

異種材料の可逆的インターコネクション

Reversible Interconnection of Dissimilar Materials

(研究プロジェクト番号：JSPS-RFTF 96P00404)

プロジェクトリーダー

須賀 唯知 東京大学先端科学技術研究センター・教授

コアメンバー

細田 直江 東京大学大学院工学系研究科・助教授

岸 輝雄 東京大学先端科学技術研究センター・教授

榎 学 東京大学先端科学技術研究センター・教授

市野瀬英喜 東京大学大学院工学系研究科・助教授



1. 研究目的

本研究は、金属 - セラミックス、半導体、プラスチックなどの異種材料を常温で直接接合したり、これを逆に分離したりすることができる可逆的インターコネクションの新しい概念を提案し、その実現化手法を確立することを目的としている。従来の材料の複合化に対して、これを分離することを前提にしたインターコネクション技術である。さらに、その具体的手法として、「表面活性化による直接接合」と「界面反応制御による分離」という手法を組み合わせることにより、常温での直接接合と可逆的分離を実現した。

2. 研究成果概要

2.1 可逆的インターコネクション

本研究では、新概念として「可逆的インターコネクション：異種材料を常温で直接接合したり、これを逆に分離できる手法」を提案した。さらに、分離・解体の新しい概念としてアクティブディスプレイを提案した。この提案は、エコデザイン国際シンポジウムなどにおいて国際的にも披露され高い評価を得ている。このアクティブディスプレイは構造物に解体機構やエネルギー変換機構を予め内在させることにより、低エネルギーで容易に組立て構造を分離しようとするものである。本プロジェクトでは、その実現化手法を確立することを目的に、まず (a) 界面反応制御による分離と (b) 水素吸蔵合金を用いた分離手法の2つについて、実際にそれが可能であること、またそのための条件を具体的に示した。界面の反応を利用する方法の例

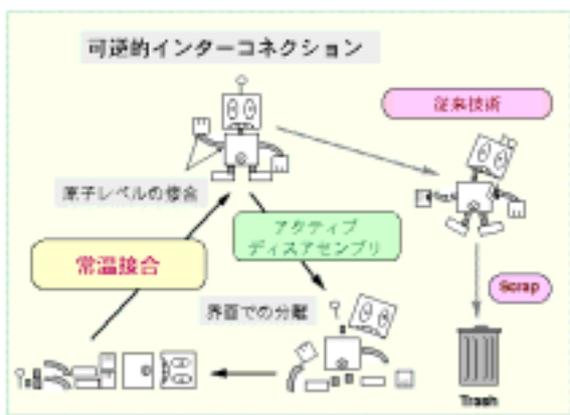


図1. 可逆的インターコネクションの概念

としては、低温では反応の生じない接合を行い、分離の際には高温反応により脆い中間反応層を生成させることで無負荷の分離を実現する方法を提案検証した。また、界面ひずみを利用する方法の例としては、水素吸蔵合金薄膜を界面に介在させ、水素吸蔵によりこの薄膜が膨張し、その歪みによって界面が剥離すること、ないしは薄膜が微粉化する現象を利用する方法を提案した。

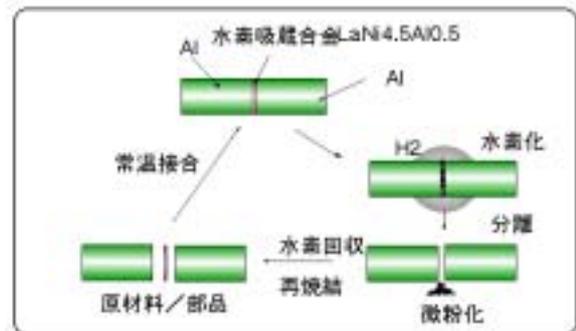


図2. 水素吸蔵合金を利用した可逆的インターコネクション

2.2 常温接合

従来の接合プロセスは加熱操作を必要とし、そのために過剰の化学反応を伴うものであるため、通常の接合界面には反応層が必ず存在し、理想的な分離は原理的に難しい。従ってまずは、分離には界面そのものを分離に向けて設計する必要がある。

このような手法の1つが常温接合である。常温接合は、イオン衝撃などにより活性化された固体表面が接触によるだけで強固な結合を形成することを利用するものであり、分離の前提となる界面が形成される。

本研究では、まず、従来の金属 - 金属、金属 - セラミックスの接合のみならず、異種化合物半導体のヘテロ接合が常温で可能であることを世界で初めて示した。この手法によってGaAs基板とInP系半導体レーザのエピタキシャル層との常温接合を行い、低しきい電流値での室温レーザ連続発振に成功した。今回これが実現したことで、オプトエレクトロニクス集積化のプロセス技術として光基板の低コストの接合による実装などの現実的な可能性が示されたといえる。さらに、Siについてはウエハレベルでの大面積接合が可能である

ことを示した。これは、マイクロマシン・MEMSのウエハースケールパッケージに新しい手法を提供したものとして注目されている。

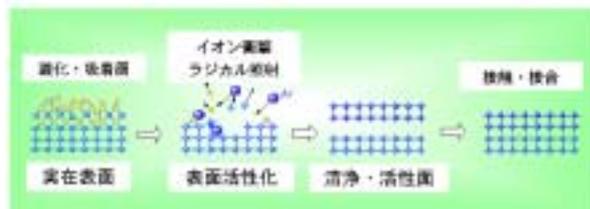


図3. 常温接合の原理

2.3 可逆的インターコネクションの体系化

可逆的インターコネクションの本質は、接合界面の原子構造と電子構造の積極的な制御にある。その際には、局所的な結合のみならず、マクロな変形や形状・表面特性の不均一性が接合プロセスに大きく影響してくる。本研究では、この点に関して、高分解能電子顕微鏡を使った原子レベルでの界面観察と非破壊検査・破壊力学的手法を用いた評価を行い、水素の注入と界面結合低下のメカニズム、マクロな破壊のメカニズム、インターコネクションにおける可逆性の要因を明らかにし、界面設計の可能性を示した。

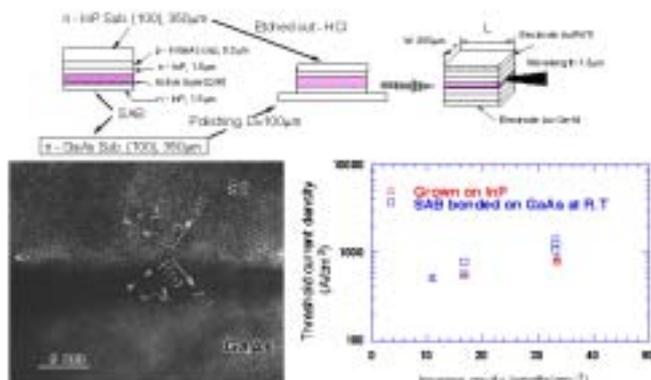


図4. レーザ素子の常温接合とGaAs-Si界面の格子像

3. 次世代プロセスとしての貢献と今後

我が国の製造業は、これまで加工・組立による付加価値を中心として、これを目的とするテクノロジーを中心に発展してきた。しかし、新世紀の持続的発展を考えると、ものづくりは、むしろメンテナンス・リサイクルを中心としたライフサイクル設計に基づくテクノロジーに軸を移していく必要がある。そのため次世代プロセス技術のコアとなるのが、分解・解体技術である。特に、エレクトロニクス機器の実装基板は種々の材料、部品が高密度に集積化したものであり、しかもライフサイクルの極端に短い製品の内部にあり、大量に生産され廃棄されている。この環境への負荷を軽減するには、このような機器のディスプレイ性を考慮した設計思想と組立産業の構造的転換が必要である。本研究プロジェクトの可逆的インターコネクションは、こ

のような社会の動きを素材産業からささえる新しい材料プロセス技術であり、その社会的に果たす役割は極めて大きいと考えられる。可逆的インターコネクションの具体的な適用例として、分離を利用したチップサイズパッケージ CSP の新しい製造プロセスを提案し、産学協同の成果として製品化に向けた試作を行った。また、1997年より、この手法をエレクトロニクスにおける次世代実装技術の超微細接続構造に適用すべく、半導体関連24社によるコンソーシアム・電子実装工学研究所が設立され、本研究グループとの産学協同研究が開始されている。

また学術的な視点からは、本研究は、分離可能な接合という概念、および、これを実現するテクノロジー開発の視点が従来の界面研究にはなかったことに対する1つのアンチテーゼとして位置づけられるとともに、接合プロセスそのものにおいても常温接合というポテンシャルの高い手法を実現したものであるといえる。

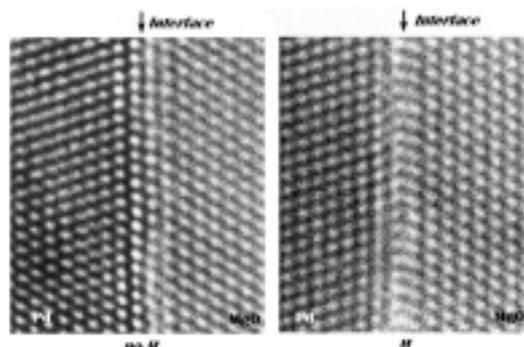


図5. MgO-Pd界面の高分解能電子顕微鏡像。水素が原子1層のみ偏析した状態が初めて捉えられた。

主な発表論文

- (1) T. Suga and N.Hosoda, Active Disassembly and Reversible Interconnection, 2000 IEEE, 2000m 330-334
- (2) 細田奈麻絵、北岡史也、荒船龍彦、須賀唯知, 可逆的インターコネクション -分離可能な接合法の開発-, エレクトロニクス実装学会誌, 4-2, 2001, 142-144
- (3) M. Onodera and T. Suga, Reversible Interconnection between Gold Wire and Silver Plating on Copper Alloy Substrate, 2000 IEMT/IMC Proceedings, 2000, 278-283
- (4) H. Ichinose, Crystal Interface and High-resolution Electron Microscopy -The Best Partner-, Science and Technology of Advanced Materials, 1, 2000, 11-20
- (5) T. Watanabe, T.R. Chung and T. Suga, Direct Bonding of Heterogeneous Wager using Surface Activated Bonding, 2000 GaAs MANTECH, 2000, 165-168

受賞:

- (1) 最優秀ポスター賞 (1997年): JIMS-8 International Symposium on Interface Science and Materials Interconnection
- (2) 論文賞 (1999年): エレクトロニクス実装学会
- (3) ベストペーパー賞 (2000年): 第9回マイクロエレクトロニクスシンポジウム

特許: 特願平 09-067729号 / 特願平 11-139783号