

戦略的国際科学技術協力推進事業
日本－中国研究交流
研究課題「鉛フリー材料技術に基づくエコデザ
インおよび環境調和製造システム」

研究終了報告書

研究交流期間 平成20年1月～平成23年3月

研究代表者：須賀唯知
(東京大学工学系研究科、教授)

1. 研究・交流の目的

本研究は、鉛フリーはんだ材料の信頼性の向上ならびに環境影響の評価を通じて、エレクトロニクスを中心とする製造技術のグリーン化を推進するとともに、環境負荷低減に向けた環境調和型設計製造技術を開発することを目的としている。

2. 研究・交流の方法

今回の研究の特徴のひとつは、日本側提案者である東京大学が中国の無錫市に設置した中国拠点（無錫代表処）を根拠地に、日中の共同研究を双方が各々別々に行なうのではなく、東京大学の中国拠点で行なうことであった。また、もうひとつの特徴は、日本や中国の産業界との連携も視野に入れている点であった。

具体的には、中国側は、中国の制度や標準化の動向に適合した鉛フリーはんだの開発を行い、中国のリユース市場に適した設計技術の開発を行なう。一方、日本側は、中国側で開発された鉛フリーはんだや代替技術の信頼性の評価や、中国での環境影響評価を行なうとともに、さらにその材料の半導体実装技術への適用プロセスの開発を行なう。

当初の具体的な計画としては、

1. 東京大学無錫代表処での共同研究のための準備
2. 鉛フリーはんだ材料によるはんだボール形成開発
3. 鉛フリーはんだペーストによる実装実験ならびに信頼性評価
4. 鉛フリーはんだの環境影響評価
5. 鉛フリーはんだボールによるフリップチップバンプ形成プロセス開発
6. 東京大学（東京）および上海交通大学にての研究実施に関する打ち合わせ
7. 鉛フリー&実装エコデザイン研究会、エコエレクトロニクス国際シンポジウム、エコデザイン普及セミナーなどの開催、となっていた。

このうち、中国での環境影響評価については、技術的議論は行ったものの中国の法整備が進行している途上であることから、定量的な作業は行わない結果となった。

また、日本側のエコデザインおよび環境調和製造システムのコンセプトを中国側で展開するため、その基礎となる低温接合および分離プロセスについての研究を強化した。すなわち、プラズマを用いた鉛フリーはんだの表面処理、および、Sn の同素変態を用いた分離技術、およびプラズマ活性化による低温接合実験を上記に加えた。

また、鉛フリー&実装エコデザイン研究会、エコエレクトロニクス国際シンポジウム、エコデザイン普及セミナーなどの開催については、年に 2 回のワークショップ MOST-JST Workshop on Advanced Interconnect Technology & Ecodesign に集約し、日中産業界の参加者も含め、技術開発の産業界への展開を図ることとした。

3. 研究・交流実施体制

3. 1 日本側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) 須賀唯知	東京大学、工学系 研究科	教授	理博(シュツツツ ガルト大学)1983	実装工学
(研究者)	東京大学、工学系	講師	工博(中国清華大)	実装プロセス工

徐 忠華	研究科		学)	学
(研究者) 日暮栄治	東京大学、先端科学技術研究センター	准教授	工博	光実装工学
(研究者) Otmar Deubtzer	フラウンホーファ研究機構・ベルリンIZM研究所	主任研究員	工博	環境工学(鉛フリーはんだの環境影響評価)
(研究者) Lu Jian	東京大学・工学系研究科	准教授	工博	MEMS への適用
(研究者) 一木正聡	東京大学・工学系研究科	准教授	工博	マイクロシステムへの適用
藤野真久	東京大学・工学系研究科	助教		実装信頼性評価
(研究者) Hansjoerg Griese	フラウンホーファ研究機構・ベルリンIZM研究所	部長		環境影響評価
(研究者) Wang Chenxi	東京大学・工学系研究科	外国人特別研究員	工博	ウエハ接合
(研究者) Yang Wenhua	東京大学・工学系研究科	博士課程		はんだリフロー実験
(研究者) 福永徹	東京大学・工学系研究科	修士課程		マイクロシステムへの適用
(研究者) 塚本圭	東京大学・工学系研究科	修士課程		表面形状評価

3. 2 相手国側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) Ming LI	材料科学と工學院、上海交通大学	教授	工博	電子材料
(研究者) Dali MAO	材料科学と工學院、上海交通大学	教授	工博	電子材料
(研究者) Dongyan DING	材料科学と工學院、上海交通大学	副教授	工博	電子材料
(研究者) Chengkang CHANG	材料科学と工學院、上海交通大学	副教授	工博	電子材料
(研究者) Anmin HU	材料科学と工學院、上海交通大学	講師	工博	電子材料
(研究者) Huiqin LING	材料科学と工學院、上海交通大学	講師		電子材料
(研究者) Fei XIAO	復旦大学・材料学科・微細分析センター	副教授	工博	接合界面微細構造評価
(研究者) Hao-wei YANG	復旦大学・材料学科・微細分析センター	研究員	工学修士	はんだバンププロセス開発
(研究者)	上海交通大学・材	研究員		プラズマ活性化

XinXin YANG	料科学工学院			接合実験
(研究者) Qi LI	上海交通大学・材 料科学工学院	研究員		ウエハバンピン グ実験
(研究者) Jusheng MA	清華大学	教授		鉛フリーはんだ 開発

4. 研究成果

4. 1 研究成果の自己評価

- 計画以上の成果がでた 計画通りの成果がでた
 計画とは異なるが有益な成果がでた 計画ほどの成果はでなかった
 いずれでもない

4. 2 研究成果の自己評価の根拠

1) 日本側では、中国無錫拠点に、プロズマリフローを用いた鉛フリーはんだによるはんだバンプ形成をウエハで行える実験環境を整えた。またウエハ接合および銅バンプの鉛フリー直接接合を行った。

2) 中国側では、Ni 含有の新鉛フリーはんだを開発、日本側と共同で、水素プラズマを用いた鉛フリーはんだのプラズマリフロープロセスを検証した。

3) さらに、微細バンプ形成の信頼性の確保、ウエハバンピングプロセス、光素子の低温接合を合同で行った。

4) また日本側が提案した Sn の同素変態を用いた分離可能なはんだ接合については、Sn の同素変態を用いた実装基板の分離を検討し、Sn バルクの同素変態挙動について、核生成および最適環境という観点から、Sn の同素変態に関する加速および遅延要素を精査し、そのメカニズムを明らかにした。またこれに関する分析を日中共同で実施した。

以上は、それぞれの研究テーマが相補的に進展、加速した結果である。

また、これらの共同研究を通じて、日本側の主張する「エコデザインおよび環境調和製造システム」の基礎となる低温接合および分離プロセスについての基本的な考え方が中国側へ浸透した。その結果、中国側から最終的に新しいプロセスの提案があった。

これは、中国側が得意とするメッキプロセスにより微細な突起面を形成し、はんだバンプを機械的に押し付けることで分離可能な低温接合プロセスとするものである。この接合し信頼性の評価を日中共同で行った。

鉛フリーのはんだについては、日本の産業界が先行している技術であるが、中国では、中国版の RoHS 規制や標準化を進め、現行の鉛フリーはんだに多用されているインジウムなどのレアメタルは中国が独占的に生産していることから、中国での鉛フリーはんだ開発は重要になってきている。これについては、日中の産業界を巻き込む形でプロジェクトが進展した。一方で、日本側が提唱してきた環境調和型設計コンセプト（エコデザイン）が、上記の分離可能な低温接合プロセスの提案ということで、表に現れたことは、長期的には、中国の環境負荷の増大を、製造技術の観点から低減する方向性が生まれる端緒となったものと評価される。

4. 3 研究成果の補足

5. 交流成果

5. 1 交流成果の自己評価

- 計画以上の交流成果がでた 計画通りの交流成果がでた
- 計画ほどの交流が行われなかったが成果はでた
- 計画ほど交流成果がでなかった
- いずれでもない

5. 2 交流成果の自己評価の根拠

1) 第1回上海、第2回東京、第3回上海、第4回および第5回無錫、第6回上海の6回にわたって、ワークショップ MOST-JST Workshop on Advanced Interconnect Technology & Ecodesign を実施した。

2) そのうち無錫開催は日本側が東大の中国拠点で主催する新しい試みであり、共同研究先の上海交通大学のみならず、清華大学、北京大学、中国科学技術大学、復旦大学など、多くの中国側参加者を得ることができ、今後の研究交流の拡大に大きく貢献した。

3) 研究交流の過程で、上海交通大学の若手研究員および大学院生を延べ6ヶ月招聘し、共同実験を実施したことで、共同研究の具体的な内容が推進できた。またこれが新たな研究テーマの提案（微細はんだボールの一括作製）にも繋がった。

4) 共同研究を実際に担当している両大学の学生が一同に会し、学生が自主的にコーディネートした Student Session をワークショップの枠組みで実施した。これを通じて、双方の学生の交流が深まり、また新たな中国留学生の獲得にも繋がった。

5) また本プロジェクトの基礎について、研究リーダーによるモデル講義を行い、将来の共同講義の実施についても新しい可能性が生まれた。

6) シンポジウムでは、日中双方の企業関係者も多数参加し、産業界への本プロジェクトの成果の展開の可能性が深まった。またこれを契機に、プロジェクト終了後の共同研究の継続について、低温接合と分離可能接合について民間との共同研究をも含め、新たに中国政府に対して共同プロジェクト提案をしていくことで合意している。

本共同研究の特徴は、研究の遂行をそれぞれの大学で行なうのみならず、東京大学の中国無錫代表処で行なう点にあった。本プロジェクト遂行の過程で、東京大学無錫代表処には、はんだ実装のための設備、分析評価装置、バンプ形成の研究開発設備も導入された。これらは、日本側が使用するのみならず、中国側の研究グループも今後とも共有し、そのため現在、東京大学-中国側-産業界との三者の共同研究契約を締結すべく、協議を進めている。また、東京大学無錫代表処で中国側大学の研究者や学生と共同作業を進めてきた過程で、日本側が培ってきているエコデザインのコンセプトやそれに基づく環境調和型の設計製造技術について、若い人材が少しずつであるが育っている。これを通じて、近い将来、中国の産業界や社会に広く浸透する原点にもなると期待される。環境技術やエコデザインコンセプトは、単に技術の競争から生まれるものではなく、深い相互理解のもとに、多くの学術ネットワーク、産業界とのネットワークが形成されて実現する。そのために、産業界を巻き込んだ長期的なネットワークづくりを、中国の中で、しかし、日本の拠点で、これを行なうことが本提案の趣旨であった。その成果が本当に見えるようになるのは、今後のことになるが、効果的に人材育成が進められ、しかも、技術の展開、知的財産などの確保が容易になると期待される。

5. 3 交流成果の補足

6. 主な論文発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	Tadatomo Suga: Low-temperature Wafer Bonding for 3D Integration, 1st. JST-MOST Workshop – High Density Interconnect Ecodesign, March 16, 2009, Shanghai Jiao Tong University	
論文	Tadatomo Suga: Interconnect Eco-Design [Keynote] International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP2009) Beijing, China Aug. 10-13, 2009	
論文	Tadatomo Suga: Low temperature wafer bonding for 3D system integration [Keynote] International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging (ICEPT-HDP2010), Xidian, China Aug. 16-19, 2010	