

УДК 53.082  
PACS number(s): 79.60.Jv; 84.37.+q

## ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПАРІВ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ КОНТАКТІВ SnO<sub>2</sub>-*p*-Si, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СПРЕЙ-ТЕХНОЛОГІЇ

Р. Гуль<sup>1</sup>, В. Ільченко<sup>1</sup>, П. Лісняк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська, 64, 252033 Київ, Україна  
e-mail: GRV@univ.kiev.ua

<sup>2</sup>Тернопільський державний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка,  
вул. Винниченка, 10, Тернопіль, Україна

У статті досліджено вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики для гетероструктур SnO<sub>2</sub>-*p*-Si. Дослідження проведено для випадків чистої атмосфери і атмосфери, забрудненої насиченими парами етилового спирту. Адсорбція молекул етилового спирту призводить до зміни параметрів ВАХ та С-V характеристик як у разі прямої напруги, так і у випадку напруги оберненого зміщення. Змінюються параметр перехідного шару, висота бар'єру та ін. Ці зміни можуть бути пояснені зміною інтегрального заряду на поверхневих електронних станах в SnO<sub>2</sub>.

*Ключові слова:* гетероструктура, вольт-амперна та вольт-фарадна характеристики, висота потенційного бар'єра.

Останніми роками активізувався процес дослідження можливості використання контактів метал-напівпровідник з бар'єром Шоткі як первинних перетворювачів сигналів, що надходять з навколишнього газового середовища в електричні сигнали [1, 2, 3, 4]. Це пов'язано з високою чутливістю таких поверхнево-бар'єрних структур до стану межі поділу середовищ метал-напівпровідник. Такі контакти широко застосовують для виготовлення елементів інтегральних схем і дискретних приладів [2]. Сьогодні досить інтенсивно вивчаються властивості контактів діоксид олова-*p*-кремній. Особливу увагу звернуто на питання, пов'язані зі стійкістю електрофізичних характеристик таких структур до зовнішніх впливів.

Поверхнево-бар'єрні структури, як відомо [1], можуть бути використані як базова структура для газових сенсорів. Такі структури можуть працювати як у режимі реверсивного передавача, що реагує на зміну газового середовища, так і в режимі накопичувача дози перебування в газовому середовищі.

У дослідженні звернено увагу на можливість зміни електрофізичних параметрів контакту діоксид олова-*p*-кремній внаслідок поміщення його в насичені пари спирту.

На пластину кремнію, орієнтовану гранню <111>, наносили SnO<sub>2</sub> за допомогою спреї-технології. Попередньо пластина проходила стандартне шліфування та полірування і не піддавалась додатковій спеціальній технологічній обробці. Отримані таким чином контакти поміщали в герметичну камеру, в якій знаходилась звичайна атмосфера за кімнатної температури, і вимірювали вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики. Після цього в камеру вводили невелику кількість спирту, після випаровування якого одержували атмосферу, забруднену насиченими парами спирту. Внаслідок забруднення атмосфери спиртом змінювалась сила струму, що протікала через контакт при сталій напрузі, та електроємність контакту. Після стабілізації цих характеристик повторно вимірювали вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики контактів. На рис. 1 показано типові вольт-амперні характеристики досліджуваних контактних структур, отримані у звичайній атмосфері та атмосфері, забрудненій насиченими парами спирту.

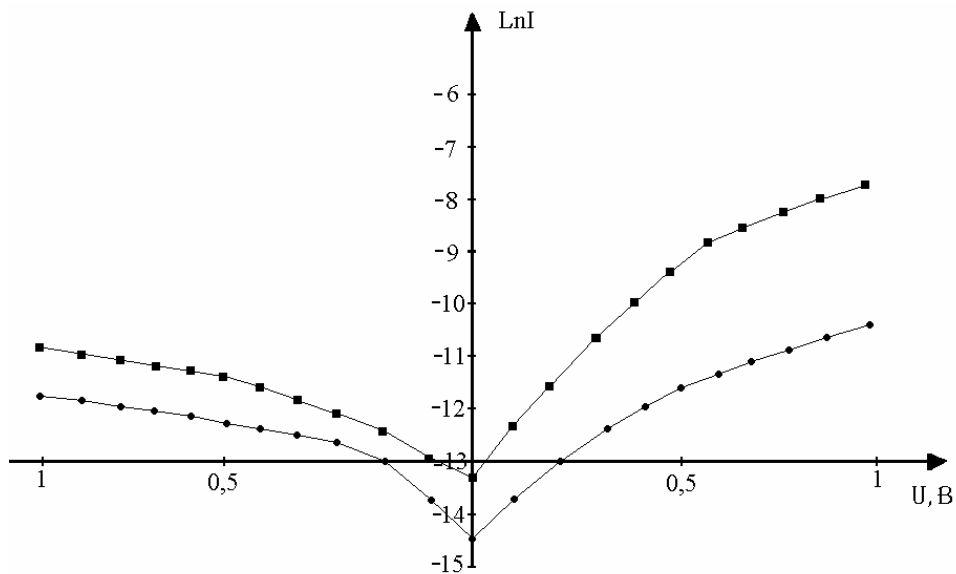


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики структури SnO<sub>2</sub>-p-Si: ■ – у звичайній атмосфері; ● – в атмосфері, забрудненій насиченими парами спирту

Як видно із рис. 1, унаслідок дії парів спирту відбувається зміна параметрів ВАХ. Параметр  $i_s$  зменшується в 3 рази внаслідок дії парів спирту. Змінюються також параметри неідеальності вольт-амперної характеристики  $\alpha$  та  $\alpha^*$ . Ці параметри неідеальності визначали, як

$$\alpha = \frac{dLnI}{dV}; \alpha^* = \frac{dLnI^*}{dV^*},$$

де  $I$  та  $I^*$  – сила прямого та зворотного струму;  $V$  та  $V^*$  – прикладена пряма та зворотна напруги.

Вольт-фарадні характеристики вимірювали на частоті тестуючого сигналу 1 МГц. Електроємність контактів за цих умов монотонно збільшувалася під дією

прикладеної напруги прямого зміщення і досягала стану насичення при певних значеннях напруги. Дослідження свідчать, що під дією парів спирту електроємність контакту зменшується як і в стані насичення, так і у випадку прикладеної “нульової” напруги. Висоту потенційного бар’єра досліджуваних контактів і параметр перехідного шару  $d/\epsilon_1$ , де  $d$  – товщина перехідного шару;  $\epsilon_1$  – його діелектрична проникність, напруги  $V_1, V_2, V_1^i$  визначали з аналізу ВФХ за методикою, розробленою в [5]. Визначено, що внаслідок дії атмосфери, забрудненої парами спирту, параметр перехідного шару  $d/\epsilon_1$ , зростає в 3 рази. Із залежності  $V_1^i = f(V_1, V_2)$  [7] визначали механізм переважаючого обміну зарядів поверхневих станів межі поділу з напівпровідником. Встановлено, що як в чистій атмосфері, так і в атмосфері, забрудненій парами спирту, простежували обмін зарядів із зоною провідності напівпровідника. Як до дії парів спирту, так і після їх дії, основним механізмом перенесення струму є струм, що протікає через поверхневі стани межі поділу. Висоту потенційного бар’єра  $\phi_0$  визначали із залежності  $(\frac{dV_2}{dV_1})^2 = f(V_2)$ . Визначено, що під дією парів спирту висота бар’єра збільшується на 15% від початкового значення. Із отриманих результатів видно, що параметр  $i_s$  змінюється в 3 рази, а висота бар’єра – всього на 15%. Оскільки, згідно з [8],  $i_s = \frac{e g_n n_0 P_n}{4} \exp(-\frac{\phi_0}{kT})$ , то, припустивши, що  $g_n n_0 P_n = \text{const}$ , легко бачити, що для забезпечення спостережуваних змін  $i_s$ , висота бар’єра має змінитись значно більше. Тому для пояснення спостережуваних змін припустимо, що крім висоти бар’єра змінюється коефіцієнт прозорості бар’єра  $P_n$ .

Максимальні значення параметрів  $\alpha$  та  $\alpha^*$  контактних структур  $\text{SnO}_2$ - $p$ - $\text{Si}$ , за кімнатної температури набували значень  $\alpha \text{ max} = 28 \dots 30 \text{ В}^{-1}$  та  $\alpha^* \text{ max} = 7,6 \dots 8,8 \text{ В}^{-1}$  до впливу насичених парів спирту,  $\alpha \text{ max} = 20 \dots 23 \text{ В}^{-1}$  та  $\alpha^* \text{ max} = 5,2 \dots 6,8 \text{ В}^{-1}$  – після впливу. Особливо змінилась сила зворотного струму.

З метою аналізу експериментальних результатів вивчено енергетичний розподіл електронних станів в забороненій зоні кремнію з використанням методики, описаної в [6, 7].

Як свідчать дослідження, як до дії парів спирту, так і після їхньої дії диференціальна густина заряду характеризується дискретними станами в забороненій зоні кремнію. Однак енергетичне положення електронних станів і їхня концентрація змінюється внаслідок дії насичених парів спирту. Інтегральний заряд на поверхневих електронних станах в  $\text{SnO}_2$  обчислювали методом інтегрування отриманої кривої  $\frac{dm_i}{dE} = f(E)$ . Визначено, що інтегральний заряд поверхневих станів зменшується у 2,6 рази під дією атмосфери, забрудненої парами спирту.

Зазначені зміни відбувалися за кімнатної температури. Зміна заряду електронних станів межі поділу згідно з [5, 8] призводить до зміни висоти потенційного бар’єра, що і простежено експериментально. Зміну коефіцієнта прозорості бар’єра  $P_n$  зумовлює зміна заряду на поверхневих станах межі поділу.

Дослідження свідчать, що під дією парів спирту відбувається зміна параметрів ВАХ, а також змінюється висота потенційного бар’єра та параметра

перехідного шару. Зміну параметра  $i_s$  пояснюють зміною висоти потенційного бар'єра, а також зміною коефіцієнта прозорості, а зміну висоти потенційного бар'єра – зміною інтегрального заряду на поверхневих електронних станах в SnO<sub>2</sub>. Для випадку спирту контактна структура SnO<sub>2</sub>-p-Si може бути використана як накопичувач дози перебування в газовому середовищі.

1. Бомк О.Й., Булавацька Я.В., Ільченко В.В., Кузнєцов Г.В., Пінчук О.М. та ін. Чутливість до аміаку контактів нікель-*n*-кремній та титан-*n*-кремній з бар'єром Шоткі // Вісн. Київ. ун-ту. 1997. Т. 3. 250 с.
2. Бомк О.Й., Васильченко Ю.А., Ільченко В.В., Кузнєцов Г.В. Вплив аміаку на фізичні характеристики контактів нікель-*n*-арсенід галію // Вісн. Київ. ун-ту. 1997. Т. 4. 223 с.
3. Бомк О.Й., Ільченко Л.Г., Ільченко В.В., Кузнєцов Г.В., Пінчук О.М., Стріха В.І. Механізм газової чутливості до аміаку структур нікель-*n*-кремній // Укр. фіз. журн. 1998. Т. 1. 125 с.
4. Bomk O.I., P'chenko L.G., P'chenko V.V., Kuznetsov G.V., Pinchuk A.M. et al. Cluster model of gas sensitivity nanostructural sensor of ammonia, Fourth International conference on Nanostructured Materials. Book of abstract. Stockholm (Sweden), 1998. 352 p.
5. Стріха В.И., Бузанева Е.В., Радзиевский И.А. Полупроводниковые приборы с барьером Шотки. М.: Сов. радио, 1974. 125 с.
6. Vikulov V.A., Strickha V.I., Skryshevsky V.A., Kilchitskaya S.S. Electrical features of the metal – thin porous silicon – silicon structure // J. Phys. D. 2000. Vol. 33. 1957 p.
7. Стріха В.И., Паничевская В.И., Бузанева Е.В. Об определении энергетического спектра поверхностных электронных состояний в контакте металл-полупроводник с барьером Шотки систем // Известия высших учебных заведений. Физика. 1973. № 11. С. 41–46.
8. Пека Г.П., Стріха В.І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках. К.: Либідь, 1992. 238 с.

**ABOUT SOME OF CONTACTS SnO<sub>2</sub>-p-Si PARAMETERS THE  
MANUFACTURED BY THE SPRAY TECHNOLOGY UNDER INFLUENCING  
OF SPIRITUS**

**R. Gul<sup>1</sup>, V. Il'chenko<sup>1</sup>, P. Lisnyak<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Radiophysical Dept., Kiev University,  
Volodimirska St., 64, 252033 Kiev  
e-mail: GRV@univ.kiev.ua*

*<sup>2</sup>Ternopil Pedagogical University,  
Vinnichenko St., 10, Ternopil*

In this paper was investigated capacitance-voltage (C-U) characteristics are measured in the dry air and under the adsorption of spirit molecules. Molecules absorption (spirit) results in modification of C-U and I-V curves both at the forward and reverse bias regions. Change parameters  $\frac{d}{\epsilon_1}$ , the height of a potential barrier  $\phi_0$  and other. These changes can be explained by the change of charges in the film SnO<sub>2</sub>.

*Key words:* heterostructures, current- and capacitance-voltage characteristics, height of the potential barrier.

Стаття надійшла до редколегії 19.05.2004

Прийнята до друку 21.11.2005