko, Surface-Barrier Photoconverters with Graded-Gap Layers in the Space-Charge Region, Semiconductor 49 (4), 519 (2015).