

リードフレーム用銅合金の樹脂密着性

野村幸矢*・坂本 浩**

*長府製造所・銅板研究室 **長府製造所・銅板製造部

Adhesion Characteristics of Copper Alloys to Mold Resin as a IC Leadframe

Koya Nomura・Hiroshi Sakamoto

Adhesion to mold resin is one of the most important properties of leadframe materials in maintaining IC device reliability. The effects of copper alloy composition, the thickness of copper underplating and Benzo Triazole (BTA) anti-tarnishing were investigated respectively. Pure copper surfaces such as oxygen-free copper and copper-layered materials have better adhesion characteristics than other copper alloys. Copper underplating must have enough thickness to prevent the leadframe material from being oxidized. BTA anti-tarnishing was quite effective in the actual production of copper leadframes. By selecting the proper condition on the points above, the reliability of copper leadframes against package cracking can be maintained for mass production systems.

まえがき = IC や LSI などの半導体装置の大多数はモールドされたプラスチックパッケージを外殻としている。小型・軽量のパッケージを低コストで大量生産できるためである。このプラスチックパッケージタイプ IC は、リードフレームのベッドに半導体チップを接着し、さらにワイヤによりチップとリードを接続し、これらを一体のものとして熱硬化性樹脂により封止することによって作製する。封止用樹脂には成形作業性、価格などですぐれているエポキシ樹脂が多用されている。

ところが、半導体素子の高集積化とプリント基板への実装方式の変化によりプラスチックパッケージタイプ IC の信頼性を阻害する大きな問題が顕在化してきた。

すなわち耐湿性の低下である。高集積化した半導体素子の熱放散には、従来より多用されてきた 42 アロイ (Fe-42%Ni 合金) よりも高熱伝導性の銅合金リードフレームが有利である。いっぽう、入出力端子数が増大し、パッケージサイズも大型化した IC を複数同時にはんだ付けするために、リードをプリント基板のスルーホールへ挿入してはんだ付けする方式にかわって、プリント基板の銅パターン上に印刷されたクリームはんだに平坦なリード先端をもつパッケージを仮止めし、一括して炉中ではんだを溶融して実装するリフローはんだ付け方式が主流になってきた。この方式ではパッケージ全体が 200 以上の温度にまで加熱される。

銅合金は、熱伝導性や価格などの点で 42 アロイよりもすぐれているが、その酸化皮膜の密着性という点では 42 アロイには及ばない¹⁾。プラスチックパッケージでは樹脂封止がおこなわれる前に、リードフレーム表面が酸化される工程を何度か経る。したがってリードフレームと封止樹脂間で酸化皮膜の密着性に起因する剥離などの界面劣化現象が生じていると、樹脂自身の吸湿と毛細管現象により、この剥離部分に水分が集中する²⁾。このような状態でリフローはんだ付けがおこなわれると内部の水分が急激に膨張する。

いっぽう、封止用のエポキシ樹脂の多くはガラス転移温度がはんだ付け温度よりも低く、リフローはんだ付け時には樹脂強度は低下してしまう。このため、パッケー

ジが内部の水蒸気圧に耐えきれず割れてしまう³⁾。さらにクラック部分から水分や不純物が侵入すると、チップ自身やワイヤボンディング接続部を腐食させるおそれがある。またパッケージが膨れて変形したり、クラックがパッケージ表面まで達すると外観不良となり商品としての価値を損なう。

このようなパッケージクラック現象を防止するために、樹脂接着強度の低下抑制や向上などがはかられている。たとえばリードフレーム裏面のディンプルや貫通孔加工、それに低吸湿・低応力・高ガラス転移温度のエポキシ樹脂開発などである。しかし、リードフレーム用材料やその表面処理方法からこの問題にアプローチしている研究⁴⁾⁻⁶⁾はまだ少ない。

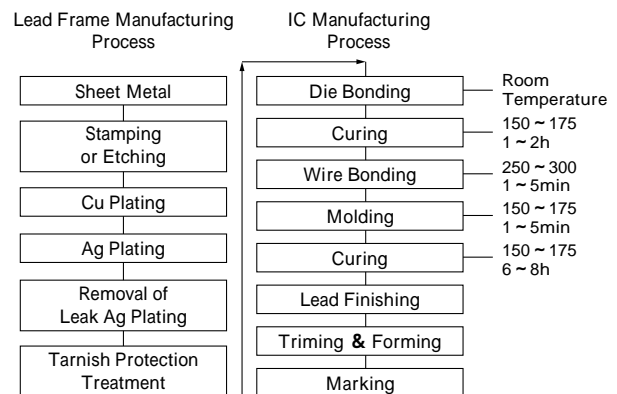
ここではリードフレーム用素材である銅合金の種類やその表面処理方法と樹脂接着強度の関係について、これまでにえた知見を報告する。

1. 実験方法

1.1 実験条件の選定

前述のように、リードフレーム用素材およびその表面処理方法と樹脂接着強度の関係を明確にするためには、IC の組立工程でリードフレームが受ける熱履歴と表面処理を実験条件に取込むことが必要である。

第 1 図に IC 組立工程を示す。スタンピングまたは工



第 1 図 プラスチックパッケージ IC の組立て工程

Fig. 1 Assembly process flow chart of plastic package IC

ツチングにより成形加工されたリードフレームには Si チップを搭載するダイパッドおよび Au ワイヤがボンディングされるインナーリード先端のみに Ag がスポットめっきされる。Ag スポットめっき前には下地めっき処理、通常は Cu ストライクめっきが施される⁷⁾。いっぽう、Cu 合金への Ag スポットめっきでは Ag の Cu 上への置換析出反応が激しく、めっきエリア外へのめっきの洩れが発生しやす。この Ag めっきのエリア外への洩れは外観やモールド後の樹脂密着性を劣化させたり、リード間の Ag マイグレーションを引き起こす原因となる。したがってスポットめっき後にはリードフレーム上のエリア外の Ag を剥離する。このとき、スポットめっき前の下地 Cu ストライクめっきも同時に剥離してしまい、本来、ほぼ均一厚みで単相であった Ag スポットめっきエリア以外の Cu めっき層はその緻密さと厚みの均一性を失う。場合によっては素材表面が顔をだす。

この Ag スポットめっきが施されたリードフレームは保管・運搬時の腐食・変色を防止する目的で、ベンゾトリアゾール (1, 2, 3-benzotriazole (BTA)) をインヒビタとする防錆剤を塗布しておくのが一般的である⁸⁾。したがって、Cu めっきがすべて剥離された場合を想定した素材のまま、Cu 下地めっきおよび防錆剤の影響を調査するために、Cu めっき厚みを変化させた材料および防錆剤塗布条件を変えた材料の 3 種類を樹脂密着性評価用の供試材として調査した。

いっぽう、第 1 図に示したように、リードフレームは樹脂がモールドされる前に、ダイボンディング後のキュアリングとワイヤボンディング工程中で加熱される。これらの工程は通常大気中でおこなわれる。この際、成長した酸化皮膜を介してエポキシ樹脂がリードフレームにモールドされる。

工程全体を通しては、加熱温度は 150 ~ 300 °C、加熱時間は数分 ~ 数時間の範囲である。工程中で最高温度に達するワイヤボンディング工程で銅および銅合金の酸化がもっとも進行する。したがってこの工程を想定した 240 ~ 300 °C × 3 ~ 5 分を加熱条件とした。

1.2 供試材

供試材には板厚 0.15mm の市販リードフレーム用銅合金をもちいた。第 1 表に代表組成を示す。比較材として無酸素銅 (C10100: OFC) も使用した。樹脂密着性評価用には住友ベークライト(株)製樹脂スミコン[®] EME 7351 を使用した。モールドプレス金型温度は 175 °C、注入圧力は 6.8MPa、注入時間は 20 秒とした。モールド金型内で 120 秒キュアしたのち、さらに 175 °C オープン中で 6 時間キュアした。

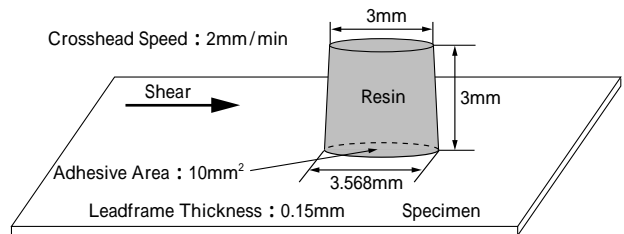
1.3 銅合金組成の影響調査方法

供試材を幅 10mm、長さ 30mm に切断して電解脱脂後、硫酸で酸洗いし表面の防錆被膜、酸化物を除去したのち、ホットプレート上でワイヤボンディングを想定した 240 ~ 300 °C の 3 分間加熱をおこない、酸化皮膜を生成、その上に第 2 図に示す寸法および形状の樹脂をモールド、キュアして試験片を作製した。これらの試験片から真横に樹脂を押し分け、そのせん断強度を測定した。

第 1 表 供試材の化学組成

Table 1 Nominal composition of specimens

Alloy Name	wt%						
	Cu	Fe	Ni	P	Zn	Si	Mg
KFC	Rem.	0.1	—	0.03	—	—	—
KLF194	Rem.	2.3	—	0.03	0.15	—	—
KLF118	Rem.	—	1.8	—	1.1	0.4	—
DKLF5	Copper Layered Cu-0.1% Fe-0.03% P-2% Sn Alloy						
C70250	Rem.	—	3.0	—	—	0.65	0.15
OFC	99.99	—	—	—	—	—	—



第 2 図 モールド樹脂形状

Fig. 2 Shape of molded Resin

この評価では銅合金ごとの樹脂引き剥がしに要したせん断強度をその供試材の酸化皮膜厚さの関数として整理した。

酸化皮膜厚さは、供試材表面上の Cu 酸化物をすべて Cu₂O と見なし、0.1mol/l KCl 水溶液中でこの Cu 酸化物を還元するのに要した電流量から算出するカソード還元法をもちいた。

1.4 Cu 下地めっき厚さの影響調査方法

代表的リードフレーム用銅合金として KLF194 と KLF118 の 2 種類を選び、これらに Cu めっきを施した。

第 2 表 Cu めっき浴組成およびめっき条件

Table 2 Bath composition and electroplating condition

Bath Composition	Electroplating Condition
CuCN : 70.5g/l (Cu : 50g/l)	1.5A / dm ²
KCN : 117.7g/l (Free CN : 15g/l)	60

めっき組成およびめっき条件を第 2 表に示す。これらの供試材もめっき後に、240 ~ 300 °C に保ったホットプレート上で 3 分間の加熱をおこなって酸化皮膜を生成した。その上に第 2 図で示したボタン状樹脂をモールドし前述と同様な方法でせん断強度を測定した。

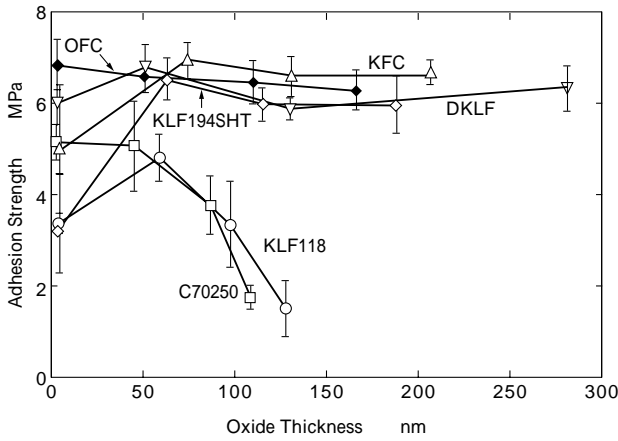
1.5 防錆被膜の影響調査方法

供試材には OFC をもちいた。組成などの影響をなくするためである。この OFC に対し防錆処理をおこなった。防錆条件は、供試材を 80 °C の 0.025% BTA 水溶液に 3 秒間浸漬後すみやかに乾燥することでおこなった。このようにして防錆被膜を付与した OFC に対し、一定温度 250 °C に保ったホットプレート上で 5 分まで加熱して酸化皮膜を生成し、その上に第 2 図で示したボタン状樹脂をモールドし前述と同様な方法でせん断強度を測定した。

2. 実験結果および考察

2.1 樹脂密着性に及ぼす銅合金組成の影響

第 3 図に各供試材ごとの酸化皮膜厚さと樹脂接着強度の関係を示す。酸化は各供試材とも、加熱なしおよび



第3図 リードフレーム用銅合金の酸化皮膜厚さと樹脂密着性の関係
Fig. 3 Relation between adhesion strength and oxide thickness for leadframe copper alloys

240, 270, 300 ×3分加熱の4条件とした。

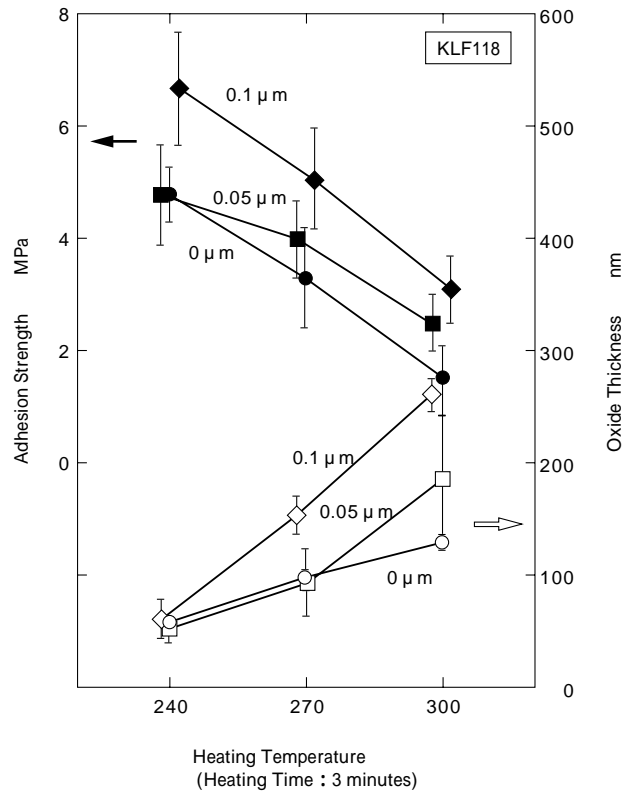
グラフ概形からわかるように、酸化皮膜厚さは成長しにくいが、その酸化皮膜厚さの増大とともに樹脂接着強度が急速に減少していく合金のグループと、酸化皮膜は成長しやすいが樹脂接着強度は急激には低下しない合金の2グループに分かれている。調査した供試材の中で前者はNi-Si金属間化合物の析出強化合金である。固溶しているSiが母材-酸化皮膜間に濃縮し、この部分から剥離を生じると考えられている⁹⁾。後者は導電率が比較的高い合金系であり、OFCやDKLFのように全体あるいは表層が純銅であるか、KFCのように添加元素量が希薄で純銅に近いという共通点がある。したがって、樹脂密着性としては純銅や添加元素が希薄な合金系のほうが有利であると考えられる。

両者に共通しているのは、各供試材は240 ×3分加熱で酸化膜厚が50~70nmまで成長するが、この厚さの範囲内であれば樹脂密着性は未酸化材にくらべてほぼ同等かあるいはそれ以上の接着強度を有しているという点である。ある程度の酸化皮膜厚みがあったほうが金属表面に直接樹脂をモールドするよりも樹脂接着強度が高いということは、エポキシ樹脂骨格内の結合子と金属表面の銅酸化物が何らかの相互作用による結合をおこしているためと考えられる。

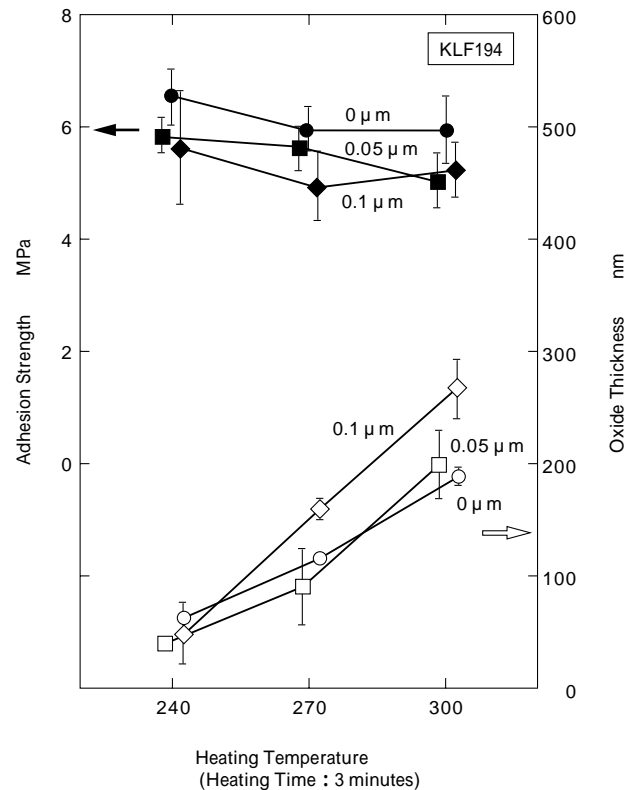
2.2 樹脂密着性に及ぼすCu下地めっきの影響

第4図および第5図に、それぞれKLF118とKLF194にCu下地めっきを0.05μmおよび0.10μm施した後に酸化させた場合の樹脂接着強度、酸化皮膜厚さと加熱温度の関係を示す。第4図からはCu下地めっき厚さが増加すれば、めっき厚に応じてCu-Ni-Si合金の樹脂密着性は順次向上していくことがわかる。ただし、酸化膜がCu下地めっき厚さを越えて成長していくと、樹脂密着強度は順次低下していく。つまり、厚さ0.1μmの下地めっきを有していても270, 300で3分間加熱されて酸化皮膜厚さが0.1μm以上になると母材そのものの樹脂密着性の影響が発現し始める。

いっぽう、Cu-Fe合金について示した第5図からはほぼ誤差の範囲で樹脂接着強度は一定で、Cu下地めっきの存在があまり影響を及ぼしていないことがわかる。た



第4図 CuめっきKLF118の酸化皮膜厚さと樹脂密着性の関係
Fig. 4 Relation between adhesion strength and oxide thickness for Cu plated KLF118



第5図 CuめっきKLF194の酸化皮膜厚さと樹脂密着性の関係
Fig. 5 Relation between adhesion strength and oxide thickness for Cu plated KLF194

だし、剥離モードはCu下地めっきがない場合は、酸化皮膜-母材界面で剥離が生じたのに対して、Cu下地めっき厚さの増大とともに樹脂-酸化皮膜界面へと移行する。この剥離モードの変化が樹脂接着強度の変化として現れない理由は不明である。

これらの結果に対して、Cu 下地めっき厚さを、生成する酸化膜厚よりも十分に厚くした場合、たとえば本加熱条件では0.5 μ m以上のCu下地めっきを施すと、生成する酸化皮膜は母材まで達しない。そのため樹脂接着強度の材料間の差異はなくなり、純銅あるいはDKLFの強度レベルに収束していく。

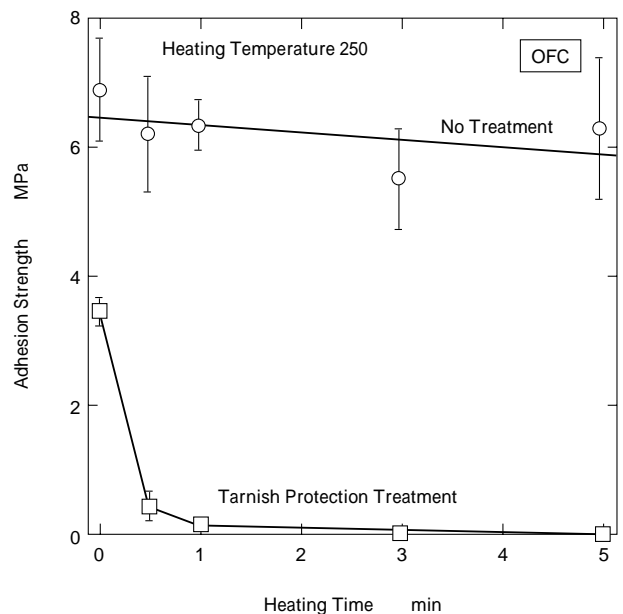
2.3 樹脂密着性に及ぼす防錆被膜の影響

第6図に、OFCの樹脂接着強度に及ぼすBTA防錆処理の影響を示す。未加熱状態では、防錆剤を塗布した供試材は無処理の場合にくらべて約50%程度まで樹脂接着強度が低下する。エポキシ樹脂の接着に寄与している分子結合子が防錆被膜によってブロックされて金属との接触が阻まれているためと思われる。いっぽう、250 $^{\circ}$ C加熱で酸化皮膜を成長させて、樹脂をモールドし、その接着強度を測定していくと、防錆処理材はわずか30秒の加熱で接着強度が激減してしまう。これは未加熱状態の樹脂-酸化皮膜界面剥離から酸化皮膜-母材界面剥離に剥離モードが移行したためである。この防錆処理材を加熱した状態ではエポキシ樹脂モールド前にすでに酸化皮膜と母材界面で剥離が進行している。このような剥離界面ではBTAのN,C元素検出が報告されており¹⁰⁾、これらの元素の濃縮が最外層の銅酸化物と母材の結合をいちじるしく弱めているか、もしくは両者の機械的性質の整合性を損なっているものと考えられる。

むすび=リードフレーム用銅合金材料の観点から樹脂密着性を評価した。IC組立工程に即して樹脂密着性を論ずるためにCu下地めっき、防錆処理の影響についても調査した。

その結果、素材間では合金系によって差異が生じやすいことがわかった。ただし比較的樹脂接着強度が低下しやすいCu-Ni-Si合金でも、ワイヤボンディングなどで低温プロセスを採用して酸化皮膜の成長を抑制すれば十分な樹脂接着強度がえられる。また、Cu下地めっき厚さを酸化の進行が素材にまで及ばないように工程中の加熱雰囲気調整するか、Cuめっき厚を厚くすれば、材料による樹脂密着性の差異は生じなくなる。ただし、この場合は外装はんだめっき層の耐熱剥離性を考慮して、厚さの上限を決定する必要がある。

防錆被膜の存在は樹脂密着性にもっとも大きな影響を与え、IC組立工程前にその被膜が完全に除去されていないと樹脂密着性の低下、ひいてはパッケージクラックなどのICの耐湿性低下まで引き起こす可能性がある。本報告に基づく適正な材料選定とその表面処理と管理に



第6図 防錆処理したOFCの加熱条件と樹脂密着性の関係
Fig. 6 Relation between adhesion strength and heating condition for tarnish protection treated OFC

より、これらの不良要因を排除することが可能になると考えられる。

最後にモールド用樹脂スミコン EME7351 をご提供いただいた住友ベークライト株式会社電子デバイス材料研究所研究部の各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉岡 修ほか：日立電線技報，No.5 (1986)，p.43.
- 2) 大塚寛治ほか：界面工学 (1994)，p.82. 培風館.
- 3) 東芝半導体技術管理部編：ICパッケージマニュアル(1994)，p.357. (株)東芝.
- 4) E. Takano et al. : 1997 Electrical Components and Technology Conference, 1997 Proceedings. (1997)，p.78.
- 5) 相原孝志ほか：電子情報通信学会技術研究報告，Vol.94，No.361 (1994)，p.33.
- 6) M. Odashima et al. : SEMICON96 Technical Symposium Proceedings，(1996)，p.123.
- 7) 坂本光雄：よくわかる IC 周辺材料と技術，(1993)，p.170. 日刊工業新聞社.
- 8) 変色防止対策研究分科会編：伸銅製品の变色とその防止について，(1994)，p.4. 社団法人日本銅センター.
- 9) 宇野岳夫ほか：第37回伸銅技術研究会講演会講演概要集，(1997)，p.5.
- 10) 坂本 浩ほか：日本電子材料技術協会第32回秋期講演大会講演概要集，(1995)，p.110.