

8. ZNEHODNOCOVÁNÍ ELEKTRONICKÝCH PRVKŮ

Elektronické prvky, respektive zařízení jsou vyrobeny ze široké škály různorodých materiálů. Je při tom aplikovaná nejrozličnější technologie. To se projevuje i v charakteru jejich znehodnocování. Provést jednoznačnou klasifikaci degradačních procesů elektronických prvků je s ohledem na uvedené skutečnosti komplikovanou záležitostí. Určitou představu o základních degradačních procesech a jejich projevech si lze udělat z tab. 37.

Degradační proces	Příklady projevů
Koroze kovů	Růst oxidových vrstev Korozní praskání Oxidace kovových vrstev Růst izolační vrstvy vlivem korozních produktů
Znehodnocování izolaantů (vlhkostí, teplotou)	Stárnutí materiálu Změna el. charakteristik
Objemová difuze	Růst intermetalických sloučenin
Difuze vlivem el. napětí	Migrace kovových iontů
Difuze vlivem el. proudu	Růst anodických vláken
Adsorpce polárních molekul plynné fáze	Poruchy krystalové mříže

Tab. 37. Základní degradační procesy u elektronických prvků

Některé z těchto degradačních procesů (vlhkostní, teplotní, korozní znehodnocování) byly již vysvětleny. V této kapitole se zaměříme na degradační procesy typické pro elektronické prvky.

8.1 Difuzní degradační procesy

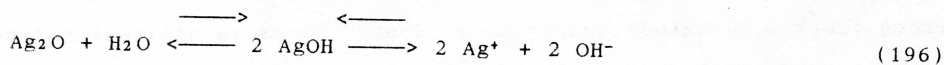
U povlakových systémů může při teplotách $> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ docházet k difuzi nosného kovu na povrch povlaku. Často se s tímto jevem setkáváme u Cu. Rychlost difuze závisí na nosném kovu a struktuře povlaku. Výsledkem tohoto procesu je rozložení legur v povlaku, rozklad nestabilních fází a vměstků v povlaku, vznik vodíkových vad a rekrystalizace spolu se změnou mechanických vlastností povlaků.

Během zahřívání vzniká na povrchu povlaku nejdříve oxidická vrstva, která je zpočátku tvořena oxidy legujících prvků. Teprve později se při oxidaci začne uplatňovat difúzní tok z podložky, popř. z mezivrstvy. Průběh tohoto degradačního procesu je určován vzájemným poměrem rychlosti oxidační reakce a rychlosti difuze. Toto pravidlo má ale omezení dané tím, že difundující kov nemá v celém průřezu povlaku (před začátkem difúzního děje) konstantní koncentraci a doba, po kterou je povlak zahříván, je většinou příliš krátká, takže difúzní procesy probíhají s určitým omezením.

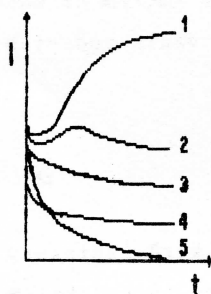
8.2 Migrační a transportní procesy

8.2.1 Napětová migrace

Napětová migrace je jev spojený s transportem kovu na izolačním substrátu za přítomnosti vlhkosti a elektrického napětí. Klasickým příkladem tohoto jevu je napětová migrace stříbra. Ve vodném roztoku na povrchu izolantu dochází v elektrickém poli k pohybu iontů. Ionty stříbra opouštějí anodu a kolem katody se shromažďují vodíkové ionty. Systém je z počátku v elektrické rovnováze. Hydroxilové ionty se ve svém pohybu směrem k anodě setkávají s ionty stříbra. To má za následek, že kolem anody se postupně začíná vytvářet koloidní sraženina oxidu stříbrného a hydroxidu stříbra. Rovnováha tohoto stavu je regulována podle vztahu:



Nadbytečné ionty stříbra jsou kontinuálně ze sraženiny uvolňovány a putují ke katodě, kde se redukují za vzniku charakteristických útvarů nazývaných



Obr. 71.
Migrační schopnost
vybraných kovů

- 1 - stříbro
- 2 - zlato
- 3 - cín
- 4 - mosaz
- 5 - hliník

dendrity. Podle složení elektrod mohou migrovat i jiné kovy. Na obr. 71. je vynesena závislost proud - čas pro různé kovové elektrody. Z grafu je patrný výrazný vzrůst proudu s časem pouze u stříbra. U ostatních kovů, pokud byl z počátku nárůst proudu pozorován, došlo po čase k jeho zastavení v důsledku vzniku pasivačních filmů na rozhraní kov izolační substrát.

Pro růst dendritů je určující poměr mezi hustotou elektrického proudu a koncentrací kovu v elektrolytu. Další ze základních podmínek dendritického růstu je, že v migrační dráze musí být dostatek kapalného (polárního) media, aby se vytvořil dostatečný tok iontů nezbytný pro dendritický růst.

Ve svých důsledcích je napěťová migrace velmi nebezpečný degradační proces. Probíhá-li mezi vodiči hliníkového spojení čipů integrovaných obvodů, vývody zapouzdřených součástek a nebo mezi vodiči na desce plošných spojů, může vlivem napěťové migrace docházet k zkratům a jiným poruchám. Zabránit migračním jevům lze pečlivým oplachem po pájení, vysoušením desek plošných spojů a pokrytím jejich povrchu ochranným lakem a snížením relativní vlhkosti prostředí pod 30 % a snížením přiloženého stejnosměrného napětí.

8.2.2 Růst anodických vláken

Tento degradační proces se vyskytuje na alkalickém substrátu (např. skleněných vlákních napuštěných pryskyřicí) vystaveném zvýšené vlhkosti a stejnosměrnému napětí. Poruchový mechanismus je založen na existenci dvou na sebe navazujících procesů.

První proces vytváří mezi sklem a pryskyřicí kanálky, kde se může usazovat vlhkost. Kanálky mohou vznikat v důsledku nedostatečné úpravy skla, nebo vlivem ztráty mechanické adheze. Tento dílčí proces je nezávislý na přiloženém napětí. Řídícím dějem je obvykle kapilární kondenzace.

Po zaplnění kanálků vodou jsou vytvořeny podmínky pro rozvoj druhého procesu - elektrolýzy. V počáteční fázi je elektrický proud tekoucí po povrchu způsoben převážně elektrolýzou vody; postupně se na anodě hromadí vodíkové ionty a na katodě hydroxidové ionty. To má za následek snížení rozpustnosti korozních produktů mědi, které mohou migrovat roztokem ve směru koncentračního gradientu. V neutrální oblasti se uvolněné korozní produkty stávají opět nerozpustné a ukládají se na povrchu kanálku. Pokud dosáhne alkalická oblast až ke katodě, budou putovat korozní produkty směrem ke katodě, kde se vyloučí ve formě elementární mědi. Důsledkem je vznik vodivých můstků.

8.2.3 Tvorba whiskerů

Obdobným jevem jako je napěťová migrace je tvorba whiskerů. Whiskery jsou monokrystaly kovu ve tvaru tenkých vláken o tloušťce několika μm a délce až několik mm, které vyrůstají z povrchu kovového povlaku.

Mechanismus vzniku whiskerů je ale podstatně odlišný od tvorby dendritů. Charakteristickým rysem pro tvorbu whiskerů je, že tento děj probíhá nezávisle na přítomnosti vlhkosti a elektrického napětí. Nejčastěji vznikají whiskery na ostrých pocínovaných hranách.

8.3 Ostatní degradační procesy

8.3.1 Tvorba polymerů na povrchu kovu

Na povlácích z palladia vlivem katalytické aktivity Pd polymerují některé organické látky přítomné v atmosféře, nebo v mikroklimatu součástky. Negativním důsledkem tohoto jevu je vzrůst přechodového odporu kontaktů z Pd. Formování polymerů lze omezit použije-li se na kontakty místo čistého Pd slitina Pd s 20 až 30 % Ni.

8.3.2 Mechanické a elektrické narušení kovového povlaku

Časté vysouvání a zasouvání může způsobit otěr povlaku kontaktů. Proto je nutné u kontaktů s předpokládaným častým zasouváním a vysouváním volit materiály s vhodnými kluznými a mechanickými vlastnostmi a při volbě tloušťky povlaku brát v úvahu i otěr. Výhodné třecí vlastnosti má povlak AuCo.

Elektrické narušení povlaku přichází v úvahu jen při překročení proudových a napěťových úrovní kontaktního systému.

8.4 Typické vady a poruchy elektronických prvků

8.4.1 Vady a poruchy plošných spojů

Většina dominantních degradačních mechanismů v elektronických zařízeních probíhá za přítomnosti vlhkosti. Tomuto degradačnímu činiteli podléhá i desky plošných spojů. Rozhodujícím projevem poruch u desek plošných spojů je zvětšování odporu propojení (koroze vodivých drah) a snižování izolačního odporu mezi vodivými částmi desky, např. vlivem migračních dějů.

Koroze vodivých drah na izolačním substrátu je do značné míry ovlivněna přiloženým vnějším napětím. Porucha se projevuje zvětšováním odporu vodivé dráhy a obvykle končí jejím přerušením. Doba trvání tohoto poruchového mechanismu je závislá na materiálovém složení vodivé dráhy a charakteristických vlastnostech elektrolytu.

Při korozi vodivých drah se na povrchu izolačního substrátu vytváří rozpustné korozní produkty, které zvyšují povrchovou vodivost nosného izolantu a mohou způsobit zkrat mezi vodivými dráhami.

8.4.2 Vady a poruchy pájených spojů

Nejrozšířenějším způsobem spojování elektronických součástek je pájení. Dominantní znehodnocení pájeného spoje způsobují póry ve spojích. Pórovitost v pájeném spoji se může projevit tzv. studeným spojem.

Důležitým předpokladem pro kvalitní pájený spoj je kovově čistý povrch vývodu součástek. I tenká vrstva oxidů nebo malé množství korozních produktů nestejně rozložených po povrchu výrazně zvyšuje riziko vzniku studených spojů. Velmi negativní vliv na pájitelnost mají intermetalické fáze a oxidy.

Pájitelnost se může zhoršit i vlivem kontaminace povrchu mastnotou, potem či nadměrnou oxidací. Negativně ovlivňuje pájitelnost také difuze substrátu na povrch povlakového systému.

8.4.3 Vady a poruchy kontaktních systémů

Nejčastější poruchou u kontaktních systémů je vzrůst přechodového odporu. Je způsoben korozními procesy vyvolanými hlavně agresivními složkami atmosféry a vlhkostí v ovzduší.

Vlivem mechanické a elektrické funkce kontaktního systému se k tomuto základnímu degradačnímu procesu připojují i další degradační mechanismy a to mechanická a elektrická eroze. Vlivem samočisticí schopnosti kontaktů může mít mechanická eroze v určitém smyslu pozitivní vliv na spolehlivost kontaktního systému.

Ke zvýšení přechodového odporu může docházet i při opakovaném spínání a rozpínání kontaktního systému (např. vlivem zadírání korozních zplodin do povrchového povlaku).

Povrch kontaktních ploch je velmi často pokryt povlakem, který má za úkol zajistit kvalitu kontaktního systému jak z hlediska korozního tak elektrického. Degradace procesy probíhající v tomto povlakovém systému mohou být příčinou snížené spolehlivosti kontaktů.

8.4.4 Vady a poruchy povlakových systémů

U povlaků z Au, Rh a Ru je dominantním korozním procesem koroze v pórech a trhlinkách povlaku. Počet pórů a jejich velikost závisí především na

tloušičce povlaku, drsnosti povlaku, jakosti předběžných úprav, režimu pokovení.

Ve zlatých povlacích elektrolyticky vyloučených na funkčních částech kontaktů a na plošných spojích, se působením zvýšených teplot při montáži (pájení, termokompresi) a provozním zatížením urychlují difuzní pochody, což ve svých důsledcích vede k degradaci povlaku charakterizované především zvýšením přechodového odporu.

Některé korozní produkty se mohou za určitých podmínek plížit po povrchu základového kovu na povlaky ušlechtilých kovů.

U cínovaných povlaků aplikovaných u kontaktů se setkáváme s vibrační korozí. Na povlacích z palladia vlivem katalytické aktivity Pd polymerují některé organické látky přítomné v atmosféře, nebo v mikroklimatu součástky. Negativním důsledkem tohoto jevu je vzrůst přechodového odporu kontaktů z Pd.

Časté vysouvání a zasouvání může způsobit otěr povlaku kontaktů. Proto je nutné u kontaktů s předpokládaným častým zasouváním a vysouváním volit materiály s vhodnými kluznými a mechanickými vlastnostmi a při volbě tloušťky povlaku brát v úvahu i otěr.

Základní literatura k problematice znehodnocování elektronických prvků [17], [18].