

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ЖАРІКОВА ІРИНА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК.621.3.049.77

**БАГАТОЗОНДОВІ ПІДМИКАЛЬНІ ПРИСТРОЇ
ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ
ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

**05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво
електронної техніки**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник – Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор
Невлюдов Ігор Шакирович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри технології і
автоматизації виробництва радіоелектронних та
електронно-обчислювальних засобів.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Воронов Сергій Олександрович,
Національний технічний університет
«Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри прикладної фізики;

кандидат технічних наук, доцент
Єфіменко Анатолій Афанасійович,
Одеський національний політехнічний
університет,
доцент кафедри електронних засобів
та інформаційно-комп'ютерних технологій.

Захист відбудеться «____» _____ 2013 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, проспект Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки, за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розіслано «____» _____ 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Г. Пащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надійність електронної техніки здебільшого забезпечується конструктивно-технологічними рішеннями та полягає в обґрунтованій і достатній кількості контрольних операцій у технологічному процесі. Одними з обов'язкових елементів контролю є електричний контроль параметрів багатошарових комутаційних плат (БКП), а також вхідний та функціональний контроль електронної компонентної бази.

Підвищення щільності розміщення елементів з'єднань на одиницю площі друкованих плат, збільшення їхнього абсолютного числа та зменшення розмірів ускладнюють завдання забезпечення надійності, потребують подальшого вдосконалювання методів і засобів електричного контролю. Електричний контроль БКП, що виконується на існуючому обладнанні, не забезпечує стовідсоткової якості через наявність помилок двох видів: помилки першого роду, коли під час електричного контролю забраковується придатний виріб (під час контролю цілісності друкованих провідників); і помилки другого роду, коли бракований виріб відносять до придатного (під час контролю відсутності коротких замикань роз'єднаних ланцюгів). За результатами функціонального контролю складні браковані вироби із великою кількістю виводів також можуть бути віднесені до придатних і навпаки.

Зі збільшенням кількості та щільності розташування контрольованих ланцюгів ускладнюються й контактні пристрої, що викликає підвищення складності їхнього виготовлення та ремонту, збільшення вартості, зниження надійності контакту – як окремих контактних елементів, так і контактного пристрою в цілому. Основу надійності електричного тестування забезпечують системи контактних зондів.

Для виключення помилок необхідно розробляти контактні пристрої із можливістю перевірки підключення кожного зонда. Створення таких пристроїв є елементом їхньої інтелектуалізації, оскільки дозволяє не тільки здійснювати контроль електронних виробів, але й перевіряти якість підключення та вимірювання.

Таким чином, створення багатозондових підмикальних пристроїв для електричного контролю багатошарових комутаційних плат та електронних компонентів із матричними кульковими виводами, які мали б велику кількість контактних зондів за високої щільності їхнього розташування й одночасно забезпечували б підвищення надійності контролю, спрощення конструкції та зменшення вартості у порівнянні з аналогами, є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) на кафедрі «Технологія і автоматизація виробництва РЕЗ та ЕОЗ» (ТАВР) у процесі виконання держбюджетних НДР за планом МОН України: № 224 «Конструктивно-технологічні основи створення перспективних компонентів мікроелектромеханічних систем і технологій», на підставі наказу Міністерства освіти і науки № 1044 від 27.11.2007 р. (ДР № 0108U002216) і № 248-1 «Теоретичні основи мікроелектромеханічних систем, проектування та технології їх виробництва для гнучких інтегрованих систем», на підставі наказу Міністерства освіти і науки № 686 від 22.07.2009 р. (ДР № 0110U002594); а також у рамках госпдоговірної роботи

№ 10-14 «Діагностика та сервісне обслуговування систем електроавтоматики верстата TRUMATIC TC500R» (ТОВ «Корнеліус Україна», м. Харків, угода від 02.04.2010 р.); де здобувачка була виконавцем окремих розділів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності контролю багатозарових комутаційних плат та електронних компонентів (ЕК) із матричними кульковими виводами шляхом розробки засобів підключення контрольованих виробів до автоматизованих вимірювальних комплексів за допомогою багатозондових підмикальних пристроїв (БПП), а також зменшення трудомісткості операції контролю за рахунок спрощення конструкції підмикальних пристроїв.

Досягнення поставленої мети здійснюється шляхом вирішення таких основних завдань:

- аналіз методів електричного контролю БКП та ЕК з матричними кульковими виводами та конструкторсько-технологічних рішень контактних пристроїв, що використовуються для підключення контрольованих об'єктів до вимірювального обладнання;
- розробка методу контролю та конструкції багатозондового підмикального пристрою та дослідження його основних конструктивно-технологічних параметрів;
- створення інтерфейсу для підключення контрольованих об'єктів до автоматизованих вимірювальних комплексів;
- математичне обґрунтування вибору топології шлейфа підмикального пристрою виходячи з вимог забезпечення необхідних технологічних параметрів та високої надійності БПП у процесі контролю виробів електронної техніки;
- проектування варіантів топології притискної пластини підмикального пристрою з урахуванням особливостей об'єкта контролю;
- дослідження напружено-деформованого стану підмикального пристрою у процесі контролю на основі методу кінцевих елементів;
- дослідження перехідного опору в зоні контакту кулькового виводу ЕК із підмикальним шлейфом у залежності від тиску повітря в корпусі БПП;
- дослідження точності суміщення зондів підмикального пристрою з контрольованими точками БКП та ЕК;
- дослідження технології нанесення кулькових зондів на підмикальну пластину контактної пристрою для контролю БКП.

Об'єкт дослідження – процес електричного контролю виробів електронної техніки за допомогою контактних пристроїв, що підключають об'єкти контролю до автоматизованих вимірювальних комплексів.

Предмет дослідження – багатозондові підмикальні пристрої для контролю багатозарових комутаційних плат та електронних компонентів із матричними кульковими виводами.

Методи дослідження. Під час проведення дисертаційних досліджень використовувалися метод кінцевих елементів, метод аналізу особливостей контактування на основі теорії контакту та теорії пружності, комп'ютерне моделювання, метод байєсівських статистичних рішень, методи математичної статистики для обробки результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі вирішення завдань відповідно до мети досліджень отримано такі наукові результати:

- вперше запропоновано метод підвищення надійності виробничого контролю електронних компонентів із матричними кульковими виводами за рахунок дублювання точок контакту з кожним виводом шляхом розщеплення зонда на декілька частин, що дозволяє усунути помилки під час контролю, які можуть виникати під час використання відомих конструктивно-технологічних рішень;

- вперше запропоновано метод підключення БКП та ЕК до автоматизованих вимірювальних комплексів (АВК) за допомогою МЕМС-інтерфейсу, який реалізується у вигляді гнучкого поліімідного шлейфа та дозволяє спростити конструкцію, зменшити масо-габаритні показники контактних пристроїв за рахунок усунення громіздких рознімних з'єднань на шляху підключення контрольованих виробів до вимірювального обладнання;

- набув подальшого розвитку метод байєсівських статистичних рішень, що дозволяє сформувати рівні ієрархії відповідно до обраних параметрів гнучкого шлейфа (ширини та товщини провідників і відстані між ними, кількості шарів і міжшарових з'єднань та матеріалу) і знизити трудомісткість проектування нових топологій БПП із оптимізацією за обраним параметром.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі синтезу технології виробництва гнучких шлейфів на поліімідному носії та методу притиснення його до контрольованого об'єкта за допомогою стисненого повітря розроблені багатозондові підмикальні пристрої для електричного контролю багат шарових комутаційних плат, а також вхідного та функціонального контролю електронних компонентів із матричними кульковими виводами типу BGA/CSP.

Реалізовано можливість одержання більш надійних і дешевих пристроїв, що підключають контрольовані вироби до АВК.

Викладені рішення захищені патентами на винаходи № 95190 «Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій» (від 11.07.2011 р.) і № 98539 «МЕМС-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів» (від 25.05.2012 р.).

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджені на підприємстві ДНВП «Об'єднання Комунар», м. Харків (технічний акт від 7.12.2012 р.), а також під час підготовки навчальних курсів, що читаються студентам напрямів «Радіоелектронні апарати» і «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на кафедрі ТАВР ХНУРЕ (акт від 16.04.2013 р.), на кафедрі інформаційних технологій електронних засобів Запорізького національного технічного університету (акт від 23.05.2013 р.) та на кафедрі електронних апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (акт від 10.06.2013 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Роботи [15, 20] написані без співавторів та містять: [15] – дослідження напружено-деформованого стану підмикальної пластини пристрою контролю ЕК; [20] – дослідження пристроїв електричного контролю багат шарових комутаційних плат.

У публікаціях, написаних у співавторстві, внесок здобувача полягає у тому, що: [1, 2] – розроблено конструкції винаходів; [3, 8, 9, 10] – розглянуто можливість контролю електронних компонентів із використанням багатозондового підмикального пристрою; [4] – розроблено варіанти топологій гнучкого підмикального шлейфа; [5] – розглянуто конструкцію МЕМС-інтерфейсу для підключення електронних компонентів до автоматизованих вимірювальних комплексів; [6] – досліджено параметри підмикального пристрою; [7] – проведено аналіз характеристик систем діагностики та контролю технологічного обладнання; [11] – досліджено проблеми тестування мікроелектромеханічних систем; [12] – отримано результати моделювання напружено-деформованого стану підмикального шлейфа БПП; [13] – проведено аналіз технологічних особливостей виготовлення пристроїв контролю ЕК; [14] – проведено аналіз особливостей проектування топології гнучкого поліімідного шлейфа БПП із застосуванням теореми Байєса; [16] – проведено аналіз особливостей створення електронних компонентів за технологією BGA; [17] – розроблено конструкцію корпусу БПП; [18] – досліджено особливості створення автоматизованого робочого місця оператора БПП; [19] – досліджено можливості використання п'єзоактуаторів для позиціонування контрольованих виробів у корпусі БПП; [21] – проведено аналіз принципів моделювання мікроелектромеханічних систем та технологічних процесів їх виготовлення; [22] – описано особливості застосування БПП; [23] – описано конструктивно-технологічні особливості БПП.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 10-му Симпозіумі «IEEE East-West Design & Test Symposium» (Kharkov, 2012), VI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми та досягнення в сфері радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій (м. Запоріжжя, 2012 р.), III-й Міжнародній науковій конференції «Функціональна компонентна база мікро-, опто- та наноелектроніки», (смт. Кацивелі, 2010 р.), IX-й та IX-й Міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», (м. Кременчук, 2010, 2012 рр.), 14-му, 15-му та 16-му Міжнародному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XX сторіччі» (м. Харків, 2010-2012 рр.), VI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Основні проблеми на сьвременної наука» (м. Софія, Болгарія, 2010 р.), VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Kluczowe aspekty naukowej działalności» (м. Przemysl, Польща, 2012 р.), VII-му Міжнародному симпозіумі «Фундаментальні та прикладні проблеми науки» (м. Челябінськ, 2012 р.), II-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем» (м. Сєвєродонецьк, 2012 р.), 9-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2013» (м. Севастополь, 2013 р., 2-й грант), 23-й Міжнародній конференції «Нові технології у машинобудуванні» (с. Рибаче, 2013 р.), VI-й Міжнародній науковій конференції «Функціональна база наноелектроніки», (м. Алушта, 2013 р.).

Публікації. За темою дисертації з викладенням її основних результатів опубліковано 23 роботи, з яких 2 патенти на винахід, 5 статей у наукових фахових виданнях України (серед них 3 внесені до міжнародних науково-метричних баз), 16 тез доповідей у збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 207 сторінок, що включає 64 рисунки (на 24 сторінках), 19 таблиць (на 11 сторінках), 6 додатків (на 33 сторінках) та список використаних джерел із 134 найменувань (на 17 сторінках).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету роботи, завдання дослідження, визначено наукову новизну дисертаційної роботи і практичну цінність отриманих результатів. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок здобувачки та публікації.

У першому розділі наведено огляд контактних пристроїв, які застосовуються для контролю багатошарових комутаційних плат та електронних компонентів із матричними кульковими виводами, проведено аналіз їхніх конструктивно-технологічних характеристик та вимог до них.

Контактний пристрій і тестові зонди є технічно найскладнішими й одночасно найвідповідальнішими частинами пристроїв контролю, оскільки саме від якості контакту залежить достовірність інформації, отриманої в результаті тестування.

Постійно посилюються вимоги до системи притиснення контактної пристрою, яка одночасно повинна забезпечити достатню якість операції контролю та відсутність пошкодження контрольованого виробу. Однак наявні методи підключення до виробів електронної техніки можуть призводити до деформацій контрольованих об'єктів.

Таким чином, існує необхідність розробки таких багатозондових контактних пристроїв, які могли б використовуватися в серійному виробництві для забезпечення високої надійності контролю БКП та ЕК з кульковими виводами і мали при цьому просту конструкцію та низьку вартість.

У другому розділі розглянуто конструкції розроблених багатозондових підмикальних пристроїв для електричного контролю БКП і для вхідного та функціонального контролю електронних компонентів із матричними кульковими виводами типу BGA/CSP.

Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій для контролю ЕК (рис. 1) містить корпус-основу 1, контакти-зонди у вигляді майданчиків на притискній пластині – гнучкій багатошаровій платі 2 з провідниками, виготовлених з фольгованих діелектриків, притискування якої до контрольованих електронних компонентів 3 здійснюється стисненням повітрям, решітку 4 (забезпечує захист від провисання), ущільнювальну прокладку 5, яка забезпечує герметичність корпусу, фіксуючий елемент 6, кришку 7 і повітряний об'єм зі штуцером.

Схему підключення BGA-компонентів до БПП наведено на рис. 2.

Зонди БПП для контролю БКП виконуються у вигляді кульок за технологією BGA, що дозволяє забезпечити їхні малі розміри (діаметр до 50 мкм), високу щільність (крок розміщення до 100 мкм), високу якість контактування, простоту виготовлення, а також низьку трудомісткість використання підмикального пристрою порівняно з аналогами.

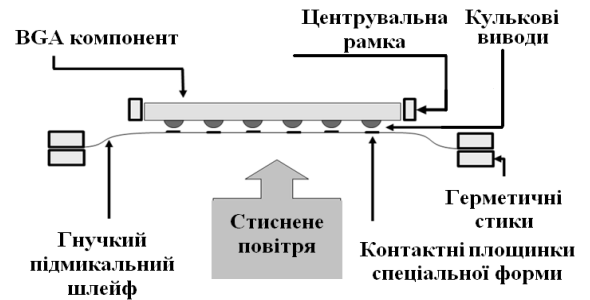
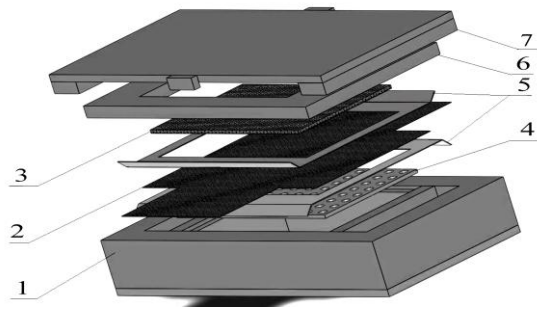


Рис. 1. Тривимірний моделювання БПП Рис. 2. Схематичне з'єднання до BGA-компонентів

Для підвищення надійності контролю БКП за допомогою БПП запропоновано використовувати спеціальну форму контактних зондів, із розщепленням кулькових зондів на декілька окремих частин з метою дублювання контакту. На рис. 3 наведено приклад реалізації одного зонда БПП, розділеного на чотири частини, та з'єднання попарно-перехресно пар a-d, b-c кульок цього зонда у різних шарах багатошарової гнучкої плати.

Для контролю BGA-компонентів використовуються плоскі контактні майданчики. Кожний окремий зонд-майданчик (рис. 4), як і у випадку з БПП для контролю БКП, поділяється на декілька частин, які призначені для контактування з одним кульковим виводом ЕК так, що окремі частини зонда стануть електрично сполученими між собою тільки за умови контактування щонайменше двох частин до одного виводу.

Притиснення контактної пристрою до контролюваного виробу здійснюється за допомогою стисненого повітря. Завдяки однаковому контактному тиску в контактних парах значно знижується кількість помилок під час контролю в порівнянні з іншими пристроями з непереміщуваними контактами.

Пневматичне притиснення значно знижує вірогідність відсутності контакту (через різницю тиску в різних точках контролю) в порівнянні з механічним або магнітним притисненням.

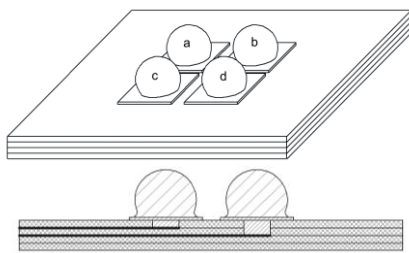


Рис. 3. Зонд для підключення до контрольованих точок на БКП

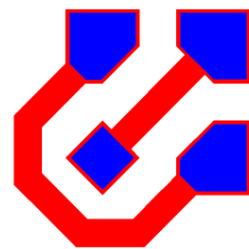


Рис. 4. Зонд-майданчик для підключення до виводу ЕК

Підмикальний шлейф забезпечує доступ контактної пристрою до великої кількості точок контролю на контрольованому виробі (до декількох тисяч). Максимальна кількість виводів визначається кількістю шарів підмикального шлейфу, кроком розміщення зондів, габаритами об'єкта контролю.

Запропоновані конструктивно-технологічні рішення БПП забезпечують велику щільність розміщення зондів (до 100 мкм), високу якість контактування, простоту виготовлення, а також низьку трудомісткість використання БПП порівняно з аналогами. Водночас використання гнучкого шлейфа дозволяє підключити пристрій безпосередньо до вимірювального пристрою та виключити проміжні з'єднання, а також поліпшити механічні й електричні характеристики пристрою, що у свою чергу підвищує надійність контролю.

В результаті проведеного аналізу можливих матеріалів для виробництва гнучких плат як матеріал підмикальної плати обрано лакофольговий поліімід, який має низьку вартість, достатню гнучкість, механічну міцність, гарні діелектричні властивості.

Запропоновано метод підключення БКП та ЕК до автоматизованих вимірювальних комплексів із використанням MEMC-інтерфейсу, що дозволяє спростити конструкцію, зменшити масо-габаритні показники контактних пристроїв шляхом усунення громіздких рознімних з'єднань на шляху підключення контрольованих виробів до вимірювального устаткування (рис. 5).

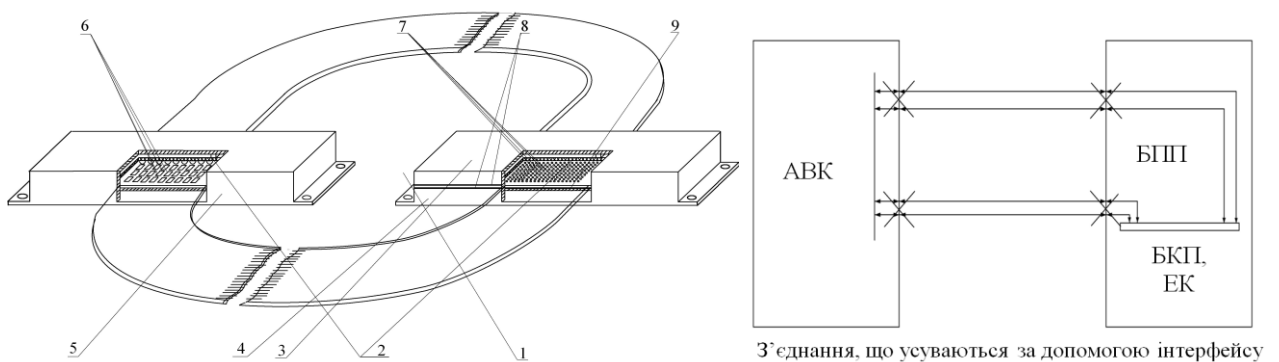


Рис. 5. MEMC-інтерфейс для підключення контрольованих виробів до АВК

Пристрій, що реалізує MEMC-інтерфейс, складається з декількох функціональних частин: гнучка плата-шлейф 1, що з'єднує підмикальну частину БПП із контактним полем у АВК; підмикальна частина з контактами-зондами для підключення до контрольованих виробів 2 (БКП, ЕК із матричними кульковими виводами), які встановлюються та позиціонуються по напрямних елементах і фіксуються кришкою 3; контактне поле АВК, з яким з'єднані ключі автоматизованого контролюючого комплексу; корпус для розміщення підмикальної частини та контрольованого виробу 4; корпус для розміщення контактної плати АВК 5.

Підмикальна частина має одну форму зондів для контролю ЕК із матричними кульковими виводами у вигляді майданчиків 6, та іншу – у вигляді кульок 7 – для контролю БКП.

Підмикальна частина гнучкої плати встановлюється в корпусі між ущільнювальними прокладками 8, які забезпечують герметичність корпусу. З протилежного боку притискної плати відносно контрольованого об'єкта знаходиться захисна решітка 9, яка захищає притискну плату від провисання до

моменту подачі стисненого повітря та забезпечує вільний доступ повітря до всієї площі притискної плати.

Визначено перспективні напрями застосування БПП для тестування MEMC-структур, зокрема провідникових систем типу кросбарів.

У третьому розділі математично обґрунтовано вибір варіанта топології гнучкого шлейфа для контролю ЕК за допомогою методу байесівських статистичних рішень.

Оскільки досягнення високої надійності електронних систем потребує використання спеціальних методів проектування, що відповідають кінцевим умовам експлуатації обладнання, мета процесу пошуку рішення під час вибору топології підмикальної пластини для виготовлення БПП полягає в отриманні рішення, яке було б описане з достатніми деталями для його практичного застосування в реальних умовах. Процес пошуку такого рішення здійснюється у вигляді послідовності експериментів, тобто операцій, в яких отримується інформація про природу можливих рішень. Така інформація може бути отримана шляхом фактичної оцінки розробки конкретного рішення та визначення його вартісного критерію.

Шляхом складання списків усіх можливих операцій a , станів θ , експериментів e , включаючи нульовий e_0 , побудовано дерево рішень.

Для кожного експерименту складається список усіх можливих результатів z .

У розробленому дереві рішень

(рис. 6) визначено такі рівні ієрархії:

1 – множина варіантів топології

гнучкого поліімідного шлейфа (1);

2 – ширина провідників b та

відстань між ними h ($b = 75$ мкм при

$h = 150$ мкм (11), $b = 100$ мкм при

$h = 90$ мкм (12) та 13 – $b = 70$ мкм

при $h = 100$ мкм); 3 – кількість

шарів гнучкого шлейфа (4 та 5 для

перших двох варіантів; 3 та 4 для третього варіанта); 4 – матеріал шлейфа (розглянуті

мідна й алюмінієва фольга на поліімідній плівці для кожного з варіантів).

Для кожної комбінації «експеримент, результат, операція, стан» визначається її відносна бажаність, тобто $u(e, z, a, \theta)$. Задається попереднє («априорне») судження приймача рішень про відносну ймовірність різних станів θ і виражається у вигляді розподілу вірогідності $P'(\theta)$.

Для кожного експерименту визначається його ймовірнісна характеристика у вигляді $P(z | \theta, e)$.

Для кожної комбінації «експеримент, результат» обчислюється апостеріорний розподіл $P''(\theta | z, e)$ за формулою Байєса

$$P''(\theta | z, e) = \frac{P'(\theta)P(z|\theta, e)}{\sum_{\theta} P'(\theta)P(z|\theta, e)}. \quad (1)$$

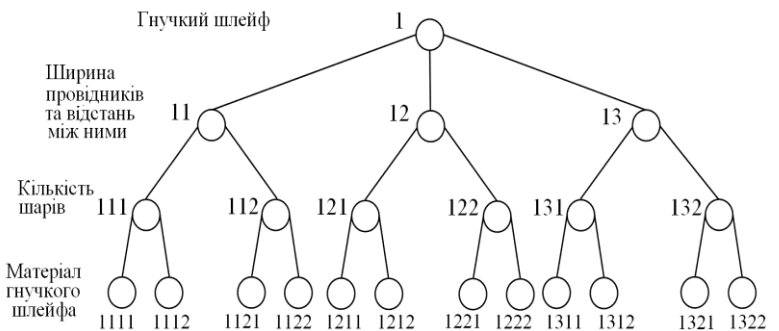


Рис. 6. Дерево рішень

Побудовані гістограми апріорного (рис. 7, а) та апостеріорного (першого – рис. 7, б та другого – рис. 7, в) розподілів.

Визначається очікувана вигода від кожної операції для кожної комбінації «експеримент, результат» за формулою

$$u^*(a, e, z) = \sum_{\theta} u(e, z, a, \theta) \cdot P''(\theta|z, e). \quad (2)$$

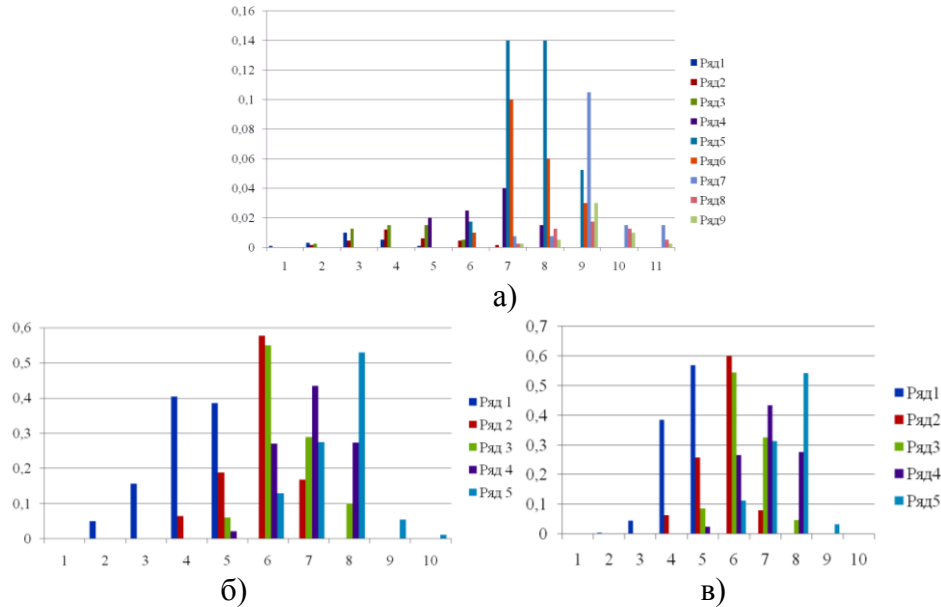


Рис. 7. Гістограми апріорного та апостеріорного розподілів

Для кожної комбінації «експеримент, результат» визначається оптимальна операція й оптимальна вигода

$$u^*(z, e) = \max u^*(a, z, e). \quad (3)$$

Для кожного експерименту обчислюється ймовірність кожного окремого результату z , що задається безумовним розподілом $P(z|e)$.

Для кожного експерименту визначається очікувана вигода $u^*(e)$:

$$u^* = \sum_z P(z|e) \cdot u^*(z, e). \quad (4)$$

Оптимальним вважається той експеримент e , для якого вигода $u^*(e)$ є максимальною:

$$u^*(e^*) = \max u^*(e). \quad (5)$$

Найкращим варіантом, згідно з проведеними розрахунками, за вартісним критерієм кількості виходу придатних виробів є варіант 1312 дерева рішень, що відповідає тришаровому шлейфу із шириною провідників 70 мкм і відстанню між ними 80 мкм (кількість зварних з'єднань – 288) за умови використання алюмінієвої фольги. Цей варіант топології забезпечує ймовірність отримання придатного гнучкого шлейфа на рівні $y^* = 99,80\%$.

У четвертому розділі для підтвердження правильності розробленої моделі виконано проектування декількох варіантів топології притискної пластини БПП. Проаналізовано чотири варіанти топології та обрано один із них, який найбільше задовольняє вимоги щодо технології виробництва, паразитних параметрів

провідникової системи та до експлуатації гнучкого шлейфа БПП під час підключення об'єкта контролю до АВК.

Топологія підмикальної пластини проектувалася для контролю з використанням БПП мікросхеми з кульковими виводами у корпусі FG-320 (рис. 8).

Обраний варіант топології наведений на рис. 9. Конструктивні особливості цього варіанта топології такі: матеріал плати – поліімід марки ФДИ-А-50; шлейф складається з трьох шарів, ширина провідників – 70 мкм, а відстань між ними – 80 мкм; габаритні розміри контактної майданчика – 300×300 мкм. Для суміщення шарів та позиціонування притискної плати відносно виводів ЕК на платі розміщені реперні знаки. Кількість з'єднань за допомогою каскадного зварювання провідників між шарами плати – 288. Підключення БПП до АВК здійснюється із використанням шістнадцяти стандартних 51-вивідних ZIF-з'єднувачів.

Виконано розрахунок опорів провідників у чотирьох шарах підмикальної пластини. З отриманих результатів видно, що опір провідників на поліімідному шлейфі лежить у межах від 0,07169 до 0,1132 Ом. Це підтверджує правильність проектування топології, зокрема – однорідність її шарів за значеннями опорів провідників, що забезпечуватиме їх мінімальний вплив на результати вимірювань при здійсненні контролю ЕК із використанням БПП.

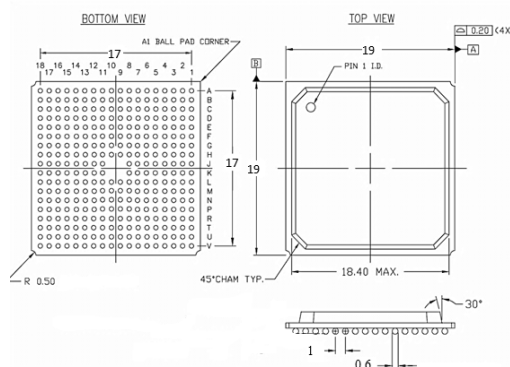


Рис. 8. Корпус FG-320

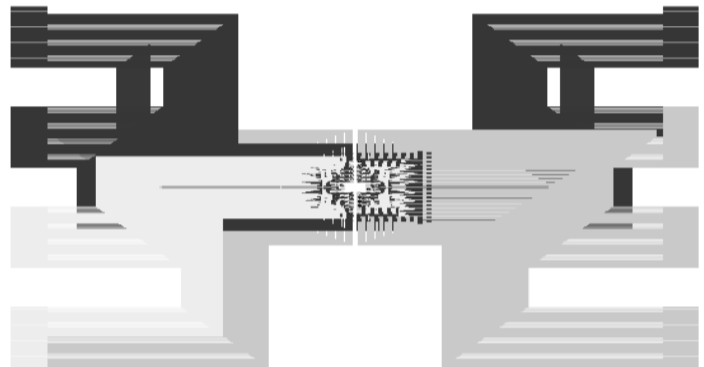


Рис. 9. Топологія гнучкого шлейфа

Виходячи з вимог до величини контактної тиску при здійсненні контролю за допомогою підмикальних пристроїв визначено, що стиснене повітря слід подавати у корпус БПП під тиском 0,025...0,25 МПа, що забезпечить рівномірне притискання гнучкого шлейфу до виводів ЕК.

У п'ятому розділі проведено моделювання напружено-деформованого стану гнучкого шлейфу БПП під час контролю електронних компонентів за допомогою методу кінцевих елементів із урахуванням деформування кулькових виводів ЕК за моделлю Герца. Для обчислень використано середовище Femap 10.2 і додатковий модуль, написаний на VB.NET. Числові експерименти здійснювалися для рівномірного розміщення кульок і за відсутності частини з них. Запропонований підхід дає змогу проводити перевірку на руйнування підмикальної пластини, занадто велике просідання чи недостатній тиск кульки на контактний майданчик.

На рис. 10 зображено контактну пару «кульковий вивід-зонд БПП», на рис. 11 наведено результати моделювання розподілу сили реакції кульок за відсутності однієї кульки на контрольованому компоненті.

За моделями розподілу еквівалентного напруження у підмикальній пластині, прогинів пластини і сил реакції кульок було визначено, що в разі відсутності окремого кулькового виводу або зони кульок зміна тиску спостерігається лише в першому рядку кулькових виводів, що оточують відсутні елементи.

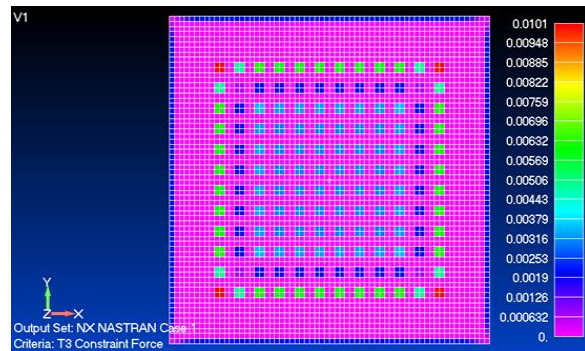
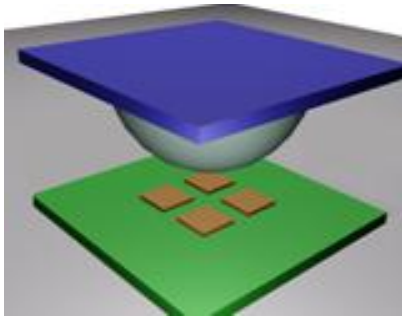


Рис. 10. Контактна пара
«кульковий вивід-зонд БПП»

Рис. 11. Сили реакції кульок за відсутності однієї кульки

Моделювання підтвердило можливість притиснення зондів до кульок у діапазоні 0,03...0,3 Н за умови розтягування плівки в межах пружної деформації. При цьому прогини-вигини плівки знаходилися в межах 15 мкм. Напруження у плівці в зонах відсутності кульок змінювалося приблизно в 7 разів (0,3-0,046 Н/мм²). Відсутність якої-небудь кульки збільшувала тиск на виводи, що оточували її, приблизно в 1,5 рази, а реакція на збурення поширювалася лише на 1 крок.

Найбільш навантаженими елементами підмикальної пластини є кутові та зовнішні кульки. Гострий кут по контуру притиснення є концентратором напружень у плівці та кулькових виводах, і тому необхідне заокруглення притискної рамки.

Проведено дослідження основних параметрів багатозондового підмикального пристрою, які найбільше впливають на його надійність і точність.

Однією з основних проблем, які виникають під час тестування BGA-компонентів, є отримання стабільного опору контакту. Визначення розподілення опору контактів відіграє важливу роль для оцінювання експлуатаційної надійності підмикального пристрою. Погіршення чи порушення контактів БПП може значно знизити результати першого тесту та збільшити час повторних перевірок.

Виходячи з цих положень, було досліджено вплив тиску у корпусі БПП на величину перехідного опору в зоні контакту «кульковий вивід-поліімідна плівка». Результати вимірювань наведені на рис. 12.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що в корпусі БПП при притисканні підмикального шлейфу до BGA-компонента стисненням повітрям значення сили, що діє на один кульковий вивід, має знаходитись у межах 0,07-0,3 Н. Отримані результати також збігаються з вимогами стандартів

до величини контактної зусилля при контролі ЕК із використанням багатозондових підмикальних пристроїв.

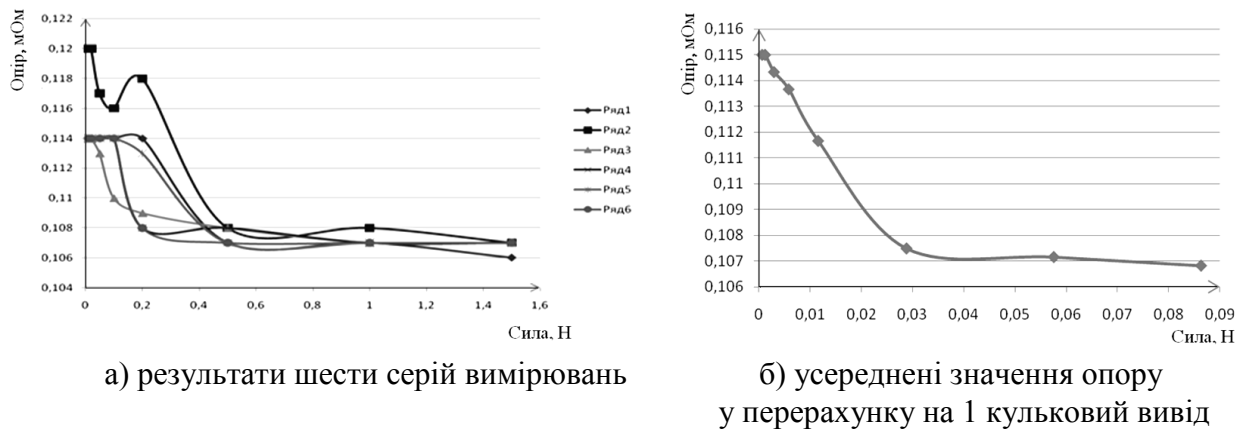


Рис. 12. Зміна величини перехідного опору в залежності від тиску у корпусі БПП

Виходячи з вимог забезпечення необхідного перехідного опору в області контакту кулькового виводу з гнучким шлейфом БПП під час контролю мікросхеми в корпусі FG-320 мінімальний тиск у корпусі БПП має складати 0,056 МПа.

Проведено дослідження точності суміщення зонда БПП і кулькового виводу контрольованого ЕК (рис. 13).

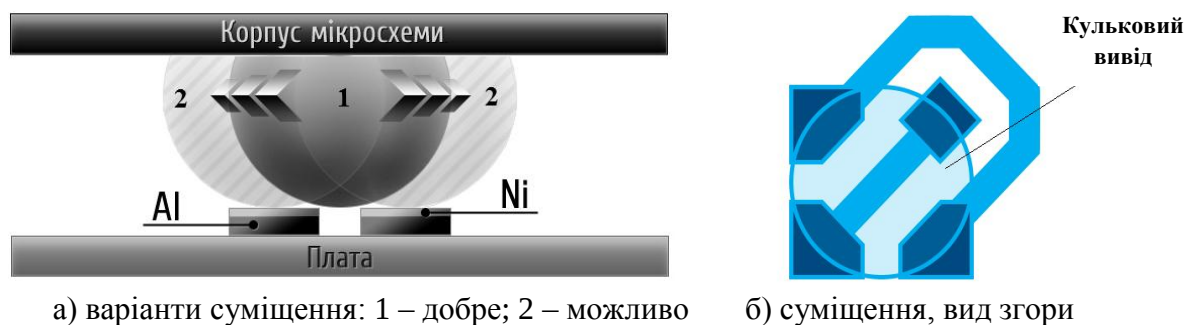


Рис. 13. Суміщення виводу ЕК із контактними майданчиками зонда БПП

Геометричну модель зсуву кулькового виводу відносно зонда БПП показано на рис. 14.

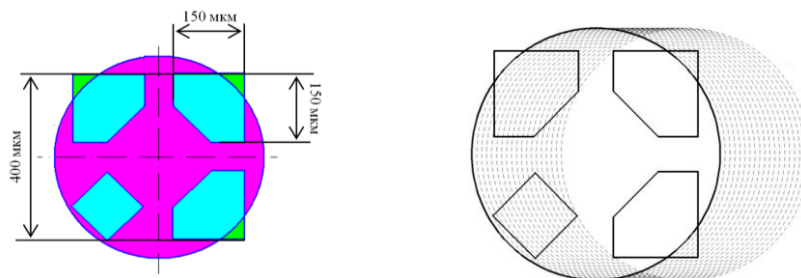


Рис. 14. Геометрична модель зсуву виводу ЕК відносно зонда БПП

Розрахувавши значення перехідного опору, можна визначити максимально можливий зсув кулькового виводу відносно зонда БПП, при якому зберігатиметься

електричний контакт. Максимально допустиме значення перехідного опору (R_{gp}) в області контакту складає 0,001 Ом.

На рис. 15 наведено залежності величини перехідного опору від горизонтального та кутового зсувів кулькового виводу відносно зонда БПП.

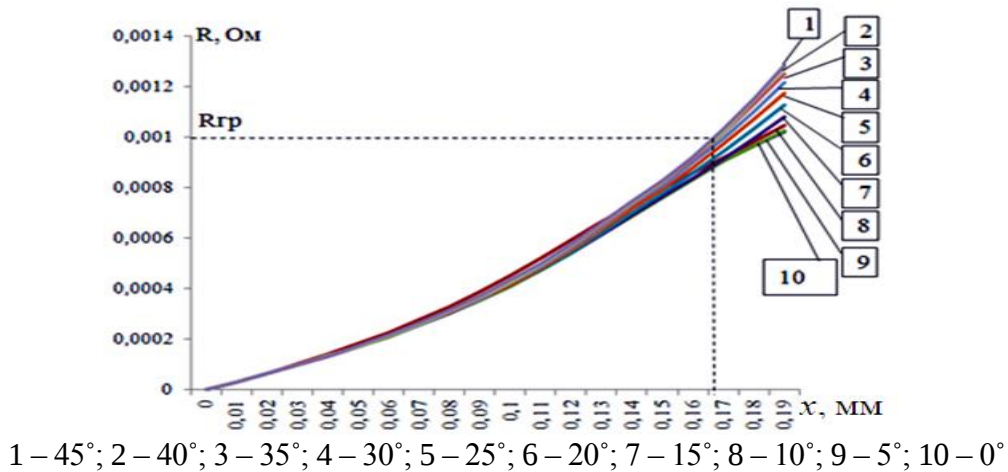


Рис. 15. Зміна перехідного опору в залежності від кроку та кута зсуву

Максимально допустимий зсув кулькового виводу відносно зонда БПП складає 0,172 мм. Отже, максимально можлива похибка позиціонування складає $\pm 0,17$ мм.

З метою вдосконалення розробленої конструкції БПП, призначеного для електричного контролю багатошарових комутаційних плат, на базі Науково-виробничого підприємства «Хартрон-Енерго ЛТД» (м. Харків) було проведено дослідження процесу нанесення кульок припою 63Sn/37Pb, діаметром 200 мкм, на гнучкий шлейф БПП.

Для паяння використовувався флюс Aim Solder Paste (No clean) NC 257-2 PASTE FLUX (Canada). Оплавлення виконувалося в інфрачервоній печі, максимальна температура складала 227 °С.

Температурно-часову характеристику процесу оплавлення кулькового припою на контактні майданчики підмикальної плати БПП наведено на рис. 16.

Фотографії отриманих паяних з'єднань наведено на рис. 17.

У ході експерименту виявлено такі дефекти паяння:

- надлишок флюсу негативно позначився на якості паяння, багато кулькових виводів не оплавився на контактних майданчиках підмикальної пластини БПП;

- зниження якості паяння можна пов'язати також із недостатнім нагріванням печі («холодне паяння»), у результаті чого кульковий припій не змочив контактний майданчик, а також із похибками встановлення кульок на контактні майданчики;

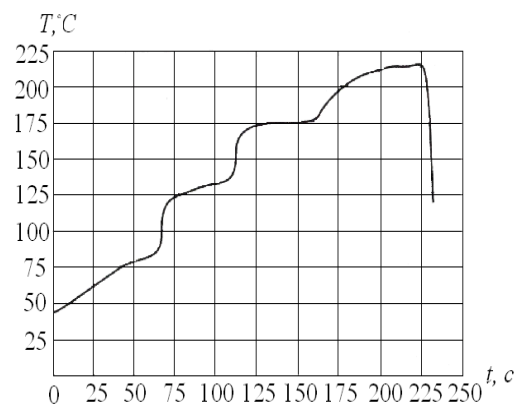
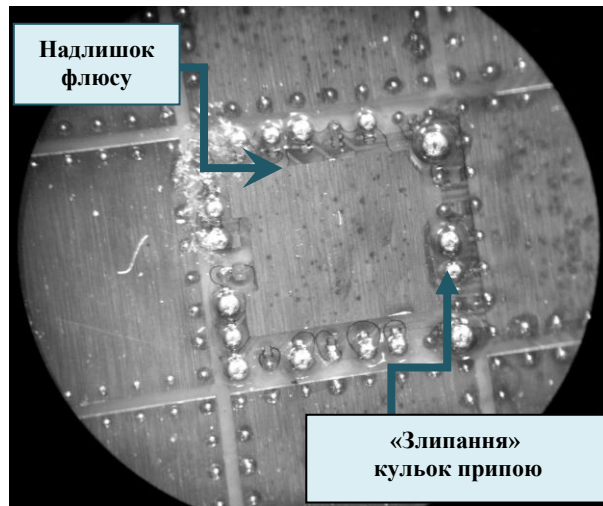
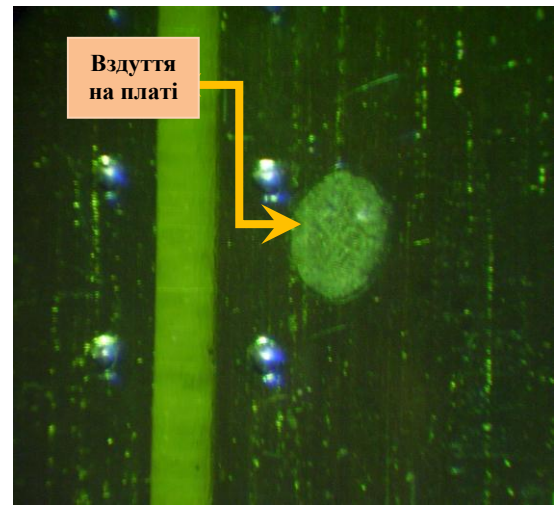


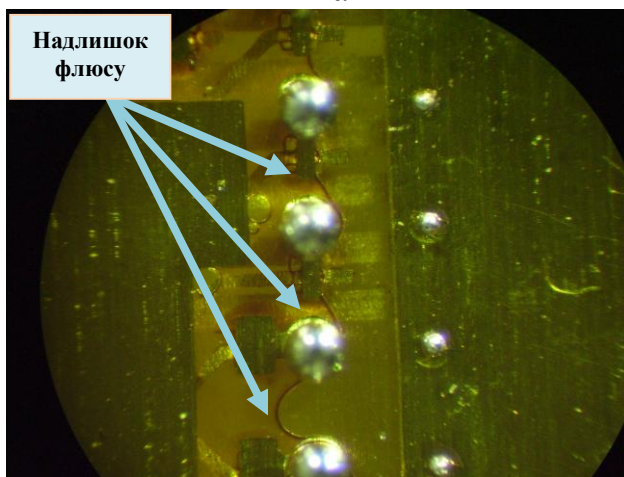
Рис. 16. Температурний профіль паяння



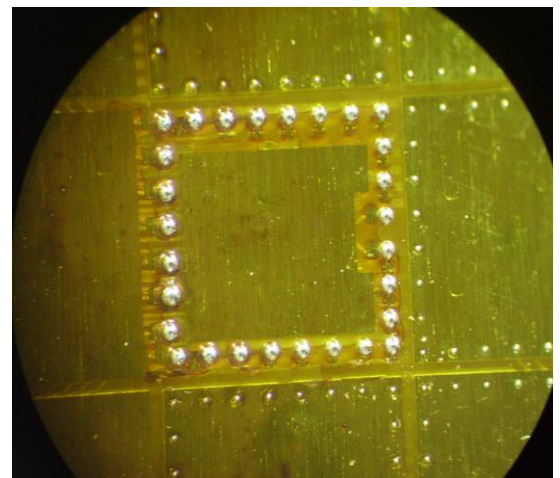
а



б



в



г

Рис. 17. Фотографії паяних з'єднань із дефектами (а-в) та бездефектного паяння кулькових виводів на контактні майданчики

- здуття поліімідної плівки та потрапляння флюсу між її шарами можна пояснити наявністю порожнеч у міжшаровому просторі гнучкого шлейфу, пов'язаними із недосконалістю технології його виготовлення.

Можна зробити висновок про необхідність подальшої оптимізації термопрофілю безпосередньо на підмикальній пластині БПП.

Після аналізу виниклих дефектів можна сформулювати такі рекомендації з удосконалення конструкції багатошарової підмикальної пластини БПП та покращення технології її виробництва:

- необхідно збільшити площу контактного майданчика до розмірів, еквівалентних 130 % діаметра встановлюваних кульок BGA;
- необхідно наносити нікель на всю поверхню контактного майданчика, а також збільшити товщину шару нікелю (з 5 до 15 мкм) на контактних майданчиках для можливості проведення операції реболінга (заміни зондів);
- необхідне додаткове міжшарове з'єднання гнучкої пластини, щоб уникнути розшаровування під впливом температури та флюсу;

- необхідно забезпечити захист міжшарових отворів у поліімідній плівці, щоб уникнути проникнення через них флюсів і очищувальних матеріалів;
- необхідно збільшити площу технологічних «полів» гнучкого шлейфа для зручності закріплення підмикальної плати під час встановлення зондів та під час експлуатації.

Врахування особливостей паяння на стадії проектування виробів у поєднанні з контролем режиму процесу паяння дозволяє значно знизити частоту появи дефектів на етапі паяння, що особливо важливо під час виготовлення гнучкої багатошарової пластини БПП та нанесенні на неї кулькових виводів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі отриманих результатів вирішено актуальне науково-практичне завдання з розробки та дослідження прецизійного підмикального пристрою для електричного контролю БКП і функціонального контролю ЕК із матричними кульковими виводами, який забезпечує підвищення надійності, зниження трудомісткості операцій контролю БКП та ЕК.

Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Шляхом синтезу технології виготовлення гнучких поліімідних мікрошлейфів та технології їх притиснення стисненням повітрям розроблені підмикальні пристрої, що забезпечують можливість підключення до БКП та ЕК на операціях контролю їх електричних параметрів за кількості одночасно контрольованих елементів до декількох тисяч в залежності від щільності їх розміщення.

2. Вдосконалено конструкторсько-технологічні рішення багатозондового контактного пристрою, що забезпечують можливість самотестування контакту кожного зонда з відповідною контрольованою точкою БКП або виводом ЕК за допомогою розщеплення зонда на декілька частин. За рахунок такого резервування контактних елементів БПП досягається підвищення якості його підключення до контрольованих об'єктів і, як результат, – надійності контролю їх електричних параметрів.

3. Розроблено модифікацію багатозондового підмикального пристрою з плоскими зондами, що забезпечує підключення компонентів BGA/CSP із матричними кульковими виводами до вимірювальних комплексів для здійснення вхідного та функціонального контролю та виключає можливість деформації таких виводів. На розробку отримано патент України № 95190.

4. Розроблено МЕМС-інтерфейс багатоточкових контролюючих пристроїв для підключення до складних комутаційних плат та електронних компонентів на операціях контролю, що виключає всі проміжні паяні та різні з'єднання між зондами багатозондового контактного пристрою і точками підключення автоматизованих контролюючих пристроїв або пультав контролю. Запропонований інтерфейс забезпечує скорочення витрат сировини під час виробництва пристроїв контролю,

зниження енерговитрат та зменшення площі робочого місця. На розробку отримано патент України № 98539.

5. На основі байєсівських статистичних рішень із метою зниження браку під час виробництва гнучкого шлейфа математично обґрунтовано вибір топології провідникової системи для виготовлення підмикального пристрою (в залежності від ширини та товщини провідників і відстані між ними, кількості шарів і міжшарових з'єднань та матеріалу). Обраний за допомогою такого підходу варіант топології забезпечує ймовірність отримання придатного гнучкого шлейфа на рівні $y^* = 99,80 \%$.

Запропонована модель дозволяє знизити трудомісткість проектування нових топологій БПП із оптимізацією за обраним параметром. Економія часу становитиме близько 20 годин для розробки однієї топології шлейфа БПП.

Виконано проектування декількох варіантів топологій, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі вибору топології шлейфа.

6. За допомогою методу кінцевих елементів проведено моделювання напружено-деформованого стану гнучкого шлейфу БПП під час контролю електронних компонентів. Запропонований підхід дає змогу проводити перевірку на руйнування підмикальної пластини, занадто велике просідання чи недостатній тиск кульки на контактний майданчик.

7. Досліджено вплив тиску в корпусі БПП на величину перехідного опору в зоні контакту «кульковий вивід-поліімідна плівка». Визначено допустимі значення тиску для забезпечення високої надійності контролю електричних параметрів електронних компонентів, які лежать в межах 0,056...0,25 МПа.

8. Проведено дослідження точності суміщення зонда БПП і кулькового виводу контрольованого ЕК. Визначено максимально допустимий зсув кулькового виводу відносно зонда БПП і максимально можливу похибку позиціонування.

9. Проведено дослідження процесу нанесення кульок припою на гнучкий шлейф БПП, який призначений для електричного контролю багатшарових комутаційних плат. На основі аналізу виниклих дефектів сформульовано рекомендації з удосконалення конструкції багатшарової підмикальної пластини БПП та вдосконалення технології її виробництва.

10. Матричні багатозондові підмикальні пристрої визначено як перспективний напрям вимірювальної техніки для контролю параметрів компонентів МЕМС типу кросбарів і подібних компонентів із малим кроком розташування контрольованих точок.

11. Результати роботи використано на підприємстві ДНВП «Об'єднання Комунар» (м. Харків), про що зазначено у відповідному акті впровадження. Очікуваний річний економічний ефект складає 5200 грн. для кожного типорозміру об'єкта контролю.

12. Результати досліджень впроваджено в навчальний процес і науково-дослідну роботу ХНУРЕ, а також навчальний процес Запорізького національного технічного університету та Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій : пат. 95190 України : МПК Н05К 3/40 / Борщов В. Н., Жарікова І. В., Коцій Л. Д., Лістратенко О. М., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Проценко М. А., Разумов-Фризюк Є. А., Старченко О. П., Тertiшний С. М., Тимчук І. Т.; заявл. 31.05.2010; опубл. 11.07.2011., Бюл. № 13. – 4 с.
2. MEMS-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів : пат. 98539 України : МПК Н05К 3/40 / Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк Є. А., Жарікова І. В., Костенко З. І.; заявл. 24.09.2010; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10. – 4 с.
3. Невлюдов И. Ш. Подключающее МЭМС-устройство для контроля BGA-компонентов / И. Ш. Невлюдов, Р. М. Мартыняк, В. А. Палагин, Б. С. Слободян, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова, М. И. Дмитрив, А. С. Беляев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – №1. – С.54-56.
4. Невлюдов И. Ш. Топология гибкого шлейфа для подключения к автоматизированным измерительным комплексам микросхем корпусе FG-320 / И. Ш. Невлюдов, В. Н. Борщев, В. А. Палагин, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова, И. Т. Тымчук, О. Б. Лукачев, М. А. Проценко // Технология приборостроения. – 2012. – №1. – С.21-25.
5. Невлюдов И. Ш. Метод подключения электронных компонентов к автоматизированным измерительным комплексам / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, И. В. Жарикова // «Восточно-европейский журнал передовых технологий». – 2013. – № 1/9 (61). – С. 4-7.
6. Невлюдов И. Ш. Исследование параметров многозондового подключающего устройства для контроля электронных компонентов / И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова // «Радиотехника»: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 170. – С. 137-140.
7. Андрусевич А. А. Методы мониторинга технологического оборудования при производстве радиоэлектронных средств / А. А. Андрусевич, И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : Зб. наук. праць. – 2012. – № 9. – С. 44-52.
8. Невлюдов И. Ш. Многозондовое подключающее устройство для контроля BGA-компонентов / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, И. Т. Тымчук, И. В. Жарикова, Е. А. Разумов-Фризюк // III Международная научная конференция «Функциональная компонентная база микро-, опто- и наноэлектроники», 28 сентября-2 октября 2010 г., Харьков-Кацивели. – Харьков, 2010. – С. 191-194.
9. Nevliudov I. Sh. MEMS Intellect Multiprobes Contacting Devices for Electrical Checking-up of Multilayers Commutative Boards and BGA/CSP Electronic Components / I. Sh. Nevliudov, V. A. Palagin, E. A. Razumov-Frizjuk, I. V. Zharikova // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012), September 14-17, 2012, Kharkov, Ukraine. – PP. 483-485.

10. Палагин В. А. Многозондовые подключающие устройства для контроля коммутационных плат и электронных компонентов / В. А. Палагин, И. Ш. Невлюдов, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова // Материалы VII Международного симпозиума «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». Т.1. – М. : РАН, 2012. – С. 186-194.

11. Zharikova I. V. Microelectromechanical systems testing challenges / I. V. Zharikova, I. Sh. Nevliudov // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Kluczowe aspekty naukowej działalności – 2012». Volume 17. Techniczne nauki. Fizyka. Fizyczna kultura i sport. – Przemyśl : Nauka i studia, 2012. – Str. 26-27.

12. Невлюдов И. Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния подключающего шлейфа многозондового устройства контроля электронных компонентов / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, И. В. Жарикова // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», 2-4 листопада 2012 р. – Кременчук : КрНУ, 2012. – С. 153-155.

13. Невлюдов И. Ш. Технологические особенности изготовления многозондовых подключающих устройств для контроля компонентов BGA/CSP / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова // Тези доповідей VI-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 19-21 вересня 2012 р., м. Запоріжжя. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. – С. 272-274.

14. Палагин В. А. Проектирование топологии гибкого полиимидного шлейфа многозондового устройства контроля электронных компонентов / В. А. Палагин, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова // Материалы 9-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2013», 22-26 апреля 2013 г. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 262.

15. Жарикова И. В. Исследование напряженно-деформированного состояния подключающей пластины многозондового устройства контроля электронных компонентов типа BGA/CSP / И. В. Жарикова // 16-й Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка і молодь в ХХІ ст.», 17-19 квітня 2012 р., м. Харків. – Зб. матеріалів форуму. Т.2. – Харків : ХНУРЕ, 2012. – С. 12-13.

16. Невлюдов И. Ш. Анализ особенностей создания электронных компонентов по BGA-технологии / И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова // Материали за VI Международна научна практична конференция «Основни проблеми на съвременната наука – 2010», Т. 23. Технологии. Физика, 17-25 април 2010 г. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД., 2010. – С. 62-65.

17. Беляев А. С. Макет многозондового контролирующего устройства для функционального контроля BGA/CSP компонентов / А. С. Беляев, И. В. Жарикова // 15-й Ювілейний міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка і молодь в ХХІ ст.», 18-20 квітня 2011 р., м. Харків. – Зб. матеріалів форуму. Т.2. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – С. 4-5.

18. Жарикова И. В. Автоматизация контроля электронных компонентов / И. В. Жарикова, Д. Ю. Малик // Матеріали Другої Всеукр. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем». – Сєвєродонецьк: Технол. ін-т Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2012. – С. 49-51.

19. Жарикова И. В. Использование пьезопроводов в средствах автоматизации операции производственного контроля электронных компонентов / И. В. Жарикова, А. А. Михайлов // 16-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.», 17-19 квітня 2012 р., м. Харків. – Зб. матеріалів форуму. Т.2. – Харків : ХНУРЕ, 2012. – С. 14-15.

20. Жарикова И. В. Электрический контроль многослойных коммутационных плат / И. В. Жарикова // 15-й Ювілейний міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.», 18-20 квітня 2011 р., м. Харків. – Зб. матеріалів форуму. Т.2. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – С. 24-25.

21. Невлюдов И. Ш. Основные принципы моделирования микроэлектромеханических систем и технологических процессов их изготовления / И. Ш. Невлюдов, И. В. Жарикова // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Физические процессы и поля технических и биологических объектов», 5-7 ноября 2010 г. – Кременчуг, 2010. – С. 109-111.

22. Невлюдов И. Ш. Микроэлектромеханические многозондовые подключающие устройства для контроля изделий электронной техники / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, И. В. Жарикова // Труды 23-й международной конференции «Новые технологии в машиностроении», 3-8 сентября 2013 г., п. Рыбачье. – Харьков: НЭУ «ХАИ», 2013.

23. Невлюдов И. Ш. Трассировка подключающей пластины многозондового устройства контроля BGA-компонентов / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, И. В. Жарикова, Е. А. Разумов-Фризюк, С. В. Курапов, В. С. Чеченя // Сборник научных трудов VI Международной научной конференции «Функциональная база нанoeлектроники», 30 сентября-4 октября 2013 г., Крым. – Харьков: ХНУРЭ, 2013.

АНОТАЦІЯ

Жарікова І. В. Багатозондові підмикальні пристрої для електричного контролю виробів електронної техніки. – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2013.

У роботі вирішене актуальне науково-практичне завдання розробки прецизійного багатозондового підмикального пристрою, який забезпечує підвищення надійності та зниження трудомісткості операцій електричного контролю багатопроводових комутаційних плат і електронних компонентів із матричними кульковими виводами.

На основі синтезу технології виробництва гнучких шлейфів на поліімідному носії та методу притиснення його до контрольованого об'єкта за допомогою стисненого повітря розроблено контактний пристрій для електричного контролю багатозондових комутаційних плат, а також вхідного та функціонального контролю електронних компонентів із матричними кульковими виводами типу BGA/CSP. Підвищення надійності контролю досягається завдяки дублюванню точок контакту шляхом розщеплення зондів на декілька частин та за рахунок обраних конструктивно-технологічних параметрів.

Вперше запропоновано МЕМС-інтерфейс для підключення БКП та ЕК до автоматизованих вимірювальних комплексів, який реалізується у вигляді гнучкого поліімідного шлейфа та дозволяє спростити конструкцію, зменшити масо-габаритні показники контактних пристроїв за рахунок усунення громіздких рознімних з'єднань на шляху підключення контрольованих виробів до вимірювального обладнання.

За результатами досліджень отримано патенти на винаходи № 95190 «Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій» та № 98539 «МЕМС-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів».

Ключові слова: багатозондовий підмикальний пристрій, електричний контроль, електронні компоненти з матричними кульковими виводами, багатозондові комутаційні плати, МЕМС-інтерфейс, автоматизований вимірювальний комплекс.

АННОТАЦИЯ

Жарикова И. В. Многозондовые подключающие устройства для электрического контроля изделий электронной техники. – Рукопись

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – технология, оборудование и производство электронной техники. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

В работе решена актуальная научно-практическая задача разработки прецизионного многозондового подключающего устройства (МПУ), которое обеспечивает повышение надежности и снижение трудоемкости операций электрического контроля многослойных коммутационных плат (МКП) и электронных компонентов (ЭК) с матричными шариковыми выводами.

На основании синтеза технологии производства гибких шлейфов на полиимидном носителе и метода прижатия его к контролируемому объекту с помощью сжатого воздуха разработано контактное устройство для электрического контроля МКП, а также входного и функционального контроля ЭК с матричными шариковыми выводами типа BGA/CSP.

Повышение надежности контроля параметров достигается за счет дублирования точек контакта путем расщепления зондов на несколько частей, а также благодаря предложенным конструктивно-технологическим решениям.

Впервые предложен МЭМС-интерфейс для подключения МКП и ЭК к автоматизированным измерительным комплексам, который реализуется в виде гибкого полиимидного шлейфа и позволяет упростить конструкцию, уменьшить массогабаритные показатели контактирующих устройств за счет устранения громоздких разъемных соединений на пути подключения контролируемых изделий к измерительному оборудованию.

На основе байесовских статистических решений с целью снижения брака при производстве подключающего устройства математически обоснован выбор топологии проводниковой системы гибкого шлейфа. Результаты математического моделирования подтверждены проектированием и анализом различных вариантов топологии гибкого подключающего шлейфа контактного устройства.

Исследовано влияние давления воздуха в корпусе МПУ на величину переходного сопротивления в зоне контакта «шариковый вывод-полиимидная пленка». Определены допустимые значения давления для обеспечения высокой надежности контроля электрических параметров электронных компонентов.

На основе метода конечных элементов выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния гибкого шлейфа МПУ во время контроля ЭК. Предложенный подход дает возможность проводить проверку на разрушение, слишком большое проседание подключающей пластины и недостаточное давление шарикового вывода на контактную площадку.

Проведено исследование точности совмещения зонда МПУ и шарикового вывода контролируемого ЭК. Определены максимально допустимое смещение шарикового вывода относительно зонда МПУ и максимально возможная погрешность позиционирования.

Проведено исследование процесса нанесения шариков припоя на гибкий шлейф МПУ, предназначенного для электрического контроля многослойных коммутационных плат. На основе анализа возникших дефектов сформулированы рекомендации по усовершенствованию конструкции многослойной подключающей пластины МПУ и усовершенствованию технологии ее производства.

По результатам исследований получены патенты на изобретения № 95190 «Микроэлектромеханическое многозондовое подключающее устройство» и № 98539 «МЭМС-интерфейс многоточечных автоматических контролирующих комплексов».

Результаты работы использованы на предприятии ГНПП «Объединение Коммунар» (г. Харьков), а также в учебном процессе на кафедре ТАПР ХНУРЭ, что подтверждается соответствующими актами.

Ключевые слова: многозондовое подключающее устройство, электрический контроль, электронные компоненты с матричными шариковыми выводами, многослойные коммутационные платы, МЭМС-интерфейс, автоматизированный измерительный комплекс.

ABSTRACT

Zharikova I. V. The multiprobes connecting devices for electrical testing of electronic devices. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.27.06 – Technology, equipment and production of electronic technique. – Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, 2013.

An actual scientific and applied problem of multiprobes connecting device design for multilayer commutative boards and electronic components electrical parameters testing is solved. The device for connecting a few thousands test points on units under test to automatic testing equipment are made with synthesis of known flexible multilayer printed boards, matrix leads BGA/CSP components and air cushion press technologies. Such test fixtures are simple and cheap.

Nontraditional form for probes and method of pressing it to contact lands on boards matrix leads of BGA/CSP electronic components was found. The test fixture with connecting doubling or multitudinous probes to each testing point on unit under test give opportunity for self-monitoring contact of each probe to test point.

Three disconnections take place in test fixtures: the first, between unit under test and probes; the second, between transfer fixture-cable to tester; the third, in entrance of testing equipment. Proposed MEMS interface solves this problem by way of elimination two disconnections from three by using whole test fixture from probes of connecting device to automate testing equipment.

The proposed test fixture can be used as intellect interface between multilayer commutative boards, electronic components and testing equipment at the enterprises-manufacturers of electronic means for electric parameters testing and also for replacement of old or expensive equipment.

The practical significance is determined by patents on inventions № 95190 «Microelectromechanical multiprobe connecting device» and № 98539 «MEMS interface of multidrop automatic testing equipment».

Key words: multiprobes connecting device, electrical testing, BGA electronic component, multilayer commutative board, MEMS interface, automated measuring equipment.

