

## Розробка та виготовлення експериментальних зразків приладів для аналізу багатоелементних за складом речовин в реальному масштабі часу в складі мас-спектрометра

О.В. Косуля<sup>1</sup>, В.Г. Вербицький<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет ім. Т. Шевченка, вул. Володимирська, 64, 01601 Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна

(Одержано 25.05.2016, у відредагованій формі – 22.11.2016, опубліковано online 29.11.2016)

Визначені переваги складання ВІС на гнучкому носії. Розроблена топологія гнучкого носія та виготовлений гнучкий носій. Складені зразки ВІС на гнучкому носії, які являють собою кристал, приєднаний з боку діелектрика на тонку гнучку плату з алюмінієвими доріжками, які розташовані на поліімідній основі. Визначені технологічні умови та послідовність складання експериментальних зразків приладів. Складені експериментальні зразки приладів для аналізу багатоелементних за складом речовин в реальному масштабі часу в складі мас-спектрометра.

**Ключові слова:** Мас-спектрометрія, Детектор іонів, Елементний аналіз, Кристали ВІС, Мікроканальна пластина (МКП).

DOI: [10.21272/jnep.8\(4\(1\)\).04026](https://doi.org/10.21272/jnep.8(4(1)).04026)

PACS numbers: 82.80.Ms, 85.45.Bz

### 1. ВСТУП

Однією з проблем сучасної спектроскопії є потреба у створенні аналітичної апаратури для кількісного аналізу багатоелементних по складу речовин, яка б дозволила за короткий час і з високою точністю проводити аналіз в процесі створення новітніх матеріалів в машинобудуванні, при пошуку, видобутку і переробці руд і відходів гірничо-збагачувального виробництва, здобутті надчистих матеріалів [1].

Використання лазерного джерела іонів в мас-спектрокопії значно підвищує точність і скорочує процес виміру. Наявність джерела іонів з лазерною десорбцією і подовженою фокальною площиною аналізатора мас-спектрометра дають можливість проводити одночасний елементний аналіз твердотільних зразків, різних по складу і фізико-хімічним властивостям, без спеціальної підготовки проб [2].

На даний момент існує необхідність створення аналітичної апаратури для проведення одночасного елементного аналізу багатоелементних твердотільних зразків, різних по складу і фізико-хімічним властивостям, без спеціальної підготовки проб [3]. Вимірювати елементний склад гетероструктур в широкому діапазоні концентрацій з високою точністю і за короткий час. Використання приладу, що містить розроблену спеціалізовану інтегральну схему і помножувач електронів у вигляді мікроканальної пластини (МКП), в якості приймача іонів ізотопів різних елементів в лазерному мас-спектрометрі дозволить здійснювати реєстрацію результатів аналізу в реальному масштабі часу і істотного мас-спектрометра в залежності від умов експерименту [4].

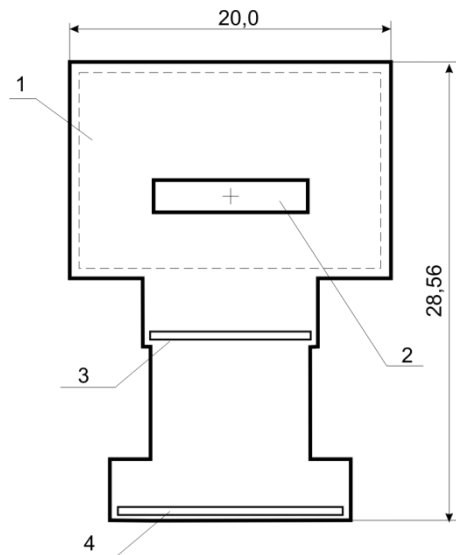
Метою даної роботи є визначення переваги складання ВІС на гнучкому носії. Розробка топології гнучкого носія та виготовлення гнучкого носія. Складання зразків ВІС на гнучкому носії. Визначення технологічних умов та послідовності складання експериментальних зразків приладів. Складання експериментальних зразків приладів для аналізу багатоелементних за складом речовин в реальному

масштабі часу в складі мас-спектрометра [5].

### 2. СКЛАДАННЯ ВІС НА ГНУЧКОМУ НОСІЇ

Монтаж безкорпусних інтегральних схем є частиною процесу складання експериментальних зразків приладу для аналізу багатоелементних за складом речовин в реальному масштабі часу у складі мас-спектрометра. Монтаж проводився на технологічній базі інституту власним конструктивно-технологічним методом з використанням гнучких носіїв (ГН) типу алюміній-поліімід. Використання гнучкого носія, виготовленого з лако-фольгового діелектрика типу алюміній-поліімід, дає ВІС у складі приладу ряд істотних переваг, а саме: 1) дозволяє проектувати та виготовляти різні типи плат, включаючи керамічні багатопарові, з довільним розташуванням контактних майданчиків для пайки струмопровідних доріжок до кристала 2) поліімід, на відміну від інших відомих полімерів, має надзвичайно високу радіаційну стійкість, що важливо для застосування у спектроскопії 3) підвищується надійність функціонування мікросхем за рахунок утворення на кристалі монометалевих з'єднань Al – Al.

Конструктивно ВІС на гнучкому носії являє собою кристал, приєднаний з боку діелектрика (через вікна в місцях розташування виводів кристала) на тонку гнучку плату товщиною 50 мікрон з алюмінієвими доріжками, які розташовані на поліімідній основі. В процесі виконання етапу розроблено також топологію носія, що враховує розташування струмопровідних доріжок, розташування всіх необхідних отворів і зовнішніх виводів (рис. 1). Кожна зі струмопровідних доріжок забезпечує електричний контакт до одного з 22-х виводів кристала (поз. 3). Крім цього, на носії виконано металізований електрод над кристалом, що має окремий вивід для підключення необхідного потенціалу (поз. 1 на рис. 1) та забезпечує електричне контактування між нижньою поверхню нижньої МКП та підведення потенціалу – 35 В до неї.



**Рис. 1** – Розташування та функціональне призначення областей на гнучкому носії. 1 – область суцільної металізації для контактування з МКП; 2 – вікно над детекторами заряду; 3 – місце приєднання до виводів кристала; 4 – зовнішні виводи для пайки на металізовані доріжки плати

Також на гнучкому носії міститься спеціальне спеціальне вікно (поз. 2 рис. 1) розміром  $9,6 \text{ мм} \times 1,9 \text{ мм}$ , через яке електрони з каналів МКП потрапляють на зарядочутливі детектори на кристалі. При цьому необхідно точне розташування зарядочутливої області кристалу і вікна поз. 2 в гнучкому носії для запобігання попадання заряду з МКП на інші області ВІС, крім детекторів. Позиціонування носія виконувалось під мікроскопом під час приварювання виводів кристала, при цьому досягається повне суміщення вікна розміром  $9,6 \times 1,9 \text{ мм}$  з детекторною областю розміром  $9,604 \times 2,0 \text{ мм}$ . Топологія розробленого носія наведена на рис. 2. Реальний носій після виготовлення містить також технологічні області, необхідні для встановлення в тару-супутник при проведенні технологічних операцій та зберіганні.

Безпосередньо перед установкою в корпус детектора технологічні області видаляються за допомогою скальпеля. При виготовленні носія товщина алюмінієвих провідників у даній реалізації становить 30 мікрон, поліімідної основи – 20 мікрон, що обумовлено вимогою до відстані в 50 мікрон між вихідною поверхнею нижньої МКП і поверхнею зарядочутливих електродів (поверхнею кристала).

Ширина виводів в місцях зварювання із кристалом становить 120 мкм, мінімальна ширина струмопровідних доріжок 120 мкм, відстань між сусідніми доріжками 100 мкм (відстані визначені з технологічних обмежень фотолітографії при виготовленні). Зовнішні виводи мають ширину 0,3 мм з кроком 0,6 мм.

Використовувався базовий технологічний процес фотолітографічного травлення шарів алюмінію та полііміду з використанням універсального кислотно-лаугостійкого фоторезиста ФН-11С.

Приєднання алюмінієвих виводів до контактних площадок кристала проводиться методом ультразвукового зварювання (УЗ) на установці УСІММ-1 з використанням стандартних столиків і зварюваль-

них інструментів. При цьому внутрішні закінчення виводів гнучкого носія приєднувалися безпосередньо до контактних площадок кристала зі стандартною алюмінієвою металізацією.

Для захисту робочої поверхні кристалів використовувався спеціальний кремнійорганічний компаунд 159-191 з високою адгезією як до алюмінієвих виводів, так і до поліімідної основи. Після нанесення компаунд висушувався спочатку при кімнатній температурі, потім у сушильній шафі при температурі  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Контроль якості захисту проводився під мікроскопом, при цьому перевірялася твердість полімерного покриття та точність суміщення вікна з зарядочутливими електродами на кристалі.

### 3. ВИГОТОВЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ ПРИБЛАДІВ

Під час виконання етапу було складено п'ять експериментальних зразків приладів. Процес складання експериментальних зразків виконувався у такій послідовності: 1) складання керамічних елементів корпусу (виконується на попередньому етапі) 2) виготовлення носія та приварювання виводів кристала ВІС 3) монтаж кристала з носієм у корпус 4) встановлення роз'єму для підключення приладу до спектрометра 5) встановлення мікроканалних пластин із керамічним обрамленням 6) монтаж контактних електродів до мікроканалних пластин для підключення високої напруги 7) встановлення стійок 8) встановлення притискової рамки з пружинами для притискання МКП 9) закріплення сталевого екрану.

Більшість вузлів виготовлено з листів кераміки марки ВК-96, згідно комплекту креслень E280.002.01.00. Екран виготовлено зі сталі марки X18H10T, стійки – з фторопласту.

При встановленні кристала на керамічну основу важливо витримати точність розташування вікна з зарядочутливими електродами. Для цього гнучкий носій з кристалом має спеціальні виступи для позиціонування встановленого кристала в колодязі, по яким оптичним шляхом під мікроскопом виконується суміщення з гранями колодязя, після чого кристал зверху притискається, а компаунд висушується при температурі  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рамки з МКП і проміжні електроди послідовно укладаються в тримач шевронного вузла - спеціальну виїмку на корпусі. Вхідна поверхня верхньої МКП, куди потрапляє йонний пучок, утворює фокальну площину детектора, її розташування по осі Z (перпендикулярно базисній площини детектора) становить 2700 мкм і є критичним розміром для правильного позиціонування пристрою в мас-спектрометрі.

Для забезпечення притискання мікроканалних пластин між екраном та керамічним обрамленням МКП встановлена рамка з пружинами.

Для закріплення екрана в корпус встановлено чотири стійки з фторопласта. Також за допомогою цих стійок пристрій прикріплюється до каретки мас-спектрометра. Фторопласт забезпечує електроізоляцію між екраном і металевою пересувною кареткою мас-спектрометра. Стійки із фторопласта встановлені

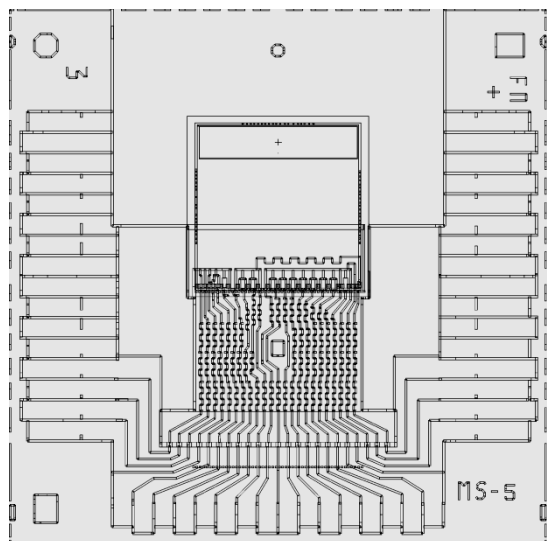


Рис. 2 – Топологія гнучкого носія (з технологічними ділянками) для встановлення кристала в корпус

через отвори в основі корпусу і закріплені за допомогою фторопластових гайок. Висота фторопластових гайок забезпечує відстань в 1,5 мм між екраном і фокальною площиною і становить 3,2 мм від нижньої (базової) площини.

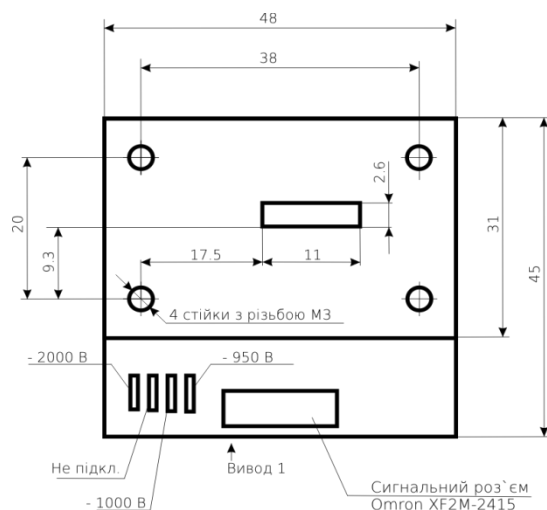


Рис. 3 – Габарити та розташування виводів

Габаритні розміри для встановлення в мас-спектрометр та розташування виводів показано на рис. 3.

Підключення високої напруги необхідне для нормальної роботи мікроканалних пластин згідно паспорту на МКП. Електричні параметри, їх відхилення, швидкодія отриманих приладів та ін. встановлюються експериментально на наступному етапі під час проведення досліджень експериментальних зразків.

#### 4. ВИСНОВКИ

Визначені переваги складання ВІС на гнучкому носії: 1) дозволяє проектувати та виготовляти різні типи плат, включаючи керамічні багатопарові, з довільним розташуванням контактних майданчиків для пайки струмопровідних доріжок до кристала; 2) поліімід, на відміну від інших відомих полімерів, має надзвичайно високу радіаційну стійкість, що важливо для застосування у спектрометрії; 3) підвищується надійність функціонування мікросхем за рахунок утворення на кристалі монометалевих з'єднань Al – Al.

Розроблено топологію та виготовлено партію гнучких носіїв типу алюміній-поліімід, що враховує розташування струмопровідних доріжок, всіх необхідних отворів і зовнішніх виводів. Проведено монтаж 10 кристалів ВІС на гнучкий носій. Визначені технологічні умови та послідовність складання експериментальних зразків приладів:

- складання керамічних елементів корпусу;
- виготовлення носія та приварювання виводів кристала ВІС;
- монтаж кристала з носієм у корпус;
- встановлення роз'єму для підключення приладу до спектрометра;
- встановлення мікроканалних пластин з керамічним обрамленням;
- монтаж контактних електродів до мікроканалних пластин для підключення високої напруги;
- встановлення стійок;
- встановлення притискової рамки з пружинами для притискання МКП
- закріплення сталевго екрану.

Проведено виготовлення п'яти експериментальних зразків приладів.

### Development and Manufacturing of Devices for the Experimental Samples Multi-element Analysis of the Composition of Matter in Real Time as Part of the Mass Spectrometer

A.V. Kosulya<sup>1</sup>, V.G. Verbitskiy<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64, Volodymyrska st., 01601 Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», 37, Peremohy ave., 03056 Kyiv, Ukraine

The paper discloses advantages of the LSI assembly on a flexible carrier. The paper develops the topology of the flexible carrier and manufacturing of a flexible carrier. LSI samples have been composed on flexible carrier represented by a crystal attached by a dielectric on a thin flexible board with aluminium tracks located on polyimide basis. There are determined manufacturing specifications and the assembly sequence for experimental device samples. The authors constructed the experimental samples of devices for real time multi-element analysis of substances as a component of the mass-spectrometer.

**Keywords:** Mass spectrometry, Ion detector, Elemental analysis, Crystals BIS, Microchannel plate (MCP).

## Разработка и изготовление экспериментальных образцов приборов для анализа многоэлементных по составу веществ в реальном масштабе времени в составе масс-спектрометра

А.В. Косуля<sup>1</sup>, В.Г. Вербицкий<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, ул. Владимирская, 64, 01601 Киев, Украина

<sup>2</sup> Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, 03056 Киев, Украина

Определены преимущества составления БИС на гибком носителе. Разработана топология гибкого носителя и изготовлен гибкий носитель. Составленные образцы БИС на гибком носителе, которые представляют собой кристалл, присоединенный со стороны диэлектрика на тонкую гибкую плату с алюминиевыми дорожками, которые расположены на полиимидной основе. Определены технологические условия и последовательность сборки экспериментальных образцов приборов. Составлены экспериментальные образцы приборов для анализа многоэлементных по составу веществ в реальном масштабе времени в составе масс-спектрометра.

**Ключевые слова:** Масс-спектрометрия, Детектор ионов, Элементный анализ, Кристаллы БИС, Микроканальная пластина (МКП).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.П. Сидоренко, В.Г. Вербицкий, Ю.В. Прокофьев, А.Ю. Кизяк, Ю.Е. Николаенко, *Технология и конструирование в электронной аппаратуре* № 2, 25 (2009) (V.P. Sidorenko, V.G. Verbitskiy, Yu.V. Prokofyev, A.Yu. Kizyak, Yu. Ye. Nikolayenko, *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature* No 2, 25 (2009)).
2. А.А. Балдин, А.И. Берлев, И.В. Кудашкин, А.Н. Федоров, *Письма в ЭЧАЯ* № 2, 209 (2014) (A.A. Baldin, A.I. Berlev, I.V. Kudashkin, A.N. Fedorov, *Pis'ma v EChAYa* No 2, 209 (2014)).
3. D.P. Langstaff, A. Bushell, T. Chase, D.A. Evans, *Nuclear Instrum. Meth. Phys. Res. B* **238**, 219 (2005).
4. А.И. Борискин, В.М. Еременко, С.Н. Мордик, *Журнал технической физики* **78** № 7, 111 (2008) (A.I. Boriskin, V.M. Yeremenko, S.N. Mordik, *ZhTF* **78** No 7, 111 (2008)).
5. А.В. Косуля, В.Г. Вербицкий, *Технология и конструирование в электронной аппаратуре* № 1, 39 (2016) (A.V. Kosulya, V.G. Verbitskiy, *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature* No 1, 39 (2016)).