

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет радіоелектроніки і телекомунікації
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Мікро- та наноелектроніки
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)
Бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему:
Оцінка температурного впливу на міцність з'єднань при сборки мікросхем

Виконав: студент 4 курсу, групи: РТ-317

**Спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна
техніка**

Освітня програма (спеціалізація)
Мікро- та наноелектроні прилади і пристрої

Саввон Б. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник **Матюшин В. М.**
(прізвище та ініціали)

Рецензент **Манукян О. А.**
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Факультет радіоелектроніки і телекомунікації
 Кафедра Мікро- та наноелектроніки
 Ступінь вищої освіти Бакалавр
 Спеціальність **153-** Мікро- та наносистемна техніка
 (код і найменування)

Освітня програма спеціалізація Мікро- та наноелектроні прилади і пристрої
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
 «_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

_____ Саввона Богдана Владиславовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Оцінка температурного впливу на міцність з'єднань при сборки мікросхем

керівник проєкту (роботи) д-р. фіз.-мат. наук проф. Матюшин Володимир Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» травня 2021 року №190

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 25 травня 2021 _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) кремнієві мікросхеми, стандартна методика вимірювання ІС, технологічне обладнання для термічних випробувань. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1: Загальні відомості про мікросхеми. Розділ 2: Дослідження ІС після термічного впливу. Висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1	Професор Матюшин В. М.		
2	Професор Матюшин В. М.		

7. Дата видачі завдання «26» квітня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	При міпка
1	Обзор інформації про загальні відомості мікросхем	29.03-1.04	
2	Знайомство з технологічним обладнанням для для вимірювання мікросхем	6.04-12.04	
3	Знайомство з технологічним обладнанням для нагріву мікросхем	6.04-12.04	
4	Розробка методики проведення досліджень	12.04-15.04	
5	Проведення досліджень: температурний вплив на на мікросхеми при сборці	24.04-27.04	
6	Аналіз отриманих результатів	27.04-12.05	
7	Написання пояснювальної записки	17.05-19.05	

Студент(ка)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІКРОСХЕМИ.....	8
1.1 Мета дипломного проекту.....	8
1.2 Характеристика технологічного процесу зборки ІС	10
1.3 Оцінка якості складальних операцій.....	18
1.4 Перелік основних технологічних операцій	19
1.4.1 УЗЗ у корпусах ІС, не утримуючих дорогоцінних металів.	21
1.4.2 Дослідження динаміки процесу УЗЗ.....	22
1.5 Вплив теплових дій на механічну міцність Al-дроту і міцність дротяних перемичок.....	25
1.6 Види відмов ІС в процесі виготовлення.	27
1.7 Види мікроінструментів (інструмент для мікрозварки).....	31
1.8 Механічні руйнування Al металізації і їхній вплив на якість виробів	33
1.8 Методи контролю якості приєднання виводів	36
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІС ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ	38
2.1 Обґрунтування і мета.	38
2.2 Методика проведення	45
2.3 Аналіз і обробка даних.	57
2.4 Висновки	70
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	73

РЕФЕРАТ

ПЗ: 75 с., 14 рис., 9 табл., 27 джерел.

Мета роботи – дослідження технологічних процесів виготовлення ІС, оцінка температурного впливу.

Методи дослідження – технічні та інформаційні

Методи проектування – технічний

В першому розділі розглянуто технічний процес збірки мікросхеми, також процес герметизації мікросхеми у корпусі методом пайки.

У другому розділі було проведене технічне дослідження температурного впливу, при зварюванні корпусу, на мікросхему та корозію кристалу за наявністю вологості у герметичному корпусі.

ТЕХНІЧНИЙ ПРОЦЕС РОЗРОБКИ МІКРОСХЕМИ, РУЙНУВАННЯ МІКРОСХЕМИ ЗА ТЕМПЕРАТУРНИМ ВПЛИВОМ, ВОЛОГІСТЬ У КОРПУСІ, КОРОЗІЯ.

ВСТУП

Технічний прогрес будь-якої країни в значній мірі визначається станом радіоелектроніки, рівнем застосовуваної в народному господарстві радіоелектронної апаратури (РЭА). З кожним роком ускладнюються задачі, виконувані РЭА. Це викликає настільки значне збільшення числа елементів електричної схеми, що надійність РЭА може стати катастрофічно малою, а трудомісткість виробництва - неприпустимо великою.

Рішення проблеми підвищення надійності і зниження витрат може здійснити тільки мікроелектроніка. Інтегральні схеми дозволяють різко підвищити функціональне призначення РЭА при тих же габаритах. Також застосування мікросхем значно знижує енергоспоживання апаратури, що істотно важливо для народного господарства.

Якість техпроцесу створення ІС, чіткий підбор режимів усіх технологічних операцій, дозволить підтримувати необхідну надійність мікросхем, що виготовляються.

Існує три основних етапи виготовлення мікросхем:

- виготовлення кристала;
- зборка;
- іспиту.

У принципі всі етапи важливі у виготовленні ІС, однак зародження "основи" виробу - кристала - є найбільш істотним. На цьому етапі формуються всі основні характеристики виробу, забезпечується необхідна "захист" окремих елементів і усього виробу в цілому.

Надійність виробу насамперед залежить від числа елементів, що входять в електричний ланцюг приладу (ступінь інтеграції). Чим більше число елементів, тим більше складніше забезпечувати надійність. Тільки техпроцес дозволить судити про якість виробу. Насамперед необхідно мати ділянку, що відповідає всім необхідним вимогам електронно-вакуумної гігієни. З огляду на малі (у трохи мікрон) розміри елементів, порушення параметрів повітряного середовища по "запыленности" приводить до прояву дефектів кристала, таким

як "проколи" в окислі, дефекти фотогравіровок, порушення геометричних розмірів елементів і ін. Зазначені дефекти, як правило, виявляються на більш пізньому етапі виготовлення при перевірці електричних параметрів і при іспитах.

Дана дипломна робота присвячена дослідженням причин відмовлень мікросхем у процесі іспитів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МІКРОСХЕМИ

1.1 Мета дипломного проекту

Проведені дослідження технологічних процесів виготовлення ІС, як правило, спрямовані на виявлення причин, що приводять до забраковки виробів на кожній конкретній операції.

У нашому випадку предметом дослідження є техпроцес зборки мікросхем, що виготовляються в корпусах, герметизуємі методом пайки.

Аналіз основних операцій (наклейка, приєднання виводів, герметизація) показує, що при відпрацьованій технології значна частка браку залежить від якості матеріалів, що надходять, комплектуючих, кваліфікації працівників, точності настроювання устаткування, підбора оснащення і т.д. Однак, як правило, технологічний процес кожної з операцій далекий від досконалості. Відпрацьовані режими, описані технологічною картою, вихід придатних на операції, дефекти браку і т.д. є усередненими (найчастіше поширюються на усі вироби і типи приладів, що проходять через дану операцію) і показують якусь величину, виведену на підставі досвіду роботи за визначений період. При зміні яких-небудь умов, виникають відхилення % виходу придатних, змінюється якість виробів і т.д. Характеристики і види відмовлень показують, що істотний вплив на якість виробів при виконанні операцій зборки робить:

- якість кристала;
- чистота і якість матеріалів;
- точність настроювання устаткування;
- якість оснащення;
- кваліфікація працівників.

Для мікросхем (площа кристала менш 2 мм²) для посадки кристала застосовується клей ВК32-200. У той же час у промисловості успішно використовується клей ВК-26М, у якого " сила кріплення, що тримає кристал до підстави значно більше, ніж у клею ВК32-200. Однак застосування цього клею вимагає значної зміни режиму сушіння.

Іншою операцією, від якої залежить надійність конструкції і якість ІС є "приєднання виводів". З огляду на топологію кожного кристала, можливості автоматів мікрозварювання, властивості Al дроту маємо визначений рівень техпроцесу і "сталі" види дефектів. Однак у процесі виробництва виникають періоди, при яких спостерігаються різкі перепади в % виходу придатних і, як наслідок, зниження якості виробів. Це походить від різних причин, але основними є:

- неякісний Al дріт (тверда);
- погане настроювання автомата;
- неправильно обраний режим зварювання;
- низька кваліфікація працівників;
- неякісне оснащення (голка).

І однієї з основних операцій техпроцесу зборки є "герметизація", якісне виконання якої істотно впливає на надійність приладів. Для мікросхем герметизація яких виробляється методом "пайки", велику роль грає сам метод герметизації і відпрацьований техпроцес.

Крім того, з огляду на "руйнівне" вплив вологи на надійність виробів, одним з етапів підвищення надійності і якості герметизації є розробка техпроцесов видалення вологи з внутрішнього обсягу приладу перед "герметизацією".

Метою даної дипломної роботи і є розробка оптимального технологічного процесу складальних операцій, що передбачає застосування самих прогресивних технологічних процесів і матеріалів, спрямованого на підвищення виходу придатних і якості ІС.

1.2 Характеристика технологічного процесу зборки ІС.

Напівпровідникові інтегральні схеми збираються за типовою технологією: пластини ріжуться на кристали, кристали вмонтовуються в корпусі, приєднуються виводи, герметизується корпус (рис 1).

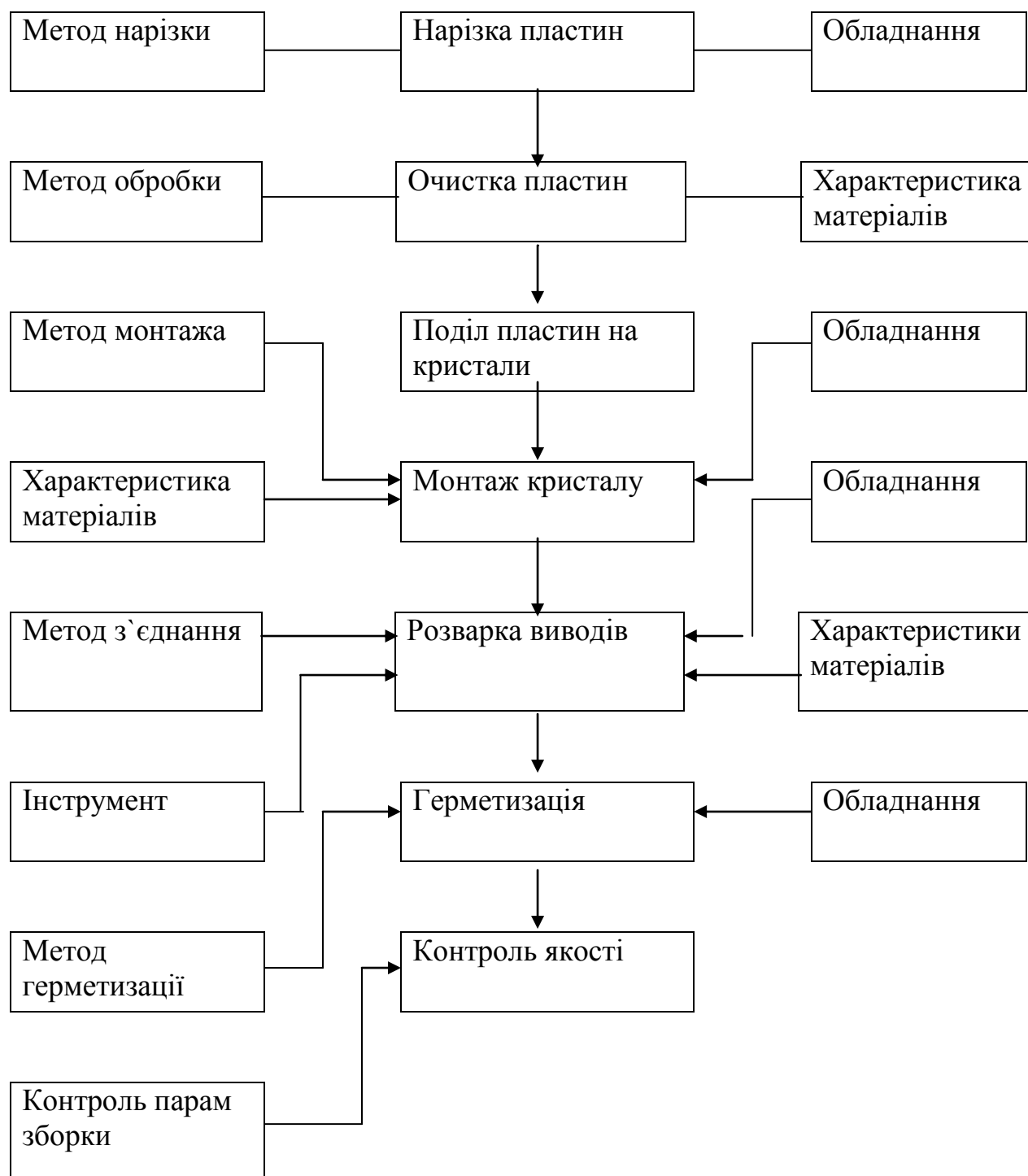


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу зборки ІС.

Проте, кожен технологічний процес може здійснюватися різними методами, переслідуючи одне – створення надійного виробу, здатного витримувати необхідні (для кожної ІС свої) дії. Тому виробник, перш за все, вивчає вимоги, що пред'являються до виробів, умови їх застосування і експлуатації. Велике значення грає вивчення механізмів відмов і правильне з'ясування причини, що приводить до забраковки мікросхем.

Вибір процесу збірки ІС ґрунтується, перш за все, на конструктивно технологічних особливостях кожного виробу, його виконуваних функцій в апаратурі споживачів. Річ у тому, що від умов експлуатації залежить вибір матеріалу корпусу, метод посадки кристала на корпус, метод герметизації і ін. Всі ці чинники сильно впливають на надійність виробу. Не останню в забезпеченні надійності складальних операцій грає правильний вибір матеріалів, вживаних безпосередньо для збірки виробів. Це, перш за все, матеріал, за допомогою якого кристал кріпиться на корпус і дріт для розварювання внутрішніх виводів.

Аналіз причин виходу з ладу мікросхем при експлуатації і у виробництві дозволяє встановити, що на сучасному етапі розвитку мікроелектроніки характерне переважання відмов, обумовлених руйнуванням деяких елементів конструкції, унаслідок недосконалості окремих технологічних операцій, або порушень техпроцесу і різних порушень вимог НТД.

Таблиця 1.1 – Розподіл відмов по видах.

№ п/п	Вид відмовлення	Передбачувана причина	%
1	Обрив дротового висновку	1. Мала механічна міцність 2. Взаємна дифузія металу й утворення інтерметаллических з'єднань у зоні зварювання 3. Зменшення перетину дроту 4. Перевищення припустимих механічних навантажень	20
2	Обрив тонкопленочных провідників	1. Механічне ушкодження, підтравлювання 2. Перевищення припустимого рівня струму 3. Хімічна й електрохімічна корозія	20
3	Підвищені струми витoku і коротке замикання	1. Забруднення поверхні кристала 2. Зсув крапки зварювання; вихід за "кишеню"	16
4	Відмовлення по електричних параметрах, нестабільність	1. Забруднення кристала 2. Низькі коефіцієнти підсилення	21
5	Відмовлення через дефекти корпуса, зборки, герметизації	1. Мала герметичність 2. Корозія деталей корпусу 3. Механічне ушкодження висновків 4. Ушкодження корпусу	17

		5. Деформація висновків 6. Низька механічна міцність "наклейки"	
6	Дефекти кристала	1. Пробої і перевитрати 2. "Змикання" кишень	6

Основними джерелами повних відмовлень мікросхем (див. табл. 1.1.) є порушення електричних ланцюгів. Причинами таких дефектів (а їх більш 50%) є недостатня міцність зварених з'єднань, виникнення небажаних інтерметалевих з'єднань у контактах різнорідних матеріалів (у нашому випадку Al-Ni), механічні, електричні і хімічні руйнування провідників. Технологічні процеси операцій зборки повинні "гарантувати" несанкціонований механічний вплив на деталі мікросхеми (корпус, висновок, кристал). Адже досить невеликого торкання навіть кінчиком голки струмоведучих доріжок на кристалі, як відбувається обрив.

Найбільш повне представлення по якості конструкції ІС дає технологічний процес складальних операцій (рис.1.2).

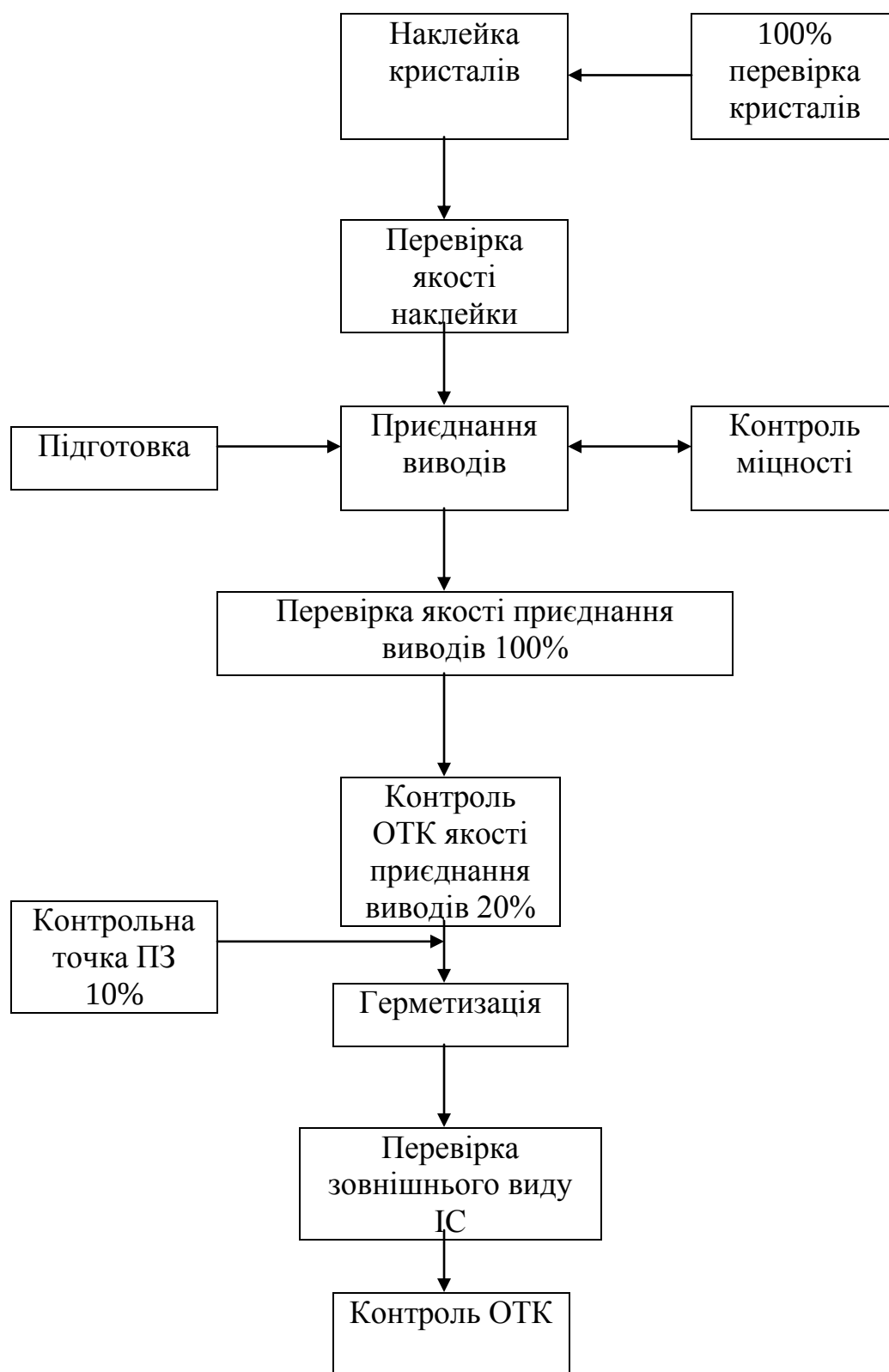


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу збірки ІС

1.2.1 Аналіз технологічного процесу зборки ІС.

Мікросхеми виготовляються по планарній технології з використанням кремнієвих пластин діаметром 100 мм. Товщина пластин 480-500 мкм. Для виготовлення ІС використовується корпус, з нікелевим покриттям виводів і дна корпуса. Покриття хімічне, товщиною 8 - 12 мкм. На рис. 3. представлена типова схема техпроцесу зборки.

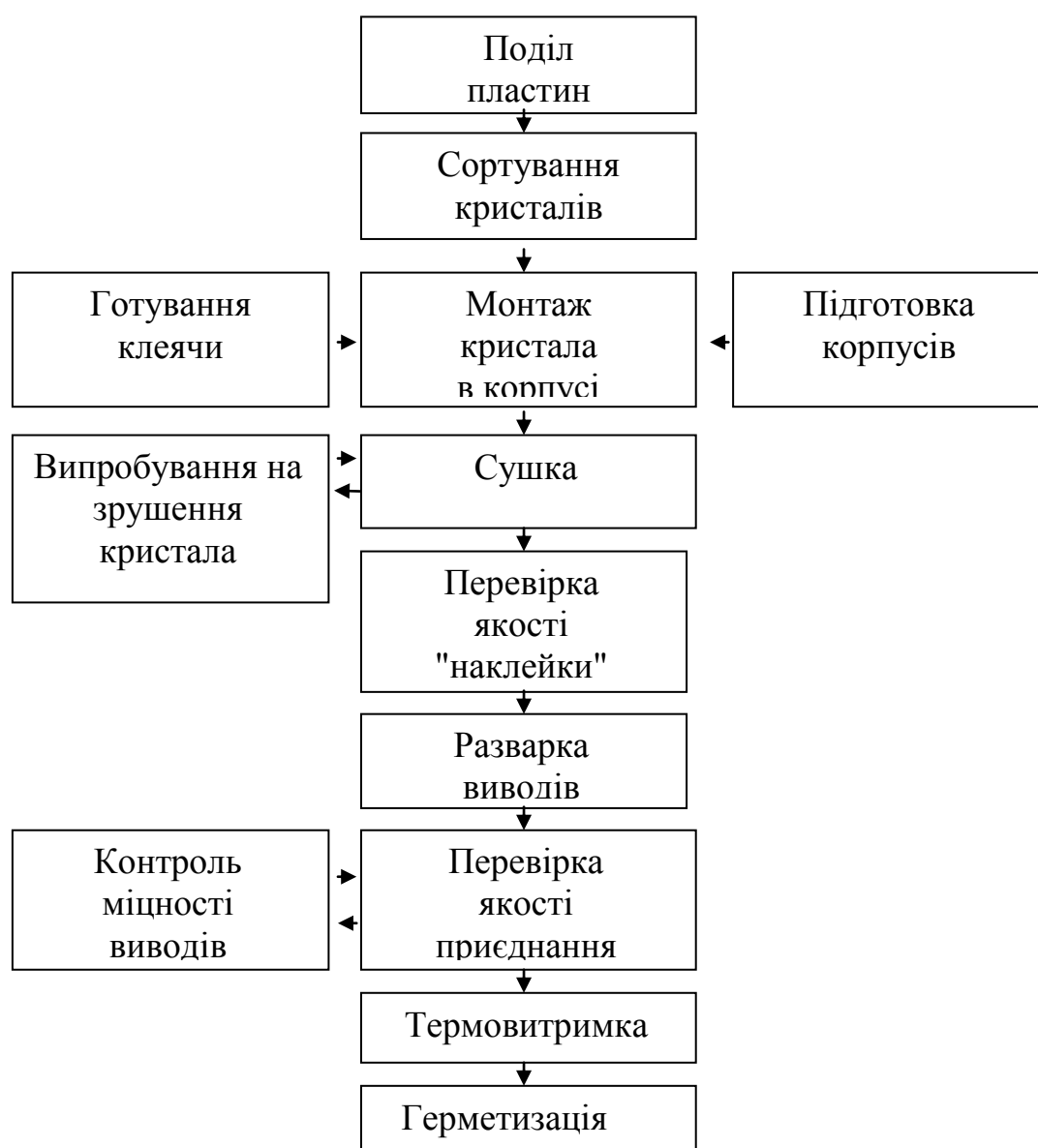


Рисунок 1.3 - Структурна схема процесу зборки ІС.

А). Поділ пластин на кристали і їхнє сортування.

Кремнієві пластини можуть бути розділені на окремі кристали різними способами. У нашому випадку у виробництві ІС виробляється дискове різання пластин на глибину $2/3$ товщини (тобто 340 - 360 мкм) з наступним ламанням. Тут і починаються перші "неприємності" із кристалами. Перед різкої пластини містяться на "липкий" носій. Після прорізки на $2/3$ товщини, ламання і розтяжки технологічний процес може піти по двох напрямках:

а) Автоматизована зборка;

б) Ручна зборка.

При автоматизованій зборці кристали залишаються на липкому носії після попередньої перевірки якості зовнішнього вигляду. Бічний різ при цьому практично не контролюється.

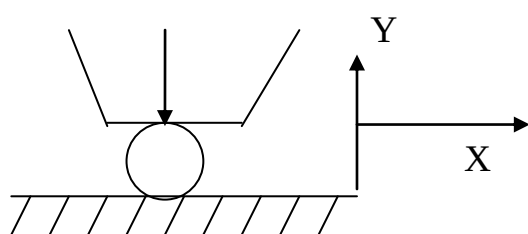
При ручній зборці кристали по одному перевіряються по зовнішньому вигляді й укладаються в спеціальні касети.

А). Монтаж кристалів.

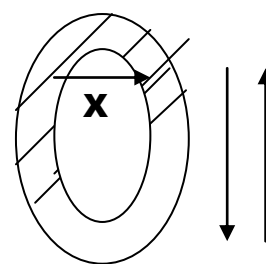
Дана операція виробляється у виробництві з використанням автомата наклейки ОЗПЗ - 1500 і вручну. Для приєднання до денця корпусу використовується полімерний клей ВК-26М, що має малий коефіцієнт лінійного розширення. Основна складність даної операції - однорідність клеючи в плинні роботи. Справа в тім, що клей готується порціями, і термін його придатності - 8 - 10 годин, після чого відбувається зміна його властивостей. Але замічено, що після 2 - 3 годин роботи на дозаторі з'являються "нитки" клею, що попадають на корпус і кристал. При цьому змінюється "плинність" клею, що може привести до зменшення "дози" клею під кристалом і, отже, до зміни величини сили кріплення. На цій стадії виготовлення найбільш важливий етап - "сушки" клею. Від режиму сушки і способу його виконання залежить надійність виробу при впливі механічних і кліматичних іспитів.

Б). Приєднання виводів.

З'єднання дротом є найбільш важливим етапом зборки ІС. Воно може виконуватися золотим дротом методом термокомпресії, ультразвуковим зварюванням дротом з алюмінію. При використанні корпусу з нікелевим покриттям у техпроцесі ІС застосовується УЗС дротом діаметром 35 мкм. На рис.4 показаний процес ультразвукового зварювання. УЗС - це з'єднання металів у твердому стані шляхом порушення в деталях пружних коливань, що зварюються, УЗ частоти при одночасному створенні тиску. Сам процес характеризується трьома основними параметрами: Механічне навантаження



а) Підкладка



б) Напрямок вібрацій

Ці параметри взаємозалежні. Оптимальним режимом процесу можна вважати такий, при якому досягнуті максимальні зусилля при іспитах на міцність при збереженні електричних властивостей структур. Якість зварених з'єднань насамперед залежить від матеріалів дроту і покриття виводів.

Герметизація.

Заключна операція маршруту зборки, від якого залежить якість і надійність ІС при роботі в апаратурі і збереженні. Показником якості герметизації є герметичність - здатність якої-небудь замкнутої конструкції не пропускати через свої елементи чи рідину газ. Тому що абсолютно непроникних конструкцій нема, герметичність характеризується "припустимою" течією в одиницях потоку чи рідини газу.

Постійне прагнення до підвищення компактності, мініатюризації і швидкодії електронних систем викликає збільшення щільності потужності, що розсіюється, що ускладнює тепловідвід від активних компонентів і висуває додаткові вимоги до конструкції корпусів і способам їхньої герметизації.

Герметизація і конструктивне виконання корпусів є не менш складною проблемою, чим створення працюючого кристала.

У залежності від типу корпусу герметизація виконується пайкою, зварюванням і ін.

Мікросхеми виготовляються в металево-керамічних корпусах, елементи яких мають нікелеве покриття. Герметизуються пайкою. Найбільш важливим питанням при герметизації пайкою є техпроцес і устаткування. Саме від їхнього якісного підбору залежить надалі надійність виробів.

1.3 Оцінка якості складальних операцій.

З огляду на важливість процесу зборки, а саме на даному етапі закладається надійність усього виробу, виготовлювач уводить велику кількість контрольних і оцінних операцій, що (за визначеними показниками) характеризують на кожному етапі не тільки якість виробу, але і правильність виконання операції і виборів режиму.

До числа таких операцій відносяться:

- випробування на "зрушення" кристала після наклейки;
- перевірка зовнішнього вигляду арматур;
- контроль міцності зварених з'єднань;
- перевірка якості приєднання висновків;
- випробування на "зрушення" кришки після герметизації;
- кліматичні іспити;
- механічні іспити й ін.

Кількість і обсяг оцінних операцій залежить від стану рівня якості виробів на відбраковочних операціях.

1.4 Перелік основних технологічних операцій.

1. Скрайбування. Операція призначена для різання пластин на окремі кристали мікросхем. Різання виробляється спеціальними алмазними дисками ДАР 2, ДАР 4 на глибину $2/3$ товщини пластини.

2. Ламання пластин. На спеціальній вакуумній установці виробляється растяжка і ламання "надрізаних" пластин з наступною вибіркою придатних кристалів на касети.

3. Маркування основ. Під кожен партію кристалів готуються корпуси (підстави). Перед запуском їх у виробництво на кожен корпус наноситься маркування типу схеми, номера партії кристалів, знак стателектрики. Маркування проводиться чорною фарбою МКЭ 4, КМСБС, МА з наступним сушінням протягом 2-х годин при $t=+150^{\circ}\text{C}$.

4. Наклейка. На даній операції виробляється посадка кристала ІС у корпус методом "наклейки". Застосовуються особливі полімерні клеї ВК 26М, ВК 32-200. Наклейка виробляється як вручну, так і з використанням автоматичного устаткування. Орієнтація кристала щодо висновків корпуса строго контролюється.

5. Сушіння. Найбільш відповідальна операція даного етапу. Від якості, який залежить загальна надійність конструкції ІС. Виробляється східчасто в спеціальних печах ІК-сушки. Витримка виробів на кожному ступені - 15 - 20 хв. Режим: $(70 - 110 - 150 - 180 - 150 - 110 - 70)^{\circ}\text{C}$.

6. Перевірка якості наклеєних арматур. Оцінюється якість наклейки кристала, якість сушіння клею (по кольорі), якість зовнішнього вигляду кристала. Не допускається:

- зсув кристалу;
- розворот кристала більш 10° ;
- клей на кристалі;
- колір клею, крім коричневого.

7. УЗС приварку виводів. Проводиться розварка виводів мікросхеми (кристала) із зовнішніми виводами корпусу. Розварка проводиться на установках ОЗУН-10000 алюмінієвим дротом діаметром 35 мкм.

8. Перевірка якості приєднання виводів. Перевіряється правильність розварки (згідно креслення) і якість виконання. Не допускаються:

- зсув крапки приварки за край площадки більш 1/3;
- наявність "хвостів" на кристалі;
- подряпини на кристалі;
- високі і низькі дуги;
- коротке замикання між виводами.

9. Перевірка міцності. Оцінюється міцність привареного виводу. Це руйнує метод, що вимагає фіксації зусилля відриву дроту. Перевірка проводиться на 1 шт. від партії. Якщо зусилля менш 5 м, уся партія бракується.

10. Термовидержка при $t=+150^{\circ}\text{C}$ протягом 48 годин. Перед герметизацією ІС витримуються при підвищеній температурі для видалення вологи і зняття механічних напруг кристала і корпусу.

11. Герметизація. Проводиться пайкою в конвеєрній печі в нейтральному азотному середовищі, що виключає улучення вологи.

12. Зовнішній вигляд. Перевіряється "шов" герметизації, конструкція корпусу.

13. Термоциклювання. Перший етап відбраковочних іспитів. Прилади піддаються термоударам у спеціальних камерах -60°C - $+150^{\circ}\text{C}$. Кількість циклів 5 - 10. Час на ступені - 15 хв.

14. Просічка рамки. Частина обвідної рамки відтинається, залишається тільки сполучна лінія між виводами.

15. Лудіння виводів. Нікелеве покриття покривається Sn-Bi покриттям для забезпечення якості пайки.

16. Електротермотренування. Проводиться протягом 48 - 168 годин при $t=+125^{\circ}\text{C}$ на спеціальних стендах. Це найбільш ефективний вид відбраковочних випробувань, що забезпечує найгірші для ІС умови.

17. Обсічка рамки. Розсікаються перемички між виводами. Тепер ІС не захищена від впливів статичної електрики.

18. Вимір статичних параметрів при $t=+25^{\circ}\text{C}$ і $+125^{\circ}\text{C}$.

Виробляється відбраковування потенційних-ненадійних ІС, чий параметри не відповідають установленим нормам. Проводиться на вимірниках по заданим за допомогою ЕОМ програмам.

19. Перевірка герметичності. Оцінюється цілісність корпусу, наявність трісків кераміки, щілин. Допускається величина "отворів" не більш 100 А.

20. Перевірка на вплив лінійних прискорень. Мікросхеми в спеціальних барабанах піддаються впливу лінійних прискорень у 20000 g з наступною перевіркою електричних параметрів.

21. Маркірування. Наноситься товарне "маркірування" виробу.

Містить:

- товарний знак;
- серію ІС;
- тип ІС;
- дату виготовлення.

22. Зовнішній вигляд. Остаточна перевірка товарного виду виготовленої продукції.

1.4.1 УЗЗ у корпусах ІС, не утримуючих дорогоцінних металів.

Дротовий мікромонтаж з'єднань у корпусах ІС і БІС АІ дротом, легованої 1% кремнію, здійснюють, головним чином, УЗ-мікрозваркой на автоматичному і напівавтоматичному устаткуванні. Якість з'єднань

визначається міцністю мікрозварювання і залежить як від режимів мікрозварювання, так і від матеріалів контактної площадки.

Для одержання високої міцності з'єднань технологічні режими УЗ-мікрозварки були оптимізовані за допомогою математичної моделі 2-го порядку. Зусилля дифузійної взаємодії контактуючих у процесі мікрозварювання металів було досягнуто шляхом пропущення імпульсу електричного струму через з'єднання. Це дозволило досягти високої міцності з'єднань (18-19 г), виконаних по контактних площадках з гальванічним покриттям сплавами Ni - В.

1.4.2 Дослідження динаміки процесу УЗЗ.

Зварювальна зона при УЗЗ являє собою сукупність трьох видів взаємодії:

- пружна деформація;
- пластична деформація;
- фрикційний зрив.

Для одержання якісного звареного з'єднання необхідні оптимальні енерговложенія в кожне зварювання. З іншого боку, якість зварювання залежить і від динаміки споживання витраченої енергії. У даній роботі задача керування динамікою енерговложенія зважується за допомогою методу саморегулювання, що передбачає інтонацію процесів тертя і схоплювання в зоні зварювання і реакцію УЗ коливальної системи (УЗКС) на ріст опору зварювальної зони.

Проведення УЗКС у часі можна розбити на три етапи:

- початковий;
- основний;
- заключний.

Початковий етап характеризує вихід системи в заданий стан. Час виходу системи в заданий стан визначається інертністю складових частин УЗКС і складає 10 - 15% від загального часу зварювання.

Основний етап визначає поводження системи при росту сил опору зони зварювання до заданого значення і складає 70 - 80% від загального часу зварювання. Природно, одержання кожного звареного з'єднання буде вимагати різної тривалості в залежності від стану конкретної зварювальної зони.

На заключному етапі УЗКС переходить у режим стабілізації основних параметрів, що забезпечує тільки пружну деформацію дроту, що приварюється. Тривалість цього етапу складає 5 - 15% від загального часу зварювання.

Дослідження динаміки процесу УЗЗ у роботі проводилася за допомогою п'єзоелектричного методу. П'єзоелектричний датчик жорстко встановлюється у верхній частині предметного столика таким чином, що площини чуттєвих сторін п'єзокераміки були перпендикулярні напрямку УЗ-коливань зварювального інструмента. Напруга на датчику являє собою що обгинає і є сумою трьох складових:

$$U_d = U_{пд} + U_{уд} + U_{ф.с.}$$

де $U_{пд}$ - складова напруги від пластичної деформації (буде мінятися назад пропорційно ступеня деформації привареного дроту);

$U_{уд}$ - складова напруги від пружної деформації (являє собою постійну величину);

$U_{ф.с.}$ - складова напруги від фрикційних зривів (характеризується різко змінюється в часі сигналом і перекинуттям синусоїди).

Для обох кривих початковий етап 1 визначається інерційністю УЗКС і може бути скорочений за часом за рахунок попередньої подачі Уз-коливань. Крім того, напруга на датчику для кривої б більше напруги на датчику для

кривої а приблизно в 1.5 рази, що свідчить про додаткові витрати енергії при використанні "твердої" УЗКС.

На 2 - м етапі крива а має падаючу характеристику, назад пропорційну росту опору зони зварювання. Для кривої б другий етап характерний наявністю фрикційних зривів і відсутністю реакції зварювального інструмента на зміни в зварювальній зоні. Фрикційні зриви в 2 - м етапі в контакті дріт-деталь приводять до руйнування вже утворилися зварювальних містків, а в контакті інструмент-дріт - до надмірної деформації дроту.

Третій етап лише для системи керування оптимальної по твердості. На цьому етапі КСУ переходить у режим стабілізації і що обгинає а представлена постійної складовий пружної деформації.

"Тверда" УЗКС не виходить на аналогічний режим на заключному етапі й огибающая б містить у собі всі три складові напруги на датчику. Відсутність переходу "твердої" УЗКС у режим стабілізації знижує якість зварених з'єднань і значно ускладнює налаштування режимів зварювання.

а) для оптимальної по твердості УЗКС;

б) для "твердої" УЗКС.

Дослідження проводилися за допомогою додаткового дозування замазки-енергії за рахунок часу зварювання. Для оптимальної по твердості УЗКС (крива а) міцність практично не міняється при збільшенні часу зварювання в 3 рази, що свідчить про стабілізацію процесу після утворення звареного з'єднання. "Тверда" УЗКС дає круто падаючу характеристику (крива б), що визначається рухливістю контакту інструмент-дріт. Рухливість цього контакту є причиною різкого падіння міцності при додатковому енерговложенні.

Динаміка УЗС у сильному ступені залежить від твердості використовуваної УЗКС. При цьому УЗКС повинна володіти мінімальною інерційністю на першому етапі, оптимальною чутливістю до зварювальної зони на другому етапі і можливістю переходу в режим стабілізації на третьому етапі.

1.5 Вплив теплових дій на механічну міцність Al-дроту і міцність дротяних перемичок

При зборці ІС в корпуси з вільним внутрішнім об'ємом для формування перемичок використовується легована кремнієм Al-мікродріт.

Механічна міцність перемичок є однією з основних характеристик ІС в цілому.

Відповідно до тенденції, що діє в галузі, міцність дротяних перемичок (міцність зварних з'єднань при випробуванні на відкривши по методу «петливши») для Al проволікай $\varnothing 30$ мкм повинна складати до герметизації 3г і 2г після.

Для забезпечення цих вимог дріт повинен володіти певними властивостями.

Для цього проводилися дослідження впливу теплових дій на міцність Al-дроту і міцність перемичок. Дослідження проводилися на легованій (0.9.1.1) % кремнію Al проволікай для автоматичної зварки $\varnothing 30$ мкм з початковою міцністю 16.9..21.2 г, а також на аналогічному дроті $\varnothing 27$ і $\varnothing 35$ мкм. Температура теплових дій і тривалість вибиралися аналогічно реальним умовам дії на ІС в процесі її виготовлення, випробування і експлуатації.

При $t=+125^{\circ}\text{C}$, $+150^{\circ}\text{C}$, $+200^{\circ}\text{C}$ зразки витримувалися від декількох годинників до декількох сотень годинників, що відображає умови проведення термообробок відкритою і закритою ІС, ЕТТ, сушки, маркіровки, $T_{\text{max}}^{\circ}\text{C}$ на корпусі при експлуатації при $t=+250^{\circ}\text{C}$ б при $t=+350^{\circ}\text{C}$, 420°C зразки витримувалися в перебігу декількох хвилин, що відображає умови проведення герметизації і паянням припоєм ПОС у 95-5, ПЗлОл78 і склом відповідно.

Випробування на міцність проволікай і перемичок проводилися на тестерах механічних випробувань 12 МП5 120 –1 і 12м П005/100-1 відповідно.

В результаті проведених досліджень отримані залежності міцності проволікай від тривалості теплової дії для різних значень температури. Теплові дії на дріт призводять до зниження її міцності, причому ефект зниження міцності збільшується з підвищенням $T^{\circ}\text{C}$. Слід зазначити різке пониження міцності дроту з підвищенням температури 250°C і вище. Проведення термообробки відкритої схеми (150°C 4 години) призводить до зниження міцності дроту на 30.35%, а короткочасна дія $+350^{\circ}\text{C}$ (3.5 хвилин) при герметизації призводить до пропорційного зниження міцності перемичок.

Таблиця 1.2 - Зміна значень міцності перемичок після теплових дій

Теплова дія	Міцність дріт'яних перемичок, г		
	1	2	3
До дії	$\frac{5.5...11.5}{8.5}$	$\frac{6.9...13.3}{10.1}$	$\frac{5.0...10.0}{7.5}$
$+150^{\circ}\text{C}$, 48 ч $+125^{\circ}\text{C}$, 168 ч	$\frac{3.0...6.0}{4.5}$	$\frac{4.1...8.8}{6.45}$	$\frac{3.5...5.5}{4.5}$
$+150^{\circ}\text{C}$, 48 ч, $+350^{\circ}\text{C}$, 3 мин $+125^{\circ}\text{C}$, 168 ч	$\frac{1.9...5.5}{3.7}$	—————	$\frac{2.5...3.5}{3}$
$+150^{\circ}\text{C}$, 48 ч, $+350^{\circ}\text{C}$, 3 мин $+125^{\circ}\text{C}$, 168 ч	—————	$\frac{1.7...4.7}{3.2}$	$\frac{2.5...5.0}{3.75}$

Аналогічні закони зміни міцності характерні і для дроту $\varnothing 27$ і $\varnothing 35$ мкм. Міцність перемичок знижується в результаті теплових дій.

Використання в технологічних процесах зборки короткочасних теплових дій з температурою $+250^{\circ}\text{C}$ і вище призводить до зниження міцності окремих перемичок нижче за допустиме значення і, отже до зниження надійності ІС в цілому.

Примітка: у чисельнику приведені min і max значення міцності перемичок і в знаменнику - середнє арифметичне значення міцності; 1, 2, 3, - умовні номери партій проволікав.

Підвищення міцності перемичок на кінцевій стадії виготовлення ІС може досягатися підвищенням їх початкової міцності при розварці.

Альтернативним шляхом підвищення міцності дротяних перемичок є розробка і виготовлення проволікай з підвищеною тепловою міцністю.

Для підвищення міцності перемичок на кінцевій в даний час представляється доцільним наступне:

А) Обмежити теплову дію на ІС при температурі $+125^{\circ}\text{C}$ і вище в процесі виготовлення і випробувань;

Б) по можливості не використовувати технологічні процеси, що проводяться при температурі $+250^{\circ}\text{C}$ і вище, а при використанні –тривалість звести до мінімуму.

1.6 Види відмов ІС в процесі виготовлення.

Надійність мікросхем є комплексною характеристикою, яка визначається сукупністю взаємозв'язаних чинників. Заданий рівень надійності закладається на етапі проектування, забезпечується при виготовленні і підтримується в процесі їх застосування.

Проте в процесі виготовлення в технологічному циклі виникає ряд причин, що приводять до зміни встановленого рівня технологічності операцій, і, отже, що приводять до погіршення якості.

Велике значення на якість виробів надає чітке виконання вимог, стандартів, особливо по електронний-вакуумній гігієні.

Істотну роль грає чітка підтримка певних умов ЄВГ на робочих місцях:

-контроль запиленої (особливо при операціях дифузії, фотолітографії, де рахунок йде на мікрони, і при операціях збірки).

-контроль вологості (на операціях збірки перед герметизацією, з метою виключення попадання усередину корпусу вологи і ін. активної пари)

-контроль якості матеріалів, вживаних в технологічному процесі.Порушення термінів і умов зберігання матеріалів приводить до різкої зміни їх властивостей, що істотно позначається на якості і надійності:

-контроль якості комплектуючих: корпусів, кришки, проволікай і т.д.

При неякісному виготовленні більшість корпусів не витримують дії технологічних режимів зборки (в процесі зборки з'являються такі дефекти, як незадовільна якість зварних з'єднань до траверсів, відшаровування металопокритій виводів, сколи кераміки і т.д.), не задовольняють вимоги на ІС відносно вологостійкості, механічній міцності.

Основними видами відмов мікросхем є:

- недосконалість структури н/п матеріалу;
- порушення поверхні кристала;
- подряпини, порожнечі, забруднення;
- дефекти зварних з'єднань;
- дефекти корпусу ІС;
- невідповідність електричних параметрів і ін.

Найчастіше зустрічаються у виробництві:

А) обрив контакту в зоні зварки.

Причини:

- Мала механічна міцність зварного з'єднання.
- Неякісне очищення контактного майданчика.
- Малі площі зони зварки.

Для усунення даних видів дефектів необхідно:

а)Удосконалити техпроцес “розтини” вікон в оксиді в крапках, призначених для зварки.

б) Підвищити якість очищення поверхні.

в) Посилити контроль процесу зварки.

г) Виключити неприпустимі механічні навантаження при застосуванні:

Б) обрив дротяного виводу;

Причина:

- Зменшення поперечного перетину проволікай поблизу зони зварки.
- Механічні пошкодження виводів.
- Сильне натягнення виводів.

Заходи по усуненню:

1 Відробіток режиму зварки метою підбору оптимального режиму деформації виводу.

2 Застосування установок зварки, що гарантують необхідні дуги висновків.

3 Введення 100% лінійних прискорень для відбраковки потенційно ненадійних ІС.

В) Коротке замикання висновку на край кристала.

Причини:

- Сильне натягнення виводу.
- Механічне пошкодження кристала.

Заходи по усуненню:

а) Застосування корпусів, що стійко гарантують збереження необхідної стріли прогинання.

б) Підвищення якості скрайбування.

в) 100% контроль якості після приєднання.

Г) Витоки між выводами:

Причини:

- Наявність забруднень на кристалі.
- Вдосконалення процесу фотолітографії.
- Забезпечення при збірці необхідної дуги вигину.
- Виключення попадання вологи у всередину корпусу.

Д) Коротке замикання діелектрика.

Причини:

- Низька діелектрична міцність плівок.

- Підвищення максимально допустимих величин напруги.
- Викиди напруги при випробуваннях і експлуатації.

Заходи по усуненню:

а) Виключення подачі режимів, що перевищують гранично-допустимі величини.

б) Контроль якості захисту.

в) Атестація випробувального устаткування.

Е) Нестабільність електричних параметрів.

Причини:

- Зміна характеристик дифузійних шарів.
- "Змикання" у транзисторних структурах (внаслідок дефектів фотолітографії).

Заходи по усуненню:

- Відробіток процесу дифузії.
- Контроль щільності дислокацією .
- Контроль характеристик активних елементів.

Ж) Корозія, негерметичність.

Причини:

- Низька якість паяльного шва.
- Проникнення вологи в об'єм корпусу.
- Тріщини в кераміці.
- Неякісне відмивання корпусів.

Заходи:

а) Введення додаткових температурних витримок перед герметизацією для видалення вологи.

б) Відробіток режимів герметизації.

в) Введення безфлюсового паяння у водневій печі.

г) Введення захисту кристала.

Всі перераховані дефекти виникають як унаслідок технічної, так і пов'язані з якісним виконанням кожної операції виконавцями. Істотну роль . а

часто і головну, грають на основних операціях (дифузія, фотолітографія, збірка) кваліфікація працівників, їх вимогливість і правильність до виконання переходів.

1.7 Види мікроінструментів (інструмент для мікрозварки)

Установки для УЗЗ алюмінієвих провідників діаметром 0.02 - 0.5 мм комплектуються інструментами типа КУТ з твердого сплаву ВК3-ТМ. Інструменти мають капілярний отвір і робочий торець з канавкою певної конфігурації.

Конфігурація канавки робочого торця інструменту для УЗЗ впливає на інтенсифікацію процесу утворення зварного з'єднання за допомогою акустичного зв'язку між всією зварювальною поверхнею інструменту, приварюваним дротом і поверхнею приладу. При цьому необхідно враховувати також якість і товщину майданчиків кристала і зовнішніх виводів.

Практика серійного використання інструментів типа КУТ3, КУТ6, КУТ7 з трикутною формою робочої канавки і подвійною (радіусом) з «підрізуванням» на задній кромці робочого торця показала, що найбільша міцність з'єднання на відрив була отримана для важкозварюємих матеріалів інструментом типа КУТ6.

Для збірки СБІС з кроком між контактними майданчиками 0.200 мм і менш розроблений інструмент типа КУТ А, в якому заточування робочого наконечника виконане перпендикулярно зварюваній поверхні на висоту 1 мм, що забезпечує вільний рух інструменту при освіті петлі без того, що стосується попередньої перемички. Передбачено також підвищення точності подачі дроту в зону зварки бічними поверхнями направляючого паза.

Довжина капілярного отвору в 2.5 разу менше, ніж в серійному інструменті. Введення направляючого паза і зменшення довжини капілярного отвору дозволяють підвищувати діапазон зміни кута нахилу дроту в процесі освіти петлі. За однакових умов формування петлі новим інструментом типа

КУТ А і серійним типа КУТ6 кут нахилу петлі, сформованою інструментом типа КУТ А, на 15 - 18% більше, що дозволяє збільшити міцність зварного з'єднання на 3 - 4 р.

Експериментально встановлено, що достатньо надійне зчеплення торця інструменту з приварюваним дротом, що виключає прослизання, забезпечується при ширині трикутної канавки по відношенню до діаметру дроту з коефіцієнтом 0.9 - 0.95, а для важкозварюємих матеріалів (таких як Ni) – з коефіцієнтом 1.3 .

Установки для УЗЗ дротяних виводів діаметром 0.08 - 0.5 мм і стрічкових виводів завтовшки 0.012 - 0.60 мм з незалежним переміщенням дроту (стрічки) і інструменту комплектуються відповідно голками ИУ3, ИУ1, ИУ4. На голках типа ИУ3 є, разом з канавкою для утворення першої зварки, друга канавка паралельна першою з виступом для обрізання дроту після другої зварки.

Для зварки виводів товщиною 0.012 - 0.060 мм застосовується інструмент з хрестоподібним розташуванням канавок на круглому робочому торці. Для виводів шириною більше 0.30 мм розроблений інструмент ИУ4 з робочим торцем прямокутної форми з хрестоподібною канавкою на ній, що має різну глибину. Даний інструмент дозволяє підвищити якість з'єднання за рахунок збільшення зварювальної поверхні і утворення ребра жорсткості в місці перегину виводу.

Дослідження чинників, що впливають на напружено-деформований стан зони зварки і якість з'єднань, показало, що на якість з'єднань, розвиток площі вогнищ взаємодії (зон декорування на окисленому кремнії під алюмінієвою металізацією) впливають режими зварки, властивості дроту, товщина металізації і діелектричних плівок на кремнії. Проте, вплив напружено-деформованого стану пріповерхностного шару Si підкладки на глибину зон взаємодії AL і Si не дослідився.

Для експерименту виготовляли пластини кремнію з різною товщиною металізації діелектричних плівок, алюмінієвий дріт діаметром 35 мкм двох

типів: твердій і середній твердості. Приварювали до підкладок на установці УЗЗ ЕМ - 40205. Режими зварки вибиралися такими, щоб деформація зварних з'єднань складала 50% (зусилля навантаження інструменту $F=35$ г, час зварки 5 - 50 мс, потужність УЗГ 2.2 – 2.45 Вт) Міцність з'єднань складала 8 - 15 р.

Встановлено, що при зварці на великій тривалості процесу (50 мс) і малих потужностях (0.45 Вт), малій тривалості (5 - 15 мс) і великих рівнях потужності УЗГ (1.8 - 2.2 Вт) глибина взаємодії Al з металізованим Si максимальна. Найбільш критичною є розтягуюча напруга в матеріалі.

Показано, що перевагу слід віддавати підкладкам з одношаровим оксидом і застосуванню дроту з розривним зусиллям 27 р. В цьому випадку достатньою є товщина металізації 0.9 - 1.5 мм.

1.8 Механічні руйнування Al металізації і їхній вплив на якість виробів

При виготовленні ІС на поверхність кристала впливають різні фактори:

- Залишки і частки кислот і лугів;
- Кліматичні впливи при температурних обробках;
- Розчинники;
- Повітряне середовище й ін.

Відомо, що поверхня кристала мікросхеми, як правило, захищена. Однак контактні площадки для мікрозварювання захисту не мають. І саме на металізацію контактних площадок і Al виводів, що з'єднує кристал з виводами корпусу роблять своє «вплив» активні агресивні компоненти. У залежності від їхньої кількості, часу впливу, умов і характеристик їхнього впливу, процес руйнування металізації буває різний: від декількох годин, до декількох років.

Великий вплив на металізацію роблять кислоти і луги, застосовувані для обробок поверхонь корпусу і кристала. Однак найбільший сильний вплив роблять пари води, що знаходяться в атмосфері повітря виробничої ділянки і навколишнього повітряного середовища в процесі експлуатації. Останнє можливо при наявності навіть незначних мікропор у корпусі або при неякісній герметизації.

Пари води, сконцентровані або десорбовані на поверхні або безпосередньо беруть участь у дегводаційних процесах, або побічно сприяють розвитку різного роду механізмів відмовлень ІС.

Основними механізмами відмовлень є:

- Корозія металізації і дровових провідників;
- Електроміграція металів;
- Збільшення поверхневих струмів витоку і розтікання заряду з утворенням каналу інверсної провідності.

Корозія на кристалі

Корозійні руйнування Al металізації і висновків відносять до найбільш частих видів відмовлень ІС. Для деяких видів виробів частка досягає 70% від загального числа відмовлень.

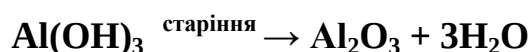
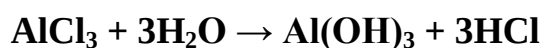
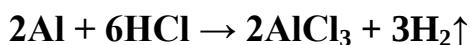
Прийнято розрізняти корозію хімічну (без застосування електричного поля), електрохімічній і гальванічну (при наявності різнорідних металів).

Загальними для цих процесів є наявність електроліту на поверхні кристала. Швидкість і розміщення корозійного ушкодження металізації залежать від багатьох факторів: температури, рівня вологості в корпусі ІС, типу забруднень на поверхні кристала, дефектів захисних покриттів.

Спочатку корозія зароджується на окремих ділянках, у локальних крапках металізації, де маються структурні руйнування поверхні. При цьому утворюються центри корозії, від яких йде поширення корозії по всій металізації.

Для алюмінію шкідливі як іони галогенів, так і деякі з металів (Na^+ , K^+ , Cu^{++}).

Вважається, що головна причина корозії – взаємодії Al у присутності вологи з іонами хлору або флюсу. При цьому корозія бурхливо розвивається на металізації з приладженому позитивному потенціалом.



При достатній кількості води реакції будуть проходити до повного руйнування металізації.

Корозія Al провідників може бути також наслідком неправильного нанесення на кристал захисного пасивуючого покриття.

Корозійні відмовлення залишаються головною перешкодою для розширення області застосування ІС у пластмасових (Dip) корпусах. Волога, дифундуючи через обсяг полімерного матеріалу або проникаючи до кристала по виводах (при недостатній адгезії пластмаси до металу) захоплює із собою шари Na^+ , K^+ , Cl^- , I^- , Br^- і викликає корозію.

Звичайно корозія досліджується прискореними методами у ТВН (температура – вологість – напруга) із застосуванням тестових кристалів.

Поверхневі струми витоку і канали інверсної провідності

Зростання вологості середовища в корпусі ІС спричиняє істотне збільшення поверхневої провідності діелектричних плівок (Si_2 , Si_3N_4) на кристалі внаслідок росту товщини плівки адсорбованої вологи. Так збільшення відносної вологості від 5 до 98%, провідність плівки Si_2 зростає на кілька порядків.

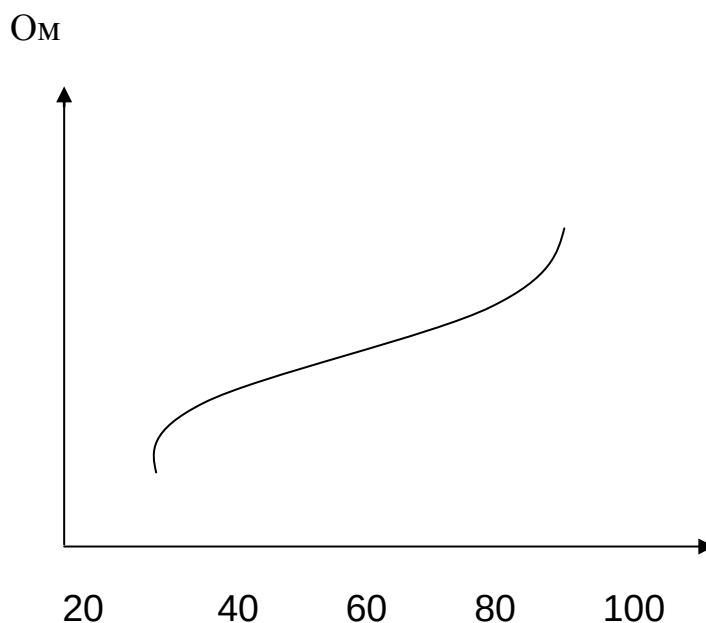


Рисунок 1.5 - Відносна вологість, %

Тому що навіть при 100% вологості величина поверхневої провідності не перевищує 10^{-11} Ом, що для більшості ІС не може стати причиною відмовлення. Але для ІС відмовлення можливі при струмах витоку більш 0,75 мА.

Наявність вологи на кристалі змінює поверхневий потенціал, що викликає дрейф характеристик і відмовлення ІС.

1.8 Методи контролю якості приєднання виводів

В процесі виготовлення ІС виникає необхідність проводити 100% контроль якості межсоєдинень. Існує безліч методів контролю які підрозділяються на три основні групи:

- діагностичний;
- візуальні;
- електричний.

У групі діагностичних методів найчастіше зустрічаються метод непрямого контролю, такого як сукупність перевірки якості під мікроскопом з механічним інструментом. В процесі проведення операцій «приварку виводів» під мікроскопом (при збільшенні більш 16X) прилад контролюється на відповідність еталонам, після чого виріб піддається випробуванням:

- Дія лінійних прискорень;
- Циклічні зміни при температурі від -60 до $+150^{\circ}\text{C}$
- Температурне тренування.

Підставою чинників, що впливає на вибір рівня навантаження, є максимальні сили попередніх навантажень, що не викликають прояв дефектів і що ведуть до відмови мінімального числа з'єднань. Після проведення комплексу випробувань перевіряються електричні параметри мікросхем.

Вироби вважаються придатними, якщо електричні параметри відповідають нормам ТУ.

Друга група контролю є найбільш поширеною оскільки найточніше можна під мікроскопом проконтролювати якість виконаної операції. Відомо, що згідно вимогам конструкції і технології зварна точка виводу повинна знаходитися в середній частині контактної майданчика. Проте із-за наявності «вільного» ходу установок (люфта) з'являються з'єднання із зміщеними точками приварювання. Такий зсув контролюється тільки візуальним оглядом прилад вважається придатним, якщо зсув не перевищує $1/3$ діаметру крапки. Також при візуальному огляді контролюється найбільш характерний вид дефекту – замикання на сусідню струмопровідну, що приводить до порушення електричних зв'язків і відмови приладу в цілому. Але найбільш поширений метод відривних зусиль, при якому визначається фактичне зусилля відриву поволочи від крапки приварювання. При цих випробуваннях фіксуються зусилля при яких відбувається відрив, аналізується місце відриву, визначається характер браку і встановлюється причина. Проте це руйнуючий метод, при якому виріб потрапляє в остаточний брак. Встановлена межа зусиль $> 5\text{г}$, яка гарантує працездатність приладу при всіх навантаженнях в процесі експлуатації. Не дивлячись на те, що частина виробів, що піддаються контролю даним методом (кожні дві години роботи від кожної установки по 2-3 прилади потрапляють на випробування) це широко використовується у виробництві.

Третя група методів ґрунтується на електричному контролі, при якому контролюються електричні зв'язки виробу.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІС ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

2.1 Обґрунтування і мета.

Якість мікросхем складається з ряду властивостей, які характеризують їх функціональні здібності, такі як: час розсмоктування, граничні температурні характеристики основних елементів конструкції, що визначають параметри ІС, струми бази, колектора, емітера, струм витоку. Експлуатаційні можливості: теплостійкість, вологостійкість, вібростійка, ударна міцність, довговічність. Надійність, як відомо є однією з основних властивостей якості будь-якого виробу. Вона характеризує здатність мікросхеми виконувати свої функції в певних умовах протягом заданого часу.

Як відомо якість готового виробу залежить від властивостей всіх складових конструкцію матеріалів їх фізичних властивостей.

Інтегральна мікросхема складається з трьох основних складових кристала, корпусу, кришки і матеріалів, що забезпечують з'єднання між елементами.

Найбільш слабкою ланкою є саме це з'єднання. У ІС до такої відносяться: алюмінієвий дріт діаметром 35 мкм, за допомогою якого виконується внутрішньосхемне з'єднання елементів на кристалі із зовнішніми виводами корпусу.

Клей полімерний – забезпечується монтаж кристала на підставу корпусу. Існують інші менш значні чинники що визначають і впливають на якість мікросхем, але в своїй роботі ми розглядаємо тільки клей і дріт.

Для монтажу кристала використовуються різні матеріали, що забезпечують

основні вимоги: - температурний діапазон застосування – 70 – 150 °C;

- міцність з'єднання (при товщині шаруючи 0,1 мм) більш 20Н;

- текучість 50 – 80 мм/мін для забезпечення автоматичного монтажу;

- життестійкість 5-8 годин;

- температурний коефіцієнт розширення $5 \cdot 10^{-14}$ мм/°C;

- режим полімеризації 150 – 180°C.

Вимірювання і випробування є єдиним джерелом отримання об'єктивної інформації про якість мікросхем.

Враховуючи різні вимоги до виробів по електричних, конструктивних параметрах, в технологічному процесі виготовлення завжди присутні наступні види випробувань:

- механічні (визначають міцність корпусу);
- кліматичні (визначають теплостійкість, теплостійкість виводів, кріплення кристала, конструкцію виробу);
- електричні (виявляються дефекти кристала і нестабільність параметрів).

Значущість технологічних випробувань надзвичайно велика на всіх етапах виготовлення мікросхем. Якісне виконання випробувань дозволяє забезпечувати «очищення» партій від потенційно ненадійних виробів. І вінцем всіх видів випробувань є розбракувальні випробування при яких проводиться оцінка рівнів електричних параметрів, їх стабільність в процесі випробувань, а також розбраковувана на групи залежно від їх якості.

Необхідність цих випробувань обумовлюється не тільки економічними міркуваннями. Важливим чинником, що визначає доцільність введення розбракувальних випробувань, є одвічне відстоювання виробничого рівня продукції, що виготовляється, для вимог споживача.

Враховуючи високу продуктивність вимірювального устаткування, вживаного для перевірки електричних параметрів ІС, після кожного виду випробувань (або групи випробувань) проводиться розбраковка виробів по електричні параметрам.

Проте на цьому оцінка якості виробів не закінчується. Після первинної розбраковки на очолюючу роль у виробництві виходить аналіз браків. Йому відводиться роль не тільки визначення причини браку (провина кристала, конструкції збірки.) але і моделювання механізмів відмов і виявлення причин, що призводять до зниження якості.

У нашому випадку предметом випробування є ІС виготовлена в металокерамічному корпусі, така, що герметизується методом паяння.

Проведений заздалегідь аналіз забракованих при первинній перевірці показав наступні розподіли по видах браку:

- дефекти збірки – 21%;
- електрохімічні руйнування – 39%;
- нестабільність електричних параметрів – 16%;
- дефекти кристала – 9%
- підвищені струми витоку – 8%;
- інші дефекти корпусу, відрив виводів, дефекти герметизації – 7%.

Докладний аналіз із застосуванням фізико-хімічних методів, показав що причинами відмов є:

А) Дефекти збірки – відмови відбуваються:

- із-за обривів висновків;
- зсуви точки приварювання щодо контактного майданчика;
- торкання виведенням кристала;
- коротке замикання між виводами;
- подряпини на кристалі і сліди від мікроінструменту;
- відрив кристала від підстави.

Б) Електрохімічне руйнування

Відбувається в результаті наявності на кристалі невідмитих солей, попадання у всередину корпусу ІС вологи і інших агресивних рідин і газів в результаті негерметичності приладу.

В) Брак по електричних параметрах.

Пов'язаний з виходом рівня параметра за норми ТУ або вимог споживача унаслідок неякісного проведення технологічних операцій при виготовленні кристала (фотолітографія, дифузія), а також нестабільністю окремих параметрів мікросхеми в діапазоні температур. Як правило для багатьох типів ІС цей тип браку є таким, що визначає і якнайповніше відповідає на вимоги споживачів.

Г) Підвищення струмів витоку.

Це пов'язано з наявністю на кристалі і поверхні корпусу (особливо внутрішнього) залишків солей, що приводять до появи поверхневих струмів. Як правило величина їх відносно мала (на, мкА), але їх наявність приводить до зміни струморозподілення у виробі і до виводу з ладу приладу.

Д) Відмови ІС із-за дефектів корпусу і герметизації, появи дислокацій кераміці, «лущення» покриттів не є такими, що визначають у виробництві, але втрати від них значні.

Для їх зниження велику роль грає введення якісного контролю тих, що комплектують.

Таким чином, оцінюючи результати аналізу виробів визначаємо найбільш численну групу (групи) браків, які найсильніше впливають на економічні показники виробництва.

На підставі результатів аналізу такими є відмови, пов'язані з дефектами збірки і електро-хімічними руйнуваннями (у цей вид браку входять вироби які мають негерметичність по шву під накладною рамкою, тріск корпусу), а також вироби, параметри яких не відповідають вимогам технічної документації. У дану групу входять ІС що мають відмови як по основних параметрах (обумовлені в ТУ), як і вироби у яких технологічні параметри не відповідають ТД. До технологічних параметрів відносяться ті параметри, які характеризують стан окремого каскаду електричної схеми приладу або стан конкретного елементу. Як правило такими є вхідні і вихідні ланцюги мікросхеми.

Враховуючи значну трудомісткість при виготовленні тривалість циклу виготовлення, а також те, що 60% трудомісткості лягає на ділянку вимірювань і випробувань, перед виробництвом завжди стояла і коштує завдання підвищення техніко-економічних показників за рахунок зниження витрат на придбання дорогих корпусів (а це 25% собівартості виробу) і зменшення об'єму випробувань в результаті введення додаткових кореляційних

параметрів, що забезпечують і гарантують працездатність і функціонування виробів в тих або інших умовах і у всьому діапазоні температури.

Чіткий і якісний підбір кореляційних залежностей дозволить з великою достовірністю контролювати необхідні параметри кристала і значно понизити об'єм випробувань. Практика показує, що введення посилювання на кристалі декілька зменшує (на 5.10%) вихід придатних але в теж час дозволяє в більшій мірі отримати значний економічний ефект на відбраковочних випробуваннях за рахунок більшої «чистоти» партій і різкого зменшення потенційно ненадійних виробів.

Метою нашої експериментальної роботи є розробка оптимального технологічного процесу виготовлення і випробування, що дозволяють підвищити вихід придатних мікросхем.

Враховуючи технологічний процес виготовлення ІС визначаємо найбільш характерні місця контролю якості виробів максимальне число дефектів буде відбраковуватися в початковий період виготовлення.

Після отримання кристала на пластині, його перевірки по електричних параметрах на відповідність ТУ найбільш характерними місцями контролю якості виробів є:

А) Зварювальні операції, при яких відбувається відбраковка виробів, топологія яких має видимі дефекти і вироби з неякісною збіркою:

- наклейка кристала з розворотом, перекосом;
- сліди клею на кристалі;
- мало клею;
- КЗ між виводами;
- неякісне ТКС;
- торкання виведенням кромки кристала;
- неякісна герметизація і ін.

Б) Випробувальні операції, при яких відбувається оцінка рівнів електричних параметрів, функціонування, стабільність параметрів при різних температурах і т.д. але найбільш ефективним засобом є

електротермотренування (ЕТТ), що є сукупністю випробувань дій підвищеною температурою і електричного навантаження, що імітує як найгірші умови їх застосування. Враховуючи високу вартість даної операції, виникає необхідність вибіркової перевірки і випробувань приладів, яка дозволить з великою достовірністю оцінювати якість виробів всієї партії. Така інформативна система зазвичай діє на підприємстві, відладженим технологічним процесом виготовлення ІС, що володіє, і що гарантує ті або інші конструктивні параметри приладу.

Проведений аналіз мікросхем, що відмовили в період експлуатації, показує, що понад 70 % відмов пов'язано з дефектами збірки. Відомо, що найбільш «слабкою» ланкою в конструкції приладу є такі з'єднання:

- наклейка кристала на дно підстави корпусу;
- з'єднання двох контактних майданчиків (кристал-корпус) виконуваним методом УЗ-зварки Al дротом Ø 35 мкм;
- герметизація корпусу кришкою методом шовно-роликової зварки.

Саме ці з'єднання в процесі технологічних випробувань і в період експлуатації у споживача схильні до дії зовнішніх чинників, які можуть викликати руйнування конструкції виробу.

Це, перш за все, механічні навантаження, такі як:

- лінійні прискорення;
- вібрації;
- одиночні і багатократні удари і ін.

А також кліматичні:

- циклічна дія різкої (за 5-10 сек.) зміни температури навколишнього середовища, що викликає в елементах конструкції приладу «термоудар»;
- тривала дія граничної температури від -65°C до $+150^{\circ}\text{C}$ протягом 48-240 годин.

Саме на цих випробуваннях і оцінюється стійкість всієї конструкції мікросхеми. Крім того, при випробуваннях оцінюються не тільки з'єднання, але і матеріали (в першу чергу корпуси), вживані в процесі.

При виконанні складальних операцій особлива увага на всіх етапах виготовлення приділяється конструктивним особливостям виробу. Враховуючи специфічні вимоги до мікросхем в процесі експлуатації, оцінюючи умови їх роботи, підприємство-виготівник повинне вводити в технологічний процес всі необхідні операції, що забезпечують необхідну надійність, а також операції, що дозволяють в процесі виготовлення оцінювати здатність виробів протистояти дії зовнішніх чинників.

Аналізуючи складальні операції техпроцесса, ми бачимо, що найбільш «слабкими» місцями конструкції ІС є «наклейка» і «приєднання внутрішніх висновків». Причому і в тому, і в іншому випадку надійність операції оцінюється по величині зусилля, яке зможе витримати місце з'єднання матеріалів: приклейка кристала і внутрішній вивод.

Розглядаючи кожну з операцій окремо, бачимо, що на якості «наклейки» позначаються різні чинники:

- технічні характеристики клеївши;
- термін виготовлення клеївши;
- доза клеївши;
- режим сушки;
- чистота поверхні кристала, корпусу і ін.

На якість зварного з'єднання впливають наступні чинники:

- характеристика матеріалу, яким виконується міжз'єднання;
- метод розварювання міжз'єднань;
- устаткування;
- інструмент;
- якість металізації на кристалі і характеристика покриття корпусу;
- режим, при якому проводять розварювання;
- режим температурних дій в процесі виготовлення і ін.

Існує багато методів контролю якості виконання цих операцій, але, як правило, всі вони відносяться до категорії руйнуючих методів, при яких відбувається «відрив» кристала або виводу від місця з'єднання. Такі методи

застосовуються в техпроцесі тільки для вибіркової (на 1-2 шт.) оцінки надійності.

Метою нашої роботи є розробка оптимальної методики кліматичних і механічних випробувань 100 % ІС, що забезпечують і оцінюють надійність конструкції.

2.2 Методика проведення

Відомо, що основне призначення дротяних з'єднань ІС – утворення електричних зв'язків між контактними майданчиками кристала і выводами корпусу. Разом з кристалом і корпусом, як єдине ціле, виводи піддаються дії різних чинників: механічним і кліматичним навантаженням, витримують значні фізико-хімічні процеси. Пов'язані з проходженням електричного струму.

З'єднання повинне:

- бути механічно міцним;
- мати малий перехідний опір;
- не бути хімічно забруднено.

Саме остання характеристика і є найважливішим чинником в забезпеченні надійного контакту.

Перш за все, надійність контакту пов'язана з фізичними властивостями матеріалів, що сполучаються. Для виробництва ІС використовуються корпуси із золотим або нікелевим покриттям, а для міжсхемного з'єднання – алюмінієвий дріт діаметром 35 мкм. І від характеристик дроту і вибраного режиму ультразвукової зварки залежить надійність з'єднань.

Найбільш важлива характеристика дроту – пластичність і міцність на розрив.

Залежно від матеріалу покриття выводів утворюються наступні «пари» з'єднань:

- на выводах корпусу – Al-Ni, Al-Au;

- на кристалі – Al-Al.

Враховуючи те, що твердість нікелю значно більше, чим золото, для виконання роботи підготуємо дріт різної твердості (по величині зусиль на розрив).

На рис. представлена схема виконання роботи за оцінкою впливу характеристик дроту на міцність з'єднань. Оцінку міцності з'єднань проводимо по методу 109-4 (ОСТ 11.073.013-87).

Після виконання робіт партії виробів пройдуть через комплекс кліматичних і механічних випробувань.

Схема випробувань представлена на рис. 2.1.

Оскільки на матеріалі корпусу, дроту і, особливо, на кристалі, завжди залишаються мікрочастинки хімічно активних речовин (кислот, травителів і ін.). При дії електричного струму і підвищеної температури починають виявлятися процеси, що викликають порушення поверхні виводу і місця з'єднання.

Додатково проводимо дослідження за оцінкою впливу дроту на якість.

Експериментальні дослідження проводимо у декілька етапів:

1. На першому етапі проведемо порівняння якості з'єднання виводів і їх надійність при дії температури, що циклічно змінюється, оскільки проводиться порівняння двох методів (УЗЗ і ТКС), кожний з яких володіє певними перевагами, роботу проведемо на корпусах із золотим і нікелевим покриттям (схема оцінки впливу характеристик алюмінієвої проволони на міцність з'єднання представлена на рисунку 2.1). Після виконання операції «приєднання виводів» від кожної партії приладів на 5 зразках була проведена перевірка на міцність. Результати випробувань в таблиці .

2. На другому етапі проведемо дослідження впливу фізичних властивостей алюмінієвого дроту на міцність з'єднань. Випробування проводимо на 5 зразках від кожної партії.

Для роботи був відібраний дріт з розривними зусиллями 22 г, 27 г, 30 г. Після виконання перевірки партії пройдуть по маршруту випробувань.

3. У третій частині роботи проведені дослідження із золотим дротом, що пройшов термообробку (відпал) при температурах 300 °С, 340 °С і 380 °С. Час відпалу 1 мин. Після приєднання виводів на 5 зразках від кожної партії були проведені випробування на міцність.

Після оцінки міцності з'єднань партії мікросхем пройшли технологічні випробування:

- лінійні прискорення;
- термоциклірованіє;
- вібрація;
- перевірка електричних параметрів.

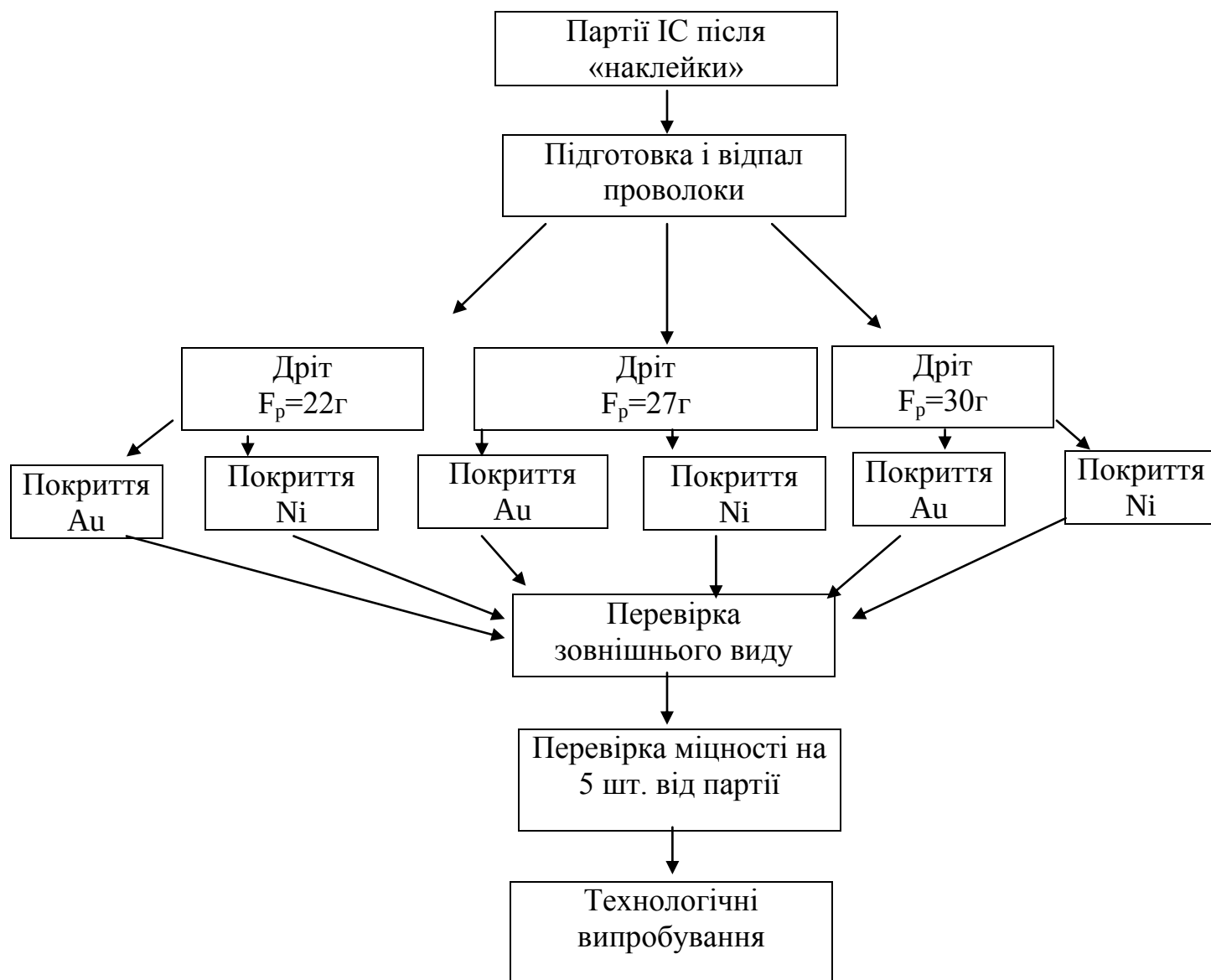


Рисунок 2.1 – Схема оцінки впливу характеристик алюмінієвої проволочки на міцність з'єднання.

Враховуючи значну кількість операцій процесу збірки мікросхем, а також чинники, що роблять вплив на якість з'єднань, розробку методики (а правильніше сказати комплексу) випробувань проводимо в три етапи.

I. На першому етапі роботи ми проведемо оцінку якості і технологічності операцій.

Зважаючи на специфіку виконання методу «зрушення кристала» з досвідченої партії відбираємо вибірку приладів в кількості, на якій по вищевказаному методу визначимо зусилля відриву кристалів (результати випробувань на зсув кристалу в таблиці 2.1; залежність міцності кристалу від текучості клею – таблиця 2.2; результати випробувань залежності зусилля відриву кристалу $F_{кр}$ від температури $t, ^\circ\text{C}$ в таблиці 2.3). Після чого, з урахуванням специфічних властивостей клею і режимів сушки, проведемо через операцію досвідчені партії з наклейкою на клей, згідно ТК, що діє, і проведенням «сушки» в різних камерах (ТК-04 і конвейєрній печі ІК-СУШКИ) з режимом, що ступінчасто змінюється: $70\text{ }^\circ\text{C} - 110\text{ }^\circ\text{C} - 150\text{ }^\circ\text{C} - 180\text{ }^\circ\text{C} - 150\text{ }^\circ\text{C} - 110\text{ }^\circ\text{C} - 70\text{ }^\circ\text{C}$.

Після виконання операції всі прилади піддавалися огляду зовнішнього вигляду під мікроскопом і на 3-х шт. від кожної партії проводилися випробування на зрушення. Результати зведені в таблицю.

Надалі прилади проходили по циклу відбраковочних випробувань (температурне циклірованіє, термотренування, крайні температури і ін.) з подальшими вимірами параметрів і оцінкою міцності «наклейки».

II. Для проведення роботи була відібрана установка типа ОЗУП - 7100, яка забезпечує всі необхідні вимоги при проведенні ультразвукової зварки: робочий діапазон температур, регульований тиск на інструмент і ін.

Враховуючи, що одним з основних чинників, що визначають якість приварювання є мікроінструмент, був проведений відбір голок (капілярів). Роботу проводили в два етапи.

На першому етапі порівнянням піддалися голки типа КТ18, КУ14, виготовлені з жароміцної сталі з добавками вольфраму і ванадію. Голка КТ18

має центральний отвір для подачі проволікай, а КУ14 – бічне. Розварювання проводили на партії виробів довільним способом розділеною на дві частини.

Таблиця 2.1 - Результати випробувань на зсув кристалу.

№ партії	Тип клею	Камера сушки	Величина зусилля на зсув, Н		
			1	2	3
1a	ВК 32-200	КТ04	9.5	14.2	12.6
1б	ВК 32-200	КП2	13	18.1	14.2
2a	ВК 26-М	КТ04	12	11.3	15.6
2б	ВК 26-М	КП2	26	32.1	19.4

Таблиця 2.2 Залежність міцності кристалу від текучості клею.

№ приладу	1	2	3	4	5	6	7	8
	ВК 32-200	ВК 32-200	ВК 32-200	ВК 32-200	ВК 26	ВК 26	ВК 26	ВК 26
	50 мм/мин.	80 мм/мин.	50 мм/мин.	80 мм/мин.	50 мм/мин.	80 мм/мин.	50 мм/мин.	80 мм/мин.
	КТ04	КТ04	КП2	КП2	КТ04	КТ04	КП2	КП2
1	8	13	16	15	14	16	27	30
2	11	11	14	18	17	19	24	29
3	10	10	15	16	15	17	20	36
4	12	11	12	16	13	17	22	28
5	19	12	14	19	16	20	27	29
6	8	15	14	18	14	17	25	32
7	8	13	14	20	14	18	31	38
8	10	10	13	18	16	20	30	40

9	12	11	14	17	18	19	26	35
10	14	11	15	16	15	18	28	34

Таблиця 2.3 – Залежність $F_{кр.}$ від t °C

№ кристалу	Значення t °C			
	100 °C	150 °C	180 °C	КП 70 – 180 °C
1	4.6	16	23	29
2	10	13	27	35
3	9.5	15	27	38
4	11	14	29	30
5	11	18	30	34
6	12	12	24	36
7	10	16	21	40
8	11	17	27	38
9	9.5	21	29	32
10	14	18	32	31
11	10	14	27	34
12	8.5	15	24	30
13	11	14	28	37
14	10	14	27	37
15	7	16	25	36
16	9	21	25	36
17	7	18	27	38
18	8	17	30.5	41
19	11	14	29	37
20	10.5	15	30	35

Режими розварювання:

- температура столика	300-350°C
- тривалість зварки	0.1-1.0 с.
- тиск	65-140 гр.

Враховуючи також, що на якість ультразвукової зварки істотну роль надають властивості золотого дроту, перед роботою був проведений відпал в течії 30 хвилин при температурі 200-300°C.

Після розварювання всі вироби пройшли 100 % візуальний контроль при збільшенні $\approx 32\times$, з подальшою термовитримкою в перебігу 24 годин при температурі 150 °C.

Після термовитримки були проведені випробування дротяних з'єднань (на вибірці по 5 штук) на міцність по методу 109-4.

Додатково при збільшенні 50-100 $\times$ були вироблені дослідження робочої зони голки на предмет зносостійкості.

У другій частині роботи були відібрані голки із сплаву ВК-26М (голка КТ25) і В 15 з нанесеною на робочій зоні рубіновою добавкою (КТР28). Голки мали відповідно 6000 і 40000 зварок, після чого піддавалися заміні. Голки виконані з центральним отвором і торцевою формуючою канавкою.

Робота проводилася з різним по твердості дротом. Для перших двох партій вибраний дріт з розривним зусиллям 22-24 г, для двох інших – 28 г.(рис. 2.2 залежність зміни міцності виводів від величини тиску мікроінструментів).

Розварювання провели на установці в наступних режимах:

- температура столика	350 °3
- тривалість зварки	0.1-0.4 сек.
- тиск	100-120 г/см ²

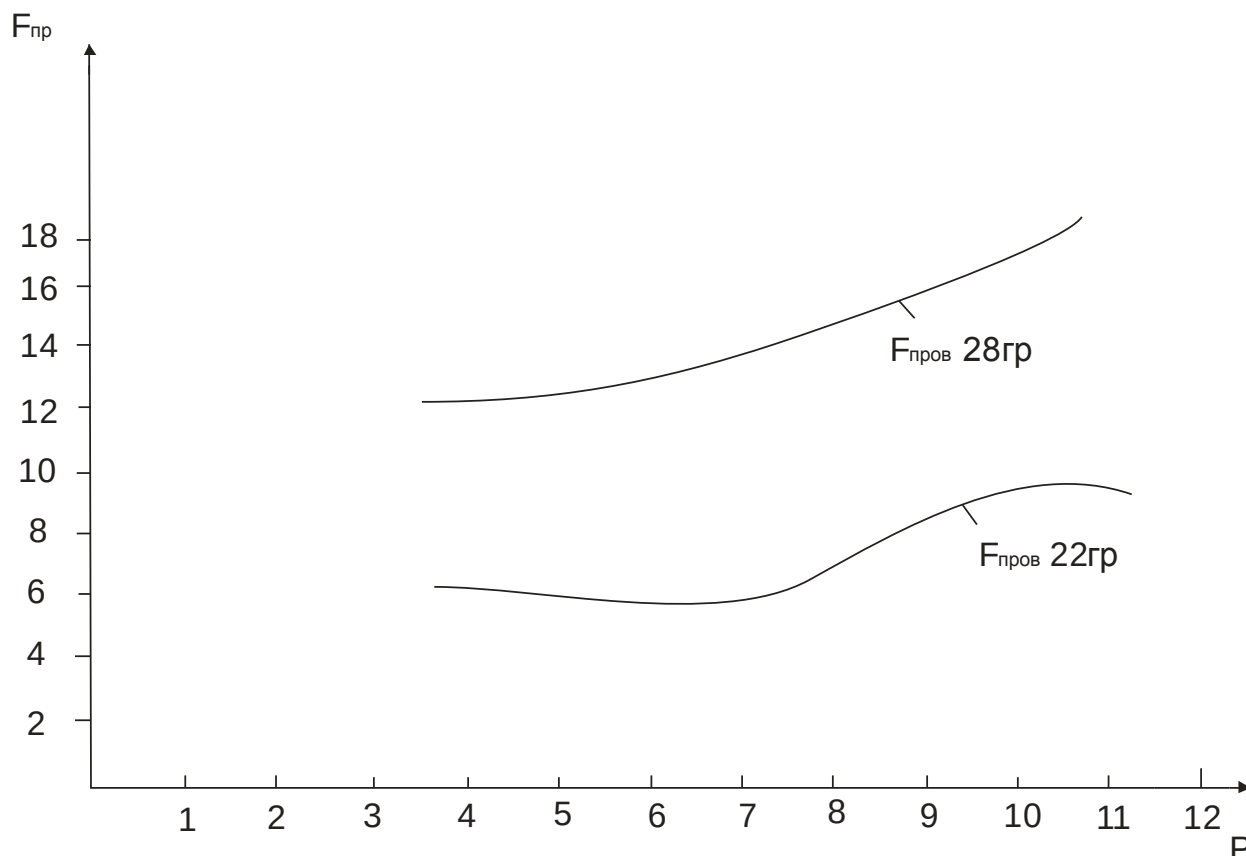


Рисунок 2.2 - Залежність зміни міцності виводів від величини тиску мікроінструментів.

Після проведення зварки на виробах був проведений цикл відбраковочних випробувань:

- приєднання виводів;
- контроль виводів;
- термовитримка;
- випробування на міцність;
- циклування;
- механічні випробування;
- перевірка міцності.

Додатково в процесі виконання операції «приєднання виводів» визначався вплив конструкції голки (форми) на якість зварки і відсутність торкань на інші елементи.

III. Оцінюється якість «герметизація» корпуси і стійкість матеріалу корпусу до зовнішніх дій.

Оцінка проводиться по методу «контролю герметичності», причому головна роль в даних випробуваннях відводиться правильному вибору режимів опресовування і термодесорбції.

IV. Додатково на вибірках відібраних з різних партій були проведені випробування по наступних методах:

а) Контроль дротяних з'єднань стислим повітрям. Повітряний струмінь з сопла спеціальної установки прямує на виріб. Дії струменя повітря піддаються всі дротяні з'єднання, що виконуються методом УЗ-зварки, причому дія повітряного струменя направлена впоперек виводу.

Після дії вимірюються електричні параметри і перевіряється зовнішній вигляд з'єднань в «темному полі».

б) Перевірка монтажу з'єднань проводиться струмами високої частоти з максимальним імпульсним навантаженням. Дія імпульсів навантаження наводить до освіти «хвилі пониження» у місцях неякісного приварювання, що дозволяє визначити потенційно-ненадійні зварні з'єднання. Після дії імпульсного навантаження прилади проходили по технологічному циклу.

Зважаючи на специфіку технологічного процесу складальних операцій, коли кристал і металеві частини корпусу піддаються дії довкілля, в процесі експериментальних досліджень оцінювалися дія зовнішнього середовища та азота на якість ІС і стабільність параметрів. Довільна вибірка кристалів 400 шт. була розбита на 4 партії, кожна з яких проходила цикл складальних операцій в строго контрольованому середовищі (дивитися схему 5) з подальшим комплексом випробувань. Результати в таблиці 2.4; таблиці 2.5 і таблиці 2.6).

Таблиця 2.4– Результати випробувань партій, інтенсивність відмов при випробуваннях.

№ партії	Час випробувань, ч.					
	40	80	120	160	200	240
№ 1 вологість 30 ÷ 50 %	3	4	4	8	10	14
№ 2 вологість 50 ÷ 60 %	3	5	5	7	9	10
№ 3 вологість ≥ 60 %	6	9	10	12	18	20
№ 4 азот	-	-	1	1	1	2

Таблиця 2.5 – Результати вимірювань $I_{ут}$ в різних середовищах до випробувань.

№ прибору	Номер партії / середовище			
	№ 1 вологість 30 ÷ 50 %	№ 2 вологість 50 ÷ 60 %	№ 3 вологість ≥ 60	№ 4 азот
	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА
1	1.8	2.0	4.2	0.3
2	1.8	1.9	3.4	0.6
3	2.6	3.2	1.9	0.9
4	2.0	1.7	2.8	1.1
5	1.3	0.9	1.7	0.2
6	0.9	1.9	4.2	0.4
7	1.6	2.4	1.4	0.7
8	2.6	3.6	1.8	0.9
9	1.2	4.0	3.0	1.0
10	2.7	0.8	1.7	0.6
11	3.1	3.0	2.4	0.4
12	0.7	2.1	3.2	0.5
13	0.9	1.7	4.5	0.9
14	1.8	1.4	1.3	0.8
15	2.0	1.0	1.2	0.1
16	1.6	2.2	1.0	0.6
17	1.4	0.4	2.0	0.4
18	1.8	1.1	3.1	0.5
19	2.3	2.1	2.2	0.8
20	3.1	2.8	2.5	0.4

Таблиця 2.6 – Результати вимірювань $I_{ут}$ в різних середовищах після випробувань.

№ прибору	Номер партії / середовище			
	№ 1 вологість 30 ÷ 50 %	№ 2 вологість 50 ÷ 60 %	№ 3 вологість ≥ 60 %	№ 4 азот
	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА	$I_{ут}$, мкА
1	2.3	2.8	5.0	0.4
2	2.8	2.1	4.1	0.6
3	3.0	3.5	2.2	0.9
4	3.4	1.9	3.4	1.2
5	3.6	1.6	3.0	0.8
6	4.0	1.1	2.6	0.2
7	2.7	1.7	5.1	0.4
8	1.3	2.8	1.8	0.7
9	2.1	4.0	2.1	1.0
10	2.8	4.2	3.6	1.1
11	3.4	1.5	2.2	0.6
12	2.7	3.4	2.7	0.5
13	1.9	2.6	3.5	0.5
14	1.0	2.0	4.9	1.0
15	1.9	1.5	1.6	0.9
16	2.0	1.4	1.3	0.1
17	2.3	2.8	1.5	0.6
18	2.4	1.8	2.4	0.4
19	2.6	2.2	2.9	0.5
20	3.1	3.2	3.0	0.5

2.3 Аналіз і обробка даних.

Як видно з результатів експериментальних досліджень велике значення у виробництві інтегральних мікросхем грає процес регулювання, тобто швидка і оперативна інформація про знаходження кожної партії на різних етапах виробництва. Ця інформативна система повинна прогнозувати ситуації проходження приладів на отбраковочних випробуваннях.

По першій частині роботи проведений аналіз складального процесу повністю показує розклад видів браку на відбраковочних випробуваннях, а також причини приводять до появи того або іншого виду браку. Пригода по маршруту пілотних партій, направлених на з'ясування додаткових причин появи браку, показує шляхи їх усунення.

Особлива роль покладається на контроль якості вхідних і комплектуючих матеріалів.

Перед запуском пілотних (контрольних) партій, проводиться ретельний аналіз виробів серійних партій, забракованих на складальних операціях.

Результати аналізу наступні.

На операції «Наклейка» основними видами браку є:

- клей на кристалі
- клей на траверсі і обідку
- поворот кристала більш ніж на 100°
- зрушення кристала щодо осі
- подряпини на кристалі.

Оцінюючи характерні неточності робіт на операції, встановлюємо, що причинами браку можуть бути:

- неякісна настройка установок;
- слабка підготовка виробництва при виготовленні оснащення;
- неякісні матеріали;
- низька кваліфікація працівників;

Враховуючи те, що найважливішою ланкою наклейки кристала на корпус є «Сушка» клею, велике значення мають як методи, так і способи сушки і контролю якості наклеєних кристалів оскільки головним критерієм оцінки всього процесу є величина зусилля при випробуваннях на зрушення. Для кристалів розміром 1-1.5 мм, зусилля на зрушення повинне складати не меншого 20 Н.

Приєднання виводів

Операція приєднання виводів проводиться на автоматах ОЗУН.10000, алюмінієвим дротом Ø 35 мкм.

Основні види браку:

- хвости на траверсі;
- обрив і деформація виводів;
- високі або низькі дуги;
- вихід зварної крапки на клей кристала і траверси;
- повторна зварка;
- відшаровування на кристалі;

Враховуючи методи контролю якості приєднання висновків (а це перш за все візуальний контроль при збільшенні більш 16X контролю зусиль на відшаровування виводів) встановлюємо, що основними причинами браку є:

- неякісна настройка установок (невірний режим зварки);
- низька якість мікроінструменту;
- дефекти проволікай (висока твердість, щербина, неоднорідність по довжині);
- порушення режиму зварки;
- низька кваліфікація працівників;
- низька якість тих, що комплектують (корпусів), неоднорідність покриття корпусу.

При контролі вказаних дефектів велику роль грає кваліфікація працівників і їх знання технології.

Герметизація

Герметизація виконується на автоматах ОЗКС-700. Зібрана арматура знаходиться на конвестере в скафандрі. Безпосередньо перед герметизацією прилади витримуються в печі ГИК сушки для видалення вологи з внутрішнього об'єму корпусу.

Приварювання кришки проводиться імпульсами струму по всьому периметру.

Основні види браку:

- щілини між кришкою і підставою;
- зсув кришки;
- прожоги;
- брак герметичності;

Найбільш вид браку, що часто зустрічається, це зсув кришки. Зважаючи на специфіку роботи автомата, а це рухомий конвейєр з підставами, що утримуються в кублі магнітами доцільно заздалегідь «прихоплювати» кришку в кутках.

Основними причинами браку є:

- неякісне покриття корпусів, особливо на рамці;
- деформація кришки;
- неякісне виготовлення інструменту (роликів);
- поганий вибір режимів герметизації;
- низька кваліфікація працівників;

Перевірка зовнішнього вигляду.

При перевірці зовнішнього вигляду готового виробу, велика увага приділяється контролю елементів конструкції під мікроскопом при збільшенні 16X, а також контроль герметичності. Цей показник є основним критерієм оцінки якості виробу. Перевірка герметичності проводиться на спеціальній установці.

Проведені випробування на зрушення показали значні переваги клею ВК 26М. Середнє зусилля при випробуванні склало 23.6 Н тоді як при

застосуванні клею ВК-32-200 середнє зусилля складало лише 19.2Н (схема визначення впливу характеристик клею на надійність ІС на рисунку 2.3).

Перевірка міцності приєднання виводів.

Оцінка міцності приєднання виводів на партіях показала наявні відмінності величин відриву від 3 до 10 г. Причому на партіях з свідомо відомими дефектами (5 і 6) ці величини не перевищують 7г, а значна частина приладів має зусилля на відрив менш допустимого (< 5 г).

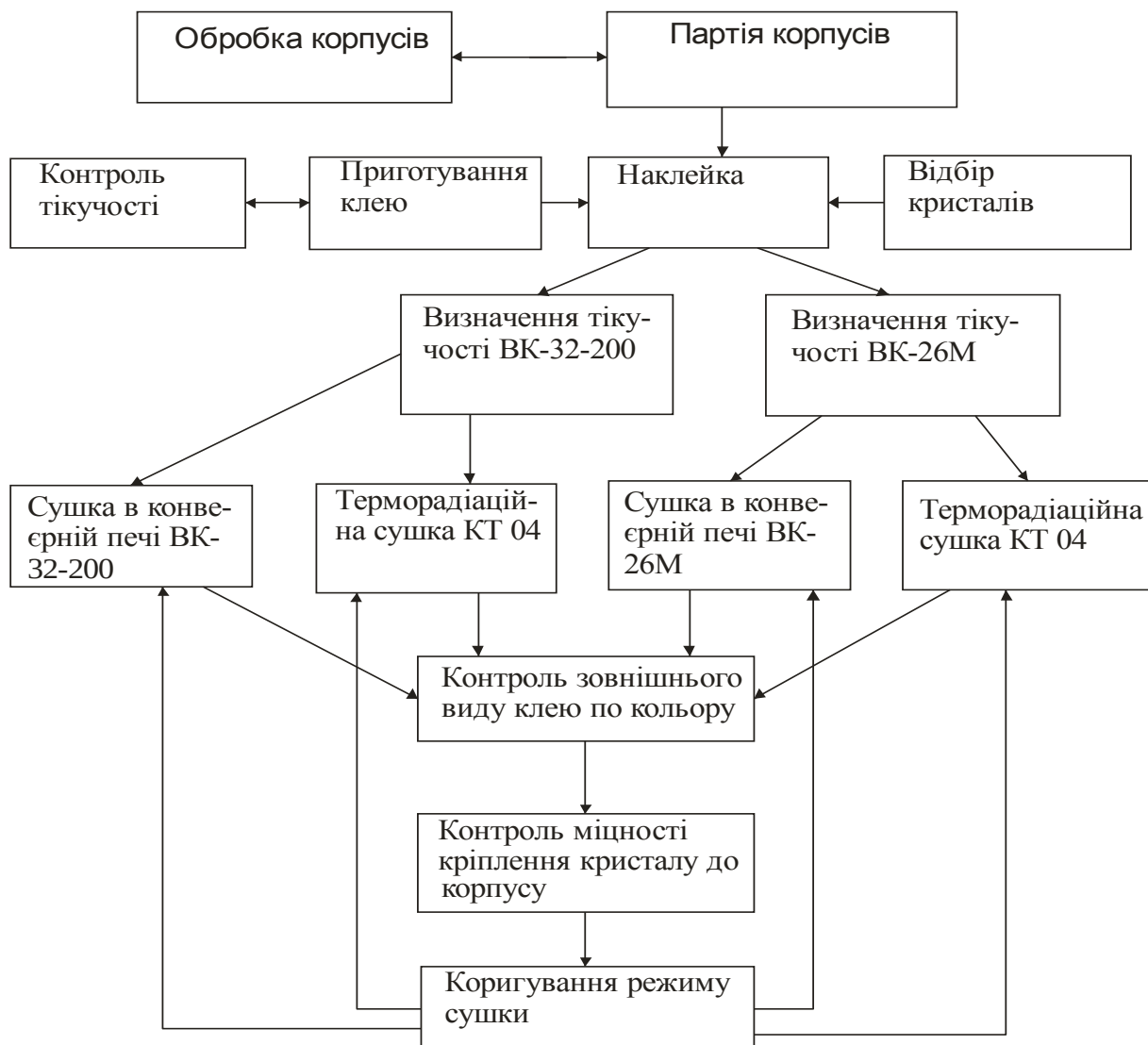


Рисунок 2.3 - Схема визначення впливу характеристик клею на надійність ІС.

Також проведена перевірка статичних параметрів і цикл відбраковочних випробувань показали значні відмінності в ІВГ і довше дефектних ІС,

забракованих на тих або інших випробуваннях. Партії виробів, що мали ті або інші дефекти кристала, на яких використовувався клей ВК-32-200, показали результати збільшення забракованих. Проведений аналіз тих, що відмовили ІС показує види дефектів виробів, що відбракувалися на різних видах випробувань.

Термотренування: грязь на кристалі; недосконалість структури; неякісна зварка.

Різні види дефектів:

- тріщини на кристалі;
- пробій в оксиді;
- розриви в алюмінієвій металізації;
- відшаровування металізації;
- розрив електричних з'єднань;
- дефекти насадки кристала;
- дефекти корпусу;
- корозія на кристалі.

Лінійні прискорення:

- дефекти насадки кристала;
- дефекти алюмінієвих виводів;
- тріщини в кристалі;
- дефекти корпусу.

Герметичність:

- тріщини корпусу;
- щілини.

Перевірка параметрів при крайніх температурах:

- грязь на кристалі;
- тріщини;
- розрив електричних з'єднань;
- розриви в алюмінієвій металізації;

- розриви в алюмінієвого дроту, КЗ;
- відшаровування на кристалі;
- дефекти фотолітографії;
- проколи в оксиді SiO_2

ЕТТ:

- забруднення;
- тріщини;
- дефекти фотолітографії;
- ЕХР;
- дефекти ТКС;
- відшаровування;
- КЗ;
- неякісна металізація;
- відриви кристала;
- поверхневі струми витоків;
- пробій;
- перепал.

У теж час різких змін рівнів електричних параметрів на даних ІС не спостерігається. На окремих ІС спостерігається дрейф порогової напруги, пов'язаної з появою поверхневих струмів витоків і передпробійних відмов у вхідних і вихідних ланцюгах із-за перевищення режиму випробувань. Введена додатково методика ЕТТ дозволяє в повному об'ємі замінити класичну ЕТТ без зниження якості відбраковки, що дає значне зменшення витрат.

Аналізуючи отримані в результаті експерименту дані, ми бачимо, що якість з'єднань внутрішніх виводів мікросхем залежить від різних чинників:

- режим зварки;
- якість матеріалів дроту;
- якість обробки поверхонь, що зварюються між собою;
- підбір мікроінструменту.

Враховуючи процес приварювання виводів, оцінюючи зовнішній вигляд виробів, встановлено, що далеко не останню, а іноді і головну, роль як міжз'єднань грає мікроінструмент. Існує безліч видів голок. Кожна хороша в якійсь одній області. Знаючи, що в основному для виготовлення голок використовуються твердосплавні матеріали.

Розглядаючи діаграми роботи мікроінструменту бачимо, що в процесі проведення зварки деформації піддається і голка. Правда ця деформація така незначна, що практично її виявити не вдається. Проте, в процесі багатократного тиску ці руйнування збільшуються, порушується чистота поверхні і кінець кінцем зменшується робоча площа, що призводить до зниження якості.

Голки, що мають додаткові “напайки” у вигляді рубінового шару, значно довговічніші, що зрештою і позначається на якості і економічних показниках.

При проведенні аналізу результатів виконання операції “приєднання виводів” видно, що характер браку найрізноманітніший.

Найчастіше зустрічаються наступні види браку:

- неприварювання виводу;
- пережим виводу;
- відшаровування зварної крапки;
- зсув зварної крапки за межу контактного майданчика;
- високі (низькі) дуги;
- торкання виведенням кромки кристала;
- залишки “хвостів” на кристалі;
- замикання на іншу токоведущую доріжку і ін.

1. Неприварювання виводу. Даний вид браку визначається при візуальному і іншому методі контролю. Вивід не приєднаний до контактної майданчика і “висить” в повітрі. Це зв'язано пов'язано з неправильним вибором режиму зварки.

2. Пережим виводу відбувається в основному з вини режиму зварки і неправильного вибору мікроінструменту. Найчастіше зустрічається в кінці роботи, коли підвищується вірогідність виходу з ладу мікроінструменту.

3. Відшаровування зварної крапки – основний вид браку. Характерний, перш за все, неправильно вибраним режимом зварки. Великий тиск на інструмент і збільшена потужність УЗГ при зварці приводять до руйнування кремнієвої підстави під контактним майданчиком.

4. Зсув зварної крапки – найбільш характерний вид браку. Перш за все, залежить від уважності робочого і якості настройки устаткування. Допустимий зсув не більше $1/3$ величини точки зварки, але при цьому не допустиме перемикання з іншим струмоведучим майданчиком.

5. Величина дуги визначається настройкою вузла зварки. При високих кутах “виліту” голки можливо закорачувати на кришку приладу, а при низьких – на кристал.

6. Стосується кромки кристала. Даний вид дефектів характерний неправильною настройкою устаткування, при якій деформуються “низькі” дуги. В результаті цього оголеного і незахищеного краю кристала може торкатися висновок. З'являються струми витoku і несанкціоновані зв'язки між висновками.

7. “Хвости” на кристалі. При відриві дроту залишаються великі частинки дроту, здатні закоротити виводи між собою.

8. Замикання між контактними майданчиками виникає при невірній настройці установок і виходу інструменту при зварці за зону контактного майданчика у бік кристала, при якому відбувається те, що стосується іншої електричної лінії.

Результати вимірів зусиль зрушення кристалів показують значні переваги клею ВК-26М. Перш за все, це виражено в збільшенні терміну життя в процесі виконання операції наклейки (ВК-32-200 – 4,5 годин, ВК-26М – 7 годин).

При однаковій температурі сушки в 180 °С клей ВК-26М має на 3-5 Н більшу міцність.

Крім того новий метод «ступенчатої» сушки дозволяє більш рівномірно забезпечувати висихання (полімеризацію) клею по всьому об'єму. На рисунку 2.4 представлені залежності міцності $F_{кр}$ від t °С; на рисунку 2.5 залежності міцності $F_{кр}$ від часу.

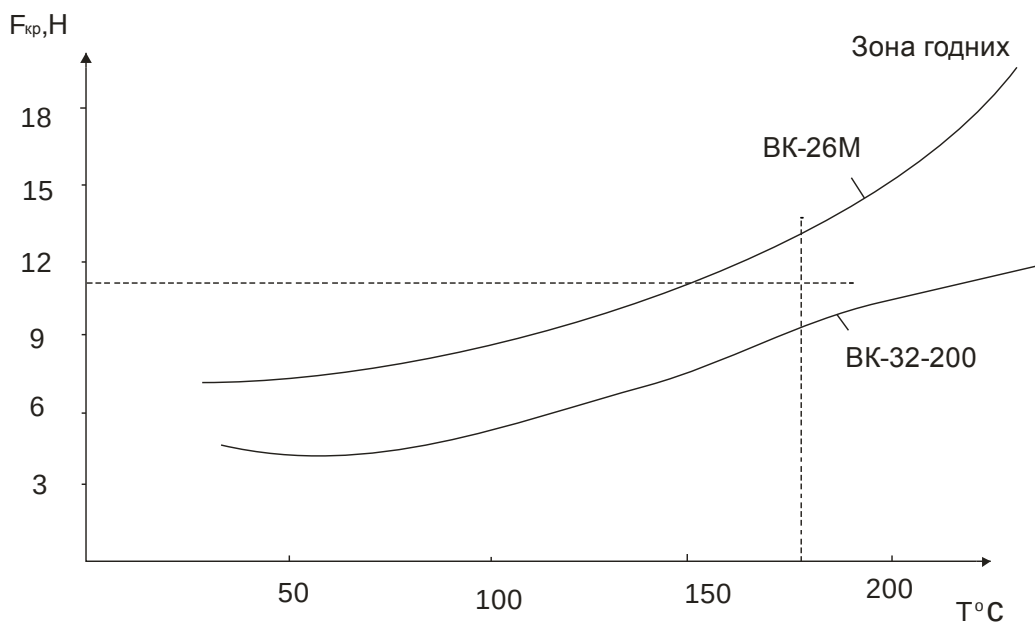


Рисунок 2.4 – Залежність зусилля відриву кристалу $F_{кр}$, Н від температури T , °С.

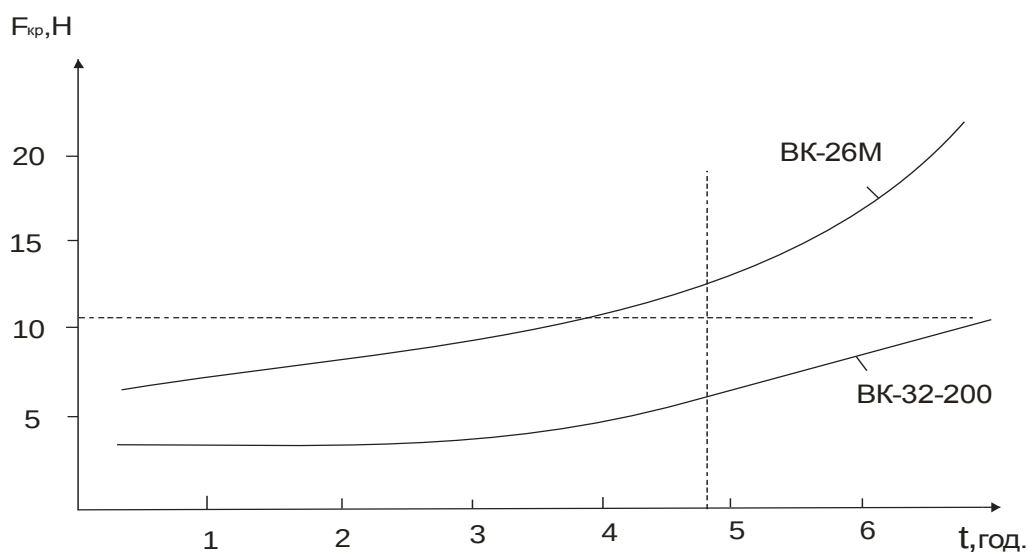


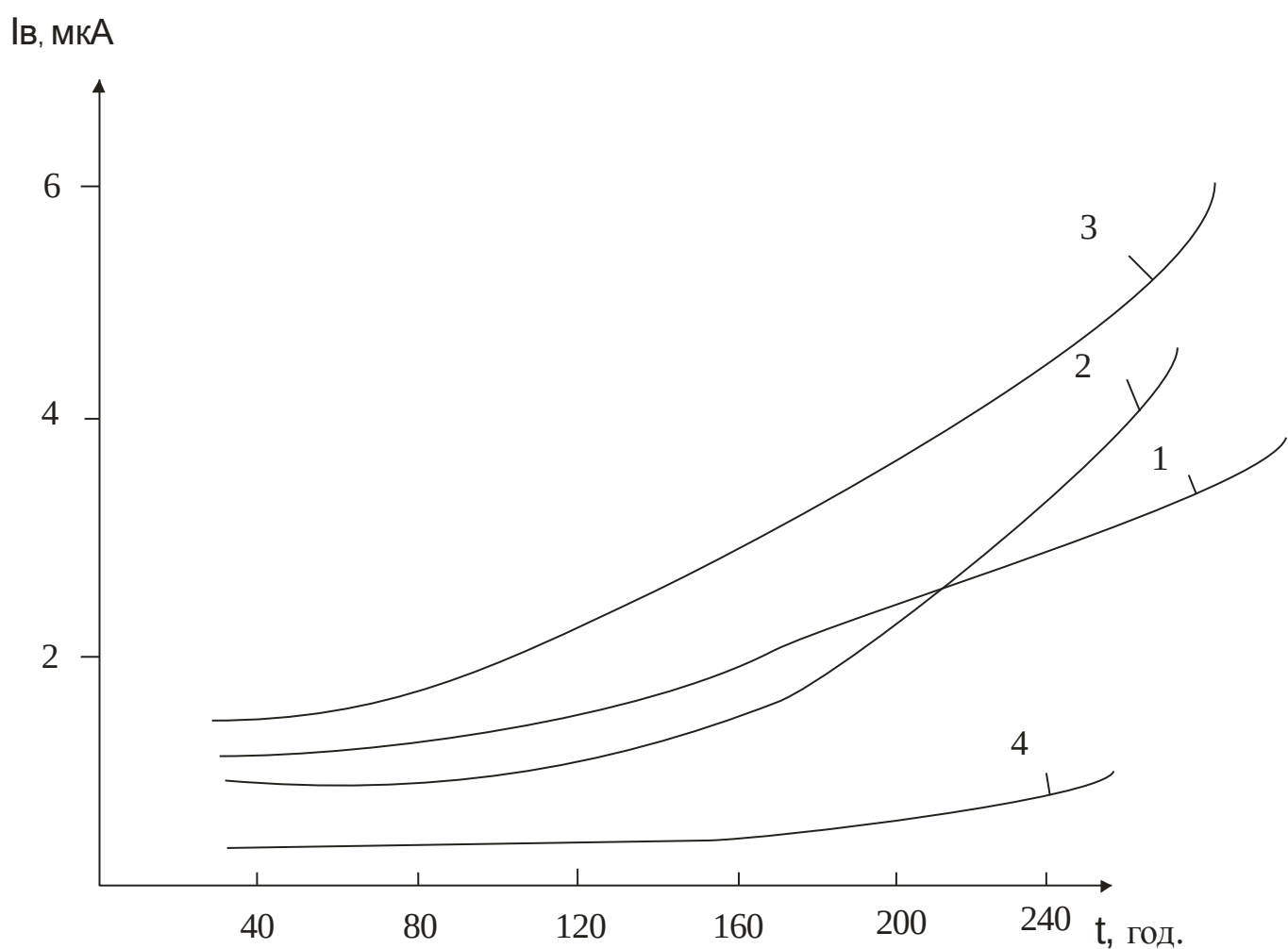
Рисунок 2.5 - Залежність зусилля відриву кристалу $F_{кр}$ від часу сушки t .



Рисунок 2.6 – Схема оцінки впливу навколишнього середовища на якість складальних операцій і надійність мікросхем.

В процесі виконання роботи була проведена оцінка впливу навколишнього середовища на якість складальних операцій і надійність мікросхем рис 2.6.

На рис. 2.7 показана залежність поверхневих струмів I_v від часу у різних умовах (випробування відбувались в середовищі вологості якої складала 30-50%; 50-60%; $\geq 60\%$ і у середовищі азоту).

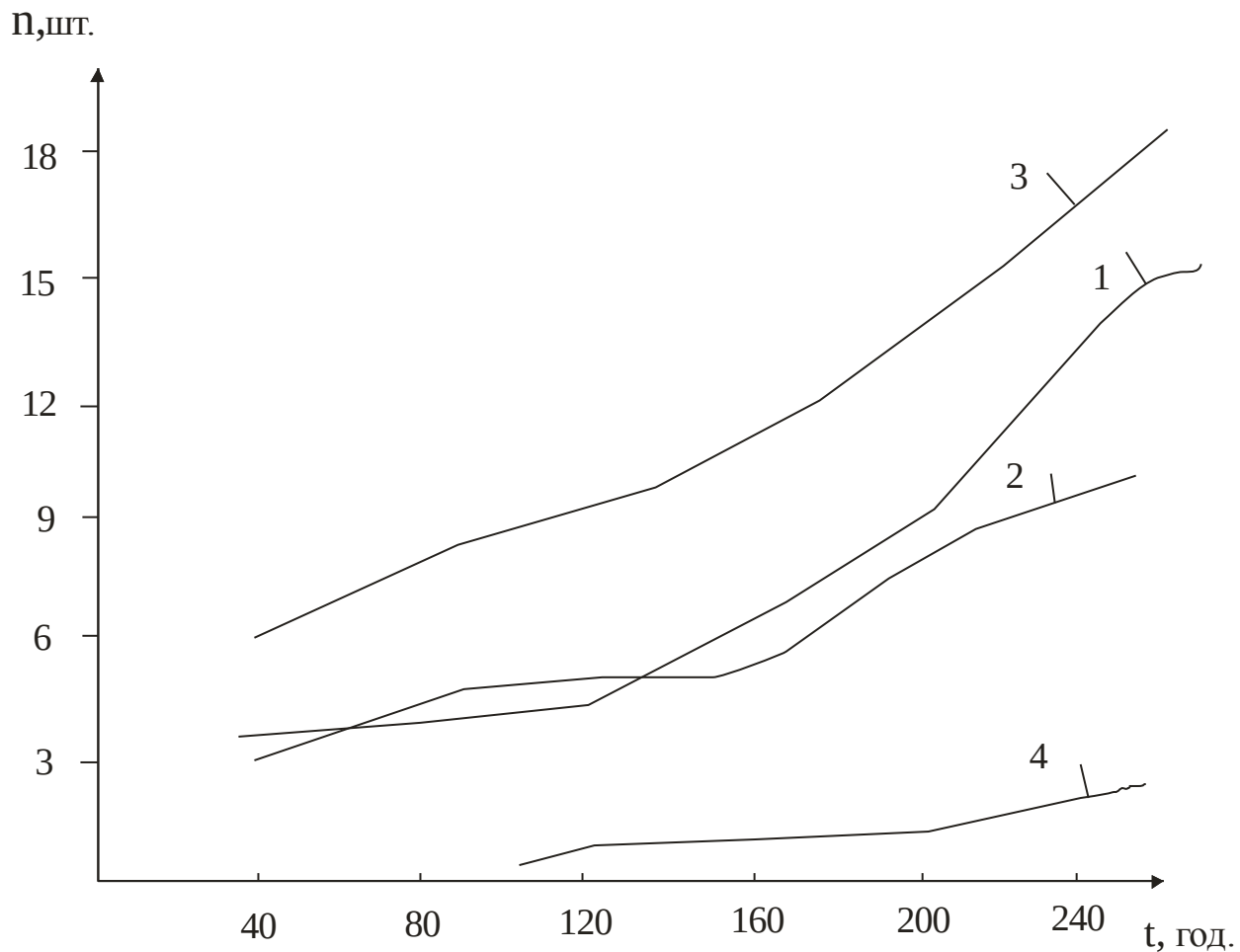


- 1) – 30-50% вологості; 2) – 50-60% вологості; 3) – $\geq 60\%$ вологості;
4) азотне середовище.

Рисунок 2.7- Залежність поверхневих струмів I_v від

Збільшення вологості істотно змінює величину поверхневого струму і збільшує швидкість корозії на кристалі Al металізації і виводів.

На рисунку 2.8 представлена інтенсивність відмов ІС при випробуваннях і корозії.



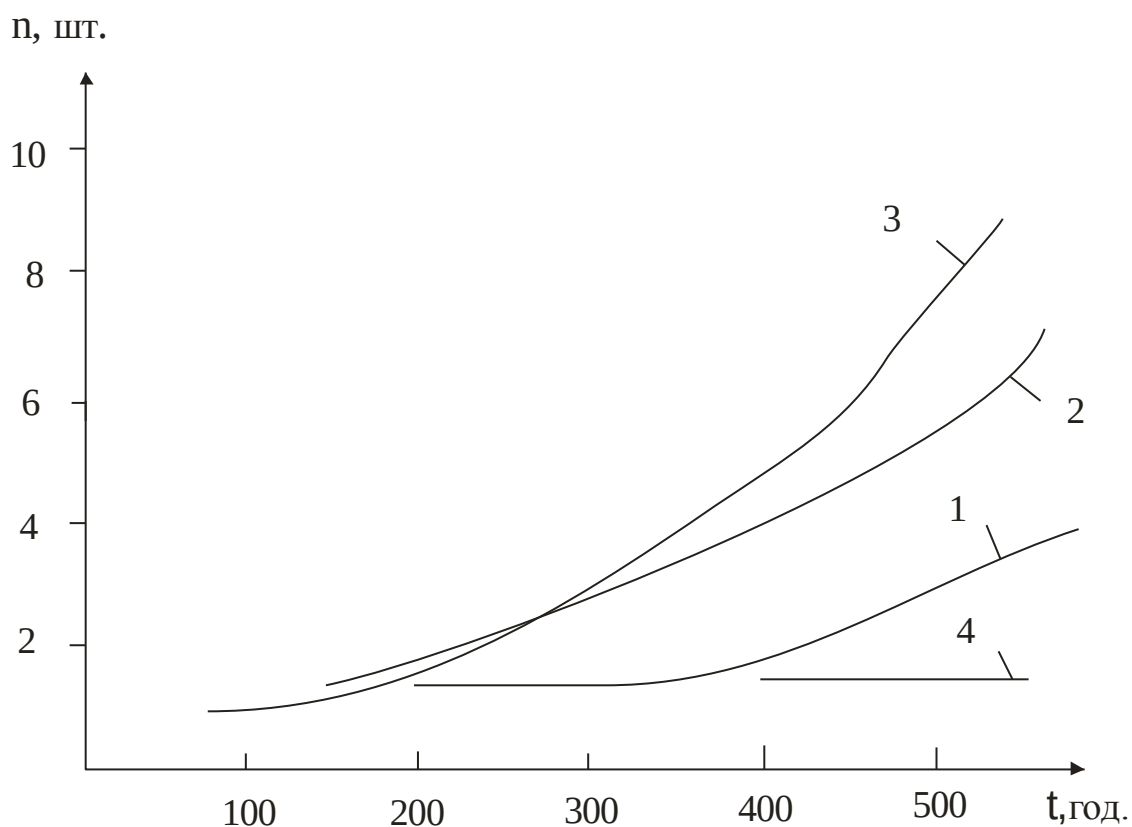
- 1)- вологість складає 30 – 50 %; 2) – 50-60%; 3) - $\geq 60\%$;
4) азотне середовище.

Рисунок 2.8 – Інтенсивність відмов при випробуваннях де:

Додатково від партій, збірка яких виконувалася в контрольованій середі, були відібрані вибірки по 100 шт. і поставлені на 500 годин з перевіркою тих, що відмовили ІС на корозійні руйнування. Результати в таблиці 2.7. На рисунку 2.9 представлений графік залежності зовнішнього середовища на якість ІС.

Таблиця 2.7 – Результати виробувань інтенсивності відмов по корозії.

Номер партії	Час, годин				
	100	200	300	400	500
№1 вологість 30-50%	-	1	1	2	3
№2 вологість 50-60%	-	1	3	4	7
№3 вологість ≥60%	1	2	3	5	9
№4 азот	-	-	-	1	1



1) 30-50% вологості; 2) 50-60%; 3) $\geq 60\%$; 4) азотне середовище.

Рисунок 2.9 – Графік інтенсивності відмов по

Використання модуля із захисною азотною середою (рис 2.10) різко підвищує якість і надійність, що підтверджено випробуваннями.

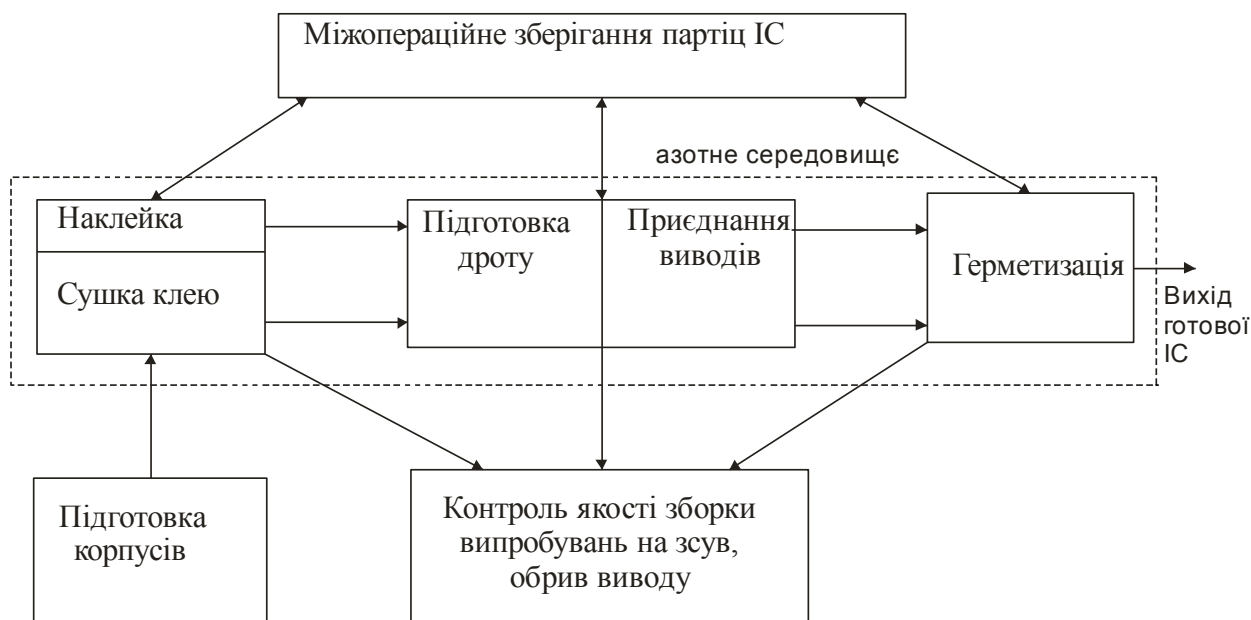


Рисунок 2.10 – Модуль герметичної лінії зборки ІС в азотному середовищі.

2.4 Висновки

1. При якісному виконанні складальних операцій забезпечується необхідна надійність виробу.
2. Температурний режим сушки клею ще не гарантує міцність з'єднання.
3. Використання ступінчатої сушки (70 °C – 110 °C – 150 °C – 180 °C – 150 °C – 110 °C – 70 °C) клею забезпечує рівномірне висихання у всьому об'ємі, що на 20 – 40% підвищує міцність з'єднання.
4. Виробниче середовище надає істотну дію на кристал і викликає нестабільність параметрів.
5. Застосування азотного середовища при виконанні складальних операцій виключає появу поверхневих струмів витоку.

6. Правильний вибір типу голки для приєднання висновків забезпечує необхідну міцність висновків.

7. Клей ВК-26М має більш стійку характеристику по строку життя до полімеризації.

8. Ступінчата сушка дозволяє скоротити на 1-1.5 години час сушки.

9. Використання захисного середовища (азоту) при виконанні складальних операцій виключає вплив навколишнього середовища на кристал и з'єднання, що значно зменшує і практично виключає розвиток корозії.

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті була проведена робота по оптимізації технологічного процесу зборки ІС з метою підвищення їх надійності.

Мета дипломного проекту полягала у виборі найбільш оптимального техпроцесу зборки ІС, в різних умовах і середовищах.

Випробування по зборці інтегральних схем (наклейка, приєднання виводів, герметизація) проводились у різних умовах і середовищах (у вологих середовищах і в азоті), з різними клеями (ВК-26М і ВК-32-200), які мають різні властивості і як ці властивості впливають на якість готових ІС. Також була впроваджена ступінчата сушка клею, за рахунок якої можливо підвищити міцність приєднання кристалу.

Протягом багатьох випробувань було обрано найбільш оптимальний технологічний процес зборки ІС. Було з'ясовано, що клей ВК-26М має більш стійку характеристику по строку життя до полімеризації. Використання ступінчатої сушки (70 °С – 110 °С – 150 °С – 180 °С – 150 °С – 110 °С – 70 °С) клею забезпечує рівномірне висихання у всьому об'ємі, що на 20 – 40% підвищує міцність з'єднання, а також скоротити на 1 - 1.5 години час сушки.

Оскільки виробниче середовище надає істотну дію на кристал і викликає нестабільність параметрів, використання захисного середовища (азоту) при виконанні складальних операцій виключає вплив навколишнього середовища на кристал и з'єднання, що значно зменшує і практично виключає розвиток корозії, а також виключає появу поверхневих струмів витоку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем [Текст] / М.: Высшая школа, 1977. – 272 ст.
2. Верниковський Е.А. Дефекты. выход годных и избыточных БИС ЗУ [Текст] / Иноземна електронна техніка. 1985. № 10.
3. Горлов М.И. Действие электрических зарядов на полупроводниковые приборы и интегральные схемы в технологии, при испытаниях и эксплуатации [Текст] / Огляди по електронній техніці. Сірок. 3, Мікроелектроніка. М.: ЦНІІ «Електроніка», 1988. Вип.2.
4. Горлов М.И., Золотухина О.М., Авербах В.И. Напряженно-деформированное состояние кристалла в процессе сборки [Текст] / Електронна промисловість. 1989. Вип. 8.
5. Горлов М.И. Испытание приборов электронной техники и електронных блоков и их использование [Текст] // Препрінт НІІБВ. Вороніж, 1991.
6. Коррозия алюминиевой металлизации кремневых транзисторов и интегральных микросхем [Текст] Горлов М.И., Микрюков В.Н., Золотухина О.М., Котов В.В. / Електронна техніка. Сірок. 8. 1992. Вип. 2 (149)-3 (150).
7. Ефимов И.Е., Кальман Н.Г., Мартинов В.И. Надежность интегральных полупроводниковых схем [Текст] / М.: Вид-во комітету стандартів, заходів і вимірювальних приладів.
8. Kendall G., Stuard A. The advanced theory of statistics [Текст] / Managing director. Formerly professor of statistics in the university of London. 1960 – 466 ст.
9. Паламар, Михайло. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. [Текст] / Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький, Андрій Паламар; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 150 с.
10. Айвазян С.А. Программное обеспечение персональных ЭВМ по статистическому анализу данных [Текст] / Компьютер и экономика: экономические проблемы компьютеризации общества. М.: Наука, 1991. С.91-107

11. С.А. Айвазян, В.С. Степанов. Инструменты статистического анализа данных [Текст] / Мир ПК, 1997, № 8, с. 32-41.
12. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / М.: Радио и связь, 1987. – 464с.
13. Ефимов И.Е., Козырь. И.Я., Горбунов Ю.И Микроэлектроника / М.: Высшая школа 1987. – 416с.
14. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. / СПб: Лань, 2008. – 394 с.
15. Еромлаев Ю.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г., Конструкции и технология микросхем. / М.: Советское радио 1980 – 256 с.
16. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы / СПб.: Лань, 2006 – 480 с.
17. Парфенов О.Д. Технология микросхем / М.: Высшая школа, 1987 – 416 с.
18. Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / М.: Вильямс 2007 – 912с.
19. Дмитрів В.Т., Шиманський В.М. Електроніка і мікросхемотехніка / Л.: Афіша 2004 – 176 с.
20. Николаев Г.А., Сварка в машиностроении / М.: Машиностроение 1978 – 504 с.
21. Хмелев. В.Н., Сливин А.Н. Абрамов А.Д. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов / Бийск: Издательство Алтайского гос. технич. ун-та 2014 – 281 с.
22. Акулин С.А., Бордаков Е.В. Методика контроля подвижного заряда в диэлектрических пленках. Электронная техника/ М.: 1978 – 24 с.
23. Солодуха В.А., Пилипенко В.А., Горушко В.А. Влияние быстрой термической обработки подзатворного диэлектрика на параметры микросхем временных устройств / М.: Доклад 2020 – 8 с.
24. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. / М.: Высшая школа – 1986 – 279 с.

25. Charles A. Harper Electronic packaging and interconnection handbook / McGraw – Hill Professional 2005 – 998 p.

26. Королев Л.Н. Микропроцессоры, микро- и мини-ЭВМ/ М.: Изд-во Московского ун-та 1988 – 213 с.

27. Э Клингман Проектирование микропроцессорных систем / М: Мир 1980 – 576 с.