

УДК 539.2 : 621.315.548.0 : 612.029.62  
PACS number(s): 77.22, 72.20

## ВІДГУК ВОЛЬТАМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al ІЗ ПРОМІЖНИМ НАНОШАРОМ n- SnO<sub>2</sub> НА МОЛЕКУЛИ Cl<sub>2</sub>

Р. Гуль, В. Ільченко, П. Лісняк, А. Ющенко

*Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пулюя  
Київський національний університет ім. Т.Шевченка  
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Гнатюка  
Вінницький національний технічний університет*

У праці з вивчення гетероструктур Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al із проміжним нанощаром n-SnO<sub>2</sub> з масовою товщиною 20 нм показано, що вольтамперні й вольтфарадні характеристики у газовому середовищі змінюють свої параметри під час зміни лабораторного середовища на середовище газу хлору. Відгук вольтамперних характеристик на зміну середовища залежить від зміни висоти потенціального бар'єра гетеропереходу при нульовій прикладеній до гетероструктури напрузі та від зміни спадання напруги на адсорбційно-активній наноплівці n-SnO<sub>2</sub>. Своєю чергою, зміна висоти потенціального бар'єра залежить від зміни величини й знака заряду на адсорбційно-активній наноплівці у разі зміни газового середовища. Зміну напруги на адсорбційно-активній наноплівці визначають як зміну напруги на самій плівці, так і зміну спадання напруги на поверхневих станах.

*Ключові слова:* гетероструктура, адсорбційно-активна наноплівка, відгук.

Нелінійні вольтамперні та вольтфарадні характеристики гетероструктур залежать від параметрів проміжного шару між омичним контактом і кремнієвою підкладкою. Якщо як проміжний шар використати адсорбційно-активну наноплівку, електрофізичні параметри гетероструктур змінюватимуться при зміні навколишнього газового середовища [1]. Нелінійність відгуку вольтамперних і вольтфарадних характеристик гетероструктур дає змогу розрізнити зміну типу адсорбованих молекул на адсорбційно-активній наноплівці та при зміні газового середовища оцінювати зміну поверхневого заряду (концентрації адсорбованих молекул) на ній. Перспектива використання таких гетероструктур як газових сенсорів обумовлена їхньою малогабаритністю, конструктивною й технологічною простотою, надійністю та відносною дешевизною.

Вивчено гетероструктури (n- SnO<sub>2</sub>)-(p-Si) з адсорбційно-активною наноплівкою (n- SnO<sub>2</sub>) товщиною 20 нм, нанесеною методом спреї технології на p-Si. Напилювання алюмінієвих омичних контактів на наноплівку n-SnO<sub>2</sub> проводилося термічним розпиленням алюмінію через маску з діаметром контактної вікна 3 мм. На кремнієву підкладку зі зворотного боку термічно наносили суцільний алюмінієвий контакт. Отримані та досліджені вольтамперні та вольтфарадні характеристики гетероструктури у лабораторному середовищі та середовищі газу хлору.

Розглянуто відносний відгук вольтамперних характеристик гетероструктур у разі зміни лабораторного середовища на середовище газу хлор [2]:

$$\gamma = (I_v - I_g) / I_v, \quad (1)$$

де  $I_v$ ,  $I_g$  – струми в лабораторному й газовому середовищах при рівних напругах, прикладених до гетеро переходу, відповідно. На рис. 1 показано відносну зміну величини струму через гетероперехід залежно від прикладеної напруги до гетероструктури.

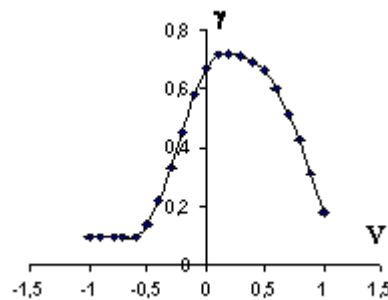


Рис. 1. Відгук вольтамперних характеристик у разі зміни газового середовища від лабораторної атмосфери до атмосфери з 1% хлору

Відгук величини струму через діод має різний знак для розглянутих газів та різну нелінійну залежність від прикладеної напруги. Показано, що відгук вольтамперних характеристик можна виразити через зміни висоти потенціального бар'єра гетеропереходу за нульової прикладеної до гетеропереходу напруги та зміну спаду напруги на адсорбційно-активній наноплівці

$$\gamma = 1 - \exp[-e(\Delta\phi_b + \Delta V_1)/k], \quad (2)$$

де  $\Delta\phi_b$  – зміна висоти потенціального бар'єра за нульової, прикладеної до гетеропереходу напруги у разі зміни лабораторного середовища на середовище газу хлору;  $\Delta V_1$  – зміна спаду напруги на наноплівці під час зміни газового середовища. Величина  $\Delta\phi_b$ , визначена з вольтамперної характеристики становила  $\approx 0,03$  eV. Висота потенціального бар'єра змінювалася як при вимірюванні вольт амперних, так і вольтфарадних характеристик. Збільшення висоти потенціального бар'єра за нульової прикладеної до гетеропереходу напруги, спричинене адсорбцією молекул газу хлору, відповідає формуванню додаткового негативного заряду на адсорбційно-активній наноплівці  $n\text{-SnO}_2$ . На рис. 2 показано зміну спаду напруги на наноплівці під час зміни газового середовища.

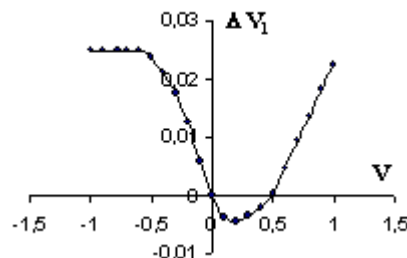


Рис. 2. Зміна спаду напруги на наноплівці, виміряна методом вольтамперних характеристик під час зміни газового середовища від лабораторної атмосфери до атмосфери з 1% хлору

Зміну спаду напруги на наноплівці виміряно методом вольтамперних характеристик. Спадання напруги на наноплівці складається зі спаду напруги безпосередньо на наноплівці без урахування поверхневих станів і на поверхневих станах. Зміна спадання напруги на наноплівці під час зміни газового середовища без урахування поверхневих станів для різних напруг, прикладених до гетероструктури, виміряно методом вольтфарадних характеристик на частоті 1 МГц. На рис. 3, 4 показано зміну спаду напруги на поверхневих станах

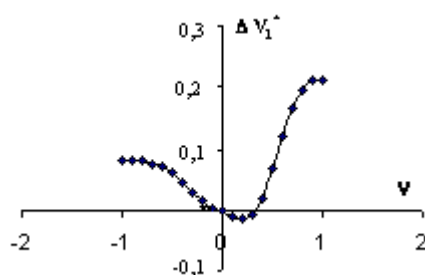


Рис. 3. Зміна спаду напруги на наноплівці, виміряна методом вольтфарадних характеристик під час зміни газового середовища від лабораторної атмосфери до атмосфери з 1% хлору

наноплівки, що визначається як типом адсорбованих молекул, так і їхньою концентрацією.

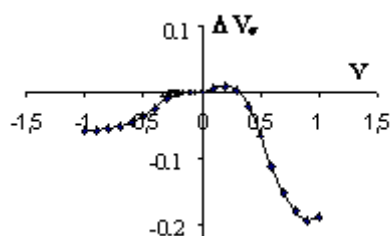


Рис. 4. Зміна спаду напруги на поверхневих станах при зміні газового середовища від лабораторної атмосфери до атмосфери з 1% хлору

Отже, із отриманих результатів можна зробити такі висновки. Вольтамперні та вольтфарадні характеристики гетероструктури Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al з масовою товщиною плівки n-SnO<sub>2</sub> 20 нм, різні при їхньому вимірюванні в лабораторній атмосфері та в атмосфері газу хлору та можуть бути використані як складові елементи газових сенсорів. Відгук вольтамперних характеристик при зміні навколишнього середовища визначається зміною висоти потенціального бар'єру гетеропереходу та зміною спаду напруги на наноструктурованій адсорбційно активній плівці. Запропонований аналіз висоти потенціального бар'єру та спад напруги на адсорбційно активній наноплівці дозволяє визначити знак адсорбованого заряду та його величину при зміні навколишнього

газового середовища від лабораторної атмосфери до газу хлору. Це може бути використано як додаткові параметри селективного аналізу газових сумішей.

1. *Vikulov V.A., Strikha V.I., Skryshevsku V.A. et al.* Electrical features of the metal-thin porous silicon-silicon structure. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2000. Vol. 33. P. 1957–1964.
2. *Галак С. С., Ільченко В. В., Кордубан А. М.* та ін. Вплив аміаку на електрофізичні характеристики контактів (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 5%Sn)-(p-Si) // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. Зб. наук. праць. К., 2004. Т. 2. Вип. 4. С. 1121–1129.

**THE RESPONSE OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS THE  
HETEROSTRUCTURES Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al WITH INTERMEDIATE NANOSCALE  
n-SnO<sub>2</sub> TO THE MOLECULES Cl<sub>2</sub>**

**R. Gul, V. Il'chenko, P. Lisnyak, A. Uyshchenko**

*Ivan Puluž Ternopil State Technical University*

*56 Rus'ka Str., UA-46001 Ternopil, Ukraine*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv*

*64 Volodymyrska Str., Kyiv, Ukraine*

*Volodymyr Gnatyuk Ternopil National Pedagogical University*

*10 Vynnychenka Str., Ternopil, Ukraine*

*Vinnycya National Technical University*

*90 Chmelnytske Shose Str., Vinnycya, Ukraine*

In this work heterostructures Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al with intermediate nanoscale n-SnO<sub>2</sub> with mass thickness 20 nm have been studied. It is shown, that current-voltage and capacity-voltage characteristics in the gas environment change their parameters at the change of the laboratory environment to the environment of chlorine gas. The response of the current-voltage characteristics on the gas environment depends on the changes of the heterojunction's potential barrier height at U=0 and on change of voltage on the adsorptive-active nanoscale n-SnO<sub>2</sub>. The change of potential barrier height depends on the change of value and sign of charge on the adsorptive-active nanoscale in various gas environment. The change of voltage on the adsorptive-active nanoscale determines both the change of voltage on the nanoscale and the change of voltage on the surfaces state.

*Key words:* heterostructures, adsorptive-active nanoscale, response.

**ОТКЛИК ВОЛЬТАМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР  
Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ НАНОСЛОЕМ n-SnO<sub>2</sub> НА  
МОЛЕКУЛЫ Cl<sub>2</sub>****Р. Гуль, В. Ильченко, П. Лисняк, А. Ющенко***Тернопольский государственный технический университет им. И.Пулюя**Киевский национальный университет им. Т.Шевченко**Тернопольский национальный педагогический университет им. В.Гнатюка**Винницкий национальный технический университет*

В итоге изучения гетероструктур Al-(n-SnO<sub>2</sub>)-p-Si-Al с промежуточным нанослоем n-SnO<sub>2</sub> с массовой толщиной 20 нм показано, что вольтамперные и вольтфарадные характеристики в газовой среде изменяют свои параметры при изменении с лабораторной среды на среду газа хлора. Отклик вольтамперных характеристик на смену среды зависит от изменения высоты потенциального барьера гетероперехода при нулевом, прилагаемом к гетероструктуре напряжении и от изменения падения напряжения на адсорбционно-активной нанопленке n-SnO<sub>2</sub>. Изменение высоты потенциального барьера, в свою очередь, зависит от изменения величины и знака заряда на адсорбционно-активной нанопленке при изменении газовой среды. Изменение напряжения на адсорбционно-активной нанопленке определяется как изменением напряжения на самой пленке, так и изменением падения напряжения на поверхностных состояниях.

*Ключевые слова:* гетероструктура, адсорбционно-активная нанопленка, отклик.

Стаття надійшла до редколегії 06.11.2008

Прийнята до друку 20.07.2009