

環境に優しいエレクトロニクス実装技術開発



菅 沼 克 昭*

Key Words : lead-free, electronics package, interface

1. はじめに

本研究室は、大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンターに所属する「環境調和ナノマテリアル研究分野」を正式名称にしている。「確固とした学術基盤の確立」及び「高度なもの造り技術への応用」という理念のもとに、これまで行ってきた異相界面やナノ構造に関する研究を最新のナノテクノロジーを用いてさらに発展させるべく努力をしている。

はじめにメンバーと研究概要を簡単に紹介すると、図1の様にまとめられる。まず、鉛フリーはんだや導電性接着剤を含めた電子実装研究の全般に取り組

んでおり、新たな学術基盤を構築することを目差し、同時に、ナノペーストなどの革新的な研究開発を産学協同で展開している。金属基や金属間化合物の複合材料による機能性材料の開発を行い着実な成果を取めている。また、バイオミメティックな観点からの新しい人工関節の開発も臨床応用の検討に向けて研究を進めている。BCN系のナノマテリアルに関し、原子配列調和マテリアルを中心に新規先端物質設計原理を目指し、合成から構造評価まで手がけている。一方、大学教育としては、知能機能創成工学研究科に協力講座として参加し、大学院生は国内、国外を問わず幅広く構成される。以下には、最もホットな領域である環境調和実装におけるトピックスをまとめて紹介しよう。この分野では、産業界との対話を基にして、科学的基盤形成に取り組んでいる。

2. 標準鉛フリーはんだ Sn-Ag-Cu のベスト組成は?

鉛フリーはんだの第1候補は Sn-Ag-Cu 系の3元合金である。標準はんだとしては、極めて利用形態が多岐に渡ることで、世界中の隅々まで同等の材料が入手可能なことなど、多くの要求があり、できるだけシンプルな合金が望ましい。更に使い勝手や信頼度を考えると、様々な合金が提案される中でもこの合金に落ち着く^[1]。さて、世界共通の鉛フリーはんだとして認められた Sn-Ag-Cu 合金ではあるが、その推奨組成は日欧米で微妙に異なる。表1は、この典型的な違いを示してある。それぞれ初めに推奨

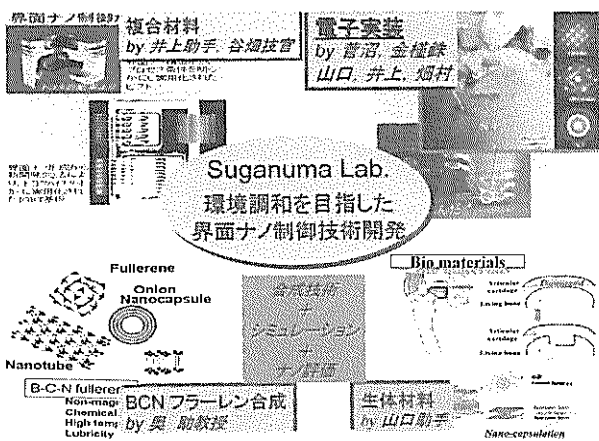


図1 当研究室の研究取り組み



* Katsuaki SUGANUMA
 1955年1月生
 現在、大阪大学・産業科学研究所、
 教授、工博、界面工学
 TEL 06-6879-8520
 FAX 06-6879-8522
 E-Mail suganuma@sanken.
 osaka-u.ac.jp

表1 日欧米で推奨する Sn-Ag-Cu 組成(wt%)

地域	組成	提唱団体
日本	Sn-3.0Ag-0.5Cu	JEIDAプロジェクト
欧州	Sn-3.8Ag-0.7Cu Sn+(3.4-4.1)Ag+(0.45-0.9)Cu	IDEALSプロジェクト 英国ITRI
米国	Sn-3.9Ag-0.6Cu	NEMIプロジェクト

した団体名をとって、以下にはJEITA組成、NEMI組成^[2]、IDEALS組成^[3]と呼ぶことにする。ごらんの様にAgとCuの量が小数点以下の重量%で差を持っている。なぜ、地域によってこのわずかな差が生じたのか？ 本当に望ましい組成は何処か？ これは、当然の疑問であるが、科学的な事実に基づいたベスト組成が未解明であることが要因の一つで、本研究室では世界に先駆けて科学的ベストソリューションを検討した。当研究室の最近の成果でこの回答を示そう。

3. Sn-Ag-Cuの金属間化合物初晶形成

Sn-Pb合金の場合は、 β -Sn, Pbともに延性相であり、多少組織が粗大化しても急激な機械特性の劣化は生じないが、Sn-Ag-Cu合金の場合は、組成や凝固速度に依存して初晶の粗大金属間化合物が生じる可能性がある。接続に信頼性を望む限りは、粗大な金属間化合物の形成を避けた方がよい。図2は、Cu板上に各組成のペーストを塗布してリフロー(実際のはんだ付け)を行った場合の金属間化合物組織を示す^[4,5]。板状に晶出するものが Ag_3Sn であり、界面やポイドを核として形成していることが明らかになった。ウイスカ状に晶出するものは Cu_6Sn_5 であるが、ほとんどの場合中空の形態をとっている。いずれの合金の場合でも Cu_6Sn_5 ウイスカは生成しているが、高Ag合金は必ず板状で粗大な初晶 Ag_3Sn を形成するのに対し、低Ag合金では生じない。粗大な Ag_3Sn はマトリックスの変形により容易に破壊を引き起こすので、はんだの延性低下を招く^[4]。現実の実装を想定してはんだ付け形態を幾つか変化させた一連の検討では、この傾向を示すことを明らかにした。

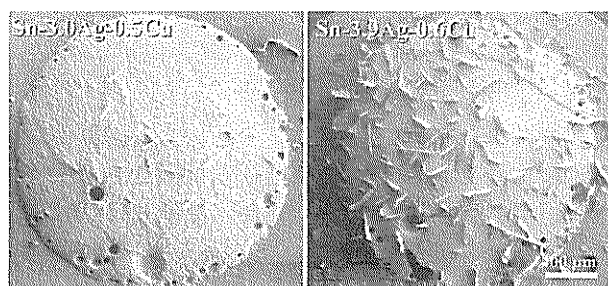
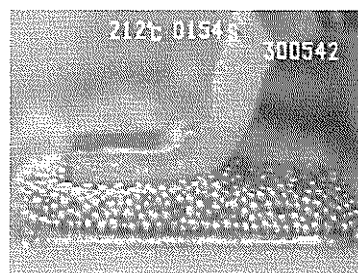


図2 わずかな銀組成の違いで生じる初晶金属間化合物形成状態の違い^[4]。

4. はんだの凝固現象

このようなわずかなAg組成の差で、このような違いが生じる原因を特定するために、ThermoCalcによる熱力学シミュレーションを行った^[5]。Scheil凝固を模擬し、3.9AgのNEMI合金だけが凝固初期に Ag_3Sn 初晶を生じることが示した。これが粗大 Ag_3Sn 形成の原因と言える。また、実験で合金組成を細かく振った検討を行い、初晶 Ag_3Sn を生じない条件は主にAg量に依存し、3.2wt%Ag以下の範囲であることを明らかにした^[4]。つまり、まず粗大初晶 Ag_3Sn を生じないためにAg量の少ないSn-3Ag-0.5Cuが良い選択と言える。

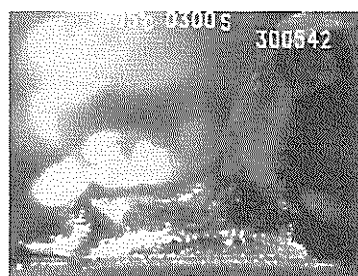
ところが、問題はそう単純ではない。共晶組成から外れれば外れるほど、凝固割れ、引け素などの凝固欠陥の形成が問題となってくる。図3は、最近我々



a



b



c

図3 はんだのぬれと凝固のその場観察^[6]。(a) 溶融直前、(b) 溶融直後、(c) 凝固直後

が明らかにした微少接続部分の凝固現象のその場観察の一連の写真と凝固シミュレーションの例を示す^[6]。はんだ付けは、ミクロンオーダーの領域のぬれ-界面形成-凝固を理解する必要があり、特に凝固における欠陥形成のプロセスを明らかにすることは、その抑制を可能にし、接続信頼性を高めることで今後の付加価値の高い実装の姿を実現してくれる。ようやくその科学的基盤形成の端緒が開けたところであるが、当研究室では、今後、一層の力を注いでゆく予定である。ちなみに、凝固欠陥形成をできるだけ軽減するためには、共晶組成に近いSn-3.5Ag-0.7Cu程度が良いと言える。

もう一つ考えねばならない点が、はんだ付け相手の浸食である。多くの場合、Cu配線が問題になり、手修正や数度のフローはんだ付けなどではCu配線の浸食を抑えねばならない。このためには、Cu量が多い方が望ましく、おそらく0.8~1Cuが良いだろう。

今後、これらの因子を総合した最適化、あるいはケース分けの明確な指針が必要であり、本研究室ではこれを目指して更に計画を練っている。

5. 界面, ナノテクと実装の今後へ

実装では、界面状態が機器の生産性や信頼性へダイレクトに影響し、そのナノレベルでの反応メカニズムの特定と界面組織を明らかにすることは、サイ

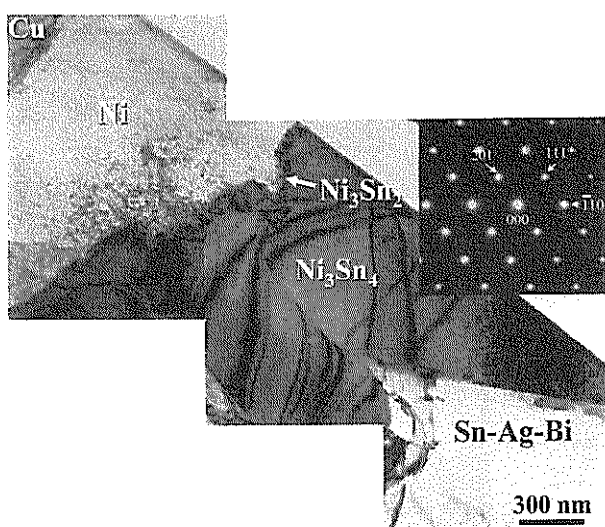


図4 純Niめっきと鉛フリーはんだ反応界面のTEM組織^[8]。

エンスの面ばかりでなく実用上も極めて重要である。当研究室では、TEMを強力な手段としてこれに取り組んでおり、既に多くの界面構造を明らかにしてきた^[7-11]。図4は、Niめっきとはんだ界面の構造の代表的写真を示すが、既に一連の構造モデルを得ている^[10]。紙面の関係で詳細には触れないが、これらの情報は電子部品や基板の表面処理の素材選定に重要な情報を提供するもので、産学連携の大きな成果と感じている。

この他にも、導電性接着剤やナノペーストを用いた配線技術等にも取り組んでいる。実装技術は、我が国のもっとも得意とする技術分野であるが、世界中が日本の技術に追いつき追い越すための組織的な動きを活発化している。たとえば、欧州のCOST 351プロジェクトで40以上の大学が連携して鉛フリーはんだ基礎研究を開始し、欧州産業界がIMECATプロジェクトで導電性接着剤技術開発に取り組み始めた。米国では、Georgia工科大が200名規模の博士レベル研究者を擁する電子実装組織を持ち、Maryland大は50名規模のCALCEコンソーシアムを運営している。一方、台湾、韓国、シンガポール、中国は電子実装を国家戦略と位置づけており、いずれも人的、資金的に強力な体制で挑んでいる。際だった組織を持たず個人プレーに依存するばかりの我が国の研究体制では、いずれ学問的な領域ばかりでなく産業界の先進技術をも先取りされることは目に見えている。そうすると、産業界ではアウトソーシングのせいばかりでなく電子実装の先端技術までも失い、生産現場の基礎を失うであろうことは明らかである。本研究室は、まことに微力ながらこのような流れに一石を投じたいと願い、本稿で紹介したような一連の研究を遂行するとともに、学会や産業界との連携、コンソーシアム活動に取り組んでいる。更に活動を強化するためにも、皆様に種々のご教示を頂けたら誠に幸いである。

謝 辞

本稿に含まれるSn-Ag-Cu研究に関する内容は、平成13, 14年度の文部省科学研究補助金基盤研究(A)の補助のもとに遂行されたものであり、これに感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 菅沼克昭, 鉛フリーはんだ付け技術, Kブックシリーズ, 工業調査会, (2001).
- 2) E. Bradley, C. Handwerker, J. Sohn, J. Bath, R. Parker, R. Charbonneau, R. Gedney, NE-MI Pb-free Task Group Report, *2002 APEX Free Forum*, January 23, (2002).
- 3) M. R. Harrison and J. H. Vincent, *Proc 12th Microelectronics & packaging Conference*, IMAPS Europe, Cambridge, (1999), p.98.
- 4) K. S. Kim, S. H. Huh and K. Sugauma, *Mater. Sci. Engineer. A*, 333(2002), 106-114.
- 5) Y. -S. Kim, K. -S. Kim, C. -W. Hwang, K. Sugauma, *J. Alloys Compounds*, 352 (1-2)(2003), 237-245.
- 6) K. -S. Kim, C. -W. Hwang, and K. Sugauma, *J. Electron Mater.*, (2003), in press.
- 7) K. Sugauma, K. Niihara, T. Shoutoku and Y. Nakamura, *J. Mater. Res.*, 13 (1998), 2859-2865.
- 8) C. Hwang, J. -G. Lee, K. Sugauma and H. Mori, *J. Electron. Mater.*, 32^[2] (2003), 52-62.
- 9) C. -W. Hwang, K. Sugauma, J. -G. Lee and H. Mori, *J. Mater. Res.*, (2003), in press.
- 10) C. -W. Hwang, K. -S. Kim, and K. Sugauma, *J. Electron Mater.*, (2003), in press.
- 11) C. -W. Hwang, K. Sugauma, M. Kiso, and S. Hashimoto, to be presented at Intel 2003 Technology Symposium, San Jose, September 16-17, 2003.

