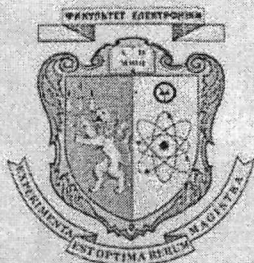


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки
Мукачівський державний університет
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка



ПРОГРАМА І МАТЕРІАЛИ

V-ої науково-практичної конференції
ЕЛЕКТРОНІКА
ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(ЕлІТ-2013)

29 серпня - 01 вересня 2013 р.
Львів-Чинадієво-Мукачево, Україна

МОДИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ ПРИ АДСОРБЦІЇ МОЛЕКУЛ NO_2

Ігор Оленич¹, Любомир Моностирський¹,
Олена Аксіментьєва, Лідія Ярицька²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
79005, вул. Драгоманова, 50, м. Львів, e-mail: iolenych@gmail.com

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
79000, вул. Клепарівська, 35, м. Львів

Поруватий кремній (ПК) можна розглядати як зручний модельний об'єкт для дослідження широкого спектру оптичних і електрофізичних властивостей наноструктурованих матеріалів завдяки доступності одержання і можливості контролювано змінювати його структуру і властивості. Беручи до уваги залежність електрофізичних характеристик наноструктур поруватого кремнію від умов оточуючої атмосфери та адсорбції полярних молекул [1,2], цікавою є можливість керування типом вираженими акценторними або допюрними властивостями. Спостерігалась інверсія діркового типу провідності мезопоруватого кремнію на електронний у випадку адсорбції молекул NH_3 [3], які виявляють донорні властивості, та електронного на дірковий при адсорбції молекул I_2 чи Br_2 з акценторними властивостями [4,5]. Метою роботи було вивчення можливості керування електричними параметрами нанокристалів ПК шляхом адсорбції молекул NO_2 . Підтвердженням впливу адсорбції молекул NO_2 на електронну структуру кремнієвих нанокристалів може бути як зміна електропровідності структур ПК – Si під впливом адсорбційного легування, так і виникнення фоточутливих електричних бар'єрів.

Наноструктури ПК були одержані методом фотоелектрохімічного травлення в гальваностатичному режимі на монокристалічних підкладках електронного та діркового типу провідності з питомим опором 4,5 та 10 Ом·см відповідно. Як електродит використовувався стандартний розчин фтористоводневої кислоти з об'ємним співвідношенням компонентів $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:1$. Для одержання одиорідного шару ПК на тильну поверхню підкладки попередньо було нанесено термовакuumним методом півку срібла товщиною близько 1 мкм, яка також слугувала контактом для подальших вимірювань. Густина анодного струму і час травлення складали відповідно 25 мА/см² та 5 хвилини. Після електрохімічного травлення на поверхню поруватого шару наносився контакт діаметром ≈ 3 мм за допомогою струмопровідного лаку на основі колоїдного вуглецю.

Модифікацію електрофізичних властивостей наноструктур поруватого кремнію здійснювали шляхом адсорбції молекул NO_2 , які володіють акценторними властивостями. Контроль процесу адсорбційного легування здійснювався в атмосфері діоксиду азоту вимірюванням електрофізичних параметрів структур ПК – Si при проходженні струму через структури в напрямі, перпендикулярному до поверхні. Визначення диференціальної провідності проводились на тестовій частоті 1 МГц за допомогою цифрового L , C , R вимірювача E7-12. Фотоелектричні явища досліджувались за умов опромінення структур зі сторони поруватого шару світловипромінюючим діодом білого кольору FYLP-1W-UWB-A з потужністю 1 Вт, світловим потоком 76 люмен.

Зміна молекулярного покриття наноструктур ПК внаслідок адсорбції молекул NO_2 була досліджена методом ІЧ спектроскопії. Вимірювання ІЧ спектрів пропускання проводились на спектрофотометрі AVATAR в діапазоні $400 - 4000 \text{ см}^{-1}$. Адсорбція діоксиду азоту зумовила появу нових смуг поглинання в спектральній області $1500 - 1750 \text{ см}^{-1}$, які імовірно пов'язані з киснево- та азотовмісними комплексами. Також спостерігався перерозподіл інтенсивності окремих плечей смуг в області $1000 - 1200 \text{ см}^{-1}$, що свідчить про трансформацію компонентного складу поверхневого покриття поруватого шару.

Адсорбція молекул діоксиду азоту суттєво впливала на електричні параметри експериментальних структур ПК – кремнієва підкладка на змінному струмі. Однак, характер зміни електричної провідності та смістості структур ПК – $p\text{-Si}$ і ПК – $n\text{-Si}$ був різний. Підвищення концентрації молекули NO_2 в експериментальній комірці спричинило збільшення диференціальної провідності структури ПК – $p\text{-Si}$ та зменшення провідності структури ПК – $n\text{-Si}$ (рис. 1). При освітленні поверхні ПК світловопроніюючим діодом спостерігалось незначне збільшення диференціальної провідності за рахунок фотогенерації носіїв заряду.

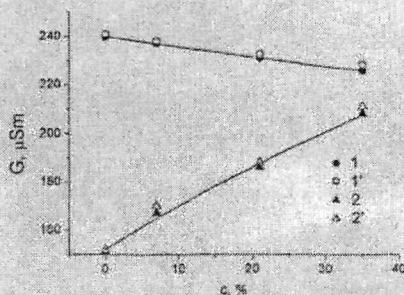


Рис. 1. Залежність диференціальної провідності структур ПК – $n\text{-Si}$ (1,1') і ПК – $p\text{-Si}$ (2,2') від концентрації молекул NO_2 : 1,2 – в темноті, 1',2' – під впливом освітлення світловопроніюючим діодом FYLP-1W-UWB-A.

Подібний вплив адсорбції молекул діоксиду азоту спостерігався і на величину високочастотної смістості експериментальних структур. Смість структури ПК – $p\text{-Si}$ збільшувалась з ростом концентрації NO_2 , а структури ПК – $n\text{-Si}$ – зменшувалась. Поряд з цим спостерігалась поява фотовольтаїчного сигналу під впливом освітлення поверхні ПК. Величина фотоЕРС була більшою для структури ПК – $n\text{-Si}$ та зростала із збільшенням концентрації молекул NO_2 у експериментальній комірці (рис. 2).

Одержані експериментальні результати можна пояснити наступним чином. Адсорбція молекули NO_2 кремнієм призводить до утворення поверхневих рівнів акцепторного типу і відповідному вигину енергетичних зон, що, в свою чергу, спричинює збільшення основними носіями заряду приповерхневу область $n\text{-Si}$ та збагачення у випадку $p\text{-Si}$ [6]. У випадку нанокристалів ПК, яким характерна значна питома поверхня, зміну концентрації носіїв заряду під впливом адсорбції молекул NO_2 можна очікувати в усьому об'ємі нанокристалу. Відповідно, провідність структури ПК – $n\text{-Si}$ буде зменшуватись, а ПК – $p\text{-Si}$ – збільшуватись.

У випадку ПК, одержаного на слабологованому $n\text{-Si}$, адсорбція NO_2 кремнієвими нанокристаллами може привести до інверсії електронного типу провідності нанокристалів на дірковий. В результаті на границі ПК – $n\text{-Si}$ спостерігалось

виникнення електричних бар'єрів, аналогічних до *p-n*-переходів у кремнієвих діодах. Під дією опромінення в режимі холостого ходу фотогенеровані електронно-діркові пари розділялися на потенціальному бар'єрі, причому дірки накопичувалися в нанокристалах ПК, утворюючи позитивний потенціал на поруватому шарі по відношенню до кремнієвої підкладки.

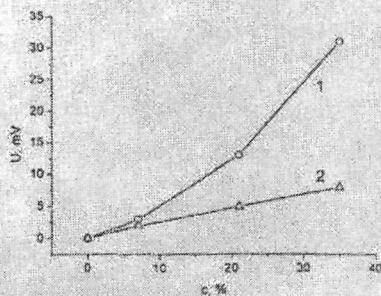


Рис. 2. Залежність фотоЕРС структур ПК – *n*-Si (1) і ПК – *p*-Si (2) від концентрації молекул NO₂ під впливом освітлення світлодіодним діодом FYLP-1W-UWB-A.

Поряд з цим можуть виникати електричні бар'єри іншої природи (наприклад, на контактах), про що свідчить реєстрація незначної фотоЕРС у структурі ПК – *p*-Si цієї ж полярності, однак меншої у порівнянні з ПК – *n*-Si.

Таким чином показаво, що адсорбція молекул NO₂, які володіють акцепторними властивостями, модифікує електричні властивості наноструктур ПК, збільшуючи диференціальну провідність у випадку *p*-Si та зменшуючи у *n*-Si. Виникнення фоточутливих електричних бар'єрів у структурах "поруватий кремній – кремнієва підкладка" при адсорбції діоксиду азоту свідчить про можливість управління тиском провідності нанокристалів ПК шляхом "адсорбційного легування" з газової фази. Отримані експериментальні результати можуть бути використані при розробці фотодетекторів в широкій області електромагнітного випромінювання.

- [1] Ozdemir S., Gole J. The potential of porous silicon gas sensors. *Curr. Opin. in Solid State and Mater. Science*, Vol. 11. (2007). P. 92–100.
- [2] Baratto C., Faglia G., Sberveglieri G., Gaburro Z., Pancheri L., Oton C., Pavesi L. Multiparametric Porous Silicon Sensors. *Sensors*, Vol. 2. (2002). P. 121–126.
- [3] Chiesa M., Amato G., Boarino L., Garrone E., Geobaldo F., Giamello E. Reversible insulator-to-metal transition in *p*-type mesoporous silicon induced by the adsorption of ammonia. *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 42. (2003). P. 5032–5035.
- [4] Воронцов А.С., Оемнікіна Л.А., Ткаченко А.Б., Константинова Е.А., Еленекій В.Г., Тимошенко В.Ю., Кашкаров П.К. Модифікація своєї пористого кремнія при адсорбції молекул вода. *ФПТ*, Т. 41. (2007). С. 972–976.
- [5] Olenych I.B., Monastyrskii L.S., Aksimentyeva O.I., Sokolovskii B.S. Effect of Bromine Adsorption on the Charge Transport in Porous Silicon – Silicon Structures. *Electronic Materials Letter*, Vol. 9. (2013). P. 257–260.
- [6] Ляшенко В.И., Литовченко В.Г., Стенко И.И., Стриха В.И., Ляшенко Л.В. Электрические явления на поверхности полупроводников. Под ред. В.И. Ляшенко. Киев: Наукова Думка. (1968). 400 с.