

2.2 Кількісні показники надійності

Умовимося кількісно визначати надійність як вірогідність $P(t)$, того, що в даних умовах експлуатації до моменту часу t не виникне відмова.

Величина $1-P(t)$ характеризуватиме протилежну подію – вірогідність виникнення відмови в цих же умовах до моменту часу t .

Тривалість роботи напівпровідникових приладів прийнято характеризувати напрацюванням, яке вимірюється одиницями часу, числом циклів, включень і т.п.

Сумарне напрацювання приладу від початку випробувань або експлуатації в певних умовах і режимах до моменту виникнення відмови назвемо довговічністю напівпровідникового приладу.

Час, протягом якого зберігається працездатність окремих приладів, є випадковою величиною, яка може приймати будь-які значення від нуля до нескінченності.

Кількісна характеристика цієї випадкової величини – функція розподілу часу безвідмовної роботи $f(t)$ – щільність вірогідності напрацювання до моменту відмови t .

Величина $f(t)dt$ – вірогідність того, що відмова відбудеться в інтервалі часу dt у момент t .

Функцію $f(t)$ називають законом розподілу відмов.

Співвідношення між $f(t)$ і вірогідністю безвідмовної роботи $P(t)$ має вигляд:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Для оцінки середньої довговічності великої сукупності приладів використовується середній час безвідмовної роботи t_{cp} , який визначається як

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (2.2)$$

або

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.3)$$

При оцінці надійності напівпровідникових приладів необхідно дати оцінку кількості відмов, які відбудуться за інтервал часу t_1-t_2 , якщо відомо, що до початку цього інтервалу всі прилади були працездатними.

Така оцінка може бути зроблена за допомогою даних про величину інтенсивності відмов напівпровідникових приладів.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ - визначається як відношення кількості приладів $n(t)$, що відмовили протягом інтервалу часу від t_1 до t_2 до добутку кількості приладів $N(t)$, працездатних до початку цього інтервалу, на його тривалість:

$$\lambda(t) = \frac{dn(t)}{N(t)dt} \quad (2.4)$$

Величина $\lambda(t)$ може бути представлена як

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (2.5)$$

Основні характеристики, вказані вище, зв'язані між собою рівняннями:

$$\boxed{P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau}, \quad (2.6)$$

ОСКІЛЬКИ $f(t) = -\frac{dP}{dt}$, ТО $\lambda(t) \cdot P = -\frac{dP}{dt}$ І $\lambda(t)dt = -\frac{dP}{P}$ $\int \lambda(t)dt = -\int \frac{dP}{P}$

$$Pt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dy} \quad Pt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dy}$$

$$\boxed{P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}}; \quad (2.7)$$

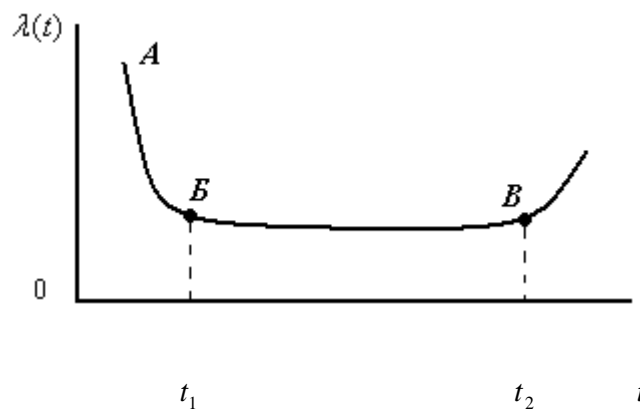
$$\boxed{\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{d(t)}}; \quad (2.8)$$

$$\boxed{t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt}, \quad (2.9)$$

ОСКІЛЬКИ

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = -\int_0^{\infty} t \frac{dP(t)}{dt} dt = -\int_0^{\infty} t dP(t) = -tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt$$

Експериментально було встановлено, що для деяких типів елементів залежність інтенсивності відмов $\lambda(t)$ від часу має вигляд мал. 2.1:



Малюнок 2.1 – Типова залежність інтенсивності відмов від часу

На ділянці AB інтенсивність відмов падає. Цю ділянку звичайно називають періодом напрацювання елементів. Висока інтенсивність відмов тут пов'язана з втратою працездатності приладів, які мають значні приховані дефекти. Таких приладів, як правило, буває небагато. При належному контролі вони можуть бути виявлені наперед.

На ділянці BB інтенсивність відмов постійна. Це період нормальної роботи елементів. Тривалість його звичайно багато більше періоду напрацювання.

Після закінчення періоду нормальної роботи приладів інтенсивність відмов знову зростає. Починає позначатися ізнос приладу, закінчується ресурс його роботи. Для напівпровідникових приладів зростання інтенсивності відмов з часом за нормальних умов експлуатації практично не спостерігається.

У разі жорстких режимів випробувань або експлуатації може спостерігатися зростання, наприклад, при випробуванні на вологостійкість, дію радіації і т.п.

Тема III Механізми відмов діодів і транзисторів

3.1 Механізми раптових відмов діодів і біполярних транзисторів

Відомі наступні основні причини раптових відмов діодів і БТ:

- Коротке замикання (КЗ) унаслідок попадання провідних частин між контактними площадками або выводами;
- Пробої р-п переходів;
- Проплавлення металізації через дифузійні шари в кремнії при високих рівнях розсіюваної потужності;
- Електродифузія кремнію в алюміній при високій щільності струму (10^6 А/см²) з одночасним проникненням алюмінію в дифузійні шари;
- Міграція алюмінію по поверхні кремнію між алюмінієвими контактними майданчиками за наявності різниці потенціалів і підвищених температурах переходу (більше +150⁰С)

КЗ – р-п- переходів із-за знаходження між контактними площадками або выводами сторонніх провідних частинок зустрічаються рідко. Проте частинки можуть з'являтися унаслідок відшарування осадженого хімічним шляхом металевого покриття внутрішньої поверхні корпусу або унаслідок недбалого виконання операції приварювання внутрішніх выводів. Для виявлення таких недоліків проводять спеціальне випробування. Прилади, до яких прикладена постійна напруга, піддаються вібрації. За допомогою схем реєструються імпульси струму і напруги, що виникають в ланцюзі, коли у випробувальному приладі виникає коротке замикання або обрив.

Найбільшу небезпеку представляють пробої р-n- переходів: лавинний, тунельний і вторинний, що виникають із-за перевантажень по струму або напрузі або із-за недостатнього технологічного запасу по напрузі у переходів. При пробоях має місце розсіювання великих потужностей, що приводить до нагріву кристала аж до розплавлення металізації і проникнення металу через дифузійні шари в емітері і базі.

Слід відмітити, що пробій переходів в кремнієвих планарних транзисторах і діодах інтегральних схем не відбувається одночасно за всією площею переходів.

Тунельний пробій має місце лише у вузьких р-n- переходах завширшки близько 1000 \AA при $U_{пр} \ll 5 \text{ В}$.

Лавинний пробій спостерігається в широких р-n- переходах при $U_{пр} > 7 \text{ В}$.

Вторинний пробій спостерігається в транзисторах, що працюють в активному режимі, при прямому зміщенні на емітерному р-n- переході і зворотньому зміщенні на колекторному, а також при перемиканні з режиму насичення в режим відсічки. Цей вид пробою є результатом концентрації емітерного струму в малих областях, в так званих “гарячих точках”, з температурою на $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ вище, ніж в решті частини емітера.

У логічних інтегральних схемах транзистори працюють при дуже малих рівнях потужності ($P < 10 \text{ мВт}$) і при малих напруги ($U_k \leq 10 \text{ В}$). Тому в таких схемах вихід з ладу унаслідок виникнення вторинного пробою в нормальних робочих умовах маловірогідний. У малопотужних інтегральних схемах КЗ діодів і біполярних транзисторів відбувається, як правило, унаслідок тунельного пробою, емітерного і лавинного пробою колекторного р-n- переходів при випадкових значних перевищеннях пробивних напруг переходів $U_{еб0}$ і $U_{кб0}$.

3.2. Поступові відмови діодів і біполярних транзисторів інтегральних схем

Поступові відмови, на відміну від катастрофічних, обумовлені безперервною зміною в часі основних електричних параметрів активних елементів і виходом їх за встановлені норми.

Основними параметрами діодів є:

- зворотній струм при заданій зворотній напрузі;
- пробивна напруга;
- пряме падіння напруги при заданому прямому струмі.

БТ характеризуються наступними параметрами:

- зворотні струми емітерного та колекторного р-п - переходів;
- пробивні напруги різних переходів $U_{ке}$ $U_{кб}$ $U_{еб}$;
- коефіцієнт підсилення за струмом в схемі із загальним емітером $h_{21е}$;
- напруга насичення в режимі насичення при заданих струмах колектора і бази.

Інші параметри, такі як ємності емітера і колектора, гранична частота, підсилення за струмом, звичайно, не контролюються при тривалих випробуваннях на термін служби, оскільки вони незначно змінюються з часом.

3.3 Механізми відмов інтегральних мікросхем

За механізмом відмови можна розділити на 5 категорій:

1. Відмови, пов'язані з явищами в об'ємі кристалу;
2. Відмови, обумовлені явищами на поверхні кристалічної структури;
3. Відмови, що залежать від стану внутрішніх контактних з'єднань;
4. Відмови, пов'язані з конструктивним оформленням;
5. Відмови, пов'язані із зовнішніми діями при застосуванні ІЕТ.

Приведемо основні механізми відмов ІС, пов'язані з технологічними операціями при їх виготовленні.

Основні позначення: КЗ – коротке замикання; О – обрив

Д – деградація електричних параметрів

Таблиця 3.1 – Механізми відмов ІС

Технологічні операції	Механізм відмови	Вид відмови
Дифузія і окислення	Дефект окислу	КЗ, О
	Забруднення	Д
	Поверхневі стани	Д
	Помилка в технології	КЗ, О, Д
Металізація	Розрив на сходинці окислу	О
	Корозія	О
	Електроміграція	О, КЗ
	Обрив у контакті	О
	Помилка при травленні	О, КЗ
Збірка	Відшарування металу	О
	Розтріскування кристала	О, КЗ
	Пережим дротяного виводу	О
	Формування металевого з'єднання	О, КЗ

	Стороння частинка	КЗ
	Подряпина на кристалі	О, КЗ
Герметизація корпусу	Негерметичність корпусу	Д, О
	Утворення “вусів” на металізації, корозія	КЗ, О
	Проникнення вологи	О, Д
Застосування	Дія статичної електрики	КЗ, О, Д
	Перевищення допустимих електричних режимів	КЗ, О, Д

Тема IV Випробування напівпровідникових приладів на надійність

4.1 Види випробувань на надійність

Надійність електронних пристроїв значною мірою залежить від надійності напівпровідникових елементів. Оскільки умови експлуатації стали жорсткішими, підвищилися вимоги до працездатності напівпровідникових елементів.

Основним засобом забезпечення високонадійної роботи напівпровідникових приладів є ретельно продумана конструкція і технологія, розрахована на забезпечення тривалої (10-15 років) роботи напівпровідникових приладів в широкому діапазоні механічних (удари, постійні прискорення, вібрації) і кліматичних (тиск, температура вологість) навантажень.

Крім того, необхідний найжорсткіший контроль за дотриманням технології.

Проте прилади можуть мати дефекти, чітко виражені, які легко забракувати на якому-небудь з етапів технологічного процесу або приховані дефекти, які можна виявити тільки за допомогою спеціальних засобів.

Так, наприклад, негерметичність приладів можна перевіряти, поміщаючи їх на тривалий термін в камеру вологи, опускаючи в гаряче масло, за допомогою ацетону, гелієвого течешукувача і т.п. Погані контакти і металеві частинки, що випадково потрапили в корпус приладу, виявляються, піддаючи прилад вібрації від струму. Короткочасно виникаючі обриви і КЗ фіксують за допомогою спеціальних тригерних схем.

Погану напайку кристала на кристалоутримувач і, виникаючий при цьому локальний перегрів кристала, можна виявити, використовуючи спеціальні інфрачервоні мікроскопи.

Деякі дефекти можна виявити, якщо піддати прилади поперемінній дії високих і низьких температур (термоциклування), ударним і вібраційним навантаженням, роботі під струмом при високих рівнях потужності.

Всі ці заходи носять технологічний характер, але не відносяться до категорії випробувань, хоча проводяться на тому устаткуванні і по тій же методиці.

У завдання випробувань входять не забезпечення, а контроль рівня якості. Випробування проводять після закінчення технологічного циклу на готовій продукції.

Випробування підрозділяють на руйнуючі і неруйнуючі.

Під руйнуючими розуміють такі випробування, які використовують значну часту ресурсів працездатності приладу.

Неруйнуючі випробування практично не використовують ресурси працездатності і не пов'язані з можливістю внесення прихованих дефектів.

Неруйнуючим випробуванням можуть бути піддані всі 100 % виготовлених приладів, проте частіше вибірка, взята від усієї партії.

Руйнуючі випробування проводять тільки вибірково і прилади, піддані таким випробуванням відвантаженню споживачу не підлягають.

Основні види випробувань напівпровідникових приладів наступні:

а) зовнішній вигляд – якість забарвлення, маркировка, лудіння виводів; відповідність креслення за габаритними розмірами;

б) міцність виводів на вигини, обрив, кручення;

в) якість скляних ізоляторів;

г) корозійна стійкість елементів корпусу і виводів;

д) паяємість виводів;

е) герметичність корпусу;

ж) відповідність електричних параметрів нормам ТУ (високі і низькі температури);

з) удароміцність і віброміцність;

и) вібростійкість;

к) термоциклування (здатність витримувати перепади температур);

л) відсутність короточасних обривів або КЗ в конструкції приладу;

м) безвідмовність і довговічність;

н) здатність зберігати свої властивості при тривалому зберіганні;

о) стійкість до особливих видів дії (морський туман, цвілеві грибки, радіація, робота в умовах вакууму, стійкість до спиртобензинової суміші).

Випробування діляться на 4 категорії:

1. Випробування, яким повинні піддавати кожен партію - приймально - здавальні, вони:

а) не повинні бути тривалими;

б) повинні розповсюджуватися на найважливіші властивості приладів.

У цю категорію входять, головним чином, перевірка зовнішнього вигляду, електричних параметрів і деякі механічні і кліматичні випробування.

2. Періодичні випробування, в які входять механічні і кліматичні випробування. Їх проводять на вибірці, що накопичується з різних партій, виготовлених за контрольований період.

3. Випробування, які, звичайно, проводять для нової конструкції приладу, що серійно випускається, називаються кваліфікаційні. До них відносяться випробування на механічну міцність виводів, на відсутність механічних резонансів елементів конструкції.

4. Випробування за спеціальною програмою на тривале зберігання і тривалі (5000-10000 год) стендові випробування приладів.

4.2 Випробування ІМС при виготовленні

Існує два основні методи контролю виробництва інтегральних мікросхем:

1. Візуальний контроль.
2. Контроль за допомогою тестових структур.

Метод візуального контролю відіграє важливу роль у виробництві ІМС. Він включає огляд схем під оптичним мікроскопом і використання різних засобів візуалізації – спостереження, термографії і ін.

Нарешті, один з основних методів контролю параметрів ІМС на різних технологічних етапах - це застосування тестових структур.

4.2.1 Візуальний контроль

Істотні дані про стан пластини можна одержати візуальною перевіркою за допомогою мікроскопа з великим збільшенням — від 80^x до 400^x . При цьому виявляються такі показники, як стан поверхні, надмірне або недостатнє травлення, зміна товщини окисного шару, правильність переходу і ін.

Одним з найбільш небезпечних дефектів є пористість окисного шару, що легко виявляється при візуальній перевірці схеми під мікроскопом. Це - невеликі отвори в окисному шарі, викликані або пилом при нанесенні фоторезисту, або пошкодженням фотошаблону. Якщо цей дефект опиниться в критичній точці, то подальша дифузія домішки може викликати коротке замикання переходу і вихід з ладу всієї мікросхеми.

Одним з ефективних методів візуалізації є використання скануючого електронного мікроскопа, що дозволяє спостерігати топографічний і електричний рельєф інтегральної мікросхеми. Це спостереження забезпечує не руйнуючий характер контролю. Для спостереження необхідно, щоб поверхня мікросхеми була відкритою. Різка зміна потенціалу на поверхні викликає зміну контрасту зображення, що формується вторинними електронами, і свідчить про розімкнений електричний ланцюг або про перегріві

ділянки. Цим методом можна легко виявити забруднення переходу, частинки пилу, проколи в окисному шарі і подряпини на тонкому шарі металізації. Нормальний градієнт потенціалу в резисторі можна спостерігати у вигляді рівномірної зміни кольору від темного, на одному кінці резистора, до світлого на другому його кінці, при цьому підкладка має вищу напругу зсуву, як це, звичайно, буває в інтегральних мікросхемах. При цьому зображення резистора буде рельєфним. Про виявлення ряду таких зображень інтегральних компонентів, що відповідних нормі, можна судити на підставі порівняння їх з еталонами та встановити причини, що викликали їх. Збільшення енергії електронів в промені дозволяє проникати в поверхневий шар для виявлення таких дефектів, як тріщини.

Для вимірювання термічних профілів з виявленням перегрітих ділянок розроблено інфрачервоний скануючий мікроскоп. Мікроскоп включає ІЧ - детектор з високою роздільною здатністю, об'єднаний з прецизійним скануючим і записуючим пристроями. Чутливим елементом є пластина антимоніду індію, підтримувана при температурі рідкого азоту. Таку апаратуру, використовують для оцінки якості конструкції даної мікросхеми відносно розсіяння тепла і потужності. Термоскануючий прилад має наступні переваги: висока дозволяюча здатність - близько $1 \cdot 10^{10}$ мм, висока чутливість до зміни температури - порядку 2°C , широкий температурний діапазон - від 30 до декількох сотень градусів, висока швидкість спрацювання - одиниці мкс, не руйнуюче і безконтактне вимірювання.

У планарних структурах на поверхні схеми добре видно гарячі ділянки, що виникають в результаті наявності проколів в оксиді і дифузійних каналів в напівпровіднику. Відхилення від норми виявляють шляхом порівняння з нормально функціонуючими стандартами ІМС. Останнім часом широке застосування отримали термографічні системи, засновані на використанні термочутливих фарб. Плівки з термочутливих фарб, зокрема рідких кристалів, нанесені на поверхню інтегральної

мікросхеми, поставленої під навантаження, забарвлюються в різні кольори, що дозволяє, спостерігаючи ІМС під мікроскопом, фіксувати зміну температури з точністю до 0.5°C .

4.2.2 Тестові інтегральні мікросхеми

Наявність в інтегральних мікросхемах великої кількості конструктивних елементів - декілька сотень і тисяч перетинів провідників, переходів з шару на шар, областей і виведень активних і пасивних компонентів, контактних майданчиків, практично виключає 100%-ий контроль всіх елементів по електричним параметрам із-за високої трудомісткості цієї операції. В цей же час необхідність такого контролю, особливо на етапі відпрацювання і вдосконалення технології, очевидна.

Для контролю електричних характеристик структур і якості проведення технологічних операцій використовують спеціально виготовлені або розміщені на робочій підкладці структури, звані тестовими мікросхемами. Основний принцип їх побудови полягає в тому, що тестова мікросхема, по відношенню до реальної, повинна бути виготовлена по тому ж технологічному маршруту, містити всі конструктивні елементи в різних поєднаннях, забезпечувати зручність їх контролю під час випробувань та оцінку якості технологічного процесу. Зручність контролю досягається послідовним або паралельним включенням в електричний ланцюг елементів мікросхеми. Тестові мікросхеми складаються з набору декількох сотень однотипних елементів-діодів, транзисторів, резисторів, переходів з шару на шар, перетинів провідників і ін. з контактними площадками такою комутацією, яка дозволяє, при потребі, змінити кожен елемент схеми окремо або проконтролювати відразу групу елементів. Наприклад, тестова схема резистора є послідовною схемою, що містить 200 елементів, між якими є контактні площадки. Якщо в реальній ІМС

зустрічаються високоомні і низькоомні резистори, то роблять дві різні тестові мікросхеми, що відображають специфіку кожного типу резисторів. Аналогічний підхід використовується для тестових мікросхем транзисторів і діодів.

Разом з тестовими мікросхемами контроль окремих компонентів, в першу чергу діодів і транзисторів, проводиться за допомогою тестових кристалів. Тестовий кристал містить набір ізольованих елементів, що зустрічаються в інтегральній мікросхемі (мал.4.1). Його розміри близькі до розміру чіпа і на пластині розташовано тестових кристалів стільки ж, скільки розміщується інтегральних мікросхем.

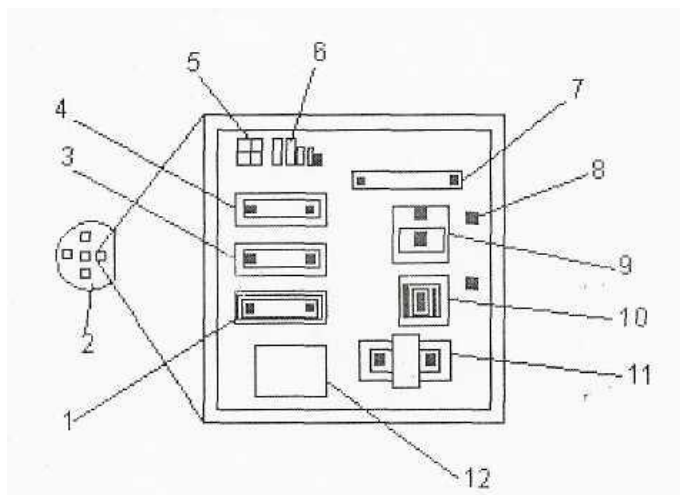
Застосування тестових мікросхем і кристалів дозволяє організувати ефективний технологічний контроль виробництва ІМС і скоротити трудомісткість при проведенні випробувань на надійність ВІС, особливо на етапі відпрацювання технології.

З підвищенням функціональної складності інтегральних мікросхем різко зростає трудомісткість і складність операцій контролю їх параметрів. Практично неможливо перевірити інтегральну мікросхему без автоматизованих контрольних - вимірювальних систем.

До основних видів контрольних випробувань інтегральних мікросхем відносяться:

- Параметричний контроль
- Функціональний контроль
- Діагностичний контроль

Доцільність і ефективність застосування різних видів контролю залежить головним чином від складності і ступеню інтеграції мікросхем, типу логічних елементів і цілей контрольних випробувань.



1 - опір емітера; 2 - пластина зі схемами; 3 - опір бази після дифузії емітера; 4 - опір бази; 5 - знак для поєднання; 6 - знаки для визначення роздільної здатності; 7 - епітаксійний опір; 8 - підкладка; 9 - діод великої площі; 10 - транзистор; 11 - ширина бази; 12 - товщина окисного шару.

Малюнок 4.1 - Тестовий кристал з контрольними елементами

4.2.3 Параметричний контроль

Використовується для мікросхем з малою інтеграцією і включає вимірювання основних параметрів на постійному струмі. Крім того, даний вигляд передбачає проведення перевірки правильності виконання нескладних логічних функцій, що одночасно проводиться з послідовним вимірюванням вихідних електричних сигналів після подачі на входи інтегральної схеми певної комбінації сигналів струму або напруги, які калібруються.

Слід зазначити, що ефективність параметричного виду контролю, з погляду оцінки працездатності мікросхеми в цілому, з підвищенням ступеню інтеграції зменшується, а вимірювання деяких процесів, таких, як час наростання і спаду сигналу, стає недоцільним.

4.2.4 Функціональний контроль

Використовується для перевірки інтегральних схем з високим ступенем інтеграції і включає проведення статистичних і динамічних вимірювань на базі контрольної тестової таблиці, складеної, наприклад, за допомогою ЕОМ з урахуванням мінімізації кількості вхідних кодових комбінацій. Функціональний контроль дозволяє проводити перевірку великих інтегральних мікросхем в умовах, близьких до експлуатаційних.

4.2.5 Діагностичний контроль

Найбільш ефективний діагностичний контроль при проведенні випробувань гібридних інтегральних мікросхем, в яких принципово можлива заміна несправних елементів, розташованих на загальній підкладці.

Складність і різноманітність програми функціонального і діагностичного контролю інтегральних мікросхем вимагають обов'язкового використання ЦОМ і спеціальних автоматизованих систем. Автоматизовані системи, які використовуються для контролю інтегральних мікросхем, характеризуються наступними основними параметрами: продуктивністю, максимальним числом виводів, максимальним числом розрядів кодової комбінації, що видається однією командою за один цикл управління, числом контрольних постів в системі, з якими можлива одночасна робота, складом і універсальністю програмного забезпечення, можливістю виконання параметричного контролю.

Принцип роботи автоматизованої системи функціонального контролю інтегральних мікросхем із застосуванням ЦОМ полягає в наступному.

По команді від ЦОМ в лічильник адреси пам'яті записується початкова адреса вхідних тестових комбінацій, а в регістр адреси контрольованої

тестової комбінації - відповідна адреса. На компаратор подається від ЦОМ очікувана комбінація вхідних сигналів. Декілька розрядів пристрою вхідних тестових комбінацій, що запам'ятовуються, виділено для зберігання певного числа циклів тактового генератора. Протягом періоду зберігання на вхідні виведення інтегральної схеми повинна подаватися одна і та ж тестова комбінація. Число циклів в зворотньому коді переписується в лічильник повторень тестових комбінацій, на рахунковий вхід якого поступають тактові імпульси. При його заповненні збільшується вміст лічильника адреси пам'яті і опитується запам'ятовуючий пристрій вхідних тестів за новою адресою. При рівності адреси лічильника пам'яті і регістра контрольованої комбінації припиняється подача тактових імпульсів, компаратор стробується за часом, фіксуючи вхідні імпульси останньої тестової комбінації.

Шляхом запису в регістр адреси контрольованої комбінації різних адрес перевіряється інтегральна мікросхема з динамічною логікою на всіх тестових комбінаціях. Окрім вказаних елементів, система включає схему порівняння, схему видачі вхідних дій і вентиль.

Найбільш ефективними методами контролю якості з'єднань є випробування на механічну міцність і металографічний аналіз.

4.2.6 Перевірка механічної міцності з'єднань

Для перевірки механічної міцності з'єднань існує багато пристосувань і установок, а також способів випробувань. Наприклад, при випробуванні на зріз структуру з приєднаними виводами піддають розтягуванню силою, що діє паралельно поверхні підкладки. Якщо міцність з'єднання складає менше 70% міцності застосованої проволочки, з'єднання вважається якісним. Випробування з'єднань на відрив виконується шляхом багатократних вигинів виводів під кутом 30° , 45° і 90° щодо поверхні підкладки.

Міцність клейових з'єднань визначають випробуваннями на розрив. Міцність клейового з'єднання на розрив повинна бути не менше $(125...150) \cdot 10^5 \text{Н/м}^2$.

4.2.7 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз полягає в обстеженні поперечних або косих шліфів і дозволяє виявити їх внутрішню структуру і виявляти не змочені при паянні ділянки, проплавлення, мікротріщини, раковини, пори, інтерметалеві включення, сліди дифузії припою по межах зерен.

4.2.8 Рентгенівська дефектоскопія

Рентгенівська дефектоскопія за допомогою пучка, що розходитьсся, дозволяє виявляти внутрішні дефекти і дає достатню інформацію про надійність з'єднань. На відміну від металографічного аналізу цей метод не руйнуючий.

4.2.9 Контроль деталей після холодного штампування

Контроль деталей після холодного штампування виконується візуальним оглядом. Основні види браку після холодної, штампування і їх причини наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Брак при холодному штампуванні

Вид браку	Причина
Темний колір деталі	Погане обезжирювання і відпал
Ломкість матеріалу	Неправильний відпал заготовки Неправильний зазор матриця-пуансон, Погана центрівка, погана

Задирки	заточка ріжучих кромок пуансона і матриці
Подряпини, поздовжні риси	Забруднення смуги, недостатня поліровка витяжного штампу матриць і пуансонів
Обрив країв деталі, виникнення складок	Слабкий прижим матеріалу у витяжному штампі
Обрив дна деталі, виникнення тріщин	Дуже великий прижим матеріалу у витяжному штампі
Брак за розміром	Помилки в конструкції, в виготовленні, або при ремонті штампу, брак матеріалу по товщині, порушення технологічного процесу

4.2.10 Розмір деталей

Вимірюють універсальними вимірювальними інструментами: штангенциркулем, мікрометром, індикатором і оптичним приладом - інструментальним мікроскопом.

4.2.11 Площина поверхонь деталей

Площину поверхонь деталей перевіряють методом світлової щілини за допомогою лекальної лінійки. Око людини здатне уловлювати просвіт в 0.003...0.004 мм.

4.2.12 Контроль на герметичність

Контроль на герметичність проводиться двічі: після виготовлення основи корпусу з ізольованими виводами і після герметизації мікросхем. Герметичність спаю виводів з матеріалом основи або герметичність мікросхеми в корпусі характеризується швидкістю натікання гелію. Для готових мікросхем за критерій герметичності прийнята швидкість натікання гелію ($\text{см}^3/\text{с}$) при різниці тиску зовні і усередині корпусу 10^5 Па.

4.2.13 Перевірка основ корпусів на герметичність

Перевірка основ корпусів на герметичність виконується за допомогою спеціальних пристосувань, що дозволяють за допомогою вакуумних ущільнень створювати об'єм, замкнутий на контрольовану деталь.

Існує багато методів контролю на герметичність. Найчастіше застосовуються мас-спектрометричний, вакуум рідинний і вологісний методи.

4.2.14 Мас-спектрометричний метод

Мас-спектрометричний метод заснований на індикації атомів гелію, що витікають через, наявні в окремих вузлах або загерметизованих корпусах, течі. Застосування гелію для виявлення течі пояснюється тим, що він є найрухомішим газом і володіє високою проникаючою здатністю. Гелій вводиться в корпус мікросхеми при герметизації або шляхом тривалої витримки вже загерметизованих мікросхем в спеціальних герметичних камерах—бомбах, заповнених, після попереднього відкачування, гелієм до тиску $(3...5) \cdot 10^5$ Па. За час витримки (3...48 год) у бомбі в корпуси мікросхем, що мають течу, проникає гелій. Мікросхеми витягують з бомби і поміщають

в стакан установки, наприклад, напівавтомата УКГМ-2 з трипозиційною каруселлю. Поворотом каруселі стакан переходить в нову позицію, ущільнюється і відкачується. Після відкачування об'єм стакана автоматично перемикається на течешукач, який перетворить витік гелію в електричний сигнал. Якщо сигнал перевищує встановлене значення, ІМС бракується.

Мас-спектрометричний метод відрізняється високою чутливістю. До недоліків відносяться: низька продуктивність (100...200 шт/год), складність обслуговування установок.

4.2.15 Вакуум рідинний метод

Вакуум рідинний метод заснований на реєстрації бульбашок повітря, що виходять через течу корпусу в рідину, над якою створюють тиск близько 10...15 Па. Рідина-керосин або уайт-спірит заздалегідь вакуумують, тобто витримують протягом години при тиску 700 Па і при температурі 70...120°C. Мікросхеми занурюють в рідину. Якщо в корпусі є течя, то за рахунок різниці тиску всередині і поза корпусом газ виходитиме назовні у вигляді дрібних бульбашок. Таким чином, при візуальному спостереженні виявляється місце течі. Метод простий, оперативний, продуктивніший - до 700шт/год, але менш чутливий і тому дозволяє виявляти тільки грубу течю. Метод застосовується як попередній для обробки корпусів з великою течєю перед остаточним контролем мас-спектрометричним методом .

4.2.16 Компресійно-термічний метод

Компресійно-термічний метод різновид попереднього методу. Корпуси опускаються в нагріте зневоднене силіконове масло. Нагрів до 200° С підвищує чутливість методу.

4.2.17 Вологісний метод

Вологісний метод контролю найбільш простий, надійний і дозволяє одночасно контролювати, окрім герметичності, стійкість покриттів корпусів до дії підвищеної вологості.

Мікросхеми витримують в камерах тепла і вологи протягом декількох діб в умовах підвищеної вологості (95...98%) при температурі 40 °С. Критерієм забракування є погіршення електричних параметрів унаслідок проникнення вологи в корпуси. Проте в камерах тепла і вологи відбраковуються ІМС тільки з грубою течєю. Крім того, камера не дозволяє оперативно виявляти негерметичність ІМС з добре захищеними структурами. Проникнення вологи в корпус таких ІМС виявляється значно пізніше, коли відбудеться відмова, наприклад, із-за корозії інтерметалевих з'єднань.

4.3 Випробування готової ІМС

Готова ІМС повинна виконувати запроектовані електричні функції перетворення і обробки інформації. Реальне застосування ІМС має на увазі роботу її при дії різних зовнішніх чинників. Для визначення якості і надійності ІМС- їх випробовують. Вважається, що ІМС витримала випробування, якщо після випробувань її зовнішній вигляд і електричні параметри відповідають вимогам технічної документації.

Різноманітні види випробувань об'єднують в категорії, які характеризуються організаційними ознаками їх проведення: рівнем (державні, міжвідомчі), етапами розробки (попередні, приймальні), видами випробувань готової продукції (кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні, типові і т.п.).

Документом, що визначає категорії і види випробувань, а також послідовність їх проведення, є ТУ на конкретний типомінал ІМС (ІМС, що має конкретне функціональне призначення та умовне позначення).

Т.ч. виготовленій ІМС вимогами ТУ вводиться система контролю якості. У зв'язку з цим на даному етапі створення ІМС розрізняють два види контролю їх якості: виробничий контроль і контроль готової ІМС.

Виробничий контроль є складовою частиною типового технологічного процесу і зводиться до визначення двох його складових: явних дефектів, що характеризують відсоток виходу годних виробів, і прихованих дефектів, що характеризують виробничу надійність. В цьому випадку контроль може носити як пасивний, так і активний діагностуючий характер.

Діагностуючий контроль дає інформацію про природу дефектів, що дозволяє вносити необхідні корективи у виробництво.

Пасивний контроль реєструє тільки факт існування дефекту за принципом “годний – не годний”, не розкриваючи механізму дефектів. При контролі якості за наявністю дефектів пасивний контроль зводиться до сортування. Сортування здійснюється шляхом розділення виробів або напівфабрикатів на групи чи за принципом 100 % -го відсіву “годний – не годний”.

Контроль готових ІМС є останньою контрольно – вимірювальною операцією в типовому технологічному процесі. Крім того, її застосовують при практичному використанні ІМС (перед установкою в апаратуру) або при дослідженнях ІМС (при випробуваннях в процесі аналізу відмов). Виробничий контроль параметрів виготовлених структур підрозділяють на наступні види: вхідний, післяопераційний (міжопераційний) і фінішний.

Вхідний контроль матеріалів, напівфабрикатів та допоміжних виробів, що поступають на дану операцію, - це контроль якості напівпровідникових матеріалів, металів, органічних і неорганічних продуктів, діелектриків, деталей корпусу, фотошаблонів і масок і ін., а також дискретних компонентів, що поступають на збірку гібридних ІМС.

Післяопераційний контроль здійснюють з метою визначення оцінки якості операції. Сюди відносяться операції по контролю якості напівпровідникових приладів і плівкових структур, одержаних після різних операцій, зокрема, якості очищення, тривалого нарощування, окислення, дифузії, металізації, напилення, фотолітографії, розділення, монтажу і ін. Післяопераційний контроль проводять після виконання або в ході технологічної операції, причому контрольованими об'єктами є як виготовлені структури, так і технологічні режими та середовища.

Фінішний контроль параметрів виробів проводять після закінчення певного етапу виготовлення ІМС. Сюди відносять контроль пасивної частини гібридної ІМС, комутаційної плати гібридних ВІС, контроль напівпровідникових ІМС на функціонування на неподіленій пластині і т.д. На завершуючому етапі виготовлення ІМС фінішний контроль співпадає з контролем якості готових ІМС.

Контроль якості готових ІМС здійснюють шляхом вимірювання електричних параметрів, що характеризують функціональну приналежність мікросхеми. Проводять також вимірювання за нормальних умов навколишнього середовища або в режимах, що імітують умови експлуатації. Контроль якості здійснюють шляхом вимірювання параметрів безпосередньо самих виробів або параметрів спеціально призначених для цих цілей елементів – тестових структур.

