

平成22年5月10日現在

研究種目：基盤研究(A)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19201027  
 研究課題名（和文）電子デバイスの自己組織化実装における金属フィラー溶融凝集機構の解明  
 研究課題名（英文）Clarification of Coalescence Mechanism of Metal Fillers in Self-Organization Assembly Process  
 研究代表者  
 藤本 公三 (FUJIMOTO KOZO)  
 大阪大学・工学研究科・教授  
 研究者番号：70135664

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、新たに提唱した自己組織化実装法における金属フィラーの樹脂中での流動・凝集・合一現象を明確にした。特に、金属フィラー流動の駆動力が金属フィラー表面の酸化膜分解に伴う界面エネルギー変化にあることを見出した。また、実装プロセス中の樹脂活性剤による金属フィラーの酸化膜分解および樹脂粘性変化が実装性に大きく影響することを明らかにした。さらに、ICチップ上の数千点の電極端子を一括接続させるための材料設計・プロセス設計の指針を与えた。

## 研究成果の概要（英文）：

In this study, we investigated the fundamental principles of the flow, cohesion, and coalescence of the molten filler metals in the resin in the newly proposed self-organization assembly process. In particular, we found that the surface energy change due to degradation of the surface oxide film is the driving force of the molten filler metal flow. We also found that degradation of oxide film on the filler metals and viscosity change of the resin are major influence for the assembly property of the self-organization assembly process. In addition, guidelines of material design or process design for terminal connection on the thousands of electrodes on IC chip has been given.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	17,400,000	5,220,000	22,620,000
2008年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2009年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	30,000,000	9,000,000	39,000,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・マイクロ・ナノデバイス

キーワード：高密度実装、自己組織化、金属フィラー、溶融凝集、粘性流体、フリップチップ実装

## 1. 研究開始当初の背景

半導体デバイスは、高集積化・高機能化に

伴い、10mm角のICチップで、入出力端子数が1万ピンになろうとしている。また、さら

なる高集積化・高機能化を目指した IC チップの3次元化, SiP ( System in Package) 化が進められている。また、IC チップの外部入出力端子の増加に伴い、IC チップを組込んだパッケージでは、CSP (Chip Scale Package) が主流となりつつある。これらの実装では、IC やパッケージ部品の下面に電極を設けて一括接続を行うエリアバンプアレー実装が主流である。しかし、この実装法において、接合材料であるソルダの供給、実装時の加熱に伴うプリント配線板の熱変形等の制約により、さらなる他ピン化・高集積化が困難となっている。

我々の研究グループでは、酸化物還元能力のある低粘性の樹脂中に粒子径が数百 nm ~ 数  $\mu$  m の低融点金属 (Sn-In 共晶合金など) フィラーを含有させた樹脂を IC チップや電子デバイスと基板間に一様に充填し、材料特性に適合した加熱プロファイルと部品-基板間ギャップの制御により、電極間に溶融した金属フィラーを凝集させて、一括接続する新たな実装方法 (自己組織化実装と呼ぶ) を見いだした。本実装方式において、ストライプ状電極パターン、マトリックス状電極パターンに対して、溶融金属フィラーが電極部のみに溶融凝集することを立証した。本方式は樹脂と金属フィラーの材料特性に対して、適正な環境 (温度履歴と部品-基板間ギャップ) を提供することにより、金属電極の箇所にも金属フィラーが自己凝集し、電極間を接合するものであり、各種の電子デバイスおよび要求特性に適合した材料の選定、プロセスコントロールを行うには、本実装方式の実装メカニズム (粘性流体中での金属フィラーの凝集挙動) を明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究で提唱している自己組織化実装法では、溶融金属フィラーの表面エネルギー (樹脂材料との間の界面エネルギー) に起因する溶融金属フィラーと電極金属 (Cu 電極)、電極間の絶縁材料との間のぬれ現象において、材料間の界面エネルギーが小さくなる方向に推移する物理現象を有効に利用している。この自己組織化実装法によって、IC チップに設けられた数千点の電極と基板電極間に均一に溶融金属を凝集させるには、金属フィラーの酸化膜還元に伴う表面エネルギー変化、樹脂粘性変化を考慮した樹脂中での金属フィラーの流動メカニズムを解明し、樹脂中において、金属フィラーが均一に流動するための材料設計、プロセス設計が必要となる。本研究では、この自己組織化実装の実装メカニズムを明らかにするとともに、本実装方式を安定にかつ信頼性高く実現するためのプロセスコントロールの指針を明確にするこ

とを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究は、自己組織化実装における溶融金属フィラーの流動・凝集メカニズムを明確にし、実用化のための指針を明確にするため、次に示す事項について検討を進めた。

### (1) 自己組織化実装検証システムおよび金属フィラー流動特性のその場観察装置の試作

本実装プロセスでは、実装部の温度場とチップ-基板間距離 (電極間ギャップ) が重要な制御因子となる。このため、加熱プロファイルの制御が可能で、チップ-基板間距離の  $\mu$  m オーダーの制御 (高さ制御) が可能な自己組織化実装検証装置を試作する。また、樹脂中の金属フィラーの流動特性を明確にするため、自己組織化実装検証装置と同等の加熱プロファイル設定が可能なその場観察装置を試作する。

### (2) 自己組織化実装における金属フィラー凝集性に及ぼす材料特性およびプロセスパラメータの影響の明確化

本研究で提唱している自己組織化実装においては、樹脂の粘性流体中での金属フィラーの挙動が重要であり、この挙動には、樹脂の粘性、樹脂の活性度 (酸化膜の還元能力)、金属フィラーの粒子径、金属フィラーの含有率、温度プロファイル、チップ-基板間距離などの材料因子、プロセス因子が大きく影響すると考えている。これらの制御因子と金属フィラーの溶融凝集挙動との関係を実験を通じて明確にする。

### (3) 粘性流体の熱流体解析シミュレーションによる金属フィラー流動メカニズムの検討

自己組織化実装における粘性流体中の金属フィラーの凝集・ぬれ挙動のメカニズムを明確にするため、コンピュータシミュレーションのモデル化を行い、温度場、粘性の温度依存性、金属フィラー表面の酸化膜還元による界面エネルギー変化を考慮した粘性流体シミュレーションを行うことにより粘性流体中での金属フィラーの流動メカニズムを明確にする。

### (4) 金属フィラー流動特性のその場観察による自己組織化実装現象の検証

自己組織化実装プロセスと同じ温度プロファイル下での樹脂粘性変化および金属フィラーの流動をその場観察することで、自己組織化実装法における金属フィラーの樹脂中での流動・凝集・合一現象を明らかにする。

#### 4. 研究成果

本研究で提唱している自己組織化実装プロセス（図1）で最も重要な金属フィラーの樹脂中での流動・凝集・合一現象の解明のための実験・解析を行い、次の点を明確にした。

(1) 自己組織化実装検証システムおよび金属フィラー流動特性のその場観察装置の試作

①実装装置に空圧制御機構を設けることにより、ICチップ-基板間距離をマイクロオーダーで制御可能な装置とした。

②自己組織化実装装置と同じ温度プロファイルが制御可能な粘性測定装置（図2）および金属フィラー流動・凝集・合一のその場観察装置（図3）を試作した。

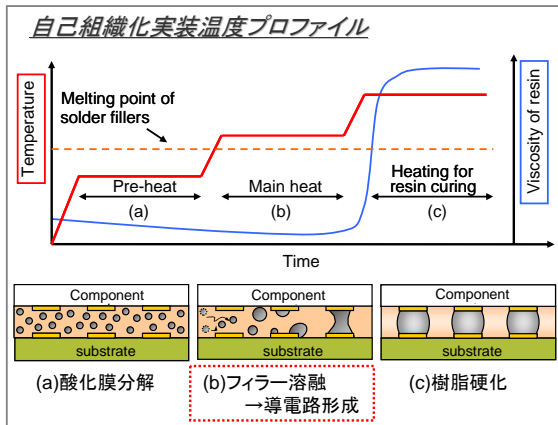


図1 自己組織化実装プロセス

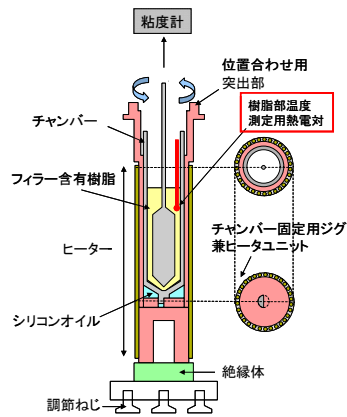


図2 温度制御付き粘性測定装置

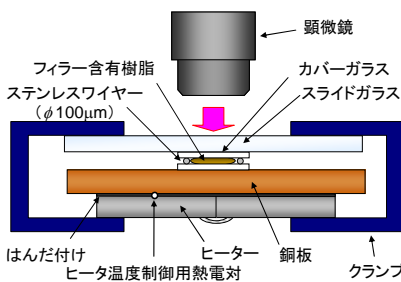


図3 金属フィラー流動・凝集・合一のその場観察装置

(2) 自己組織化実装における金属フィラー凝集性に及ぼす材料特性およびプロセスパラメータの影響の明確化

①金属フィラーの溶融凝集には金属フィラーの表面酸化被膜の除去が必要であるが、酸化被膜分解のために過剰な活性剤を樹脂に添加すると、酸化被膜分解時に生成される水により、気泡の発生が生じ、金属フィラーの溶融凝集に伴う自己組織化を阻害する。

②樹脂中の活性剤による金属フィラーの酸化被膜分解に伴い、樹脂の硬化が生じるため、活性剤の量を気泡の発生が生じない程度に少なくし、さらに、樹脂の硬化が進まない温度で酸化被膜の分解を行う必要がある。

③供給した金属フィラーの酸化膜厚が厚くなると、溶融凝集が困難となることを実験的に確認し、金属フィラーの酸化膜厚と樹脂中に含有させた活性剤の活性力を適正に制御することが重要であることを明確にした。

④予備加熱を行い、酸化被膜の分解を行うことで、図4、図5に示すように、樹脂の硬化の影響を受けることなく、短時間で金属フィラーの溶融凝集を達成させることができる。

⑤樹脂中の金属フィラーの均一分散が自己組織化にとって非常に重要である。このフィラー分散性の評価を統計処理による透視画像におけるフィラー画像から行う方法を提唱し、均一分散供給のための印刷プロセスの適正条件を明確にした。

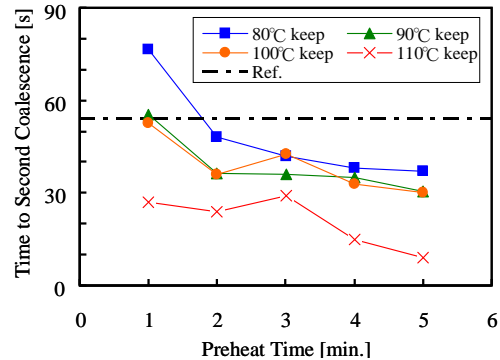


図4 予備加熱条件と合一時間の関係

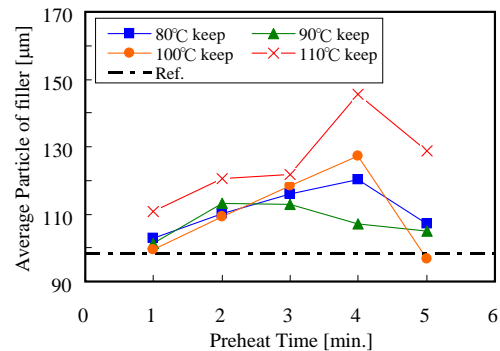


図5 予備加熱条件とフィラー合一サイズの関係

(3) 粘性流体の熱流体解析シミュレーションによる金属フィラー流動メカニズムの検討

- ① 金属フィラーの溶融凝集の駆動力となる因子として、熱対流が考えられるが、熱流体解析を行った結果、本プロセスにおける実装間隙 ( $200\mu\text{m}$  以下) では、樹脂の熱対流による金属フィラーの流動は生じないことを明確にした。
- ② 金属フィラー表面の酸化被膜分解時には、金属フィラーと樹脂との間の界面エネルギー変化があり、この界面エネルギー変化をモデル化した粘性流体解析により、金属フィラー表面の界面エネルギー変化により金属フィラーが流動を行う (図6、7) ことを明確にした。
- ③ 溶融金属フィラーの2液滴間 (図8) における合一シミュレーションを行った結果、樹脂粘性により、図9に示すように、接触直前におけるフィラー挙動に大きく影響を与える
- ④ 溶融金属フィラーの4液滴モデル (図10) による合一シミュレーションを行った結果、合一によって発生した樹脂流動が、独立液滴が移動する駆動力となっていることを示した。さらに、図11に示すように、接触液滴と独立液滴が一定距離になるとお互いに相互影響を及ぼし始め、その時点での合一半径の増加速度が、最終的な独立液滴と接触液滴の接触如何を決定することを示した。

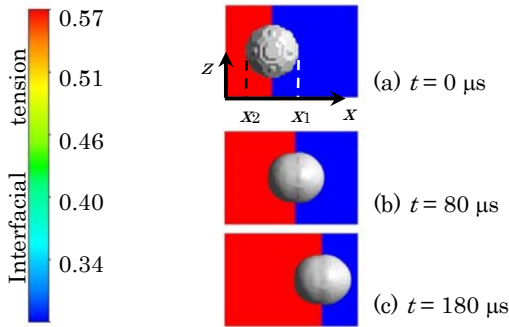


図6 フィラー表面の界面エネルギー変化による金属フィラーの流動

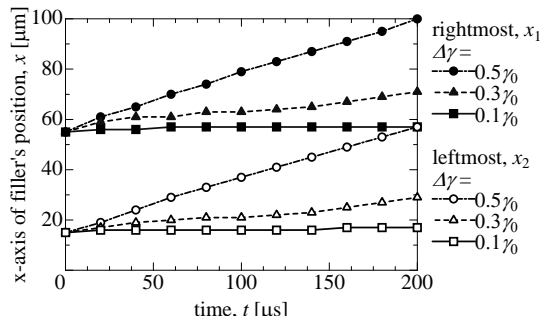


図7 界面エネルギー変化の度合いと流動量の間液

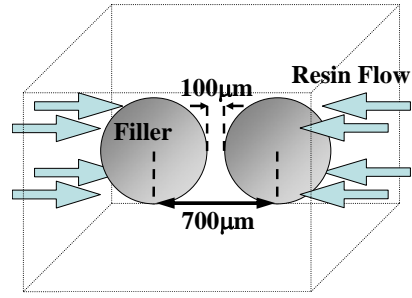


図8 2液滴合一モデル

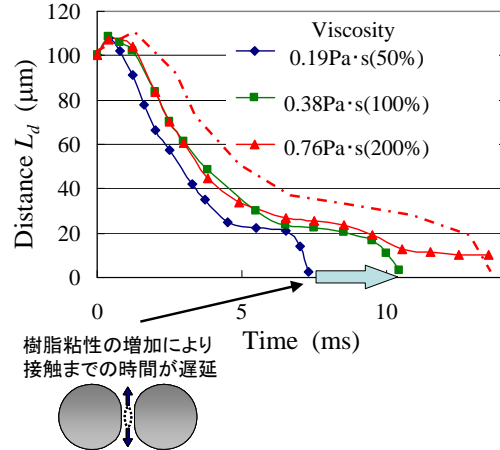


図9 樹脂粘性とフィラー合一時間の関係

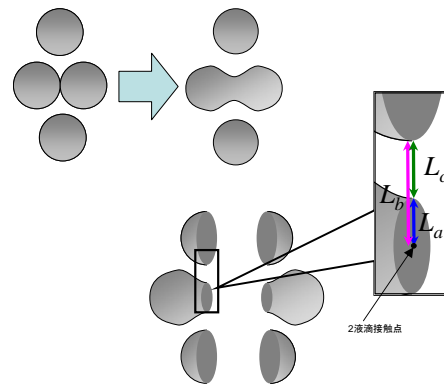


図10 4液滴合一モデル

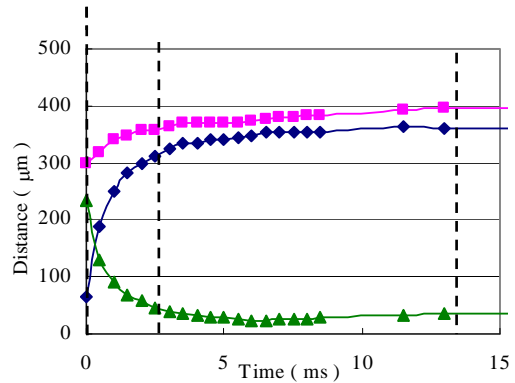


図11 4液滴モデルにおける合一挙動

(4) 金属フィラー流動特性のその場観察による自己組織化実装現象の検証

- ① 金属フィラー含有樹脂をガラス板上で挟んで行った直接観察実験により、酸化被膜分解過程で金属フィラーが流動していることを確認した。
- ② 金属フィラーの流動特性のその場観察により、金属フィラーが熔融後に流動を始めていることを確認した。これにより、金属フィラーの熔融状態における表面エネルギー（樹脂との界面エネルギー）変化に伴う内圧変化がフィラー駆動力となっていることを明確にした。
- ③ 実装温度プロファイル下での樹脂のみの粘性変化および金属フィラー含有樹脂の粘性変化を計測した結果、金属フィラー含有した樹脂の粘性変化が樹脂だけのものに比べて大きくなっており、金属フィラーの表面酸化膜分解に伴う粘性変化を定量的に明らかにした。

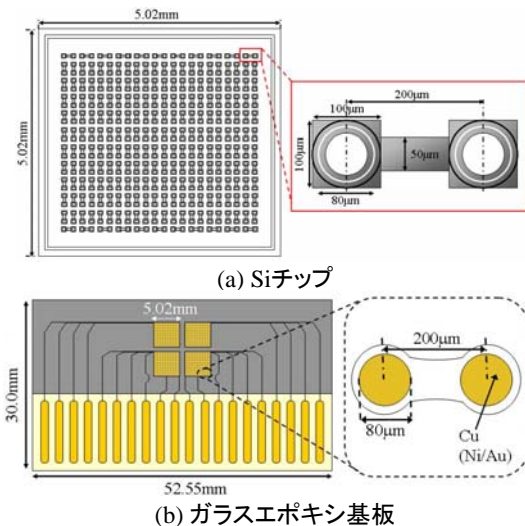
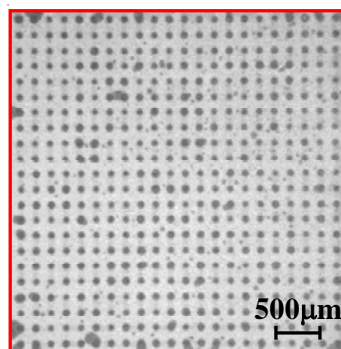


図 12 実装 Si チップと基板



接合部のX線写真



実装後の接合部断面

図 13 自己組織化実装の一例

これらの結果から、本自己組織化実装プロセスの実用化に対する材料設計・プロセス設計の指針が明確になった。図 12 に示す Si チップをガラスエポキシ基板上に自己組織化実装した結果を図 13 に示す。この結果は、

本研究で得られた材料設計、プロセス設計の指針を全て適合したものではないので、まだ、一部、未接合やブリッジが見られる。今後は、金属フィラーの均一流動を得るためのプロセスコントロール方法の検討を行うとともに、信頼性を考慮した材料設計の検討が必要となる。また、本自己組織化実装プロセスは、これまでにない新たな発想に基づく実装方法であり、学・協会において、大きな関心を示されるとともに、この考え方をういた実用化研究が進められるようになってきた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

- ① 大田皓之, 戸屋正雄, 安田清和, 松嶋道也, 藤本公三, “自己組織化実装法におけるソルダフィラー合一性に及ぼす酸化膜と樹脂の活性作用の影響”, 電子情報通信学会和文論文誌 C, 査読有, Vol. J92-C, No. 12 (2009)
- ② K. Ohta, K. Yasuda, M. Matsushima and K. Fujimoto, “Movement of solder fillers because of the unevenness of interfacial tension in self-organization assembly process”, Journal of Physics: Conference Series 査読有, Vol. 165 (2009) 012047
- ③ K. Ohta, K. Yasuda, M. Matsushima, K. Fujimoto, “Filler Motion Dynamics in Resin for Flip Chip Micro Interconnects by Self-organization Assembly”, International Conference on Electronics Packaging 2009 (ICEP 2009) 査読有, (2009) 939-942
- ④ 元重慎市, 大田皓之, 藤本公三, “自己組織化実装における金属フィラーの分散性評価と分散均一化に関する研究”, 16th Symposium on “Microjoining and Assembly Technology on Electronics”, 査読有, (2009) 201-206
- ⑤ K. Ohta, M. Toya, K. Yasuda, M. Matsushima, and K. Fujimoto, “Observation of Solder Fillers Coalescence in Resin for Development of Self-Organization Assembly Process”, e-Proceedings of the 33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT2008), 査読有, No. C5.1, 2008
- ⑥ 大田皓之, 戸屋正雄, 安田清和, 藤本公

三, “自己組織化実装法におけるソルダ微粉の流動メカニズム”, 14th Symposium on “Microjoining and Assembly Technology on Electronics”, 査読有, (2008) 207-212

- ⑦ 戸屋正雄, 大田皓之, 元重慎市, 安田清和, 松嶋道也, 藤本公三, “自己組織化実装法における樹脂の活性度と実装性の関係”, 14th Symposium on “Microjoining and Assembly Technology on Electronics”, 査読有, (2008) 201-206
- ⑧ K. Ohta, K. Yasuda, M. Matsushima, and K. Fujimoto, “Numerical Analysis of Self-Organizing Interconnection Process by 3 Dimensional Flow Dynamics”, Solid State Phenomena, 査読有, Vol. 124-126 (2007) 543-546
- ⑨ 大田皓之, 戸屋正雄, 元重慎市, 安田清和, 松嶋道也, 藤本公三, “自己組織化実装法による導電路形成過程の数値解析”, 第17回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, 査読有, (2007), 59-64

[学会発表] (計 5件)

- ① 有光拓史, 大田皓之, 井上宗, 藤本公三, “自己組織化実装法におけるフィラー表面酸化膜分解挙動の定量的評価”, 第16回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム, 2010, 横浜
- ② K. Ohta, K. Yasuda, K. Fujimoto, “Filler Motion Dynamics in Resin for Flip Chip Micro Interconnects by Self-organization Assembly”, International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2009), 2009, Kyoto
- ③ K. Ohta, K. Yasuda, K. Fujimoto, “Movement of Solder Fillers due to Unevenness of Interfacial Tension in Self-Organization Assembly Process”, International Conference on Advanced Structural and Functional Materials Design, 2008, 11. 1, Osaka
- ④ K. Yasuda, S. Motoshige, M. Matsushima, and K. Fujimoto, “Effect of Bubble Generation on Self-Organization Joining”, The Second International Symposium on Smart Processing Technology, November 27-28, 2007, Osaka
- ⑤ 藤本公三 “金属フィラーの溶融凝集挙動に基づく自己組織化実装プロセス”, (社)溶接学会 マイクロ接合研究委員会, 2007年、5月25日, 東京

[その他]

ホームページ:

<http://www.mapse.eng.osaka-u.ac.jp/w5/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤本 公三 (FUJIMOTO KOZO)  
大阪大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 70135664

### (2) 研究分担者

福本 信次 (FUKUMOTO SINJI)  
大阪大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 60275310  
安田 清和 (YASUDA KIYOKAZU)  
大阪大学・工学研究科・講師  
研究者番号: 00210253  
松嶋 道也 (MATSUSHIMA MICHIIYA)  
大阪大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 90403154