総 説

Cu 系リードフレーム材

Copper-leadframe Material

二 塚 鍊 成*

Rensei FUTATSUKA†

Key Words : Discrete, ICs, Plastic Package, Pin Insertion Type, Surface Mount Type

1. は じ め に

半導体装置は一般にダイオードやトランジスタなどの個別半導体 (Discrete) と ICs や LSI などの集積回路 (Integrated Circuits) に大別される。半導体装置に使用される材料は、半導体である Si や GaAs 以外ではリードフレーム、封止材 (セラミックス、樹脂など)、ボンディングワイヤ、ダイボンディング用接合材など主に四種類に分けられる。材料としてのリードフレームは金額では40%弱を占め、半導体装置構成材の中では極めて重要度が高い。

リードフレームとは、半導体装置のリードおよびダイパッドを製造の前、製造工程の中間および後まで支える単一な枠構造と定義される。半導体装置におけるリードフレームの機能としては、半導体の固定および外部回路への接続、半導体自体に発生する熱の伝導、放散などを挙げることができる。

リードフレーム材は、Cu 系、42合金 (Fe-42質量% Ni) などの Fe-Ni 系そして SPC などの Fe 系の三種類に分けられる。42合金は集積回路、SPC は個別半導体に主として用いられるのに対し、Cu 系は個別半導体と集積回路の両方に使用されている。Cu 系は個別半導

体用の一部を Fe 系に譲りつつも、最近の半導体組立技術の急速な進歩と半導体装置の低コスト化に応えるため、高価格の42合金のかかなりの部分に取って代わる勢いをみせており、主力リードフレーム材としての地位を固めつつある。

半導体は周知のように個別半導体から集積回路へと歴史的に発展した。後者は ICs, LSI, VLSI と順次高集積化、多機能化が進むとともに、プリント回路基板への高密度実装の必要性やパッケージの多様化からより優れた特性を持つリードフレームの要求が生じている。材料的観点から個別半導体用でもリードフレーム加工の難しい問題が依然として残されている。一方、集積回路用では特に材質に由来する高性能リードフレーム材の要求とその役割が今後一層重要になるものと思われる。

本報では Cu 系リードフレーム材に焦点を合わせ、その周辺技術、高性能化の対応ならびに特性向上などについて述べる。

2. パッケージの多様化

(1) リードフレームの製造工程および半導体装置組立工程

リードフレームはリードフレーム用 Cu 合金の板または条をエッチングないしスタンピング (プレス打抜き加工) することによって作られる。リードフレームの形状になる前または後にダイおよびワイヤボンディ

平成元年7月23日受付

* 三菱伸銅株式会社開発センター

〒965 会津若松市扇町128-7

† R&D Center, Mitsubishi Shindoh Co., Ltd. Aizuwakamatsu, Fukushima 〒965 Japan.

ングの容易さを実現する目的でAg, Auなどのめっきを施す。次にこのリードフレームは半導体装置の組立

Fig. 1 Manufacturing process of copper lead-frame and assembling of QFP style ICs device. (Approximate view)

Fig. 2 Approximate plain figure of DIP style leadframe.

工程に入り、ダイボンディング（半導体をダイパッドまたはアイランドに接合させる）、ワイヤボンディング（半導体回路とリードフレームのインナーリードを接続する）を経て、半導体および結線を保護する目的からCu系リードフレームの場合は樹脂封止され、アウターリードが出た状態の枠構造になる。最後に枠構造が再びプレス打抜き加工により切断され、アウターリードだけが残され、これにプリント回路基板と接合しやすくするため、はんだめっきが施された後に半導体装置が完成する。

Fig. 1 にCu系リードフレームの製造工程および集積回路の組立工程, Fig. 2 に一例としてDIP（デュアルインラインパッケージ）用リードフレームの平面概略図およびTable 1 にその各部位の名称¹⁾を示す。

(2) リードフレームの機能

リードフレームの機能はリードフレーム自体が本来持っている機能を材料特性、半導体装置あるいは各種製造工程などのどの視点からみかによって種々の分類、整理が可能である。ここではリードフレームの主な機能として四点を取り上げる。

- ① 支持機能 半導体装置完成に至るまでダイボンディング、ワイヤボンディング、樹脂封止などを正確に行なうための支持機能。
- ② 接続または接合機能 ダイボンディングされた半導体の回路から外部回路へ引出すため、電気的接続を行なうワイヤボンディングやプリント回路基板とアウターリードの接合などの接続機能。
- ③ 放熱機能 半導体チップから発生する熱をアウターリードおよび樹脂を通して外界に逃がす放熱機能。
- ④ 加工機能 ①の支持機能または②の接続機能と関連するので、独立機能として取り上げてよいか議論の余地がある。リードフレームをエッチングまたはスタンピングにより目的の形状に成形し、半導体装置に完成するときアウターリードを容易に曲げ加工できるなどの加工機能。

(3) パッケージの多様化

ダイオードや小信号用トランジスタTO-92の個別半導体用パッケージの形状は比較的単純である。大出力トランジスタTO-220はアイランド、ヒートシンク、

Table 1 Nomenclature of each place of DIP style leadframe.

Place No.	名 称	Nomenclature	Place No.	名 称	Nomenclature
1	グループ	Lead Lock Groove	11	スロット	Extension Slot or Expansion Slot
2	ダムバー	Dam Bar	12	サイドレール	Side Rail
3	インナーリード	Inner Lead	13	ダイパッドサポート	Tie Bar
4	アウターリード	Outer Lead	14	ダイパット	Die Pad
5	リードカットオフノッチ	Lead-cutoff Notch	15	アンカーホール	Anchor Hole
6	リードショルダー	Lead Shoulder	16	リードロック	Lead Lock
7	コインドエリア	Coined Area	17	トップレール標準パイロットホール側	Top Rail STD Pilot Hole Side
8	樹脂止め	Mold Bar	18	パイロットホール	Pilot Hole
9	バンパー	Bumper	19	モールドライン	Mold Line
	サポートカットオフノッチ	Tie Bar Cutoff Notch	20	標準パイロットホール	STD Pilot Hole
10	ボトムレール	Bottom Rail			

Discrete		Integrated circuits					
		Pin insertion type package		Surface mount type package			
Type	Package style	Package style		Package style			
Luminescence diode		DIP	Standard (Dual in-line package)		PP	SOP (Small outline)
	Schrink			QFP (Quad)
Transistor	TC-92		Skinny			SOJ (J bend)
	TO-220	SIP		PLCC (Plastic leaded chip carrier)
		ZIP

Fig. 3 Typical plastic packages of Discrete and ICs devices.

(Reference) DIP: Dual Inline Package, S.DIP: Shrink DIP, SK.DIP: Skinny DIP, SIP: Single Inline Package, ZIP: Zigzag Inline Package, FP: Flat Package, SOP: Small Outline Package, QFP: Quad Flat Package, PLCC: Plastic Leaded Chip Carrier, SOJ: J Bend SOIC.

リードを一体とした異形条²⁾からリードフレームが作られ、樹脂封止されるので形状は単純であっても組立工程上やや難しいとされる。

集積回路用パッケージの形状は変化が早くかつ大きい。パッケージの形状はその多様化に応じて当然変化せざるを得ない。このことは半導体装置の高集積化やプリント回路基板での高密度実装のための小型化や種々のパッケージデザインと密接に関係している。例えばリードフレームの高級化の代表的指標であるリード（ピン）数を取り上げると、集積回路（ICs）を論理ICsとメモリICsに分ければ前者に属するゲートアレイやマイクロプロセッサのリード数は集積度（ゲート、ビット）とともに増大するが、後者のリード数は高集積化により増大せず、半導体素子（チップ）の大型化が著しい³⁾など。

Fig. 3 に半導体装置の代表的プラスチックパッケージの種類を示す。Fig. 4 に変化の大きい高密度パッケージの動向、Fig. 5 に DIP と他のパッケージの実装面積比較を示す。これらによると、ピン（リード）挿入型パッケージはプリント回路基板に挿入しやすく、はんだ付けにも有利な特徴を持つてはいるが、プリント回路基板での実装密度を上げるため、半導体装置の小

Fig. 4 Trends of advanced packages such as TAB, PLCC, QFP, SOP, PGA etc. (EIAJ, 1986).

EIAJ: Electronic Industries Association of Japan.

Fig. 5 Occupied area and height ratio comparison of standard DIP with other packages. (42~44 leads).

型化に有利な表面実装型パッケージは今後重視される傾向にある。

(4) 市場

我国の半導体用リードフレーム材の生産量は1988年を通じCu系では月産約3~3.5千トン⁴⁾で、その内%は個別半導体用、1/3は集積回路用に向けられたものと思われる。西側世界ではCu系に関し正確な統計はないが、1988年は毎月約5千トンの需要量とされる。我国の板条伸銅品は1988年は月産約38千トンであるのでリードフレーム向けは8~9%を占めている。この数字は伸銅メーカーのハイテク産業への参加意欲ならびにシェア拡大のため、厳しい品質が要求されるにもかかわらず、魅力あるものと認識されている。

Fe-Ni系は月産1.1~1.2千トンでほとんど集積回路用にまたFe系は月産0.4~0.5千トンで概ね個別半導体用に向けられたと思われる。

3. リードフレーム材のCu系化

最近リードフレーム材のCu系化が著しいと言われている。この理由として半導体装置の低コスト化と樹脂封止技術の進歩が挙げられる。

封止は、金属、ガラス、セラミックスを用いる気密封止（ハーメチックシール）とエポキシ系樹脂を用いる樹脂封止（レジシール）に二分される。前者はチップを外界から遮断する封止性に優れるが、コストが高い欠点がある。後者はFe-Ni系リードフレームと樹脂

Fig. 6 Coefficient of thermal expansion of materials.

の熱膨張率差が大きいので、クラック発生や気密性劣化の問題が考えられる。Fig. 6 に半導体装置に使用される各種材料の熱膨張率を示す。この中で封止材とリードフレームの低コストの組み合わせとしては樹脂とCuが選ばれる。封止用樹脂の改善は1970年代初期以降活発で、エポキシ系樹脂が開発された結果、半導体装置作動中の熱応力によるチップおよびボンディングワイヤの破断やリードフレームと樹脂の密着性劣化による吸湿などの欠点が解決された。

熱膨張率における残る問題はSiチップとこれに接合するCu系リードフレームの差違である。これに関しては、チップとダイパッド（アイランド）を接着する材料として熱膨張率差による熱応力を吸収し得る導電性ペーストが開発された。

このようにSiチップ、Cu系リードフレームおよび樹脂の組み合わせによる技術環境が整いまたCu系リードフレームや封止樹脂の絶えざる改善、改良の結果、Cu系リードフレーム化による半導体装置の低コスト化が大きく進展しつつある。

1989年5月時点でFe-Ni系リードフレーム材の価格は1,800~2,000円・kg⁻¹であるのに対し、これとほぼ同等の強度を有するCu系は1,000円・kg⁻¹以下となっており、Cu系使用の場合約50%の材料コスト削減が可能となる。月産1.1~1.2千トンの42合金の50%がCu系化されると月当たり約5.5億円、年間約66億円の材

料コスト低減ができる。産業の米として一層半導体装置の需要を増やす段階をむかえている昨今、このコスト低減は大いに望ましいことである。

しかしながら、セラミックスによる気密封止と42合金リードフレームの組み合わせは高価とは言え、封着技術の安定性や少量生産の容易性に加えて半導体製造長い実績と耐環境性に優れるため、大容量メモリICs、高信頼性産業用および軍需用ICsに今後とも着実に用いられると思われる。

4. リードフレームに要求される特性

個別半導体と集積回路ではリードフレームに要求される特性に若干の相違がある。後者では高集積化、多機能化やプリント回路基板での高密度実装対応のため、パッケージデザインが多様化し、要求特性は複雑多岐にわたる。

リードフレーム素材からリードフレームが作られるまでの第一段階、半導体装置組立の第二段階そしてプリント回路基板に組み込まれ、使用される第三段階に大別すると、リードフレームに要求される特性はそれぞれ異なっている。

第一段階では、

(1) 特異な元素を含有せず、容易にCu合金が溶解・鋳造でき、板条伸銅品の製造が易しいこと。

(2) スタンピングによる打抜き加工性（バリや金型摩耗を生じない）またエッチング性（エッチング速が大きく、エッチング面のストレート性に優れる）が良好なため、正確なリードフレーム形状が得られること。スタンピングやエッチングの前後で板条およびリードフレームに残留ひずみがなく、平坦度が良いこと。

(3) リードフレームのダイパッド（アイランド）とインナーリード先端部はダイボンディングやワイヤボンディングでの接着性を高めるため、Ag, Auなどのめっきが施されるのでめっき性に優れること。

第二段階では、

(4) ダイボンディング、ワイヤボンディング、樹脂封止などの組立工程を通じ、最大673Kで180s程度の加熱があるため、リードフレーム自体が軟化せずまた各種接着性を保証するため、貴金属めっきにふくれなどの欠陥が発生しないこと。すなわち耐熱性に優れること。

(5) 加熱によりリードフレーム表面に酸化膜が生成

する。ボンディング作業中に酸化膜が剥離するとチップを汚染する。樹脂封止後に酸化膜と樹脂の密着性が劣ると、半導体装置内部への吸湿が問題となる。このため、酸化膜の耐剥離性および酸化膜と樹脂の密着性に優れること。

(6) 樹脂封止後ピン挿入型と表面実装型のパッケージの大部分はアウターリードの曲げ加工が行なわれる。DIP ではリードの曲げ軸が曲げた強い方向に揃えられるので問題は少ないが、PLCCやQFP ではリードが四方向に出ているため、曲げ軸が圧延方向に対し平行と直角のいずれであっても曲げが良好なことから異方性が無いこと。

(7) 樹脂封止後アウターリードのはんだ付け性に優れること、まためっきのむらや突起などの欠陥がないこと。

第三段階では、

(8) アウターリードが枠構造から解放された後プリント回路基板に接着までの間に、輸送や取り扱い中に外力によってアウターリードが容易に変形せずまた変形を手直してもクラック、破断が生じないこと。すなわち強度や繰り返し曲げ性に優れること。

(9) アウターリードがプリント回路基板に容易にはんだ付けできること。はんだ付けまでの在庫、保存の期間中に酸化、変色が生じ、はんだ付け性に劣化が起きないこと。

(10) リードフレームは導体としての導電機能および半導体の作動で発生する熱を逃がす放熱機能を持っている。後者は特に重要度が高い。すなわち熱伝導性に優れること。

熱伝導率はその測定の難しさのためもあり、簡便的には導電率を用いて求められる。導電率は熱伝導率との間に Wiedemann-Franz の法則⁵⁾ が成り立つ。

$$K/\sigma T = 2.44 \times 10^{-8} \text{ (V/K)}^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

ただし K : 金属の熱伝導率, σ : 導電率, T : 絶対温度。従って、

$$K = 2.44 \times 10^{-8} \sigma T \quad \text{Eq. (2)}$$

を得る。

Si チップの最大許容温度は398 K とされ、温度上昇につれて故障率も高くなるので、速かな放熱により半導体装置の温度を低く保つ必要がある。Si チップはリ

ードフレームと樹脂に主として接しているため、リードフレームの高導電化高熱伝導化は非常に重要である。

(11) アウターリードをプリント回路基板にはんだ付けした後、リードフレーム素材とはんだの接合界面の健全性(はんだ耐熱剥離性)に優れること。長期間加熱の状態が続くとリードフレーム素材とはんだの間で相互拡散が行なわれ、合金によっては脆化層が形成され、剥離しやすくなる。過去数年間、この問題提起がかなり刺激的になされたため、実際の事故例がほとんどみられないにもかかわらず、加速試験結果の採用がなされたことは今後多くの議論の余地を残している。しかしながら、脆化層発生機構の解明や熱剥離防止に関してさらに高品質を求める観点から十分な検討が必要である。

(12) 外部環境に対する耐食性や応力腐食割れ性に優れること。

以上のように各プロセスによりリードフレームに要求される特性を挙げてみると、複雑多岐にわたり、種類の因子が相互に関連することが理解できる。Table 2 にリードフレームの要求特性をまとめて示す。

4. Cu 系リードフレーム材の開発動向

半導体装置にどのリードフレーム材を採用するかは、個別半導体や集積回路(バイポーラ: リニア、デジタル、MOS: メモリ、ロジック、マイクロプロセッサ)およびパッケージ材の種類などによる。Table 3 に集積回路における42合金とCu 系リードフレーム材の有利、不利特性を示す。リードフレーム材の選択は不利特性の克服次第であるが、低コストや放熱機能また封止材や組立技術の進歩により一般的にはCu 系化の傾向が強い。

(1) Cu 合金開発

リードフレーム用Cu 合金についてこれまで種々解説が試みられている⁶⁻¹³⁾が、一部を除き商業的観点が強く、合金の取り扱いに公平さを欠くところがあるので、文献¹¹⁾の方法により1989年7月までに公表された合金を整理し、Fig. 7 に引張強さと導電率からみたCu 合金の位置付けを示す。ここで注意する点は熱伝導、放熱に関係する導電率と引張強さの各目盛の取り方である。半導体装置における放熱は主としてリードと樹脂を介して行なわれるので、実際の放熱に対して導電

Table 2 Requirements on leadframes.

Note) Importance ○ : very important on the evaluating of materials.
Measurement △ : difficult to measure.

1. Physical properties	Importance	Measurement	3. Chemical properties	Importance	Measurement
• Density			• Oxidization		
• Coeff. of thermal expansion			• Etching ability	○	△
• Thermal conductivity		△	4. Joint		
• Electrical conductivity	○		• Plating ability	○	
• Electrical resistivity			• Solderability	○	
• Modulus of elasticity	○		• Brazeability		
2. Mechanical properties			• Adherence of oxides film or oxidized layer	○	
• Tensile strength	○		• Die and wire bonding ability	○	△
• Yield strength			• Adherence of resin	○	△
• Elongation			5. Aging properties etc.		
• Vickers hardness	○		• Stress relaxation		
• Softening resistance	○		• Soundness at interlayer between solder and lead-frame alloy	○	
• Repetitive bend or lead fatigue	○		• Corrosion (gas, salt water)		
• W or V bend	○		• Stress Corrosion Cracking		
• Spring properties			• Humidity proof	○	△
• Internal stress	○		• Hydrogen embrittlement		
• Stampability	○	△			

Table 3 Advantageous and disadvantageous properties of alloy 42 and copper alloy leadframes.

Note) ○ : advantageous, △ : disadvantageous

Leadframe material	Thermal expansion mismatch to silicon chip	Thermal expansion mismatch to resin	Strength	Thermal conductivity	Growth and adherence of oxides film
Alloy 42	○	△	○	△	○
Copper alloy	△	○	○	○	△

率の寄与率を過小評価する必要がある¹⁴⁾。これまで多く試みられてきた目盛の取り方を変更し、強度重視の見方から作図した。これによると高導電高強度型合金（矢印A）と高強度型合金（矢印B）に開発の努力がなされていることが判る。特に42合金と同等の強度を有する42合金代替用 Cu 合金が開発され、実用化されつつあるのは注目に値する。

(2) 固溶強化と析出強化

Fig. 7 で取り上げた59の Cu 合金に使用されている14の添加元素の各添加量を0.1質量%未満、0.1質量%以上0.5質量%未満、0.5質量%以上の三つに区分し、各元素の出現回数を Fig. 8~10 に、添加量を区分しない場合の各元素の出現回数を Fig. 11 にパレート図で示

Fig. 7 Relation between tensile strength and electrical conductivity on 59 copper alloys.

Fig. 8 Each element < 0.1 mass%.

す。

添加量が0.1質量%未満では脱酸の目的以外に主として固溶を利用し、微量添加による高導電性と耐熱性向上をねらいとしている。Mg はりん化物を作り得るが、析出強化は大きくない。

添加量が0.1質量%以上0.5質量%未満では固溶型のSnの他に析出型のFe、Crなどが使用される。ここでは導電率を大巾に下げることなく、析出強化を積極的に利用しており、Fig. 7の矢印Aの高導電高強度型合金がそのねらいの代表である。

添加量が0.5質量%以上では固溶強化のSnと析出強化のFeやNi(本来固溶型であるがNi珪化物析出)が主流である。この添加範囲では高強度が目標でFig. 7

Fig. 9 0.1 mass% ≤ each element < 0.5 mass%

Fig. 10 Each element ≥ 0.5 mass%.

Fig. 8~11 Parate diagrams of appearance times on elements in 59 copper alloys for leadframes.

の矢印Bの42合金代替用合金が含まれる。

全Cu合金の添加元素をまとめると脱酸元素を除く固溶型ではSn、析出型ではFe、Ni、(Ni珪化物)、Crが多用される。Sn、P、Fe、Ni、Zn、Crの六元素は全出現回数の70%以上を占める。最近の傾向として高

Fig. 11 Each element, : not classified.

導電高強度型 Cu 合金の開発では Cr, Zr, Mg, Ti などの酸素と親和力の大きい活性元素の使用が検討されている。

Cu に元素を添加すると強度や耐熱性は向上するが導電率は低下する。導電率を極力下げないで特性改善を計るには析出強化型が望ましい。しかしながら固溶強化型に比べてリードフレームの要求特性を全て満たすのに有利とは限らない。この理由から固溶強化と析出強化との最適な組み合わせにより特性改善を計ることが期待される。

(3) 析出強化と析出物

板条伸銅品製造は半連続铸造による鑄塊作りから始まる。この時1473 K 前後の溶湯から数分以内に293 K 常温の固体まで冷却されるが、アモルファス製作のような急冷凝固は工業上採用されていない。従って析出型合金は添加元素が固溶限を大きく超える含有量の場合、鑄造時に大きな析出物を生じやすい。これを鑄造以降の製造工程で消失させることは一般的には極めて難しい。板条では析出物が圧延方向に伸ばされ、金属組織では繊維状、筋状の析出物いわゆるストリンガー (Stringer) が観察される。これが多量に存在するとめっき性、エッチング性、スタンピング性、曲げ性などに悪影響を与えるばかりでなく、リードフレーム表面のめっきを省略し、Si チップとリードフレームを接合するベアボンディング (ダイレクトボンディング) を採用する場合にも障害となる可能性がある。

Fig. 12~15に Cu-Fe 系, Cu-Fe-Sn 系および Cu-Cr

Fig. 12 Surface photomicrograph of iron precipitates in copper-iron alloy having 2.39 mass% Fe.

Fig. 13 Surface photomicrograph of very small iron precipitates in copper-iron-tin alloy having 0.85 mass% Fe.

Fig. 14 Surface photomicrograph of large chromium precipitates in copper-chromium alloy having 0.49 mass% Cr.

Fig. 15 Surface photomicrograph of chromium precipitates in copper-chromium alloy having 0.31 mass% Cr.

系Cu合金板(厚0.25 mm)の金属組織を示す。ここに見える大きな析出物を減らし、金属組織の改善を計ることは基本的に重要なことである。

5. リードフレーム材に関するトピックス

(1) リードフレーム素材とはんだの接合界面の健全性

リードフレーム素材とはんだの接合界面の健全性をリードフレーム素材とはんだの接合界面の「信頼性」、「耐候性」、「密着性」、「耐熱剥離性」などと言う場合もあるが、いずれも同義のことが多い。

本項はここ数年間興味を持って議論されてきた^{14, 15, 16)}など。アウターリードがプリント回路基板にはんだ付けされた後、378～423 kの高温加熱を受け続けると素

Table 4 Soundness at interlayer between copper alloys and solder.

Note1) ○ : No peeling-off, × : Peeling-off.

2) Analysis results of the elements which contain less than 0.01 mass% are not described.

Alloy No.	Chemical composition (mass%)								Adherence results in bending after atmospheric heating at 423 k for 36 Ms.
	Fe	Sn	Ni	P	Si	Zn	Mg	Cu	
1				0.028				bal.	×
2		0.15		0.006				bal.	○
3	0.12			0.039				bal.	○
4		0.15		0.059			0.092	bal. Ag0.03	○
5	2.39			0.034		0.11		bal.	×
6	2.40			0.031		0.12	0.046	bal.	○
7	0.84	0.72		0.028		0.048		bal.	×
8	0.85	0.76		0.027		0.048	0.045	bal.	○
9		2.12	1.55		0.28	0.32		bal.	○
10		2.05	1.57		0.25	0.05		bal.	×

材とはんだの接合界面に脆化層が形成され、剥離しやすい状態になる現象が知られている。これを生じやすい Cu 合金は添加元素の種類、組み合わせや添加量によると考えられる。

Table 4 に 503 k に保持された 60 質量% Sn-40 質量% pb はんだ浴中に Cu 合金板試料(厚 0.25 mm × 巾 10 mm × 長さ 60 mm) を 5 s 浸漬し、厚さ約 10 μm のはんだめっきを施した後、423 k で 36 Ms (150 $^{\circ}\text{C}$ × 1000 hr) 大気中に加熱後、180 $^{\circ}$ 密着曲げし、再び広げて折り曲げ部におけるはんだの剥離の有無を観察した結果を示す。

接合界面近傍の EPMA による断面観察では Fe, Ni, P, Si などが濃化することが判ったが、**Table 4** の結果を検討するとこれまで Fe, Ni が剥離の原因とされたことは正しくないことが認められる。剥離の有る場合、Ni, Si を含有する合金では Si、それ以外の合金では P⁽¹⁴⁾ が重要な役割を果たしている。剥離の防止は Si 含有合金では Zn の添加また比較的 P 含有量の高い合金では Mg の添加が有効と認められる。P に関しては低 P 化も効果があると考えられる。

本項の全貌はまだ解明されていないので評価試験・方法が実用上の判定試験に代用可能か否かも含めて今後さらに充分な検討の必要がある。

(2) ペアボンディング

チップとインナーリードをワイヤボンディングするとき、インナーリード先端部のめっきを省略し、接合する技術が注目されている。Cu 系リードフレームと Au, Al または Cu 線の組み合わせの中では、拡散による悪影響を避ける点で Cu 線が好ましい。めっきなしのリードフレームはコスト低減に効果が大きいので半導体メーカーの関心も高い。

ボンディングに及ぼす主な因子としてリードフレームの清浄度、酸化膜などが合金成分組成以外に考えられる。リードフレーム表面に数原子層の有機物また数十 Å の酸化膜が存在するとボンディング性をかなり阻害する⁽¹⁷⁾ と言われている。**Fig. 16** に Cu₂O と CuO からなる酸化(物)膜厚の成長の例を示すが、その成長は室温において表面処理後の早い段階で急激であることが認められている。

本技術はミクロ的観点から解決すべき課題も多く残されているものの、個別半導体では実用化が相当進ん

Fig. 16 Growth of oxides film at room temperature in air atmosphere after cleaned in 10 mass% sulfuric acid solution.

でいる。また集積回路でも一部実用化の段階に入りつつある。めっき付き 42 合金と Au 線から Cu 系合金と Cu 線への組み合わせ変更とベアボンディング技術の確立はコスト低減の魅力から Cu 系リードフレームへの傾斜を一層加速させるものと思われる。

(3) 材料評価法

リードフレーム材の各種特性を評価する試験は現在統一された規格によって必ずしも行なわれてはいない。このため評価結果をめぐってメーカー間、メーカーとユーザー間またはユーザー間で食い違いことも珍しくない。

SEMI ジャパン* リードフレーム委員会では、現在評価事項とその試験方法を取り上げて規格化の作業を進めており、将来は国際スタンダードの作成を目指している。化学分析、導電率、熱膨張係数、ビッカース硬さ、引張強さ、伸び、耐力、W 曲げ、厚、巾、曲がり、コイルセット、とい、ねじれ、バリ、表面粗さ、ビッカース硬さの軟化特性、繰り返し曲げ、内部応力、素材とはんだの接合界面の健全性などが検討されている。材料評価の基本となる評価事項とその試験方法のスタンダード化は、より優れた材料の開発、供給に役立つものと期待される。

* Semiconductor Equipment and Materials International.

〒160 東京都新宿区西新宿6-6-2 東京ヒルトンインターナショナル内2921号室

6. お わ り に

本報では最近特に注目されている Cu 系リードフレーム材に焦点を合わせて、やや詳しい解説を試みた。Cu 合金の開発に携って20有余年になる著者の経験では、Cu 合金単体 (Solid Copper Alloy) の強度と導電率の同時改良は限界に近いと言える。もとより、一、二の特性が良好であるだけでは実用に供し得ない工業材料の特質を強く持っているリードフレーム材に対しては、合金とその製造技術に関しさまざまな細かい改良、改善が求め続けられるであろう。時として金属材料は Old Metallurgy の範疇に属すると言われるが、半導体産業を土台から支える Cu 系リードフレーム材の例を見るまでもなく、その役割は産学両面から今後一層重要になると考えられる。

本報では文献をその都度細かく引用しなかった点があること、また文献を完全に引用していないところがあるかも知れないことをお断りして、資料提供などに協力された各位に謝意を表わしたい。

Notation

- K thermal conductivity, Eq. (1)
 σ electrical conductivity, Eq. (1)
 T absolute temperature, Eq. (1)
 V voltage, Eq. (1)
 K Kelvin scale, Eq. (1)
 IACS international annealed copper standard,
 Fig. 7

References

- 1) SEMI : Nomenclature Task Force, Lead-frame Committee, (1988. Dec.).
- 2) H. Fukuda : *Boundary*, 62 (1989. May).
- 3) NIKKEI MICRODEVICES : No. 35, 54 (1988. May).
- 4) *Monthly Magazine* : Japan Brass Makers Assoc., 28 (1989, May).
- 5) *Iwanami Phys. and Chem. Dictionary* : 4th Edit., Iwanami Shoten Co., 97 (1987).
- 6) R.J. Ptacek and D.E. Schuder : 5th Annual Int. Electronics Packaging Soc. Conf., (1985).
- 7) J.F. Breedis and A.A. Khan : 5th annual Int. Electronics Packaging Soc. Conf., (1985).
- 8) T. Sakamoto : *Bull. Japan Inst. Metals*, **24**, 494 (1985).
- 9) S. Shiga : *Grounding and Industrial Tech. on Copper and Copper Alloys*, Japan Brass Makers Assoc., 447 (1988).
- 10) M. Tsuji : *Bull. Japan Inst. Metals*, **27**, 899 (1988).
- 11) R. Futatsuka : SEMI Tech. Symp. '88, SEMI, 405 (1988).
- 12) T. Igarashi : *Bull. Japan Inst. Metals*, **28**, 63 (1989).
- 13) S. Nishiyama : *Bull. Japan Inst. Metals*, **28**, 137 (1989).
- 14) R. Futatsuka : *Metals & Tech. (KINZOKU)*, **59**, No.7, 77 (1989).
- 15) M. Inaba, Y. Honma, K. Teshima, O. Hirano and T. Sakurai : *J. Japan Inst. Metals*, **48**, 863 (1984).
- 16) K. Kitakaze, T. Nakanishi, K. Hashizume and K. Nakazima : *J. Japan Copper and Brass Res. Assoc.*, **23**, 175 (1984).
- 17) S. Osaka : *Monthly Magazine, Semiconductor World*, 70 (1987. Sep.).
- 18) H. Kono, M. Takahashi and C. Azuma : Private Tech. Rep. of R & D Center, Mitsubishi Shindoh Co., Ltd., (1989).