

УДК 666.3:539.5

**І. П. Фесенко^{1,*}, Л. В. Відута², Д. В. Часник³,
В. Б. Нечитайло², І. А. Петруша¹, О. М. Кайдаш¹,
Ю. Ю. Румянцева¹, В. В. Смоквина¹, В. І. Часник⁴,
В. В. Гаращенко¹, Ю. М. Туз⁵, В. П. Рукін⁴, Н. О. Мулявко²**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, м. Київ, Україна

²Інститут фізики НАН України, м. Київ, Україна

³Український НДІ спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України, (ІСТЕ СБУ), м. Київ, Україна

⁴ДП НДІ ОРІОН, м. Київ, Україна

⁵НТУ КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

*igorfesenko@ukr.net

Електричний опір острівцевої плівки золота на поверхні термобарично спеченої сVN-кераміки

Повідомлено про електрофізичні властивості острівцевих плівок золота на поверхні кубічного нітриду бору. Обчислено значення електричного опору порівнюється з опором подібних плівок на діелектриках з різним значенням коефіцієнта теплопровідності (скло, сапфір, нітрид алюмінію).

Ключові слова: термобаричне спікання, кубічний нітрид бору, золото, острівцева плівка, електричний опір.

Сукупність металічних частинок (“острівців”) мікронних та субмікронних розмірів, нанесених на діелектричну підкладку, за умови наявності взаємодії між острівцями, може утворювати єдину квазі-двовимірну систему – острівцеву плівку. У таких системах, зокрема, вдається формувати електронні пучки з високою густиною струму. Плaskі мікропучки електронів можна одержувати з планарних катодів лінійної форми (так звані крайові катоди), робота яких не потребує додаткового розжарювання. Їх виготовлення простіше за технологію конічних катодів. Водночас за досягнутого стану мініатюризації елементів таких систем, вимоги до рівня вакууму значно послаблюються, оскільки ймовірність розсіяння носіїв заряду на молекулах, що знаходяться в повітрі, різко падає у порівнянні з традиційною вакуумною електронікою [1].

Функціонально металічні острівцеві плівки придатні до застосування у широкому діапазоні частот – від постійних струмів [2] до радіодіапазону [3]. При розробці електронних приладів терагерцового діапазону частот виникає потреба використовувати діелектричні підкладки з високою теплопровідністю.

У цьому повідомленні представлено результати дослідження вольт-амперних характеристик двовимірної системи золотих елементів, а саме двох крайових електродів і острівців між ними на діелектричній поверхні кубічного нітриду бору (сBN) з теплопровідністю 160 Вт/(м·К).

Спінання діелектричного сBN проводили за температурі 2250 °С та тиску 8 ГПа в апараті високого тиску типу “гороїд”, подібно до [4]. Нанесення термічним випаровуванням на поверхню сBN острівцевої плівки золота (Au) на площі розміром 1,0×0,03 мм, що розташована між двома електродами з Au шириною 1 мм і товщиною 100 нм, та вимірювання вольт-амперних характеристик проводили у вакуумі $5 \cdot 10^{-4}$ Па за технологією, більш детально описаною в [4, 5].

За спостереженнями у растровому електронному мікроскопі (РЕМ), острівці Au на поверхні сBN мають округлу форму, середній розмір 100 нм, на одному квадратному мікроні знаходиться приблизно три острівці [4]. Через різницю в модулі пружності основної фази сBN та включеннях Si₃N₄ спостерігали деяку нерівномірність розташування острівців Au на поверхні полікристалу в порівнянні з системою полікристалічний AlN–острівці Au [4, 5].

Вольт-амперна характеристика зразка є надлінійною (рис. 1), що типово для острівцевих плівок. В одержаній 2D-системі острівцевої плівки сBN-Au струм досягає 4 мА. При цьому значення густини струму становить $\sim 4 \cdot 10^3$ А/см², що перевищує цей показник для польових конічних катодів (10² А/см² для молібдену [6]). Зазначимо, що авторами представленої роботи розрахована середня густина струму у проміжку між електродами. Локальна густина струму у перколяційних каналах струму [2], що утворюються в острівцевій плівці, може бути ще вищою.

Оскільки відносна велика відстань між острівцями (на підкладці сBN у порівнянні зі скляною підкладкою), не може забезпечити електропровідність між ними за рахунок механізмів тунелювання та стрибкової провідності, то можна припустити, що у процесі термічного напорошення на підкладку з високим коефіцієнтом теплопровідності, атоми золота ефективніше віддають кінетичну енергію і швидше втрачають рухомість, ніж у випадку підкладок з низькою теплопровідністю. При цьому утворюється підсистема острівців з надмалими розмірами і відстанями між ними (що унеможливило їх безпосереднє спостереження у РЕМ), яка забезпечує відповідну електропровідність.

Порівняння електричного опору, обчисленого з вольтамперних характеристик (рис. 1) та інших острівцевих систем, нанесених за однією технологією на діелектрики (скло [7], сапфір [5], нітрид алюмінію [5]) різної теплопровідності, представлено на рис. 2. Видно, що в межах похибки і різниці топології острівцевих плівок, електричний опір системи має тенденцію до зменшення при зростанні значення коефіцієнту теплопровідності діелектрика. Це можна пояснити тим, що у даній 2D-системі діелектрик–провідник вища теплопровідність діелектрика спричинює зниження температури фононного газу металічних частинок і електродів, і відповідне зменшення розсіяння електронів при протіканні струму [5]. Для того, щоб отримати острівцеву плівку Au на поверхні сBN значення електричного опору становило 10 кОм.

У подібній 2D-системі острівцевої плівки можна очікувати зниження значення електричного опору і, відповідно, підвищення густини струму при

застосуванні діелектрика з вищою теплопровідністю, оскільки тепловий контакт з діелектриком робить можливим пониження температури фононного газу у металічних острівцях і електродах, а отже зменшення розсіяння електронів на фонах металу.

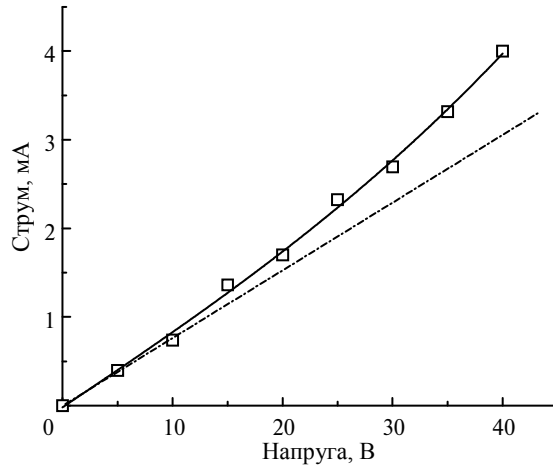


Рис. 1. Вольт-амперна характеристика системи золоті електроди–острівці золота на поверхні полікристалічного cBN (суцільна крива) демонструє відхилення від лінійної залежності (штрих-пунктирна пряма).

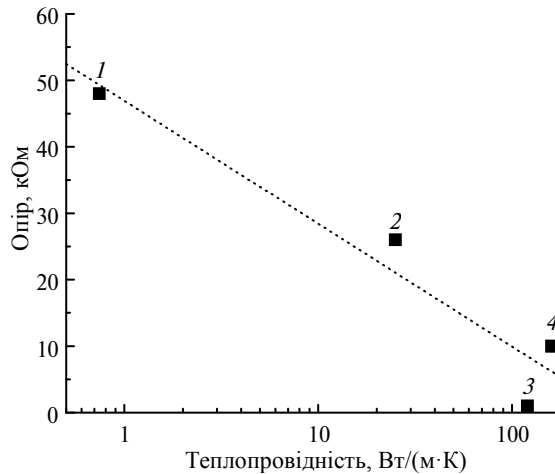


Рис. 2. Залежність електричного опору двовимірної системи типу діелектрик–провідник від теплопровідності діелектрика: 1 – скло–Ag (0,74 Вт/(м·К) [7]); 2 – сапфір–Au (25 Вт/(м·К) [5]); 3 – AlN–Au (120 Вт/(м·К) [5]); 4 – cBN–Au (160 Вт/(м·К)).

Перевірка гіпотези про зменшення електричного опору перервного провідника (острівцевої плівки) на поверхні діелектрика при зростанні теплопровідності цього діелектрика вимагає додаткових детальних структурних та електрофізичних досліджень, а також вивчення температурної залежності струму, включно з експериментами в незалежних лабораторіях.

I. P. Fesenko¹, L. V. Viduta², D. V. Chasnyk³, V. B. Nechytaïlo²,
I. A. Petrusha¹, O. M. Kaidash¹, Yu. Yu. Romyantseva¹,
V. V. Smokvyna¹, V. I. Chasnyk⁴, V. V. Garashchenko¹,
Yu. M. Tuz⁵, V. P. Rukin⁴, N. O. Muliavko²

¹Bakul Institute for Superhard Materials,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Institute of Physics, National Academy of Sciences of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

³Research Institute of Special Equipment and Forensic Expertise, Security Service of Ukraine (ISEE SSU), Kyiv, Ukraine

⁴State Enterprise Research Institute Orion, Kyiv, Ukraine

⁵National Technical University Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

Kyiv, Ukraine

Electrical resistance of the islet film of gold on the surface
of thermobarically sintered cBN-ceramics

The electro physical properties of gold islet films on cubic boron nitride surface are presented. The calculated value of electrical resistivity is compared with that of similar films on dielectrics with different coefficient of thermal conductivity (glass, sapphire, aluminum nitride).

Keywords: thermobaric sintering, cubic boron nitride, gold, islet film, electro physical properties.

1. Feng J., Li X., Hu J., Cai J. General vacuum electronics. *J. Electromagn. Eng. Sci.* 2020. Vol. 20, no. 1. P. 1–11.
2. Cherepanov V.V., Fedorovich R.D., Kiyayev O.E., Naumovets A.G., Nechytaylo V.B., Tomchuk P.M., Viduta L.V. One-dimensional array of point-like light sources based on gold nanoparticles and tetracene: Preparation and possible operation mechanisms. *Appl. Phys. Lett.* 2014. Vol. 105, iss. 19. P. 172–176
3. Gonzalez J., Vosch T., Dickson R. Asymmetric electrode-molecule transport dynamics tracked by nanoscale electroluminescence. *Phys. Rev. B.* 2006. Vol. 74, art. 064305.
4. Fesenko I.P., Viduta L.V., Chasnyk D.V., Petrusha I.A., Rumyantseva Yu.Yu., Tkach V.M., Chasnyk V.I., Turkevich V.Z., Nechytailo V.B., Kaidash O.M. Structure of gold islet films on thermobaric sintered cubic boron nitride. *J. Superhard Mater.* 2020. Vol. 42, no. 1. P. 99–101.
5. Fesenko I.P., Viduta L.B., Chasnyk V.I., Nechytailo V.B., Butenko D.V., Tkach V.M., Turkevich V.Z., Marchenko O.A., Zelenska I.I., Kaidash O.M., Serbenyuk T.B., Belyaeva T.M., Kuz'menko E.F., Tomchuk P.M. Structure and current-voltage characteristics of islet gold films on high-heat conducting pressureless sintered AlN ceramics. *J. Superhard Mater.* 2018. Vol. 40, no. 6. P. 432–434.
6. Spindt C.A., Brodie I., Westerberg E.R. Physical properties of thin-film field emission cathodes with molybdenum cones. *J. Appl. Phys.* 1976. Vol. 47, no. 12. P. 5248–5263.
7. Gloskovskii A., Valdaitsev D., Nepijko S. A., Sedov N.N., Schönhense G. Electrical and emission properties of current-carrying silver cluster films detected by an emission electron microscope. *Appl. Phys. A.* 2004. Vol. 79. P. 707–712.

Надійшов до редакції 12.03.21

Після доопрацювання 22.03.21

Прийнятий до опублікування 25.03.21