

はんだ用プレコートアルミニウム板「サップレート (Solderable Aluminum Plate)」

河野俊輔*・吉岡 興*・友森龍夫*²

Pre-coated Aluminum Plate for Solder “SAPlate”

Shunsuke KAWANO, Kou YOSHIOKA, Tatsuo TOMOMORI

Synopsis : Aluminum alloy excels in lightness and heat radiation, and it can be multi-used as the heat radiation material such as for heat sinks. However, heat radiation material using the aluminum alloy had a fault that joints by soldering can not be used. Then, we developed a pre-coated aluminum plate “SAPlate” that had a solderability and began manufacturing in 2006.

Various soldering methods using lead-free solder can be applied on this product keeping the superior property of aluminum such as lightness and heat radiation. Moreover, it has excellent formability and anti-whisker property. On this paper we introduce a typical characteristic of SAPlate.

Keywords : pre-coated aluminum, heat-sink, lead-free, soldering, whisker

1. はじめに

パソコンに代表される電子機器製品の高速・高機能化の流れは近年著しく早く進み、消費電力の増加に伴う発熱量の増加の問題はますます無視できないものとなっている¹⁾。またこれらと同時に、製品の小型軽量化の動きもより一層強くなっており、限られた面積で効率的に放熱することが要求されるため、ヒートシンクに代表される冷却部材の重要性が高まる一方である。このような中で、銅に次ぐ熱伝導性を有しかつ、比重の小さなアルミニウム（銅の約1/3）

とその合金は、電子機器製品向けの冷却部材にとって欠かせない放熱材料となっている。しかしながら古くから知られているように、アルミニウム及びその合金は、電子機器部品の接続、固定に多用されるはんだ付けが非常に難しいという欠点があった (Fig. 1)²⁾。このため、ヒートシンク等の形状に加工されたアルミニウム合金を半導体やプリント基板等へ固定する際には、ネジ止めあるいは錫めっきされた鋼線（ぶりき線）を足として介してはんだ付けする等の方法を利用する必要があった (Fig. 2 参照)。また、従来のアルミニウム製ヒートシンクは、Fig. 2 に示したような押出加工品が主流であり、薄肉化に限界があるため、

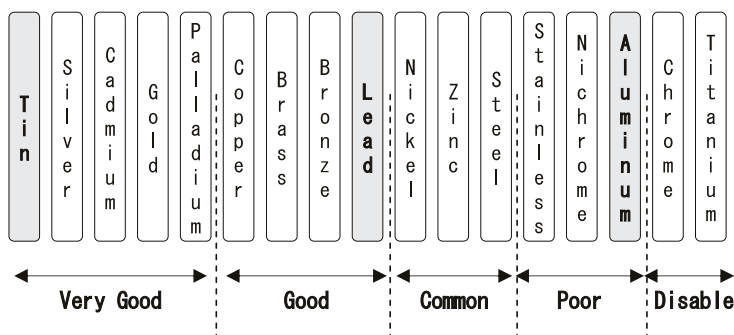


Fig. 1 Solderability of various metals²⁾

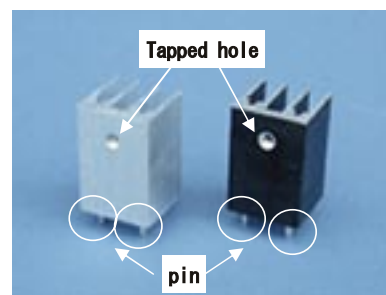


Fig. 2 Photograph of conventional heat sink

* 技術研究所 副主事

*² 技術研究所 グループリーダー

ヒートシンク自体の重量軽減は困難であった。

自然空冷下での放熱性には、基材の熱伝導性に加え、表面積、さらに表面性状に依存する放射率が寄与するようになる¹⁾。このため、押出材よりも薄いアルミニウム板にてプレス加工により表面に凹凸を付けて表面積を増加させて押出材と同等以上の表面積を確保できれば、薄肉化によるヒートシンクの軽量化が可能となる。そして更に、表面にはんだ付け性を付与出来れば、基板上へ固定する用途では他の電子部品と同時にはんだ付けによる固定が可能となるといった利点が生じる。

当社では、家電製品のフレームやTVチューナー回路のシールドケースを初めとした加工後のめっきが不要となるはんだ用プレコート鋼板として、はんだ用STを開発・製造してきた実績がある³⁾。そこでその知見を活かし、ヒートシンクを中心とした冷却部材向けをターゲットとした表面処理によりはんだ付け性を付与したプレコートアルミニウム板「サップレート (Solderable Aluminum Plate)」を開発し、2006年より工業生産を開始した。本報では、このサップレートの主要特性について報告する。

2. サップレートの仕様と主要特性

サップレートの仕様と主要特性ならびに層構成をTable 1に示す。開発中のものを含めると、本製品を適用する用途に応じて表面処理により付与する層構成を変えた3種の仕様が存在する(各層の役割については後述)。基材として利用可能なアルミニウム合金はA1100, A3104である。現在の主力製品は、基材をA1100合金とし、鉛フリーはんだでのはんだ付け性が最も優れるタイプ2K(ニッケル/錫/有機樹脂皮膜)仕様のものであるため、以下A1100合金を基材に用いたタイプ2Kのはんだ付け特性を中心とした代表的な特性を報告する。

2. 1 はんだ特性の評価

2. 1. 1 はんだ付け種類と評価について

材料のはんだ付け性は、使用するはんだ付けの方法とはんだ合金の種類、更にその条件(温度、時間、フラックス等)によっても大きく変わる。従来の当社におけるはんだ付け特性の評価では、使用するはんだ合金にのみ着目した評価が中心であったが、実際にははんだ合金によって利用できるはんだ付け方法が異なるため、はんだ付け方法を区別してから特性を評価する必要がある。

まず、はんだ付けによる電子機器部品のプリント基板への実装は、(a)フローはんだ付け、(b)リフローはんだ付け、(c)手はんだ、の3つの方法に大きく分かれる^{2, 4, 5)}。(a)のフローはんだ付けは、プリント基板のスルーホールに差し込んで固定するリード部品のはんだ付けに主に用いられ、棒はんだを加熱溶解させた熔融はんだ浴に基板ごと浸漬して行う方法である(Fig. 3a)。(b)のリフローはんだ付けは、プリント基板上のパッドに固定するチップ部品のはんだ付けに用いられ、予め塗布したペースト状のクリームはんだ上に部品を固定した後、基板全体を加熱してはんだ付けする方法である(Fig. 3b)。この2つの方法は、多数の部品を同時にプリント基板上に固定(はんだ付け)可能であり、電子機器の大量生産に不可欠な方法となっている。(c)の手はんだは、古くから行われているはんだごとと糸はんだを利用したはんだ付けであり、(a)、(b)の方法が適用しがたい部品のはんだ付けや補修に用いられている。

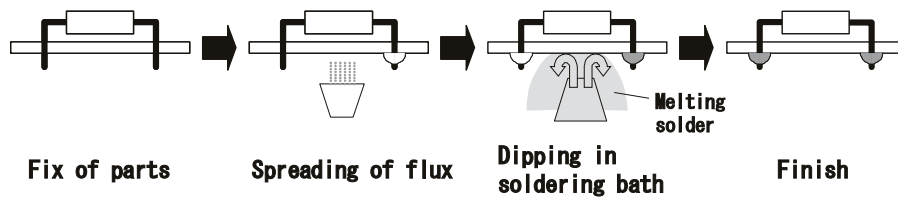
次に、代表的な鉛フリーはんだ合金と利用可能なはんだ付け方法^{2, 4-7)}をTable 2に示す。鉛フリーはんだ合金は4種の合金系に大きく分かれるが、従来のSn-Pb合金はんだに最も近いはんだ接合信頼性を示し、かつ様々なはんだ付け方法に対応可能な鉛フリーはんだ材料はSn-Ag合金系とされており、現在Sn-3.0Ag-0.5Cu合金のはんだが鉛フリーはんだの標準となっている^{2, 4-7)}。

そこで、サップレートのはんだ付け特性評価は、Sn-3.0

Table 1 Specification and characteristic of "SAPlate"

Type	1N	2K	2R (now developing)
Characteristic	Conductivity	Solderability	High heat radiation Solderability
Structure	Nickel Aluminum sheet	Organic Resin Tin Nickel Aluminum sheet	High heat radiation Resin Tin Nickel Aluminum sheet

(a) **Flow soldering process**



(b) **Reflow soldering process**

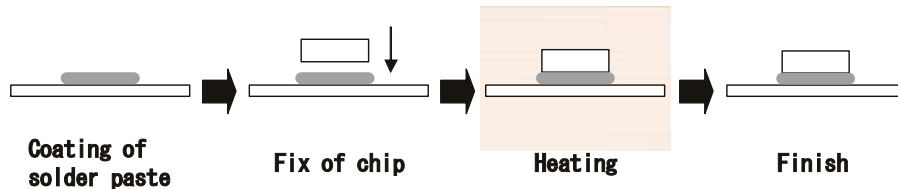


Fig. 3 Flow soldering process and reflow soldering process

Table 2 Lead-free solder alloys and available soldering process^{2,4-7)}

Solder Alloy	Typical Composition	M. P. (°C)	Soldering Process			Merit	Demerit
			Flow	Reflow	Hand		
Sn-Cu	Sn-0.7Cu	227	○	×	○	Low cost	Low wettability
Sn-Ag	Sn-3.0Ag-0.5Cu	217	○	○	○	High relativity	High cost
Sn-Zn	Sn-9Zn	199	×	○	×	Low cost	Insufficient reliability
Sn-Bi	Sn-58Bi	139	×	○	×	Low soldering temperature	Low relativity

Ag-0.5Cuはんだへのフロー及びリフローはんだ付け性を他の材料と比較することを中心に行った。比較材には、基材金属のはんだぬれがアルミニウム合金より優れている銅(99.96%)及びその合金である真鍮(Cu65%, Zn35%), リン青銅(Cu94%, Sn6%, P0.02%), 更にぶりき(錫めっき鋼板, Sn5.6g/m², リフロー処理材)を用いた。以下, その結果について示す。

2. 1. 2 フローはんだ付け性

サップレート(タイプ2K)のフローはんだ付け性評価は, ウェットングバランス法(メニスコグラフ法)によるはんだぬれ性試験(Fig. 4参照^{8, 9)})にて得られたゼロクロスタイムの値を比較材の値と比較することで行った。試験条件をTable 3に示す。各試験は, はんだ浴温と試料形状を除きJIS C60068-2-54に準拠して行った。はんだ浴温度は鉛フリーはんだの評価に用いられる245°C, 試料形状は, ヒートシンクとして加工されたサップレートがプリント基板のスルーホール内にはんだ付けにより固定される状況を想定し, 幅の短い短冊状(幅2mm×長さ20mm)に切り出したものとした。また, 基材には厚さ0.2mmのA1100合金を用いた。

Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだにおけるサップレートのフロー

はんだ付け性の評価結果をFig. 5に示す。ゼロクロスタイムは, Fig. 4に示したようにはんだ浴に試料を浸漬した

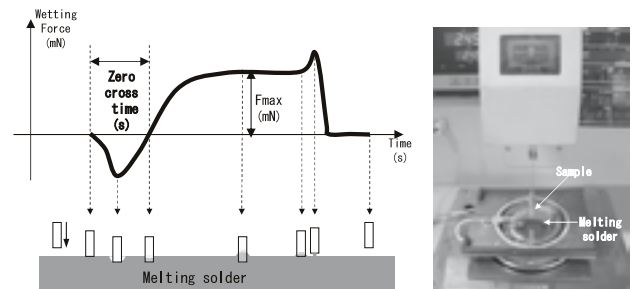


Fig. 4 Measuring method at zero cross time with wetting curve^{7,8)} and appearance of testing

Table 3 Test condition of flow soldering wettability

Solder	<ul style="list-style-type: none"> Sn-3.0Ag-0.5Cu (M705*) Sn-0.3Ag-0.7Cu (M35*) 	*SENJU METAL INDUSTRY Co., Ltd
Temperature of soldering bath	245°C	
Testing device	Solder checker SAT-5000 (RHESCA Co., Ltd)	
Speed of dipping	20mm/s	
Depth of dipping	2.0mm	
Time of dipping	10s	
Size of sample	0.2×2.0(W)×20(L) mm	
Flux (Solid content, Chlorine content)	<ul style="list-style-type: none"> EG-19S-8 (15%, 0.08)** ULF-300R (6%, 0.04)** NA-200 (50%, 0.00)** 	**TAMURA KAKEN Co., Ltd

際の試料へのはんだのぬれ上がり時間を示したものであり、短いほどはんだ付け性（ぬれ及びぬれ上がり）が優るとされる。サップレートは、活性度（ロジン及びハロゲン含有量）の異なる3種のフラックスのいずれを用いた場合においても、銅及びその合金よりもぬれ性に優れ、同じく表面に錫めつきされたぶりきと同等の良好なはんだ付け性を有することがわかる。また、Fig. 5でゼロクロスタイムに最も大きな差が生じたフラックスNA-200使用時ののはんだぬれ性試験後のサンプル外観写真をFig. 6に示した。

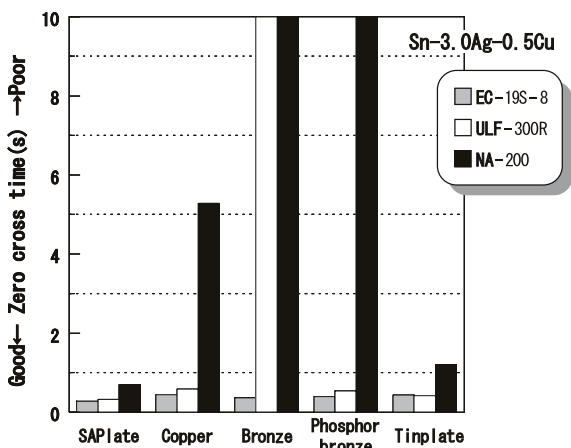


Fig. 5 Flow solderability of SAPlate in lead-free solder Sn-3.0Ag-0.5Cu

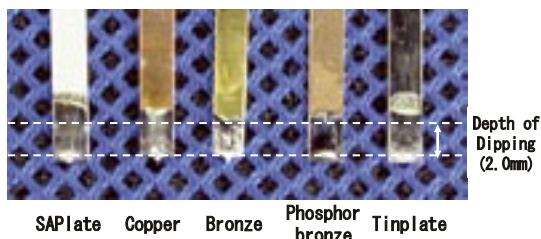


Fig. 6 Appearance of samples after wetting balance test (Flux : NA-200)

ゼロクロスタイムの値が大きかった銅、真鍮、リン青銅では、はんだへのぬれは生じているもののぬれ上がりがほとんど得られていないのに対し、サップレート表面ではぶりきと同様に浸せき深さを上回る良好なぬれ上がりが生じていることが確認された。なお基材のアルミニウム合金（A1100合金/表面処理無し）では、当然のことながら今回の試験条件下において、はんだぬれ上がりだけでなくぬれそのものを得ることが出来ない。このことは、サップレートのはんだ付け性における表面処理層（錫めつき）の効果の大きさを明確に示していると思われる。

続いて、第2世代鉛フリーはんだ¹⁰⁾として期待されている低銀含有量のSn-0.3Ag-0.7Cuはんだにおけるサップレートのフローはんだ付け性評価結果をFig. 7に示す。はんだ中のAg含有量低下は、はんだ融点の上昇とはんだぬれ性の低下を招くため、はんだ付け温度を更に約10℃

(Sn-3.0Ag-0.5Cuの場合245℃) 上昇させる必要があるとの報告¹⁰⁾もあり、これを裏付けるようにFig. 7ではいずれのサンプルのゼロクロスタイムの値もFig. 5の値よりも増加し、はんだ付け性が低下していた。しかしながら、サップレートのはんだ付け性の低下は、比較材と比べて非常に僅かであり、3.0Agと同条件でも使用フラックスによらず十分なはんだぬれが得られることが確認された。

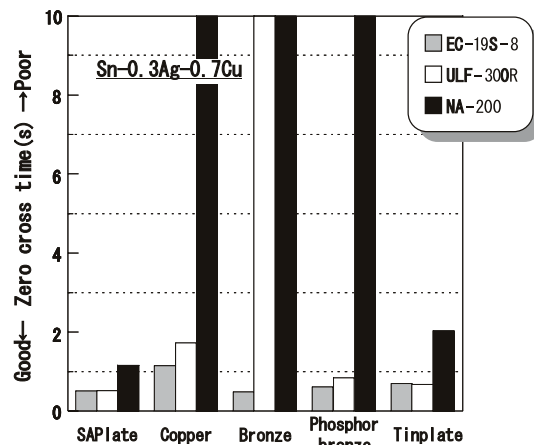


Fig. 7 Flow solderability of SAPlate in lead-free solder Sn-0.3Ag-0.7Cu

2. 1. 3 リフローはんだ付け性

サップレートのリフローはんだ付け性評価は、JIS C 0099鉛フリー溶剤ペーストを用いた表面実装部品(SMD)のはんだ付け性試験方法を用いて得られた最大ぬれ力(Fmax)の値を比較材の値と比較することで行った¹¹⁻¹³⁾。試験の模式図をFig. 8に示す。試験ジグ板(銅板)上に溶剤ペースト(クリームはんだ)を塗布し、そこにサンプルを浸漬させた状態で加熱炉内に挿入して溶剤ペーストを溶融させ、その際に生じる垂直方向の力を検出することでぬれ力曲線を作成し、最大ぬれ力Fmaxを測定している。試験条件をTable 4に示す。評価試料形状はフローはんだ付け性評価のものと同様とした。また、溶剤ペーストを溶融させるための昇温プロファイルは、

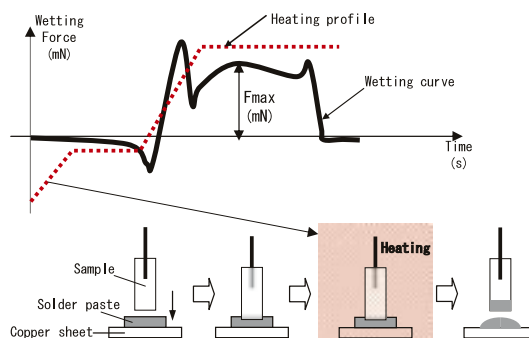


Fig. 8 Measuring method of wetting force "Fmax" with wetting curve^{10, 11)} and schematic diagram of testing

使用した溶剤ペースト2種の推奨プロファイル^{14,15)}に基づいたプロファイル (Fig. 9) を使用した。

Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだペーストにおけるリフローはんだ付け性の評価結果をFig. 10に示す。サップレートの最大ぬれ力は銅よりは若干劣るものの、ぶりきと同等の値を示し、かつ真鍮、リン青銅といった銅合金よりも優れており、リフローはんだ付け性も十分に有していることが確認された。

Table 4 Test condition of reflow soldering wettability

Solder paste	• Sn-3.0Ag-0.5Cu (M705-GRN360-K2-V*) Flux content:11.2%, Halogen content:0.0%
	• Sn-58Bi (L20-BLT5-T8F*) Flux content:10.0%, Halogen content:0.0% *SENJU METAL INDUSTRY Co., Ltd
Supply of solder paste	φ5×0.3 mm
Testing device	Solder checker SAT-5100 (RHESCA Co., Ltd)
Depth of dipping	0.1mm
Speed of dipping	1.0mm/s
Size of sample	0.2×2.0(W)×20(L) mm

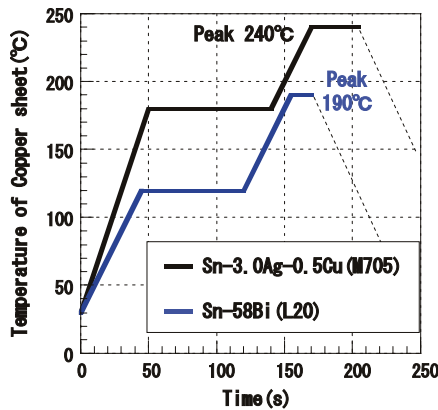


Fig. 9 Temperature profile used to evaluate reflow soldering

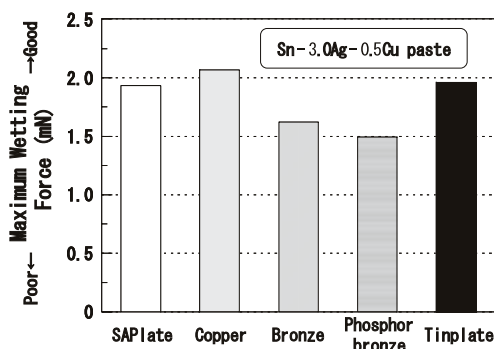


Fig. 10 Reflow solderability of SAPlate in lead-free solder paste Sn-3.0Ag-0.5Cu

一方、特殊用途となるが耐熱性の低い部品向けのはんだ付けに使用されるSn-Biはんだに対するはんだ付け性をFig. 10と同様に調査した結果をFig. 11に示す。Sn-Bi系はんだは、はんだ自体の濡れ性が劣るとされているが、それ

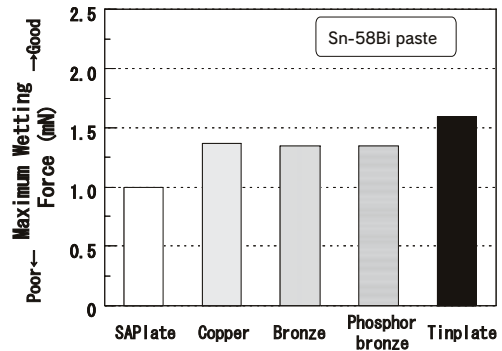


Fig. 11 Reflow solderability of SAPlate in lead-free solder paste Sn-58Bi

を裏付けるように比較材を含め試験したサンプル全てのぬれ力がFig. 10のSn-Ag-Cuはんだに比べ低下していた。また比較材と比べ、サップレートの最大ぬれ力が低い結果となった。しかしながら、Fig. 12にこのリフローはんだ付け性試験後の外観写真を示したように、はんだぬれそのものは十分に得られており、ぶりきと同様にサンプル表面で浸漬深さ(0.1mm)以上にはんだのぬれ広がりが生じており、低温はんだにも十分対応可能であることが確認された。

以上、標準的な鉛フリーはんだであるSn-3.0Ag-0.5Cuはんだを用いた際の結果を中心に、サップレートのフローはんだ付けならびにリフローはんだ付け性が優れていることを述べた。上述したようにサップレートは他にも、第2世代鉛フリーはんだとして期待されているSn-0.3Ag-0.7Cuのフローはんだ付け性や低温はんだであるSn-58Biのリフローはんだ付け性も有していることから、さまざまなはんだ付けを利用できる可能性を有していると考えている。

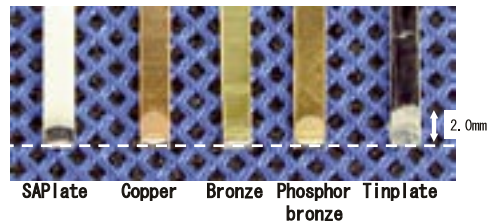


Fig. 12 Appearance of samples after reflow soldering test (Sn-58Bi solder paste)

2. 2 はんだ接合強度

サップレートのはんだ接合強度は、Fig. 3に示したリフロー法によるプリント基板上の銅パッドへのはんだ付けによる垂直接合を想定して、Fig. 13に示したようにフローはんだ付け性の評価に用いる銅板上にサップレートをリフローはんだ付けにより固定(接合)した後、引張試験を行うことで評価した。接合サンプルの作製条件ならびに評価条件をTable 5に示す。なお比較材には、2.1はんだ特性の評価の節で使用したものと同一のものを用いた。

Fig. 14にサップレートをSn-3.0Ag-0.5Cu鉛フリーはんだ

だにより銅板と接合した際の接合強度を示す。真鍮、リン青銅、ぶりがいはんだ接合界面にて接合が破断したのに対し、サップレート及び銅板は材料内での破断 (Fig. 15参照) を示し、はんだ接合部でのサンプル-銅板間の接合強度よりも、基材の引張強度の方が弱いという結果を示した。このため、サップレートを利用したはんだ接合では、基材であるA1100合金の利用可能な用途においては、実用上十分なはんだ接合強度を得ることが可能であると思われる。

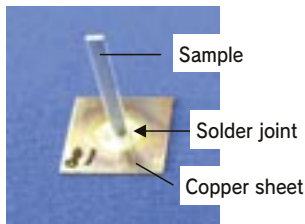


Fig. 13 Appearance of a sample for pull-strength test of solder joint

Table 5 Condition of solder joint and pull-strength test

Solder paste	Sn-3.0Ag-0.5Cu (M705-GRN360-K2-V*) Flux content:11.2%, Halogen content:0.0% *SENUJU METAL INDUSTRY Co., Ltd
Supply of solder paste	φ5×0.25 mm
Temperature profile	Reffer to Fig. 9 (M705)
Soldering device	Solder checker SAT-5100 (RHESCA Co., Ltd)
Depth of dipping	0.25mm
Speed of dipping	1.0mm/s
Size of sample	0.2×2.0(W)×20(L) mm
Speed of pull	20mm/min

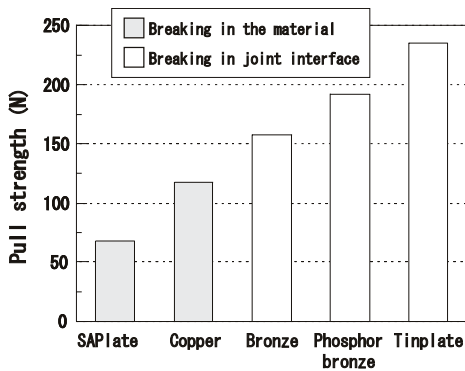


Fig. 14 Solder joint strength measurement result of SAPlate

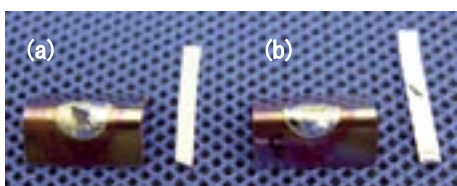


Fig. 15 Photograph of samples after solder joint strength test
(a) Breaking in the material
(b) Breaking in joint interface

2. 3 その他の特性

2. 3. 1 放熱特性

サップレートは、ヒートシンクを中心とした放熱部材を主用途と想定している。そこで、実際に放熱部材として利用した際の放熱特性を、Fig. 16に示したように発熱体(ヒーター)をサップレートに直接取付けた場合の、ヒーター表面の温度上昇を測定することにより評価した。測定に用いた試料の大きさは0.2×46×70mm、無風の室内下(室温20℃)にて測定を行った。また測定に当たっては、銅板(99.96%)、さらに高放熱仕様として開発中の黒色サップレート(タイプ2R)を比較材として用いた(基材はA1100合金)。その結果をFig. 17に示す。サップレート(タイプ2K)は、自然放冷下で同一形状の銅板と同等の放熱特性を有しており、使用条件にもよるが放熱部材に使用することで銅板と同等の放熱性をより軽量で達成可能となることを示している。また、開発中の黒色サップレート(タイプ2R)を使用すれば、サップレートの軽量性とはんだ付け性を有したまま、更に高い放熱性を得ることも可能である。

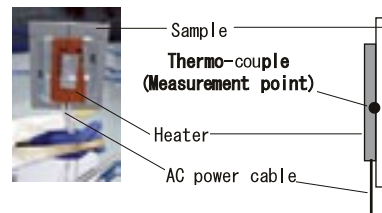


Fig. 16 Appearance of evaluation of heat radiation

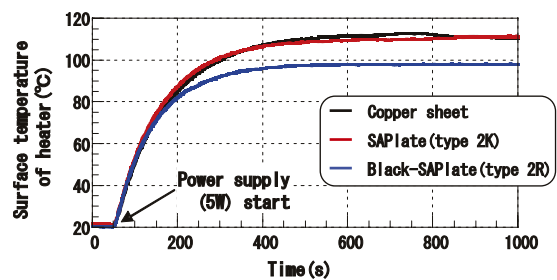


Fig. 17 Evaluation result of heat radiation

2. 3. 2 加工性

サップレートのプレス加工によるヒートシンク形状への加工例をFig. 18に示した。表面処理層の加工密着性は良



Fig. 18 Example of heat sink made of SAPlate by stamping

好であることから、加工性は主に基材であるアルミニウム合金の特性に依存し、板厚にもよるが種々の形状に加工可能である。

2. 3. 3 耐ウイスカ性

ウイスカ問題は、Sn, Znなどの低融点金属およびその合金のめっきを使用した場合に起こりうる共通の問題である¹⁶⁻¹⁸⁾。このため、家電製品を中心とした電子機器向けに、はんだ用STに代表されるはんだ用プレコート材を市場に提供している弊社においても製品の長期信頼性の観点から非常に重要な問題となっている。

ウイスカの生成機構については、長い間不明とされていたものの、はんだの鉛フリー化に伴うSn単独めっきの使用増加に対応して近年その生成機構に関する研究が急速に進み、主にめっき皮膜の内部応力変化に起因する内部応力型とコネクタ等の強い外部応力が加わる箇所にて生成しやすい外部応力型の2種類に大きく分けられるとされている^{8, 18)}。そして、電子情報技術産業協会 (JEITA) の主導にて、それぞれの型に適した検証方法の規格化¹⁹⁾ が順次進められている状況にある。

サップレートの想定される主用途 (放熱部材等) において懸念すべきウイスカ生成は、上述の点を考慮すると、主にめっき皮膜の内部応力変化に起因する内部応力型ウイスカとなると思われる。内部応力型ウイスカの生成には、材料への加温や加湿による温度変化 (熱膨張) や酸化に伴う結晶格子の歪み増加の他に、切断加工に伴い発生する加工歪みも影響を与えるとされている¹⁷⁻¹⁹⁾。サップレートは連続処理によりコイル状で製造出荷され、客先にて切断加工されることが通常である。試験に際してはこの点を考慮し、Fig. 19に示したような幅狭に切り出した平板サンプルとそれを90°曲げ加工したサンプルの2種の形態のものを用意した。実際のウイスカ試験は、JEITA規格ET-7410 (電気・電子機器用部品のウイスカ試験方法)¹⁹⁾ を参考に、55°C-85%RH×2000時間の高温高湿試験に曝したこれらのサンプル外観をFE-SEMにより観察することにより行った。なお、高温高湿による加速経時試験とは別に、実環境下 (平均温湿度約20°C-50%RH) にて約1年6ヶ月 (13000hr) の室温保管を行ったサンプルについても同様に調査を行った。

試験結果をTable 6に記す。高温高湿試験に供したサンプルならびに室温保管により実経時したサンプルのいずれのサップレートサンプルにおいてもウイスカ生成は全く認められなかった。JEITA規格ET-7410¹⁹⁾ では、55°C-85%RH×2000hrの高温高湿試験におけるサンプルへの負荷は、平均温湿度18°C-85%の環境でおおよそ5年経時した際の負荷に相当するとしている。本試験結果により、サップレートにてウイスカが全く生成しないことを保証することは出来ないが、サップレートの主用途である家電製品が平均的な温湿度条件の環境下において使用される限りにおい

ては、サップレートにおいてウイスカ生成が生じ難いことを示していると考えている。

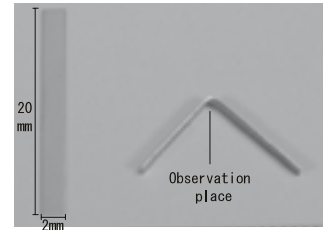


Fig. 19 Appearance of a sample used to examine whisker

Table 6 Result of whisker examination

Condition	55°C-85%RH×2000hr		20°C-50%RH×13000hr (Room keeping)
	Sheet	90° bend	Sheet
Result	No whisker generation		

3. サップレートの皮膜構成と各皮膜の機能

サップレート (タイプ2K) の皮膜構成とその機能をTable 7に示す。アルミニウム合金基材上に、ニッケル/錫/有機樹脂皮膜の3層からなる表面処理層が設けられており、前処理、電気めっき (無光沢ニッケル、無光沢錫)、有機樹脂塗布の工程により、アルミニウム合金コイル上に連続的に付与されている点がサップレート (タイプ2K) の特徴である。上述の優れたはんだ特性は主に、錫めっき皮膜の付与にて得られているが、以下ではTable 7にて示したニッケルめっき皮膜および有機樹脂皮膜の機能と役割について述べる。

Table 7 Structure of SAPlate (type 2K) and function of each film

Structure	Thickness (μm)	Function
Organic Resin	≤1.0 μm	<ul style="list-style-type: none"> - Abrasion-resistant - Antioxidation of Sn plating
Tin	≈0.5 μm	- Solderability
Nickel	≈0.5 μm	<ul style="list-style-type: none"> - Adhesion of Sn plating - Solder joint - Anti-whisker
Aluminum sheet		

3. 1 ニッケルめっき皮膜について

サップレートにおけるニッケルめっき皮膜は、はんだ性付与に必要な錫めっき皮膜の密着性向上のための下地処理としての役割の他に、はんだ特性の確保、ウイスカ発生抑制などの機能を有していると考えており、以下これらについて記す。

3. 1. 1 はんだ特性

前処理後にニッケルめっきを介さずに錫めっきを行い作製したサンプルの、フローはんだ付け性評価後の外観をFig. 20に示す。ニッケル下地めっきなしのサンプルでは、フローはんだ付けならびにリフローはんだ付けのいずれのはんだ付け性評価においても、試験後の表面にはんだが残留せず、さらに付与した錫めっき皮膜自体も失われてしまうため、はんだ付け性を全く有しない。これは、表面の錫めっき皮膜がはんだ付け時にはんだ合金中に溶け込んでしまったためではないかと考えている。一方、通常のサプレート（タイプ2K/ニッケル下地めっき有り）のSn-3.0Ag-0.5Cuはんだでのフローはんだ付け前後における断面観察写真(FIB)をFig. 21に示す。はんだ付け後の断面では、はんだと反応して一体化した錫めっき層とニッケルめっき層の界面に、新たな層が生成し、本来のニッケルめっき皮膜の厚みがほぼ半減していることが確認された。この界面に生じた層は、EDS分析結果よりニッケルと錫を主体とした合金層と現在推定しており、この層がはんだ付け時に生成することにより、ニッケルめっきのはんだ合金への過剰溶解を防ぎ、サプレート表面にはんだが残留してはんだ付け可能になると考えている。

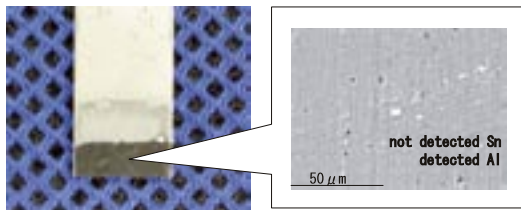


Fig. 20 Surface appearance of Sn plated Al sheet after flow soldering

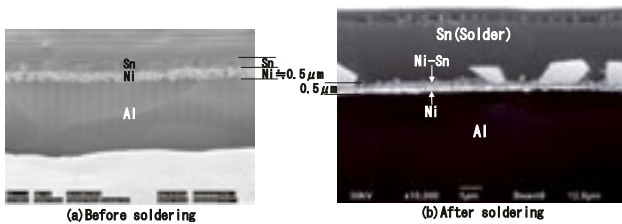


Fig. 21 Cross sectional observation image of SAplate

3. 1. 2 ウィスカ抑制効果

ニッケルめっき皮膜は、上述したように錫めっき皮膜の密着向上を目的に設けたものであるが、銅および銅合金を基材とした錫めっきにおいては、ウィスカ生成防止に有効であることが知られている¹⁷⁻¹⁹⁾。そこで、3. 1. 1と同様に、標準材（タイプ2K）から有機樹脂皮膜のみを除いた比較材（Sample A）、有機樹脂皮膜・ニッケルめっき皮膜のいずれも除いた比較材（Sample B）を作製し、Table 6と同じ形状に切断加工後、高温高湿試験に供した。その

結果をTable 8に示す。標準材（タイプ2K）から有機樹脂皮膜を除いたSample Aでは、ウィスカは全く観察されなかったが、有機樹脂皮膜に加えニッケルめっき皮膜を除いたSample Bでは、Fig. 22にて示したように、Sample Aに比べ粗い表面外観を示し、これらに混じってウィスカがサンプルの端面、平板部、谷部を問わず多数生成していることが確認された。

Table 8 Result of whisker examination

Condition	55°C-85%RH×2000hr	
	Sample A	Sample B
Structure of sample	Tin	Tin
	Nickel	Aluminum sheet
	Aluminum sheet	
Result	No whisker generation	Whisker generated

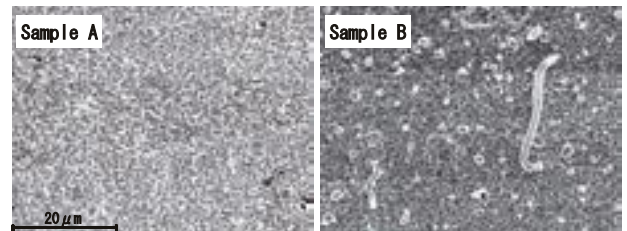


Fig. 22 Surface of sample A and Sample B after whisker examination

上記結果を考慮すると、標準材におけるウィスカ生成には、有機樹脂皮膜の有無そのものよりも、錫めっき皮膜の下層に設けたニッケルめっき皮膜の有無の方が強く影響を与えていると思われる。めっき皮膜の構造は素地の種類と構造に依存することが一般に知られているため、Sample AおよびBの錫めっき皮膜構造を調査した。Fig. 23に高温高湿試験前のSample AおよびBの表面観察結果を示す。

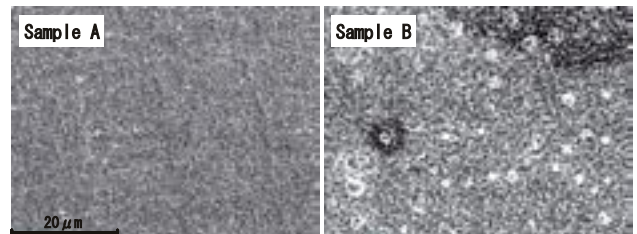


Fig. 23 Surface of sample A and Sample B before whisker examination

目視による外観観察では差が判別し難かったが、拡大により表面性状に差が観察され、Fig. 22の高温高湿試験後の表面と同様に、ニッケルめっき皮膜を有しないSample Bの方が粗い表面となっていることを確認した。これらの錫めっき皮膜の結晶配向性をX線回折法により求めて比較した結果をFig. 24に示す。錫めっき皮膜の結晶配向性指数は、

錫粉末の標準回折パターン (JCPDSカードPDF #04-0673) とX線回折法により実際に得られたSample A, Sample Bの回折パターンを用いて, WillsonとRogersの方法²⁰⁾により算出した。Fig. 24より, ニッケルめっき皮膜を有するSample Aに比べ, Sample Bでは (321), (220) といった特定の結晶面への強い配向が生じていた。図中にこれら2つの結晶面における回折強度の半価幅を用いて, Scherrerの式²¹⁾より算出した結晶子の値を記したが, 配向面が分散していたSample Aに比べ, 優先配向が生じているSample Bでは, 結晶子の大きさが増加していた ((321) では約40Å, (220) では約130Å増加)。結晶粒径としての正確な値の算出にはより詳細な調査が別途必要となるが, 配向面の分散を考慮するとニッケルめっき皮膜が下層に存在することにより錫めっき皮膜の配向と粗大化を制御する効果が得られていると考えて良いと思われる。

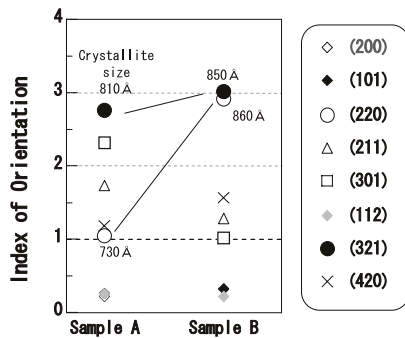


Fig. 24 Measurement result of crystal orientation and crystallite size of Sn-plating film

錫めっき皮膜のウイスカ生成に関しては, 従来言われてきた錫めっき皮膜の厚みだけではなく, 結晶粒径を考慮する必要がある, 結晶粒が微細な場合に生成しがたいとの報告²²⁾がある。これらの点を考慮すると, 同じ錫めっき皮膜の厚み (0.5μm前後) でありながらもニッケルめっきのないSample Bでのみウイスカが生成した理由は, ニッケルめっき皮膜による錫めっき皮膜の構造制御効果が得られなかったためではないかと考えられる。

ウイスカが生成したSample BのFIBによる断面観察結果をFig. 25に示す。Sample Bでは, ウイスカ生成部およびその周辺にて, 錫めっき皮膜と基材のアルミニウム合金界面に微細な多数のボイドが存在している様子が観察され, ミクロ的な密着不良状態が生じている様子が観察された。FIBによる観察画像 (SIM像) は, 組織 (結晶方位) の違いが明確なコントラストとして得られる特徴があるが, 今回の観察ではウイスカ生成部及びその周辺, さらにボイド生成箇所において明確な差および関連性は認められなかった。このため, 基材/錫めっき皮膜界面に生じている多数のボイドが, ウイスカ生成にどの程度影響を与えたのかについては現時点では不明であるが, 基材との密着面にお

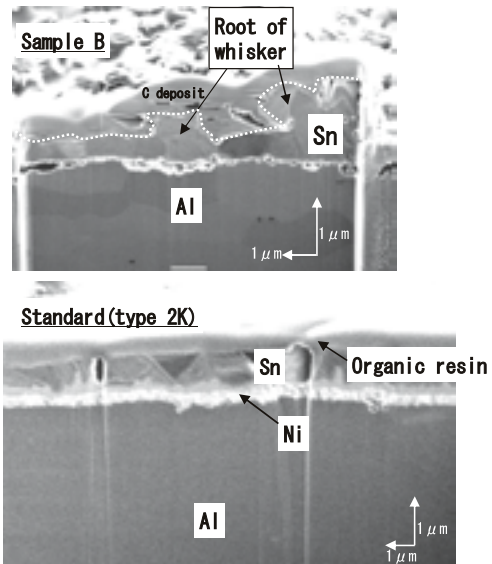


Fig. 25 Cross-section observation image by FIB

る不整合な箇所が増加すれば, 当然めっき皮膜の内部応力にも影響が生じることから, ウイスカ生成の一因になっているのではないかと考えている。

一方, Fig. 25下部に, 同様に観察した標準材 (タイプ2K) の断面を示す。錫めっき皮膜の下層にニッケルめっき皮膜を有している標準材では, 基材であるアルミニウム合金側から順に, ニッケルめっき皮膜, 錫めっき皮膜, 有機樹脂皮膜が整然と積層しており, 基材/ニッケルめっき皮膜界面およびニッケルめっき/錫めっき皮膜界面において, 上述のSample Bにて観察されたようなボイド等の欠陥がほぼ見られなかった。本結果より, ニッケルめっき皮膜による錫めっき皮膜の密着性向上の役割確認と界面の平滑化効果は確認されたが, 銅系金属を基材とした際に良く見られる基材側への拡散については確認されなかった (錫めっき皮膜内への拡散は若干確認された)。

以上, これまでの結果をまとめると, サップレート (タイプ2K) のウイスカ抑制には, 錫めっき皮膜の下層に設けたニッケルめっき皮膜の存在が特に大きな役割を果たしており, その機能としては主に, 錫めっき皮膜の構造成長制御, および基板であるアルミニウム合金との接合界面の平滑化 (整合性向上) による錫めっき皮膜の応力緩和などにあるのではないかと現時点では考えている。

3. 2 有機樹脂皮膜について

有機樹脂皮膜はTable 7にて示したように, 錫めっき皮膜の疵付き防止ならびに酸化 (黄変) 防止機能を期待して付与されている。以下, その効果について示す。

3. 2. 1 耐疵付き性

有機樹脂皮膜を付与していないSample C (ニッケル/錫めっき皮膜のみ) と標準材である有機樹脂皮膜を有する

サプレート（タイプ2K）のコピー紙によるラビングテストの結果をFig. 26に示す。写真より、有機樹脂皮膜の付与にて表面の耐疵付き性が著しく向上していることが分かる。

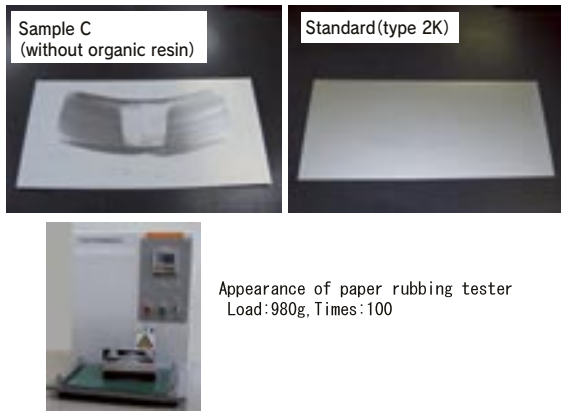


Fig. 26 Result of paper rubbing test and appearance of evaluation device

3. 2. 2 酸化防止機能

錫めっき皮膜は、経時により表面が容易に酸化して表面が黄変するため変色防止処理が必要となる。上述の Sample C（ニッケル/錫めっき皮膜のみ）および標準材（タイプ2K/有機樹脂皮膜あり）において、室温保管（約20°C/無梱包）時の保管日数と表面の色差 b^* 値の関係をFig. 27に示した。有機樹脂皮膜を有しないSample Cでは、保管日数の増加と共に b^* 値が増加、つまり表面の黄色味が増しているのに対し、有機樹脂皮膜を有する標準材（タイプ2K）では、保管日数の増加に伴う b^* 値の増減は小さく黄変が抑制されていることが分かる。また、Fig. 28にこれらのサンプルのフローはんだ付け性を調査した結果を示した。黄変が強く生じ始める90日保管後、ならびに180日保管後のSample Cでは、ゼロクロスタイムが10sとなり、保管開始時に得られていたはんだのぬれ上がり（はんだ浴への浸漬深さ以上に表面にはんだがぬれ広がる現象/ Fig. 6 参照）が得られなくなるのに対し、黄変の抑えられ

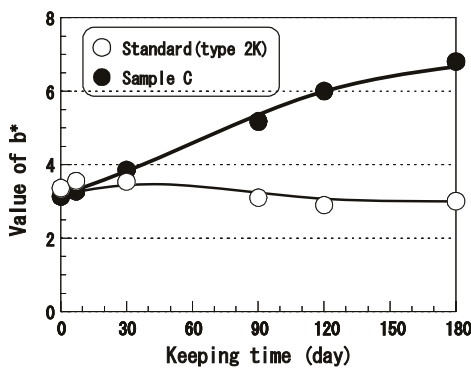


Fig. 27 Relation of color difference b^* value of sample and keeping days

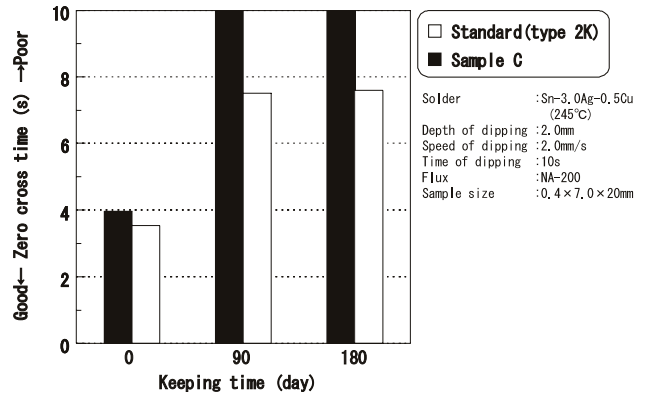


Fig. 28 Relation of keeping days and flow soldering

ていた標準材（タイプ2K）では、ゼロクロスタイム自体は増加する傾向にあるものの、180日保管後もはんだのぬれ上がりを得ることが可能である。

4 まとめ

以上、サプレートの代表的な特性について記した。軽量でかつ鉛フリーはんだ付け性と放熱性を有するサプレートは、冒頭で記した高機能化、小型軽量化が進む電子機器分野において、今後更に重要性が高まる材料であると考えており、本用途への展開を更に推し進め拡販に努力したい。

引用文献

- 1) 伊藤謹司, 国峰尚樹: トラブルをさけるための電子機器の熱対策設計—第2版—日刊工業新聞社, (2006)
- 2) 大澤直: はんだ付けの基礎と応用, 工業調査会, (2000)
- 3) 林田貴裕, 鶴田知之, 駒井正雄, 佐野真一: 東洋鋼板, 34, (2004), 13
- 4) 末次憲一郎: 詳説 鉛フリーはんだ付け技術—創造, 開発, 量産への原典—, 工業調査会, (2004)
- 5) 竹本正, 藤内伸一: ソルダリング イン エレクトロニクス, 日刊工業新聞社, (1986)
- 6) 大澤直: 続 はんだ付け技術なぜなぜ100問, 工業調査会, (2004)
- 7) 菅沼克昭: 鉛フリーはんだ技術・材料ハンドブック, 工業調査会, (2007)
- 8) 株式会社レスカ: ソルダーチェッカー SAT-5100 取扱説明書Ver.2.54, (2006)
- 9) 日本工業規格: JIS C 60068-2-54, (1996)
- 10) 実装技術標準化委員会: JEITA鉛フリー活動成果報告会, (2007)
- 11) 株式会社レスカ: ソルダーチェッカー SAT-5100 プロファイル加熱装置 取扱説明書Ver.2.4 (2006)
- 12) Technical Standardization Committee on Surface Mounting

- Technology : JEITA ET-7404 (1997)
- 13) 日本工業規格 : JIS C 0099 (1996)
 - 14) 千住金属工業株式会社 : 高信頼性・高プリヒート対応 Pbフリーソルダーペースト M705-GRN360-KVタイプ, (2004).
 - 15) 千住金属工業株式会社 : Technical report-20060105 SnBi共晶系低温はんだ (L20/L23) Eco-solder past BLT5, (2006)
 - 16) 伊藤貞則, 林導 : 実務表面技術, **34** (1987), 112
 - 17) 大河原薫, 室井良一 : 表面科学, **26** (2005), 165
 - 18) 山本正和 : 錫ウイスカ成長プロセスの解明と対策, R&Dプログラミング, (2006)
 - 19) Technical Standardization Committee on Surface Mounting Technology : JEITA ET-7410 (2005)
 - 20) K. S. Willson and J. A. Rogers : Tech. Proceeding Amer. Electroplaters Soc., **51**, **92** (1964), 92
 - 21) 加藤誠軌 : X線回折分析, 内田老鶴圃, (1994).
 - 22) Kiyotaka Tsuji : J. Surface Finish. Soc. Jpn., **58** (2007), 406