電子材料としての銅および銅合金

黒柳 卓*

Copper and copper alloys in electronic materials

Takashi KUROYANAGI*

1. はじめに

我が国の産業・社会はエレクトロニクスを中心とした技術革新の進歩により、高度情報化時代を迎えようとしている。すなわちコンピュータが通信技術を結合した情報通信システムを駆使して、広く経済活動や企業活動を活性化しつつある。また社会生活や家庭生活も ISDN（統合デジタル通信サービス）計画や CATV（有線テレビ）など、いわゆる情報・通信インフラクチャの形成により、豊かで表現力を持った情報が得られるようになり、一段と情報化の高まりをみせている。

こうした高度情報化社会において最も重要な役割を果しているのが、IC、LSI、VLSI などマイクロエレクトロニクスである。これらに使用される金属材料の現状を見ると、デバイスレベルでの高集積・高信頼性化、ボードレベルでの高実装密度化の著しい向上は材料科学面での一層の進展を促し、より高純度、高強度、高機能材料の出現への期待が高まってきている。高純度化についてみると、U、Th などソフトエラの原因となる元素は 1 ppb 以下、可動イオン汚染の原因となる Na、K、Li などのアルカリ金属元素は 100 ppb 以下という要求がある。高強度、高機能化についてみると、電極配線の微細化に伴う低抵抗、高強度の要求から W、Mo などの高融点金属の採用、リードフレーム材料の高導電、高強度化、経済性からコストパフォーマンスに優れた銅合金の使用拡大など、多くの課題を有している。

銅・銅合金は古代エジプト時代（B.C. 7000年）から今日の高度情報化時代に至るまで、人類の文化に深く関わってきた金属である。優れた耐食性、美しい色調を生かし貨幣、装飾品、洋食器に、高い導電性から電線や電気・電子機器の導電材料や各種熱交換器の伝熱材料などに広く使用されてきた。一方電子材料としては優れた導電性・伝熱性と比較的強度も高く、加工性も良好である

ことから電子（真空）管時代から今日の VLSI 時代まで使用されてきたものと考えられる。ここでは主として能動部品（半導体素子、集積回路）と機構部品（スイッチ、リレー、コネクタ）に使用される銅・銅合金の現状、技術課題と開発動向について概説する。

2. 銅・銅合金の現状

2.1 銅・銅合金を使用する主要電子部品

電子部品は種々の分類があるが一般的には能動部品と一般部品に大別され、前者は電子管、半導体素子、集積回路で、後者は受動部品（抵抗器、コンデンサ、トランス及びコイルなどの回路部品と発振及び振動子など）、機能部品（磁気ヘッド、磁気記録装置、表示素子、スピーカ、マイクロホンなど）と機構部品である。銅・銅合金は表 1 に示す能動部品、受動部品と機構部品に主として使用されている。

2.2 銅・銅合金の変遷

電子材料として使用される銅・銅合金は板、条、棒、線、管と多岐に亘るが、条と線がその主流である。種類は無酸素銅に代表される純銅系、Cu-Ag 系、Cu-Sn 系、Cu-Fe 系などの希薄合金、Cu-Sn 系、Cu-Zn 系などの高合金まで多様で、要求に応じ多くの合金が開発され実用化されてきた。

ここで情報交換技術の進歩と部品、材料の変遷についてみると、ステップバイステップ方式（1920～1930年代 A 形*、H 形**）では回転上昇スイッチにばね用黄銅が、平形リレーにはりん青銅（A 形）、洋白（H 形）が使用され、クロスバー方式（1960年代）でもワイヤスプリングリレーに Si 添加キュプロニッケルと洋白が、大型クロスバースwitchに洋白と黄銅が使用され、1970年代前半まではその使用量も増大し、現在では新しい情報

* A 型：米国方式 ** H 形：西独方式

* 古河アルミニウム工業(株)（東京都）。

受理日：昭和62年2月18日。

表1 電子部品の構成

サービスの提供のためデジタル化（電子交換）が急ピッチで進められ、スイッチは小型クロスバースイッチ（封止形 SMM）から LSI 化され、リレーも小型リレーから IC に置換えられてきている。この傾向は更に進み、いずれはコネクタなどの接続部品を除いては総て半導体化されるであろう。このように電子材料としての銅・銅合金は通信機器の発展が引き金となつて成長してきた。その後、コンピュータの長足の進歩、半導体 IC の著しい発展など、めまぐるしい技術革新は主役製品の交替をうながし、光通信、メカトロニクス、OA、FA、HA などに代表される情報機器を主役とする時代に入ってきている。したがって銅・銅合金にも新しいニーズが生れ、その実現のため新しい機能を付与したり、機能向上のため科学的手法を用いた合金開発が必要になつてきている。

2.3 電子部品に使用される銅・銅合金

2.3.1 半導体パッケージ用銅・銅合金

半導体素子、集積回路（IC）は、そのパッケージ技術の進歩に伴ない使用される銅系のリード材料も C 1020（無酸素銅）、C 1100（タフピッチ銅）、C 1201（りん脱酸銅）などの純銅系から Cu-Ag 系、Cu-Sn 系、Cu-Fe 系の希薄合金、C 19400、C 19500 などの Cu-Fe-P 系化合物析出分散型合金、さらに C 5191、C 5212 などのりん青銅系まで広範囲に及んでいる。表 2 に現在実用化されている銅系リード材料の要求特性を電気（熱）伝導性と強度で 3 つに分類して、その代表的な化学成分と特性値を示す。これらの銅・銅合金の用途は大別してアイランド（ダイアタッチ）部、放熱体（ヒートシンク）とリード部であり、形状は線、平角線、条が中心である。代表的な使用例を表 3 に示す。このように半導体の種類・パッケージの形状など種々の要因により

多くの特性が要求される（一次特性・成型性、二次特性については 5 章で概説する）。

- (1) 一次特性：パッケージの設計に一義的に必要な物性値、機械的性質に関するもの。
- (2) 成型性：スタンピング、エッチングなどの加工工程に関するもの。
- (3) 二次特性：パッケージングや信頼性に関するもので、表面性状、物理化学的現象など。

このように要求特性の多様化に伴ない分類法も、従来の高導電型、高強度・高導電型、高強度型の 3 分類では十分でなく、強度（但し、伸び 5～10%）と導電率によるマトリックス分類が提案されている¹⁾。この提案は引張強さをクラス I では 45 kgf/mm² 以下、クラス II で 45～65 kgf/mm²、クラス III で 65 kgf/mm² 以上とし、導電率を 80% 以上、50～80%、30～50%、30% 未満で 4 分割するもので図 1 に示す。

生産量は 1984 年ベースで 2,200～2,500 t/月であり数量ベースで 55%、金額ベースで 45%（270 億円：リードフレーム換算）を占めたと推定されている。1982 年をベースに 10 年間で予測した例を図 2 に示す。このように IC では 42 合金（Fe-42%Ni 系）から銅系への移行が進むとされている。

半導体パッケージに使用される主要な金属材料にボンディングワイヤ*がある。ワイヤ材料の種類から金ワイヤ方式とアルミニウムワイヤ方式があり、現在のところ金ワイヤ方式が主流である。昨今の銅系リードフレームの採用の増加、ペアーボンド技術**の進歩、さらに金並みのスピードでボンディングできる銅ワイヤ方式が開発され、一部実用化されつつある。詳細については文献 2)、3) を参考にされたい。

2.3.2 受動部品用銅・銅合金

抵抗、コンデンサに代表される受動部品に使用される銅・銅合金は、抵抗材料とリード線で、後者が多く、その主流ははずめつき、はんだめつき銅線である。しかしこの分野でも小型化、実装性の向上などにより合金線化、複合線化の傾向にある。合金線は Cu-Sn 系合金（C 50100、C 50500 などの低すず合金）、Cu-Fe 系合金（C 19200、C 19400）、Cu-Zr 系合金（C 15000、C 15100）、Cu-Zr-Cr 系合金などである。複合線は銅被

図 1 リードフレーム用銅・銅合金の分類¹⁾ (但し、T.S. は伸び 5～10% の場合)

* ワイヤボンディング：IC や LSI などの半導体チップ表面に形成された約 100 μm $\times$ 100 μm の大きさのアルミニウム電極とリードフィングを $\phi 20 \sim \phi 50 \mu\text{m}$ の金属線により結線する接合技術。

** リードフレームに有効なボンディングエリアを設けるため銀めつきを施すのが現行法であるが、この銀めつきを行わずボンディングする技術。

表 2 半導体パッケージに使用される銅・銅合金 (質別 H 材: 代表的性質)

分 類	種 類 ¹⁾ (合金名称)	代表的化学成分 (Wt, %)							代 表 的 性 質					
		Cu	Ag	Sn	Fe	Ni	Zn	P	その他	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	導電率 % (IACS)	半軟化温度 °C	熱膨張係数 1/°C×10 ⁻⁶
高導電型	C1020 (無酸素銅)	99.96								38	6	101	225	(20～300) 17.7
	C10700 (銀入無酸素銅)	99.96 ²⁾	0.1						O ₂ :10 ppm	38	6	99	325	17.8
	C14410 (EFTEC®3-S)	残		0.15				0.01		42	4	90	375	17.7
	C15000 (ジルコニウム銅)	残							Zr:0.18	48	10	90	480	17.5
	C19210(鉄入銅)	残			0.1			0.03		42	4	90	400	17.2
	C15500(銀入銅)	残	0.08					0.06	Mg:0.1	45	4	86	400	17.7
高 強 度 高導電型	C19400(鉄入銅)	残			2.3		0.12	0.03		46	5	65	475	16.3
	C19500(鉄入銅)	残		0.55	1.55			0.1	Co:0.85	63	3	50	450	16.9
	C50100(すず入銅)			0.7						42	6	60	325	17.6
	C50500(すず入銅)			12.5						46	6	35	400	17.8
	C2200(9/1丹銅)	90					10			43	5	44	400	18.2
	C2300(85/15丹銅)	85					15			43	8	37	400	18.6
高強度型	C50700(りん青銅)	残		2.0				0.15		53	3	30	400	17.8
	C50900(りん青銅)	残		4.0				0.20		60	5	20	400	17.9
	C5191(りん青銅)	残		6.0				0.20		65	10	18	400	18.0
	C5212(りん青銅)	残		8.0				0.20		70	10	13	400	18.2
	C72500	残		2.3		9.5				65	3	11	500	16.5

注: 1) ○○○○は JIS の合金番号, ○○○○○は CDA³⁾ の合金番号

2) Cu+Ag の数値である。

3) CDA: Copper Development Association Inc.

表3 半導体デバイスの代表的リード材例

種 類	デバイス形状	材 質	型 状	表面処理など
ダイオード		C1020 C10700 C15000 C15100	線	① 樹脂モールド用にはAgクラッドまたはAgめっき ② ガラスモールド用にはNiめっき ③ 種類によっては被銅鋼線も使用される
トランジスタ	TO 92	C1020 C1200 C1220 C14410	条	一般的にはめっきなどの処理は打ち抜き加工後に行うが、最近、部分めっきした条も使用されるようになってきた
	TO 220	C1020 C1200 C1220 C14410 C19400	条 異型条 ( ) 平角線	① 異形条は、アイランド、ヒートシンク、リードを1体としたものに使用される ② アイランド、ヒートシンクとリードを個別に加工し、パッケージ時に1体化する場合には条(リード)と平角線(アイランド、ヒートシンク)が使用される
IC (DIP)		C14410 C19400 C19500 C5191	条	一般的には、めっきなどの処理は打ち抜き加工後に行うが最近、部分めっき条や部分クラッド条も使用されるようになってきた
IC (SOIC)		C14410 C19400 C19500 C50500 C5191	条	表面処理はDIPと同様、リードピッチが50mils、厚さ0.125mm
IC (FLAT PACK)		C14410 C19400 C19500 C50500 C5191	条	表面処理、リードピッチ、リード厚さはSOICと同様、4方向にリードが配されるため、歪が課題
IC (PLCC)		C14410 EFTEC® 6* C15000 C15100 C15500	条	強度と熱伝導性に優れたものが要求される ※Cu-Cr-Sn 系合金

図2 リードフレーム材料の需要予測¹⁾

覆銅線が主流である。これらの線材の機械的性質と導電率を比較して図3に示す。各種銅系線材の特性については文献4), 5), 6)を参考にされたい。また抵抗線はCu-Ni系, Cu-Mn系が主流であるが割愛する。

2.3.3 機構部品用銅・銅合金

スイッチ, リレー, コネクタなどの機構部品の主構成金属材料はばね材料と接点材料で, 前述のように通信機用材料として発展してきた。この分野も同様, 小型, 高性能, パッケージ化と共にプリント回路板に直接実装するものが増大している。

1) 銅系ばね材料

銅系ばね材料は他の電子材料に先がけて通信機器用ばね材料として発展し, 現在でもスイッチ, リレー, コネクタ, 端子などに使用されている。その種類はC 2680 (黄銅), C 3212 (りん青銅), C 7701 (洋白), C 1720 (ベリリウム銅), Cu-Ti系, Cu-Ni-Si系, Cu-Ni-Sn系合金などがある。材料強度を引張強さという尺度でその変遷をみると1950年代がCu-Zn系合金の50 kgf/mm²であつたのに比べ, 現在のNi-Be系合金*では200 kgf/mm²以上となり, 10年毎に50 kgf/mm²ずつ増加したといえる。

銅系ばね材料で特記されるのはクロスバー変換機におけるワイヤスプリングリレー用のCu-Ni系合金の開発であり, その後のばね材料開発に大きく寄与している。

図3 銅被銅線と各種銅合金線の機械的性質および導電率の比較⁶⁾

Cu-Ni系ばね材料としてはステップバイステップ方式時代のC 7701があるが応力腐食割れ感受性が強く, モールドインタイプのばねとしては不適當であることからC 7101 (キューブロニッケル) に0.35~0.7%Siを添加した析出硬化型合金が開発された。また米国ではCu-Ni-Sn系合金の開発が盛んで耐食性とはんだぬれ性に優れたC 72500 (Cu-9Ni-3Sn) 合金, 強化機構にスピノードル分解を利用したCu-9Ni-6Sn合金などの開発が行われ, コネクタに採用されている。

図4に銅に対する添加元素とヤング率の変化を示す。この図より明かなようにCu-Ni系合金の特徴は耐食性の他に銅への添加元素としてニッケルが唯一ヤング率を向上させるため“軽薄短小”の時流にマッチしたばね材といえる。電子機器用ばね材料については文献7)を参

* Ni-Be合金は西独 Vacuum Schmelze 社が発表した高弾性材料でヤング率が18,900~21,000 kgf/mm², 耐熱性, 耐食性に優れたばね材料である。

図4 銅への各種添加元素のヤング率への影響

考にされたい。

2) 銅系複合ばね材料

ばね材料の機能は、強度、磁性、熱伝導、接点、耐摩耗、耐摺動性など多種多様の特性を組合せることが多く単体金属ではその要求を満たすことができないため、異なる特性を有する材料を組合せた複合材料(クラッド材)が必要になる。その形状は通常図5のように分類される。電子材料の場合は接点ばねとして使用されることが多く、その信頼性から被覆材には貴金属が使用される。

表4 電子部品に使用される複合材料(クラッド)¹⁷⁾

用途	母材 (合金)	被覆材 (接点)	強度	導電	伝熱	耐食	耐摩	磁性	成形	ろう付
コネクタ	Cu-Sn	Au								
	Cu-Be	Au-Ag	○	○		○	○		○	○
	Cu-Zn	Au-Ag-Pd								
		Ag								
マイクロモータ	Cu-Sn	Ag-Pd								
	Cu-Ni-Zn	Au-Ag	○	○			○		○	○
	Cu	Au-Ni								
キースイッチ	Cu-Sn	Au								
	Cu-Zn	Au-Ag	○	○		○			○	○
		Au-Pd								
		Ag								
リレーマイクロスイッチ	Cu-Sn	Au								
	Cu-Ni	Au-Ag	○	○		○			○	○
	Cu-Zn	Ag-Pd								
		Ag								
小型スイッチ	Cu	Ag								
	Cu-Zn	Ag-Ni		○	○				○	○
スライドスイッチ	Cu-Sn	Ag								
	Cu-Ni-Zn	Ag-Pd	○	○		○	○		○	○
		Ag-Cu								
		Au-Ag								
リードスイッチ	Fe-Ni	Mo		○					○	○
		Rh							○	○
リードフレーム	Fe-Ni	Ag-Cu								
	SUS	Cu	○	○	○				○	○
		Al								

基本形状				
	オーパレイ	ダブルオーパレイ	インレイ	ダブルインレイ
基本形状				
	エッジレイ	ダブルエッジレイ	異形エッジレイ	スルーレイ

図5 クラッド材料の形状と名称

表5 半導体パッケージとリードフレーム材料の関係

パッケージ		TO	DIP	SMD		
				SOP	PLCC	QFP
Discretes		Cu(I) Fe	Cu(I, II)	Cu(II, III)	—	—
IC	BIP-Linear	—	Cu(I, II)	Cu(II)	—	—
	BIP-Dig.	—	Cu(II) 42*	Cu(II, III)	—	Cu(II, III) 42
	MOS-Mem.	—	Cu(II, III) 42	Cu(II, III)	Cu(I, II)	—
	MOS-Log.	—	Cu(II, III) 42	Cu(II, III) 42	Cu(I, II)	Cu(II, III) 42
	MOS-Mico.	—	Cu(II, III) 42	—	Cu(I, II)	Cu(II, III) 42

*42: Fe-Ni 系合金

表6 主要既存リードフレーム用銅合金の分類¹⁾

合金系	合 金	性能分類
Cu-Fe	Fe 入り (KFC, Tamac 4 EFTEC-7)	Class I
	C19400	〃 II / I _L
	CuFeSn (Tamac 5, EFTEC-5)	〃 II
Cu-Sn	Sn 入り (EFTEC 3, Tamac 2)	Class I
	Cu2Sn (202, KLF5, EFTEC8)	〃 II _L
	りん青銅	〃 III _L / II _{LL}
Cu-Ni	C72500	Class II _{LL} / III _L
	CuNiSi (KLFI)	〃 II

母材には導電・非磁性の要求から銅系ばね材料が多用されている。電子部品への適用を表4に示す。

3. 銅・銅合金の課題

高度情報化社会の進展と共に情報入力, 出力, 変換機器, さらにそれらの周辺機器は, その性格上, 小型, 軽量, 高集積, 高信頼性が要求される。チップレベルではより高集積化されたVLSI, USLIが実現し, ボードレベルでは高実装密度の追求によりSMT(表面実装技術)の方向で進んで行くと予測されている。このような背景をもとに電子材料に使用される銅・銅合金の技術課題を考察してみる。表5に半導体パッケージと要求されるリードフレーム材料の関係を示す。

3.1 半導体パッケージ用銅・銅合金の技術課題

現在, 使用されているリードフレーム用銅合金は大別してCu-Fe系, Cu-Sn系, Cu-Ni系の3系にまとめることができる(表6)。これらはいずれもT.S.-E.C.図(図1参照)で比較的低位に位置するものが多く,

また合金特有の欠点を有している。

(1) Cu-Fe系 Fe_xP化合物(Fe₃Pが主)の析出分散強化と耐熱性向上を利用しているが, 成形性, めつき性⁸⁾, はんだ付け性, ボンディング性⁹⁾などに欠点がある。また磁性を有する場合もあり, 高鉄系(Fe≥1%)で顕著であるが, 0.1%Fe入り合金でも無視できない。

(2) Cu-Sn系 C14410(Sn:0.15%)は耐熱高導電合金の代表であるが, 強度が低い高い導電性を保ちながら高い強度を得るには, 析出強化機構が必要である。りん青銅は42合金相当の強度を有するが, コストパフォーマンスの点で大きな優位性は期待できない。C50500の改良として開発されたCu-2%Sn系はNi, Fe, Crなどの微量添加で55kgf/mm², 30~35%IACS程度の特性に留まっている。高Sn合金の一般特性として酸化皮膜の密着性に乏しく, 放熱性や強度の点でも不十分な場合が多い。

(3) Cu-Ni系 C72500は導電性や加工性に劣り, はんだ接合部の加熱経時劣化の課題を有している¹⁰⁾。Cu-Ni-Si系のコルソン合金はNi₂Siの析出を利用するため, T.S.-E.C.関係を向上できるが, 過剰のNi, Siなどによる導電性やサブスケールなどの有害作用を配慮する必要がある。

3.2 機構部品用銅・銅合金の技術課題

機構部品の構成は開閉動作をつかさどる電気接触部, 必要な接触圧を与える負荷加圧部, 動作の駆動をする磁気回路と全体を固定したり, まとめたりするハウジング部, さらに端子部からなっている。銅合金が関与するのは負荷加圧部のばね材料と端子材料が主である。端子材料は半導体リードフレーム材料とほぼ同一の課題であるので割愛し, ここでは銅系ばね材料, 複合材料の技術課

題とプリント回路用銅箔の技術課題を列举する。

- (1) ばね材料
 - イ) 高強度化……部品の小型、高信頼性に耐える高弾性、応力緩和性、耐疲労性材料。
 - ロ) 耐環境性……耐応力腐食割れ性など劣化対策。
 - ハ) 経済性……Cu-Be 系の低 Be 化および代替材料、Cu-Sn 系合金の低 Sn 化。
 - ニ) 強化技術の開発……新しい強化機構（スピノーダル分解、析出分散など）、新しい強化技術（TMT: Thermo Mechanical Treatment）の導入。
 - ホ) 材料の応力緩和特性とばね設計。
- (2) 複合材料（接点ばね材料）
 - イ) 耐環境性……ホイスカー、マイグレーション、フレッチング、拡散、応力腐食割れなどの劣化対策
 - ロ) 卑金属接点の利用
- (3) プリント回路用銅箔
 - イ) 高信頼性……多層基板の利用、高密度配線化に伴う薄肉化（18 μm 以下）とピンホールレス化。
 - ロ) 可撓性……フレキシブル基板への対応（圧延箔とその表面処理）
 - ハ) 経済性……コストパフォーマンスの向上。

3.3 銅・銅合金の環境劣化

マイクロエレクトロニクスの進歩に伴ない電子機器の使用範囲が拡大し、種々の環境で使用されるため、その環境因子の影響を受けて劣化現象が生じる。この環境劣化（信頼性）問題についての解決が信頼性向上に不可欠の課題である。ここでは電子機器における環境劣化現象を列举するのみに留める。詳細については文献(11)、(12)を参考にされたい。

- イ) 皮膜生成……大気腐食、低温酸化、硫化・ハロゲン化等、高温酸化、クリープ（硫化クリープ、吸湿クリープ）、反応性デポジット（有機ポリマ、シリコン、無機生成物）など。
- ロ) マイグレーション……電解マイグレーション（低

- 温、浸水電食・高湿）、エレクトロマイグレーション、クリープ（導電性腐食物による短絡）など。
- ハ) ホイスカー……真性ホイスカー（Sn ホイスカー）、反応性ホイスカー（Ag ヒゲ状成長）など。
- ニ) フレッチング……微少撓動による酸化摩損。
- ホ) 拡散……固体拡散（薄膜/母材、接合対など）固気相拡散（Cu の H₂ 脆化・Cu 合金内部酸化、Ag/Cu の酸化など）
- ヘ) 環境脆性……応力腐食割れ、腐食疲労、水素脆化。
- ト) その他……グローと Cu₂O の増殖¹⁶⁾、放電反応。

4. 銅・銅合金の開発動向

電子材料としての銅・銅合金の開発は広範囲で行われているが、その代表は半導体用リードフレーム材料である。ここでは半導体パッケージ用銅・銅合金の開発動向としてリードフレーム材料を、機構部品用銅・銅合金の開発動向として金属ベース基板の開発動向を概説するに留める。

4.1 半導体パッケージ用銅・銅合金の開発動向

4.1.1 新しいリードフレーム材料の開発動向

表 7 に新しいリードフレーム材に関するニーズとシーズを示す。SMD（表面実装用デバイス）が開発の主流となると考えられており、パッケージの効率の展開のためにリードフレームの果す役割は、従来以上に重要となる。小型高密度パッケージ、特に QFP（Quad Flat Package）ではリード部の占める役割が増大する。それゆえ、高性能リードフレーム材はパッケージの信頼性とコストパフォーマンスに比べ得るものでなければならない。

4.1.2 高性能銅合金の開発

VLSI, ULSI の実現、SMT 対応パッケージの増加に伴ない、銅合金の有する導電性（熱伝導性）やヤング率の特徴が生かされるところが多くなった。加工成形性や信頼性要因に留意した高性能銅合金の開発が求められて

表 7 リードフレーム材料の新しい開発動向とその要因¹⁾

半 導 体	パ ッ ケ ー ジ	信 頼 性	材 料
・小型高密度 ・多機能化（高集積化） ・カスタム化 ・コストパフォーマンス志向	・SMD SOP PLCC QFP TAB ・材料プロセスの VA	・はんだ接合性 ・耐湿性 ・放熱性 ・リード変形	・高性能銅合金 Class II _H Class III/III _H 精密加工成形性 ・ベアーボンディング用銅合金

5

図6 主な既存および新リードフレーム用銅合金¹⁾
(但し, T.S. は伸び 5~10% の場合)

● 一般合金

- 1: C 1020
- 2: C 50100
- 3: C 50500
- 4: C 50700
- 5: C 2680
- 6: C 72500
- 7: C 5191
- 8: C 5212
- 9: C 7701

○ 既存リードフレーム合金

- 1: C 15100
- 2: C 14410
- 3: C 19210
- 4: Cu-Cr-Sn (EFTEC[®]F6)
- 5: C 19400
- 6: Cu-Fe-Pn (Tamac 5)
- 7: Cu-Ni-Sn-Zn (KLF-1)
- 8: Cu-Fe-Zn (EFTEC 5)
- 9: C 19500

- 10: Cu-Sn-Cr (EFTEC-8), Cu-Sn-Fe-P (KLF-5)

- 11: Cu-Sn-Ni (MF 202)

⊕⊗ 新リードフレーム合金

- 1: Cu-Cr-Zr (CCZ)
- 2: C 19700
- 3: Cu-Cr-Sn-Zn (EFTEC64)
- 4: Cu-Cr-Sn-Zn (EFTEC64T)
- 5: Cu-Cr-Zr (MCL-1)
- 6: C 19750
- 7: Cu-Ni (Olin B28)
- 8: Cu-Sn-Ni-Si-Zn (KLF 125)
- 9: Cu-Ti-Ni-Sn-Zn (EFTEC 200)
- 10: Cu-Sn-Fe (SLF 7)

○ Fe, Ni

- 1: F-30 (Fe42Ni)
- 2: F-15 (Fe29Ni17Co)

いる。図6に高性能リードフレーム材料として新しく開発された合金を、一般合金と既存リードフレーム合金と比較してT.S.-E.C.マトリックスに取りまとめて示す。新しいリードフレーム合金は総て高強度・高導電傾にあり、析出、分散、固溶の強化機構を組合せ、バランスの取れた開発方向にある。

1) クラスII材料

導電率80%以上、引張強さ45~60 kgf/mm²の材料はPLCCやSOICなどのSMT対応デバイスにもとより、従来の半導体素子やBIP・ICにも適している。米国オーリン社のC 19700 (Cu-0.6Fe-0.05Mg-0.2P)のほか国内でもCu-Cr-Zr系が開発されている。高価なZrを使用しないCu-Cr-Sn系は加工成形性、めつき性、はんだ付け強度などの点で致命的な欠点を有するとされてきたが、この欠点を改良した新しい合金 (EFTEC[®]-64/64T Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.1Zn)¹⁾が報告され、期待が集まっている。

2) クラスIII材料

42合金相当の強度で、導電率が10%以上の銅合金の開発は最近であり、その代表的なものが、Cu-Fe-Sn系 (Cu-2Fe-2Sn)、コルソン系 (Cu-3.2Ni-0.7Si-1.25Sn-0.3Zn) と Cu-Ti 系 (Cu-0.25Ti-1.5Ni-0.5Zn-2.0Sn) である。Cu-Ti系はTi・Ni・Snの微細析出物でコルソン系のNi₂Si化合物の数分の1程度の少量で同等の強化効果を発現している。このため、加工成形性、めつき性やはんだ接合強度などで優れた性質を有していると報告されている¹⁾。

3) ベアボンディング用リードフレーム材料

ボンディングエリアの銀めつきを省略してワイヤボンディングすることは既に半導体素子で一部実用化されているが、ICへの適用も可能である。最近、銅ワイヤ方式の開発により経済的効果が一層増大すると期待されている。一般的に銅合金の清浄表面に金線を直接ボンディングできるが、実用上のボンディング性は合金によつて大きく異なる。詳細は文献⁹⁾, 13)を参考にされたい。一例を示すとCu-0.1Sn-0.15Cr, Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.1ZnなどはCu-Fe系合金よりもボンディング性に優れている。

4.2 機構部品用銅・銅合金の開発動向

ばね材料や複合材料は3.2の項で述べた技術課題を解決する方向で開発が進められている。詳細は文献⁷⁾を参考にされたい。

(1) 金属ベース基板の開発動向

LSI, VLSI, パワートランジスタ, 抵抗, ジャンパー線などを搭載したプリント配線基板は、高密度化により一

基板の種類	金属ベース基板	メタルコア基板	鉄板ホーロー基板
構 成
金 属	アルミ板, けい素鋼板, 銅板など	銅板, アルミ板など	銅板など
絶 縁 層	エポキシ樹脂, ガラスエポキシ, ポリイミド, ポリアミドイミドなど	エポキシ樹脂など	ホーロー
絶縁層厚さ(μm)	20~300	150~300	100~200
回路形成方法	主としてサブトラクティブ法	アディティブ法	厚膜印刷法
実 装 方 法	SMT	IMT	SMT
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ○従来のプリント板加工設備で加工可能 ○大面積に種々のパターン形成可能 	<ul style="list-style-type: none"> ○金属の露出部分がなく, 耐食性に優れる ○スルーホールメッキ可能 ○リード付き部品実装可能 	<ul style="list-style-type: none"> ○耐熱性 ○熱伝導性が優れる ○卑金属ペーストが応用できれば安価

図7 金属ベース基板の概念図とその特徴¹⁸⁾

層発熱量を増し、能動部品だけでなく受動部品などの誤動作、劣化、破損をもたらすようになり、一方SMTの進展はさらに高密度化と多様化へと進んできている。特にCOB (Chip on Board) やPRC (Printed Resistor Circuit) の発展を背景に、金属を基板材料として応用する技術が最近になって注目し始められている。この理由は金属の持つ優れた熱伝導性、強度、加工性、寸法安定性、磁性、電磁気シールド性など、これまでの絶縁物系基板材料では不可能な特性が利用できる新規性に注目されたからである。現在実用化並びに開発が進められている金属系基板は

- イ) 金属ベース基板: Al板, Alめつき鋼板, けい素銅板など
- ロ) メタルコア基板: Al板, 銅板など
- ハ) 鉄ホーロー基板

に大別され、その概念図を図7に示す。これらの基板をプリント配線基板に加工する技術にはサブトラクティブ法(エッチド・ホール法)とアディティブ法(めつきと印刷法)とがある。現在は前者が主流で片面基板の段階であるが、両面基板・多層基板の開発も進められている。

図8 IMST回路基板の断面模式図

(2) 実用例

イ) 金属ベース基板 (IMST)

IMST (Insulated Metal Substrate Technology) 基板は図8のように両面を硫酸アルマイト処理した上に銅箔をエポキシ樹脂で接着したものである。この銅箔を回路パターンニングし、素子を実装し使用する。

最近、エポキシ樹脂中に無機フィラーを分散させ低熱抵抗基板が開発された。従来のIMSTが2.2°C/Wに対し新しいIMSTは1.7°C/Wと熱抵抗が低下し、その高密度化が可能になった。

ロ) 多積金属ベース基板

ベース材料にアルミニウムを用い無機フィラーを分散させた絶縁層を介して回路用電解銅箔を接着した基板に回路パターンニングした後、バイヤホール及び回路をアディティブ法で形成した2層回路板も開発され、SMT

写真1 金属ベースプリント回路基板への実装例

により実装密度の向上がはかられている。写真1に実装例を示す。

5. 銅・銅合金の評価技術

表8、表9、表10にリードフレーム材料の加工工程全般に対応する材料特性と、それぞれの評価方法を取りまとめて示す。評価方法中金属材料の試験方法として確立している一次特性以外は経験的要素の強いものである。

表8はパッケージの設計に一義的に必要な物理的性質と一般的な機械的性質に加え、耐熱性、応力緩和、疲労強度などの信頼性因子を含めた一次特性を示したものである。この中で繰返し曲げ性は、DIP型のリード足折れ抵抗性を評価するもので、MIL-STD-883/2004によ

り90°1方向往復曲げを1回とし通常4回以上を標準としている。また曲げ性については4方向にリードを持つPLCCやQFP型のリードフレームでは、曲げ加工性の良好な圧延方向にも、曲げ加工性の悪い圧延方向に直交な方向にも、同様に良好な曲げ性が要求される。

表9はスタンピングやエッチングリードフレームを加工成形するために必要な特性である。最近の高速自動ボンディングや組立工程の自動化の進展に伴い内部リード(リードフィンガ)の位置精度(μm オーダ)が重要であり、残留応力の存在、強度と伸びとのバランスのとれた材料特性などが必要因子となつている。

表10はパッケージ工程とリードフレームの信頼性に関するものであり、主として表面性状と化学的性質で示される二次特性である。この分野の特性値については、いずれも規格された試験方法が少なく、これまでの経験上からの実用的評価方法が多い。

今までに述べたように評価技術はより科学的な手法を確立する必要がある。今後、SMT対応デバイスの増加が予測されるため、SMD用リードフレーム材料の必要特性(放熱性、耐ヒートショック性、はんだ接合性、耐湿性など)と、その信頼性がより重要となる。評価技術の詳細については文献1)、14)、15)を参考にされたい。

6. おわりに

機能の高度化、高集積化をはかりながらコストダウンを続ける半導体産業のニーズに応えるべく、今後も高性

表8 リードフレーム材料の一次特性と評価方法¹⁾

分類	特 性	評 価 方 法
一 次 特 性	A. 物 性	
	1. 熱伝導度 (K)	(簡便法) $K=L\sigma T$
	2. 電気伝導度 (σ)	ダブルブリッジ法 (JIS 0505)
	3. 磁化率	振動試料型磁力計
	4. 熱膨張率	熱膨張測定器
	5. 密 度	
	6. 弾性係数	B6 参照
	B. 機械的性質	
	1. 引張り強さ、耐力、伸び	引張り試験機
	2. 硬さ (マイクロビッカース)	微小硬さ計
	3. くり返し曲げ回数	MIL-STD-883/2004
	4. 耐熱性	定温軟化測定 (ex, $t=3\sim 5\text{ min}$)
	5. スティフネス	モーメント式 (EMAS 1003)
	6. ばね性 (K_B 値)	薄板ばね試験機 (JISH 3130)
	7. 応力緩和	両持梁り法
	8. 疲労強度	板ばね疲労試験機
	9. 曲げ加工性	プレス曲げ試験, V 曲げ試験

表9 リードフレーム材料の成形加工性と評価方法¹⁾

	特 性	評 価 方 法
成 形 性	C. プレス加工性	
	1. 素材, 寸法, 形状 (寸法, バリ, 曲げ, そり)	SEMI G4-82
	2. 残留応力	X 線法, モデルフレーム試作
	3. フレームの寸法, および形状	プレス試作→工具顕微鏡 (SEMI G10-83)
	4. 金型寿命	プレス試作評価
	5. 曲げ加工性	B9 参照
	6. 曲げ, 寸法 (スプリングバック)	B9→角度測定
	D. エッチング性	
	1. 素材, 寸法, 形状	SEMI G18-84
	2. 残留応力	→C2
	3. フレームの寸法および形状	エッチング試作工具顕微鏡 (SEMI G10-83)
	4. エッチングレートおよびその均質性	エッチング試作
	5. エッチング表面性状	エッチング試作

表10 リードフレーム材料の二次特性と評価方法¹⁾

	特 性	評 価 方 法
二 次 特 性	E. めつき性	
	1. インナーリードめつき	Ag めつき→加熱フレ試験 (SEMI G21-84など)
	2. アウターリードめつき	はんだめつき (SEMI G20-84)
	F. ボンディング性	
	1. ダイボンド性	ダイボンド→シェアーテスト
	1) ベースト法	
	2) 共晶法	
	3) はんだ法	
	2. ワイヤーボンド性	ワイヤーボンド→プルテスト
	3. ペアーボンド性	
	1) ワイヤーボンド	} 酸化還元→F1, F2
	2) ダイボンド	
	G. 酸化スケール特性	
	1) 大気酸化速度	大気酸化→カソード還元法, 又は重量法, 又は AES etc.
	2) 酸化膜の密着性	テープ剥離試験
	H. 封止特性	
	1. ガラス封止	ガラス漏れ性測定 シール試験 [MIL-STD-883/2011, 2(D)]
	2. レジンモールド	接着力測定
	I. はんだおよびろう付け性	
	1. はんだもれ性	メニスコグラフ法, 又は漏れ面積 (MIL-STD-202E/208)
	2. はんだ強度劣化	長期間熱 (ex 150°C×~1000 hr)→引張り試験
	3. リソルダピリディ-	はんだディップ又はめつき→長期加熱 (ex. 150°C×24~300 hr)→I1.
	4. はんだ疲労	
	5. 銀ろう付け性	ろう付け→接合力測定
	J. 耐食性, その他	
	1. SCC (応力腐食割れ) 感受性	Cu 系: 3(vol) % NH ₃ (JIS C8306)
	2. 加湿酸化	(ex) 60°C×95% RH×24~96 hr
	3. ガス腐食	希薄混合ガス試験 (H ₂ S-Cl ₂ -NO ₂ -H ₂ O)
	4. 塩害試験	サイクル試験
	5. 水素脆性	H ₂ 加熱 (350°C×2 hr, 500°C×0.5 hr)→B3, 断面検鏡

能化・高信頼性化と共にコストパフォーマンスを志向した材料開発に科学的な手法の導入が必要である。本講では電子材料としての銅・銅合金の現状と技術課題、さらに開発の動向につきリードフレーム材料を中心に概説したが、拡大する電子材料としての銅・銅合金全般に言及できなかったことをお詫びする。

筆者は古河電工金属事業本部，研究開発本部勤務中，導電材料を中心に従事し，昭和61年9月より現職に転出したことを加筆しておく。

参考，引用文献

- 1) 志賀：電気学会金属材料研究会資料，MR-86-9 (1986)，29.
- 2) 町田，弘田，奥田：電気学会金属材料研究会資料，MR-86-8 (1986)，19.
- 3) 谷川，加賀他：日本電子材料技術協会第23回秋期講演概要集 (1986)，22.
- 4) 藤井，越後屋他：古河電工時報，59 (1976)，132.
- 5) 上山，黒柳，石井他：古河電工時報，63 (1978)，23.
- 6) 鈴木，佐野，志賀他：古河電工時報，77 (1986)，29.
- 7) 西畑，日本電子材料技術協会報25周年平記念特集号，18-10 (1986)，6.
- 8) 志賀，松田，黒柳他：伸銅技術研究会誌，22 (1982)，64.
- 9) 志賀，谷川，他：古河電工時報，77 (1986)，77.
- 10) 稲葉，本間他：日本金属学会誌，48-9 (1984)，863.
- 11) 志賀，柴田他：古河電工時報，76 (1985)，93.
- 12) 志賀，柴田他：古河電工時報，79 (1986)，93.
- 13) 谷川，鈴木，志賀：第1回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (1985)，110.
- 14) 志賀，谷川，大山他：古河電工時報，77 (1986)，85.
- 15) 大山，谷川，浅井他：古河電工時報，77 (1986)，96.
- 16) 黒柳，井上，鈴木他：伸銅技術研究会誌，20 (1981)，198.
- 17) 加納，樋口，田代：電子材料，10 (1984)，53.
- 18) 坂本：第26回伸銅技術研究会講演会講演概要集 (1986)，27.
- 19) 黒柳：伸銅技術研究会誌，21 (1982)，22.
- 20) 石川，黒柳他：最近の半導体アセンブリ技術とその高信頼性・全自動化，応用技術出版 (1985)，3.
- 21) Standards Handbook: Part 2-Alloy Data: Wrought Copper and Copper Alloy mill products CDA (U.S.A.)，(1985).
- 22) 古河電工カタログ

参考資料 (I)

ISDN: Integrated System Digital Network
 CATV: Community Antenna Television or Cable Antenna TV
 SMT: Surface Mount Technology
 SMD: Surface Mount Device
 SMC: Surface Mount Components
 IMT: Insertion Mount Technology
 DIP: Dual Inline Package
 SOIC: Small Outline IC
 SOP: Small Outline Package
 QFP: Quad Flat (Plastic) Package
 PLCC: Plastic Leaded Chip Carrier
 LCC: Leadless (Ceramic) Chip Carrier
 TAB: Tape Automated Bonding
 PAG: Pin Grid Array

参考資料 (II)

伸銅品にはJISに規定されていないが，広く実用化されているものがある。これらは米国CDAが自由世界より申請のあつた開発合金を下記のような分類に従つて合金番号を付し，毎年Application Data Sheetにまとめ刊行しており，ASTMにも採用され part 6 の巻末に記載されている。

銅・銅基希薄合金 C 10000～
 銅一亜鉛合金 C 20000～
 銅一亜鉛一鉛合金 C 30000～
 銅一亜鉛一すず合金 C 40000～
 銅一すず合金，銅一すず一鉛合金 C 50000～
 銅一アルミニウム，銅一けい素合金 C 60000～
 銅一ニッケル，銅一ニッケル一亜鉛合金 C 70000～
 銅・銅合金鋳物 C 80000～，C 90000～

本講ではJISに規定されているものはJISを，JISに規定されていないCDAに記載されているものはCDA番号を，CDAにも記載されていないものは商品名と合金系をもつて記述した。

なおJISはC○○○○の表現をし末尾が0の場合はASTMと同一の化学成分，1，2のように数字が入る場合は日本固有の化学成分であることを示す。

参考資料 (III)

左図にSOICの代表的な内部構造を示す。

IC の内部構造