

## 高密度接続バンプの精密制御と半導体実装技術の体系化

### Exact control of high density interconnection bumps and systematize of packaging technology

○近藤 和夫\*、 福井 敬介\*\*

○Kazuo KONDO, Fukui KEISUKE

\*岡山大学工学部物質応用化学科、助教授

\*\*姫路工業大工学部生産機械学科、助教授

\*Okayama University and \*\*Himeji Institute of Technology

Electrodeposited bumps are the indispensable micro-connectors for high density interconnection in the latest microelectronics applications. For the higher frequency circuit, shorter interconnection length by bumps is required in order to reduce the reflection noise. Ball grid array (BGA) of solder bumps is necessary for high pin count chips in order to reduce the their packaging size. Bumps can also be used as a new testing method for bare chips of high pin counts. Another application is the interconnection between liquid crystal display (LCD) and driver chips, which are mostly interconnected with tape automated bonding (TAB). The bumps act as micro connectors of TAB technology and conduct digital signals from the chip to the LCD pixels.

The bumps are electrodeposited onto the dot shaped cathode of 10 to 200  $\mu\text{m}$  in diam. The cathode, or photolithography patterns, are patterned by photomask and photoresist. The control of electrodeposited bump shape, as well as the uniformity in their height, is important for obtaining proper interconnection reliability.

The research summarizes four topics on shape evolution of bumping. The effect of resist angle, that of additive, that of high aspect ratio cavity for GSP and flip chip and interference effect of neighbor bumps.

#### 1. 研究目的

プリント基板、パッケージング等に用いられる半導体の実装技術は、民生用途の電子機器を小型化する主要技術である。この実装技術の応用展開は携帯電話、ビデオ、ノートブックパソコン等に適用されている。しかしながら、実装分野は基礎研究に極めて乏しい分野である。実装技術の発展が著しくまた統一的な基本要素技術が不明確なため、その体系化・基礎研究がほとんど実施されていない。

特に16ビット以降のマイクロプロセッサでRAMとの接続パッド数が急激に増大する。そのため従来のワイヤーボンディング法からバンプと言う次世代マイクロコネクタを用いざるをえない。その高密度接続には形状を精密制御する事が急務である。本申請研究では、バンプの形状を決める電気めつき時の電流密度分布に注目し、精密制御を検討する。

これまでの研究では、ミクロな剥離渦が物質移動に

重要であり、電気化学反応より求めた電流密度分布がバンプ形状と一致することを明らかにした。本研究では、応用面に重点を置く。

#### 2. 研究経過

企業から大学に移って5年目、また北海道大学から岡山大学に転任して1年目に日産学術研究助成をいただいた。大学でどのような研究を展開したらよいか展望が開けて来た時であり、また岡山大学での研究設備の立ち上げ時期であった。この時期に助成いただいたこと、今後の研究展開に非常に有益であったと感謝しております。

#### 3.1 平成10年度の経過

岡山大学に転任して2年目です。4年生から育てた学生が2名やっと修士1年生となりました (B4:5名、M1:2名、M2:0名)。装置が研究室に無いので、色んな

所から実験装置を借用しつつ、研究が稼動しだした時です。平成10年に諸装置の選定をし、同年暮れにフォトリソグラフィ装置一式とクリーンブース等を購入し、やっと一通りの研究が自分の実験室で出来るようになりました。

行った研究の内容は、ウエハーレベルのCSPのCu柱形成、電解エッチングの数値解析、周辺が凸のバンプ形成と異方性導電粒子のトラップの測定です。特にCSPのCu柱の形成実験では、銅イオンの濃度境界層発達に伴う自然対流現象を新たに見出してあります。その関係で日立化成(株)とJSR(株)とで講演をやらせていただきました。

### 3.2 平成11年度の経過

修士2年生が出来、やっとフルメンバーでの研究です(B4:5名、M1:3名、M2:1名)。M2の林君が優秀でみんなをリードしてくれるので助かります。フォトリソグラフィ装置一式とクリーンブース等もそろい、本格的に研究が稼動しました。IBMがCuめっき配線技術のダマシンプロセスをやりだし、その基礎研究のキーポイントに気づいたのがその年の暮れです。林君が修論の最後の段階で素晴らしい研究にまとめてくれました。また新たな研究テーマとして、超振動めっき方法や金バンプ、隣接作用の研究に着手しました。

行った研究内容は、ダマシンCuめっき、CSPのCu柱形成、中央が凸のバンプ形成、超振動、金バンプ、隣接・バンプ/ライン間の相互作用です。特にダマシンCuめっきの添加剤の穴埋作用の研究ではCuのマクロステップ端面に吸着したPEG分子を世界で初めて電子顕微鏡で捕らえ、同時にJGBがPEG分子を拡散律速にすることを明確にしました。この発表内容は、日経BPのインターネットサービスで広く報道され、大きな反響を呼びました。日立製作所と化学工学会とで2件招待講演をさせていただきました。

さて余談になりますが、現在の悩みは岡山大学では学生がなかなかドクターコースに進学してくれないことです。地方大学では旧一期校のようになかなか行きません。また、平成12年4月から、私の配属が共通講座から応用化学になりました。4年前北海道大学から公募で来たのですが、公募には応用化学と明記してあったのに、実際着任してみると共通講座配属です。ややこしい人事です。こんなことが起こったり、もとに戻るのが4年もかかる現在の大学の事務・人事の制度はひどいものだと思います。

### 3.3 実装工学の体系化

平成9年に化学工学の懸賞論文「21世紀の化学工学」で私の書いた、表面実装化学工学への展開が入選しました。平成10年には化学工学会内に実装の部会を作るべく、産業技術部門の方々と設立準備の企画をねりました。平成11年の2月に、住友ベークライト本社で100名程度の方々のご参加の下に、「実装プロセス工学会」の設立総会を行いました。また同年7月には70名参加の下に、ビルドアッププリント基板のシンポジウム、9月には化学工学会で実装プロセス工学会の

シンポジウムを開催しました。平成12年には5月と8月と9月とに3回のシンポジウムを実施します。実装プロセス工学会には、50社、10大学が会員として参加しております。また、10企業程度が幹事となり幹事会を毎月定期的に開催しております。現在、実装工学の体系化に向けて、ケーススタディを実施中です。

## 3. 研究成果

### 3.1 レジストテーパ角度の検討

レジストテーパ角度はバンプの形状を支配する重要要因である。数値流体解析と実験とからキャビティ内の物質移動について検討する。

・ 'Current Evolution of Electrodeposited Copper Bumps with Photoresist Angle', Kazuo Kondo and Keisuke Fukui, Journal of the Electrochemical Society, 145(1998)840  
外部拡散、剥離渦、貫通流の役割について検討した。拡散律速下の電流密度分布から、レジストテーパ角度が負またはゼロの場合、外部拡散を減少させ、カソード端に発生する剥離渦を増大させる。このため負またはゼロの場合、バンプの周辺への成長を抑制する。

### 3.2 二次電流密度と添加剤の検討

添加剤はバンプ形状を支配する重要因子である。本研究では、分極測定から添加剤の働きを理解する。また、電流密度分布を数値解析と実験とから検討する。

またビルドアップ基板やダマシンめっきのビア穴埋に用いる4種類の添加剤に関しても、添加剤の機構を解明した。

・ 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive and its Application', Kazuo Kondo, Zenosuke Tanaka, Munehiro Eguchi and Takuya Monden, 3rd IEMT/IMC Proceedings, 381(1999), Omiya  
バンプ形状は接続特性に重要である。特にChip on Glass (COG)では、周辺の盛り上がったバンプ形状が異方性導電膜中の導電粒子をより多く捕獲し接続特性を向上させる。周辺の盛り上がったバンプ形状の形成機構と異方性導電膜を用い接続時の導電粒子捕獲数を測定した。セレン酸の添加が効果があり、形状変化はWa定数と二次電流密度分布とで説明出来る。バンプ周辺が盛り上がると導電粒子捕獲数が増大する。

・ 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive II - Center Humped Bumps', K. Kondo, M. Eguchi and Z. Tanaka, IEMT-IMC 2000 Symposium, 4月(2000) Omiya, Proceedings in print

バンプ形状は接続特性に重要である。特に中央が盛り上がったバンプ形状は高密度接続部材として重要である。物質移動律速の添加剤を浴中に添加することにより、中央が盛り上がったニッケルバンプを得た。特にこの添加剤とフォトレジストの側壁角度を正にすることにより、リフロー後のはんだバンプのような球形の形状を得る。この拡散律速の添加剤は、めっきの析出反応を抑制する。また分極測定より拡散律速で

ある。

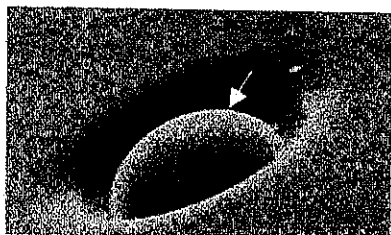


図 中央が凸の超高密度接続パンプ

正のフォトレジスト側壁角度が添加剤の外部周辺からの拡散を促進する。そしてカソード周辺部分のめっきの析出を抑制

し、中央が盛り上がる。また、一定方向から液流れを与えると、下流側が盛り上がる。これは、拡散律速の添加剤が貫通流によりキャビティ内部に流入し、カソード上流端でめっきの析出を抑制するためである。

・ 'ピア導通めっきの形状制御'、山川統広、間野和美、田中善之助、近藤和夫、エレクトロニクス実装学会誌、投稿中

硫酸銅・硫酸水溶液の分極曲線に基づきピア穴埋の機構を検討した。Tafel 領域では、深くて細い溝を中央に発生する。拡散律速領域では、Pe 数が 0.0 で深い溝を生ずるが、Pe 数が 83 と増大するとピアが埋まりやすくなる。水素発生領域では、深くて細い溝を発生する。ピア穴埋に用いる 4 種類の添加剤を添加することにより、穴埋性は向上した。ピア穴埋の機構について論じた。

・ 'ピア穴埋に用いる Cu めっき添加剤のメカニズム'、林克彦、山川統広、田中善之助、近藤和夫、エレクトロニクス実装学会誌、投稿中

ピア穴埋に用いる 4 種類の添加剤について検討した。Cl イオンによりマクロステップを発生する。PEG を添加すると分極曲線がカソード側にシフトしめっきの析出反応が抑制される。これは PEG に基づく 20nm 程度の粒状結晶がマクロステップ表面に優先的に吸着するためである。また JGB を添加すると添加剤の動きが拡散律速となる。拡散距離の長いピア底部まで添加剤が到達せず、ピア外部に添加剤が優先的に吸着する。そのためピア

外部のめっき析出反応を抑制し、ピア底部に優先的にめっきが析出する。また SPSI はめっき結晶を数 10nm に微細化させ微細なピアへの析出析出を可能とさせる。

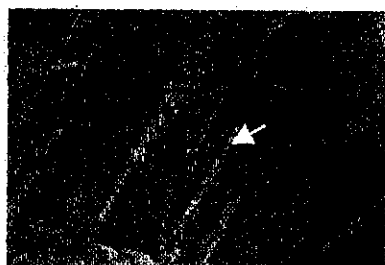


図 マクロステップに吸着する PEG 分子

### 3.3 高アスペクト比の検討

高アスペクト比ではキャビティ外部の強制対流は内部を有効に攪拌しない。そのため、カソード近傍の溶液とバブル溶液との密度差を利用した自然対流が必要となる。そこで高アスペクト比パンプ形成と自然対流との関係を数値流体解析と実験とから検討した。

・ 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Deep Cavity', J. Electrochem. Society, 145 (1998) 3007

CSP とフリップチップをめざしたアスペクト比の大きいキャビティへのパンプ形成に関し、数値流体解析で拡散律速下の電流密度分布を解析した。アスペクト比が大きくなると、電流密度分布は頂点が鋭く対称となる。これらのアスペクト比の大きいキャビティでは拡散に支配され、キャビティ外部での対流と電流密度分布とが無関係となる。キャビティ外部での対流はその内部を有効に攪拌しなくなる。

・ 'CSP 実装に用いる高アスペクトパンプめっき'、エレクトロニクス実装学会誌、Vol. 2, No. 1, p35, (1999)

CSP とフリップチップをめざしたアスペクト比の大きいキャビティへのパンプ形成に関し、パンプ形成実験を行った。アスペクト比が 1.0 のキャビティでは、カソードの設置角度の増大に伴いパンプの下端が盛り上がった。設置角度=90度で 2.5 のアスペクト比では下端の盛り上がりがより顕著となった。カソードでは、イオンを消費し密度差対流を発生する。この対流はキャビティ外へと流出し、キャビティ外で大きな渦を発生する。再びキャビティ内へと流入し、パンプ下端に衝突する。この衝突点で等濃度線が近接し、パンプ下部が盛り上がる。アスペクト比の大きいキャビティでの密度差対流の重要性を示した。

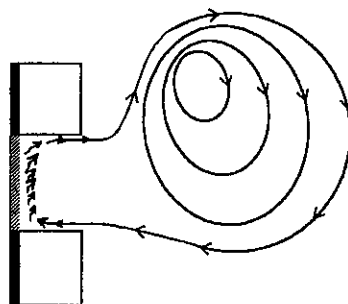


図 キャビティ内での密度差対流

・ 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps into Deep Cavity', Journal of the Electrochemical Society 投稿中

CSP とフリップチップをめざしたアスペクト比の大きいキャビティへのパンプ形成に関し、パンプ形成実験を行った。カソード径が 200 μm でアスペクト比が 1.0 では、密度差対流が働き、キャビティ内部を有効に攪拌する。しかしながら、カソード径が 100 μm 以下になると、密度差対流が働かず、物質移動は拡散が支配する。パンプ形状は下端が盛り上がりせず、平坦な形状となる。数値流体解析

でも等濃度線が平行となり、拡散が物質移動を支配する。

### 3.4 バンプ群形成時の均一化制御の検討

実用化時には多数個のバンプが同時に形成する。電流密度集中抑制方法について検討する。

・‘隣接ラインのめっき形状とその相互作用’ 丸山守護、福井啓介、田中善之助、近藤和夫、第14回エレクトロニクス実装学術講演大会 pp125、3月(2000)横浜国大

複数個のラインが隣接した場合の相互作用について検討した。Pe数が0.0では、隣接間隔が $20\mu\text{m}$ と短いと、隣接部分で外部拡散を生じにくく隣接部分端での盛り上がり小さくなる。またPe数が57.2では、貫通流を発生する。隣接間隔が $20\mu\text{m}$ と短いと、上流側ラインでCuイオンを消費した液が下流側ラインに流れ込む。そのため、下流側ライン上端での盛り上がり小さくなる。

### 4. 今後の課題と発展

今後の第一課題はCuめっきのビア穴埋時に用いる添加剤の役割を明確にすることである。この研究では我々の研究が世界のトップレベルにある。半導体内部のCu配線、ビルドアップ基板等、工業的にも非常に重要な研究課題でありその発展性も大きい。また、三次元実装、TABのインナーリードの高密度化等から超微細めっきバンプも重要である。実装材料・半導体材料の今後の発展に伴い、微小なめっき技術は益々重要となる。実装技術の体系化と共に、これからのIT革命、日本の固有技術をにやう21世紀の材料開発を行いたい。

### 5. 発表論文リスト

#### (1) 学会誌等

1. Kazuo Kondo and Keisuke Fukui, 'Current Evolution of Electrodeposited Copper Bumps with Photoresist Angle', Journal of the Electrochemical Society, 145(1998) 840
2. 近藤和夫, '表面実装と微細電気化学工学', ケミカルエンジンヤリグ, 1(1998)30
3. Kazuo Kondo and Keisuke Fukui, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Deep Cavity', J. Electrochem. Society, 145(1998)3007
4. 福井啓介、阿山雅之、林克彦、米田太輔、田中善之助、近藤和夫、'CSP実装に用いる高アスペクトバンプめっき', エレクトロニクス実装学会誌、Vol. 2, No. 1, p35, (1999)
5. Kazuo Kondo, Zennosuke Tanaka, Munehiro Eguchi and Takuya Monden, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive and its Application', 3rd IEMT/IMC Proceedings, 381(1999), Omiya

6. Keisuke Fukui, Masayuki Ayama, Hayashi Katsuhiko, Taisuke Yoneda, Zennosuke Tanaka and Kazuo Kondo, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps into Deep Cavity for Wafer Level CSP', 3rd IEMT/IMC Proceedings, 164(1999), Omiya

7. K. Kondo, Z. Tanaka, and T. Monden, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive', Electrochimica Acta, 2530, 1(1999)

8. 山川統広、間野和美、田中善之助、近藤和夫、'ビア導通めっきの形状制御', 第9回マイクロエレクトロニクスシンポジウム pp209(1999)10月、阪大

9. 近藤和夫、植村美帆子、奥野貴子、田中善之助、'電解エッチング法によるリードフレームの形状制御', 化学工学論文集、Vol. 26(2)(2000)

10. K. Hayashi, K. Fukui, Z. Tanaka and K. Kondo, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps into Deep Cavity', The 1999 Joint International Meeting of ECS, Oct. (1999) Hawaii

ECS Proceedings in print

11. K. Kondo, M. Eguchi and Z. Tanaka, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive II - Center Humped Bumps', IEMT-IMC 2000 Symposium, 4月(2000) Omiya, Proceedings in print

12. 近藤和夫、田中善之助、江口宗弘、門田卓也、'添加剤によるめっきバンプの形状制御とCOG接続特性' エレクトロニクス実装学会誌、掲載決定

13. K. Hayashi, K. Fukui, Z. Tanaka and K. Kondo, 'Shape Evolution of Electrodeposited Bumps into Deep Cavity', Journal of the Electrochemical Society 投稿中

14. 山川統広、間野和美、田中善之助、近藤和夫、'ビア導通めっきの形状制御', エレクトロニクス実装学会誌、投稿中

15. 林克彦、山川統広、田中善之助、近藤和夫、'ビア穴埋に用いるCuめっき添加剤のメカニズム', エレクトロニクス実装学会誌、投稿中

#### (2) 口頭発表 (15件)

#### (3) 出版物

1. 近藤和夫、シンポジウム冊子 'シンポジウム・マイクロエレクトロニクス実装および材料工学', 化学工学会秋季大会、山形大学(1998. 9. 29 - 10. 1)
2. 石井正人、近藤和夫、シンポジウム冊子 'ビルドアップ多層配線板のプロセス工学', 日本工業倶楽部、(1999. 7. 27)
3. 近藤和夫、シンポジウム冊子、'エレクトロニクス実装プロセスと化学工学', シンポジウム冊子、化学工学会秋季大会、金沢大学(1999. 9. 28 - 29)
4. 近藤和夫、金岡正純、川崎順二郎、シンポジウム冊子 '超微細接続と実装-マイクロパッケージにおけるプロセス工学', 東工大(2000. 5. 22)