

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СЕНСОРІВ

## SENSORS PRODUCTION TECHNOLOGIES

PACS 81.07.Lk, 73.40.Cg

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2024.4.318866>

### ФОРМУВАННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ В МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРАХ З ПІДКЛАДКАМИ ЗІ ШПАРИСТОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*Я. І. Лепіх, І. К. Дойчо, А. П. Балабан*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова  
e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### ФОРМУВАННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ В МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРАХ З ПІДКЛАДКАМИ ЗІ ШПАРИСТОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*Я. І. Лепіх, І. К. Дойчо, А. П. Балабан*

**Анотація.** В технології приладобудування, зокрема технології елементної бази електроніки, (гібридні інтегральні схеми (ГІС), сенсори різного призначення тощо), що використовує ансамблі наночастинок напівпровідникових та інших матеріалів у шпаристій матриці, нерідко мають місце проблеми формування омичних контактів до зазначених систем особливо коли використовуються в якості підкладок матеріали зі шпаристою поверхнею. А, як відомо, якість контактів головним чином визначає надійність пристроїв, систем і радіоелектронної апаратури в цілому. Нами запропоновано і досліджено новий ефективний спосіб формування омичного контакту на підкладках зі шпаристою поверхнею, зокрема, скла.

**Ключові слова:** омичний контакт, шпариста поверхня підкладинки, силікатне скло

### FORMATION OF OHMIC CONTACT IN MICROELECTRONIC DEVICES WITH POROUS SURFACE SUBSTRATES

*Ya. I. Lepikh, I. K. Doycho, A. P. Balaban*

**Abstract.** In the technology of instrument-making, in particular the technology of the element base of electronics (hybrid integrated circuits, sensors for various purposes, etc.), which uses ensembles of nanoparticles of semiconductor and other materials in a porous matrix, there are often problems with the formation of ohmic contacts to the specified systems. Especially when materials with a porous surface are used as substrates. And, as is known, the quality of contacts mainly determines the reliability of devices, systems and radio-electronic equipment in general. We have proposed and investigated a new effective method of forming an ohmic contact on substrates with a porous surface, in particular, glass.

**Keywords:** ohmic contact, porous surface of the substrate, silicate glass

© Я. І. Лепіх, І. К. Дойчо, А. П. Балабан, 2024

## Вступ

В [1] виготовлення омичних контактів до планарної поверхні структури із локальними ділянками низьколегованих напівпровідників групи  $A^3B^5$  здійснюється шляхом нанесення на напівпровідникову структуру діелектричної плівки діоксиду кремнію із подальшим нанесенням на неї допоміжної плівки оксиду Європію. Наявність допоміжної плівки полегшує процес впалювання контактів на базі золота із легуючими домішками і надалі вона усувається хімічною обробкою. Проте зазначений спосіб не є придатним для формування контактів на підкладках з шпаристою поверхнею із досить високим власним електричним опором.

Є також спосіб виготовлення омичною контакту «метал-напівпровідник» шляхом регулювання імпедансу границі розділу бар'єру Шоткі при виготовленні польових транзисторів, у якому після очищення контактних поверхонь бомбардуванням йонами Ar, на них наноситься комбінація провідної і непровідної плівок [2]. При цьому всередині ізолюючої плівки утворюється збагачений шар заряду, який являє собою тунельний бар'єр із опором, зневажливим у порівнянні із опором бар'єра Шоткі, що виникає при безпосередній металізації. Зазначений спосіб не є придатним для шпаристих підкладок через суттєву ніздрюватість поверхні і досить великий власний опір.

В [3] виготовлення омичного контакту на GaN n-типу здійснюється із застосуванням попередньої плазмової обробки поверхні зразка газоподібним хлором. При цьому металічні контакти являють собою шари титану та алюмінію, що чергуються. Метод є застосовним переважно для пластин GaN n-типу зі структурою вюртциту, які леговано кремнієм.

На першому етапі виготовлення за цим методом поверхня зразка, на якій має бути сформовано контакт, обробляється травленням у індуктивно-зв'язаній плазмі хлору із метою очищення від оксиду і формування поруватої поверхні для кращої адгезії.

На другому етапі пластина GaN підготовленими поверхнями зануряється у розчин HCl із метою збагачення виниклих на першому етапі

вакансій азоту носіями струму для створення у зразку прошарку із підвищеною провідністю.

На третьому етапі цього методу на оброблені на перших двох етапах поверхні наносяться послідовно титанові та алюмінієві шари. Титан має кращу адгезію до GaN, а алюміній має менший електричний опір. При такому способі виникає омичний контакт до пластин GaN.

Вище вказані методи мають очевидні недоліки як за якістю так і за складністю технології.

## Спосіб і результати його реалізації

Для виготовлення надійного омичного контакту до шпаристої підкладки використовували запропонований цілком інший підхід, що базується на використанні міжшпаринних порожнин для формування ансамблю наночастинок з провідної речовини [4]. Для дослідження обрані підкладки зі шпаристого скла.

Провідною речовиною обрано вуглець у формі графіту, і формування графітового шару з зовнішнього боку поверхні шпаристого скла забезпечує досить надійний омичний контакт. Зазначений шар погано утримується на поруватій поверхні шпаристого зразка. Проте, саме завдяки шпаристості, зразки скла насичуються розчином речовини, що містить вуглець у своєму складі, із подальшим його поновленням безпосередньо у шпаринах. Запропонований спосіб складається, з двох простих операцій.

При цьому перший етап – своєрідний електронний «терпуг» [3] є цілком зайвим у запропонованому нами способі для шпаристого скла, бо його поверхня одразу є доволі поруватою. До того ж, хімічно воно являє собою майже чистий оксид кремнію у формі кварцу, тобто операції очищення від оксиду не потребує.

Застосування обробки в HCl також виключається у нашому випадку для шпаристого скла, бо воно аж ніяк не реагує із HCl і його взаємодія із цією речовиною здатна лише тимчасово змінити розподіл заряду всередині шпарин, що зовсім не призводить до виникнення провідного прошарку.

Не є необхідним пошарове нанесення Ti і Al для шпаристого скла, бо напилення металу

на порувату поверхню шпаристого скла із метою створення будь-якого контакту немає сенсу: метал просто відшаровуватиметься від неї.

Першою операцією здійснюється часткове занурення зразка шпаристого скла торцем у розчин глюкози. Занурюючи торець пластини у зазначений розчин завглибшки на  $0.5 \div 1$  мм, отримують умови, що забезпечують дифузію зі сталого джерела. При цьому за певний час на певній відстані від межі розділу між розчином глюкози та пластиною виникає розподіл концентрації глюкози, що підпорядковується другому закону Фіка.

Аналог коефіцієнта дифузії в цьому випадку називають коефіцієнтом просочування. На відміну від коефіцієнту дифузії він описує проникнення не окремих атомів домішки у між-атомний простір зразка, а просочування досить великих молекул глюкози у наношпарини шпаристого скла, які у порівнянні із міжатомними відстанями теж досить великі (від 20 до понад 100 нм). Коефіцієнт просочування залежить від типу скла, точніше таких його параметрів, як шпаристість, розподілення шпарин за розмірами, наявності залишкового силікагелю у шпаринах та його кількості, а також від температури, при якій здійснюється просочування.

Розподілення глюкози всередині пластини шпаристого скла після насичення нею зразка з обох торців схематично зображено на рис. 1. Пунктирною лінією позначено глибину занурення пластини у розчин. Обидві криві відображають зменшення концентрації просоченої глюкози при віддаленні від джерела просочування.

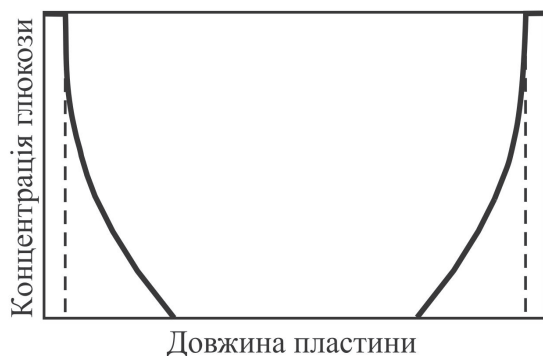
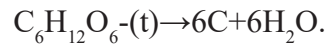


Рис. 1. Розподіл глюкози в пластині шпаристого скла.

Друга операція, на відміну від вільної від термообробки в [3] полягає саме у низькотемпературному відпалі зразка з метою термічного розкладання просоченої глюкози безпосередньо всередині шпарин до вуглецю у формі графіту згідно відомого рівняння:



Під час відпалу одночасно із терморозкладанням глюкози відбувається розгання графіту, що утворюється. Цей процес є певним аналогом задачі щодо дифузії з обмеженого джерела і розподілення наночастинок графіту у сформованому зазначеною вище термообробкою ансамблі зображено на рис. 2. Тут зображені криві відповідають зменшенню кількості графіту у шпаристому склі при віддаленні від торця пластини.

Порівняння зображень на рис. 1 та рис. 2 демонструє, що частинки графіту у сформованому ансамблі, на відміну від наночастинок глюкози, сконцентровано переважно біля торців і при віддаленні від них зазначена концентрація досить швидко сходиться нанівель. Таким чином з локацією на торцях пластини утворюються ділянки із підвищеною провідністю, наявність яких не впливає на властивості решти зразка пластини.

За допомогою обробки місця, де сконцентровано наночастинок графіту, силіконовою або іншою провідною пастою на торцях зразка виникає омичний контакт до пластини шпаристого скла, що характеризується високою адгезією і низьким електричним опором.



Рис. 2. Розподіл глюкози в пластині шпаристого скла.

На практиці операція занурення пластини силікатного шпаристого скла будь-якого типу здійснюється впродовж 20 годин на глибину 1 мм у 40-відсотковий розчин глюкози у воді при кімнатній температурі із наступним відпалом при 180 °С протягом 2 годин. При цьому забезпечується отримання надійного омичного контакту не гірше 4 Ом/см<sup>2</sup> при використанні індій-галієвої пасти на ділянці, що містить графіт, з адгезією не гірше 100 кг/см<sup>2</sup>.

Запропонованим способом, в якому вилучено низку технологічних операцій у порівнянні із [1–3], виготовлено серію зразків мікроелектронних виробів, зокрема сенсорів із суттєво кращими за адгезією і провідністю контактами.

Отримані результати досліджень можуть бути корисними при розробці мікроелектронних пристроїв різного функціонального призначення.

## Висновки

1. Запропонований і описаний спосіб формування омичного контакту на пористих

поверхнях підкладок характеризується високою технологічністю внаслідок вилучення з технологічного процесу низку трудомістських і різноманітних операцій.

2. Спосіб дозволяє отримати омичні контакти високої провідності і високої адгезії.

## Список використаної літератури

[1]. Mineeva M.A., Mooreakaeva G.A. Patent RF № 2084988. 20.07.1997, МПК H01L21/28 (in Russian).

[2]. W.X. Schroen, F.A. Padovani, and H.P.K. Hentzschel. US patent 3983264A, Feb. 2, 2011, МПК H01L29/452.

[3]. Jong Lam 25 Lee, Ho Won Jang, Jong Kyu Kim, and Changmin Jeon. US patent 7214325B2. May 08, 2007, МПК H01L21/28575.

[4]. Doycho I. K., Lepikh Ya. I. Sposib vyhotovlennia omichnoho kontaktu do shparystoho skla Vynakhid PU228932. Data, z yakoi ye chynnymy prava: 28.11.2024. Zayavka a202202804 vid 05.08.2022 (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 01.12.2024 р.

PACS 81.07.Lk, 73.40.Cg

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2024.4.318866>

## FORMATION OF OHMIC CONTACT IN MICROELECTRONIC DEVICES WITH POROUS SURFACE SUBSTRATES

*Ya. I. Lepikh, I. K. Doycho, A. P. Balaban*

Interdepartmental Scientific-Educational Physics and Technical Center of MES and NAS of Ukraine at Odesa I. I. Mechnikov National University,  
e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

## Summary

In the technology of instrument-making, in particular the technology of the element base of electronics (hybrid integrated circuits, sensors for various purposes, etc.), which uses ensembles of nanoparticles of semiconductor and other materials in a porous matrix, there are often problems with the formation of ohmic contacts to the specified systems. Especially when materials with a porous surface are used as substrates. And, as is known, the quality of contacts mainly determines the reliability of devices, systems and radio-electronic equipment in general.

The work proposes and investigates a new method of forming ohmic contacts in microelectronic devices for various purposes, in which substrates with porous surfaces are used. Porous glass was chosen as a model material.

The technological operations are described and specific research results are obtained.

**Keywords:** ohmic contact, porous surface of the substrate, silicate glass

PACS 81.07.Lk, 73.40.Cg

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2024.4.318866>

## **ФОРМУВАННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ В МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРАХ З ПІДКЛАДКАМИ ЗІ ШПАРИСТОЮ ПОВЕРХНЕЮ**

*Я. І. Лепіх, І. К. Дойчо, А. П. Балабан*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова  
e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### **Реферат**

В технології приладобудування, зокрема технології елементної бази електроніки, (гібридні інтегральні схеми (ГІС), сенсори різного призначення тощо), що використовує ансамблі наночастинок напівпровідникових та інших матеріалів у шпаристій матриці, нерідко мають місце проблеми формування омичних контактів до зазначених систем особливо коли використовуються в якості підкладок матеріали зі шпаристою поверхнею. А, як відомо, якість контактів головним чином визначає надійність пристроїв, систем і радіоелектронної апаратури в цілому.

В роботі запропоновано і досліджено новий спосіб формування омичних контактів у мікроелектронних пристроях різного призначення, в яких використовуються підкладки зі шпаристими поверхнями. В якості модельного матеріалу обрано шпаристе скло.

Описано технологічні операції і отримані конкретні результати досліджень.

**Ключові слова:** омичний контакт, шпариста поверхня підкладинки, силікатне скло