凸型マイクロバンプの形状制御

近藤 和夫*, 田中 善之助*, 江口 宗博*

Shapes Evolution of Electrodeposited Center Humped Bump

Kazuo KONDO*, Zennosuke TANAKA* and Munehiro EGUCHI*

*岡山大学工学部物質応用化学科（〒700-0082 岡山県岡山市津島中3-1-1）

*Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, University of Okayama (3-1-1 Tsushima-Naka, Okayama-shi, Okayama 700-0082)

Abstract

Center humped bump is ideal shape for high density interconnection. This is because of smaller interconnection area and less lateral expansion in thermal compression. Coumarin additive was found to show inhibition effect and diffusion control from current-potential curves with rotation disk electrode. The two layered photo resist structure was newly introduced. With two layered resist structure and Coumarin, we succeeded in forming center humped bumps. The center humped bump has aspect ratio of 0.6 having 12 μ m height and 20 μ m diameter.

Key Words: Bumps, Center Humped, Coumarin, Two Layered Resist, Electrodeposition

1. 緒 言

最近の電子機器の小型軽量化、高性能化に伴い、配線、接続、パッケージングなどの実装分野の著しい技術革新が求められている。特にマイクロプロセッサ等の多ピンの半導体素子では、そのピンピッチが著しく高密度化し、バーンイン試験と接続方法とが非常に重要となる^{1,2)}。

バンプは高密度接続が可能な突起状のマイクロコネクタである。異方性導電膜等によるフリップチップ用接合突起、液晶用等の検査プローブ用突起にはニッケルめっきで形成した高硬度の凸型形状のマイクロコネクタを必要とする。バンプとパッドとを接続するとき、加圧により接続するためバンプは横方向への広がりを生じる。今後はバンプ間ピッチ（隣接バンプとの中心間距離）が30 μ m以下となり、接続がさらに狭ピッチ化する。そのため、高密度で接続時の横方向への広がりを抑えることが可能な中央の盛り上がった凸型形状のバンプの開発が必要となっている。

バンプの形状制御に関する系統的な研究は、近藤^{3,4)}らによってなされている。近藤らは、金バンプに関してのフォトリジストのカソード径、電解液流れ、添加剤の影響について検討し、拡散律速下での初期バンプ形成機構に関して考察した。宇野、近藤⁵⁾らはカソード径、レイノルズ数、添加剤についてのバンプ形状を観察した。横山、近藤⁶⁾らは2次電流密度分布および拡散律速での電流密度分布についてバンプ形状を観察し、数値解析との一致を検討した。福井、近藤⁷⁾らは、レジスト側壁角度による物質移動を数値流体解析し、はく離渦、外部拡散と電流密度分布との関

係を求めた。門田、近藤⁸⁾らは、添加剤、電流密度およびカソード径のバンプ形状への影響について検討し、1次電流密度分布および2次電流密度分布における凹型バンプ形成機構について考察した。江口、近藤⁹⁾らは、凹型形状バンプが異方性導電膜を用いた接続に対して与える影響について、捕獲粒子数の測定などから検討し考察した。

本研究ではNiバンプの形状制御を行うために添加剤としてクマリンを使用した。クマリンは金属表面の研磨傷をNiめっきで平坦化するとき従来経験的に用いられてきた添加剤である。クマリンに関する研究はKluglikov, Dukovic, Landoltらによってなされている。Kluglikov¹⁰⁾らは、回転円板電極を用いた分極測定からクマリンはNi析出抑制効果がある拡散律速性になりやすい添加剤であることを報告した。Dukovic¹¹⁾らは、添加剤が拡散律速になった場合の挙動について移動境界法による数値解析を行い、ストレートウォール型バンプの成長シミュレーションを行った。その結果、添加剤のNi析出抑制作用とレジスト側壁角度により凹または凸型Niバンプができると報告している。Landolt¹²⁾らはクマリン添加剤を用いた研磨傷の平坦化について、数値解析と実験結果との比較から検討している。Kardos¹³⁾らは分極測定と溝へのめっきを行い、添加剤の働きについて検討した。Thomas¹⁴⁾は濃度勾配、拡散層、添加剤と金属イオンの拡散速度の違いなどを検討し、平坦化のメカニズムについて説明した。また、逢坂¹⁵⁾らはプロパギルアルコールを使用して、高アスペクト比の電析Niマイクロプローブの作製を検討している。

本研究では、微細化接続、バーンイン試験に対応するた

め、中央が盛り上がった凸型形状Niバンプの作製を検討した。添加剤としてクマリンを用い、レジスト側壁角度やレジスト構造を変化させることにより、凸型Niバンプの作製を検討した。また、分極測定やレジスト構造を変化させたバンプ作製実験から、形状制御機構についても検討した。

2. 実験および測定方法

電解液は、硫酸ニッケル七水和物（和光純薬）300g/Lと塩化ナトリウム（和光純薬）15g/Lとホウ酸30g/Lとイオン交換水とにより調製した。これに添加剤としてクマリン（和光純薬）を0, 0.2g/L添加して電解液とした（Table 1）。フォトレジストには、1層の場合にはPLA-900（東京応化製）を、2層の場合にはPLA-900とTHB 430N（JSR）とを組み合わせたものを使用した。銅箔上にリソグラフィパターンを形成し、その銅箔を回転円板電極に設置した。バンプは銅箔上のパターンに定電流電解により作製した。電極回転速度100r.p.m., 電流密度10mA/cm²とし、60C/cm²析出させた。作製したバンプは、SEMにより1.05rad試料ステージを傾斜させ観察した。

電流電位曲線をカソード分極により測定した。参照電極には3.33MKCl-AgClを用いた。めっき浴と添加剤はバンプ作製に用いたものを使用した。定電流電解を行い5分後の電位を読み取った。

3. 結果と考察

3.1 分極測定結果

Fig. 1 は添加剤クマリンの添加量と回転円板電極の回転

数とを変化させて行った分極測定結果である。横軸が電極電位であり、縦軸が電流密度である。添加剤濃度は0および0.2g/Lとし、回転円板電極の回転数は0, 10, 50, 100r.p.m.と変化させた。クマリンを添加することで分極が大きくなり、曲線は右にシフトした。このことから添加剤クマリンにNi析出抑制効果があることがわかる。また、添加剤を加えていない0g/Lでは分極の大きさが回転円板電極の回転数に依存しなかったが、添加剤を加えた0.2g/Lでは、分極が回転円板電極の回転数に依存し回転数の増加により大きくなった。このことから、この実験条件では添加剤クマリンは拡散律速性になっていると推定される。

3.2 レジスト側壁角度を変化させたバンプの作製

Fig. 2 は、レジスト側壁角度を変化させて作製したストレートウォール型バンプのSEM断面観察結果である。作製条件はレジスト膜厚20μm, カソード径100μm, 電流密度10mA/cm², 電気量は60C/cm², 添加剤濃度は0.2g/Lである。aはレジスト側壁角度が垂直の場合、bはレジスト側壁角度が正の開口パターンの場合である。レジスト側壁角度が垂直(a)の場合では添加剤を加えても平坦な形状であった。レジスト側壁角度が正(b, 開口形状)の場合では、バンプ形状は丸みを持った。Dukovic¹¹⁾らは、析出抑制効果を持つ拡散律速性の添加剤（クマリン等）をバンプ作製に使用すると、中央が顕著に盛り上がった凸型形状のストレートウォールバンプが形成されることを数値解析シミュレーションにより予想している。しかしながらわれわれの実験では、バンプ中央は盛り上がらなかった。そこで、この厚膜レジストに薄膜レジストを設置し、レジスト構造を2層にすることで凸型形状のバンプの作製を検討した。

Table 1. Electroplating bath composition

NiSO ₄ ·7H ₂ O	300g/L
NaCl	15g/L
H ₃ BO ₃	30g/L
pH	5.5
Coumarin	0, 0.2g/L

Fig.2 Effect of resist sidewall angle on bump shapes

Fig.1 Current-potential curves for different rotation speeds of R.D.E.

3.3 2層レジスト

レジスト側壁角度を変化させる実験の中で、カソード端部にレジスト残渣が残ると凸型形状バンプが作製されることを発見した。そこで、この残渣の影響を積極的に活かすためにレジストを2層にすることを検討した。Fig.3は2層レジストパターンの模式図である。以後、上の厚膜レジストを上層レジスト、下の薄膜レジストを下層レジストと呼ぶ。

3.3.1 下層レジスト径の影響

Fig.4は、2層レジストパターンに作製したバンプのSEM観察結果である。使用した2層レジストパターンは上層径100 μm 、上層膜厚20 μm であり、それに下層レジストとして膜厚1 μm のレジストを設置した。下層径は60, 40, 20 μm と変化させた。aは下層径60 μm 、bは下層径40 μm 、cは下層径20 μm である。作製条件は電流密度10mA/cm²、電気量60C/cm²、添加剤濃度0.2g/Lである。aの下層径60 μm では、レジスト側壁角度を正（開口形状）にして行った実験結果（Fig.2-a）よりも著しく中央の盛り上がりが大きくなった。cでも中央の盛り上がった凸型バンプを作製することができた。なお、dのクマリン無添加の場合には、本2層レジストパターンを用いても著しい中央の盛り上がりは観察されなかった。さらに盛り上がりを大きくするために上層径を小さくした。

3.3.2 上層レジスト径の影響

Fig.5は、上層径を100 μm から40 μm へと小さくして作製したバンプのSEM観察結果である。Fig.6はその断面観察結果である。作製条件は上層膜厚20 μm 、上層径40 μm 、下層膜厚1 μm 、下層径20 μm 、電流密度10mA/cm²、電気量60C/cm²、添加剤濃度0.2g/Lである。

上層径を小さくすることでさらに中央の盛り上がった形状のバンプを作製することができた。作製されたバンプは、

Fig.3 Schematic illustration of two layers resist structure

Fig.4 Bumps electrodeposited onto different lower resist diameters with two layers resist structure. Upper resist diameter is 100 μm

バンプ径が約20 μm でバンプ高さが約12 μm であり、アスペクト比が約0.6であった（Fig.6）。

3.4 形状制御機構

Fig.7はクマリンの外部拡散の様子を表した模式図である。カソード上でNiが析出するとクマリンもカソード上で消費される。一方レジスト上面ではクマリンは消費されない。またクマリンは拡散律速になっていると考えられる（Fig.1）。そのため高クマリン濃度のレジスト上面から低濃度のカソード上にクマリンが拡散する。クマリンの拡散を伴うカソード端部では中央部分に比べクマリンの供給が多くなる。これを外部周辺拡散と言う。この外部周辺拡散の影響によりカソード端部ではめっき成長が強く抑制される。しかしながら中央部では抑制されず、凸型形状バンプが形成されたと考えられる。

4. 結 言

バンプは高密度接続が可能な突起状のマイクロコネクタである。今後さらに高密度化していく半導体素子の接続では、接続時に横方向への変形の少ない中央が盛り上がった形状のバンプが求められている。本研究では、拡散律速性になりやすく、Ni析出抑制効果のある添加剤クマリンを用い、レジストの構造を変化させることにより、凸型形状Niバンプの作製を検討した。結論を以下に示す。

Fig.5 Bump electrodeposited onto smaller upper resist diameter with two layers resist structure. Upper resist diameter is 40 μm and lower resist diameter is 20 μm

Fig.6 Bump electrodeposited onto smaller upper resist diameter with two layers resist structure. Upper resist diameter is 40 μm and lower resist diameter is 20 μm

Fig.7 Schematic illustration of outer surroundings diffusion of additive

- 1) 分極測定より，添加剤濃度が増加すると分極が大きくなった。添加剤にはNi析出抑制効果がある。また，添加剤を加えると電極回転速度の増加に伴い分極が大きくなった。添加剤クマリンはNi析出抑制効果を有し，この条件では拡散律速性になっていると推定される。
- 2) 2層レジストを用いて凸型形状バンプの作製を検討した。下層径60 μm を40，20 μm と小さくするにつれて中央の盛り上がりが大きくなった。また上層径を40 μm と小さくしてバンプ作製を行った。バンプ径は約20 μm でバンプ高さが約12 μm であり，アスペクト比が0.6であった。

(2001.5.10-受理)

記号表

i : 電流密度 [mA/cm^2]

E : 電極電位 [mV]

文 献

- 1) R.R.Tummala and E.J.Rymaszewski : "Microelectronics Packaging Handbook", Van Norstrand Reinholt, pp.30-42, 1988
- 2) 畑田賢造 : "TAB技術入門", 工業調査会, p.73, 1990
- 3) K.Kondo, T.Miyazaki and Y.Tamura : "Shape Formation of Electrodeposited Gold Bumps", Journal of Electrochem. Soc., Vol.141, p.1644, 1994
- 4) K.Kondo, T.Miyazaki and Y.Tamura : "Shape Formation of Electrodeposited Gold Bumps", Proceeding of 183rd Meeting of Electrochemical Society, Honolulu, May, p.58, 1993
- 5) K.Kondo, K.Fukui, K.Uno and K.Shinohara : "Shape Evolution of Electrodeposited Copper Bumps", Journal of Electrochem. Soc., Vol.143, p.1880, 1996
- 6) K.Kondo, K.Fukui, M.Yokoyama and K.Shinohara : "Shape Evolution of Electrodeposited Copper Bumps with High Peclet Numbers", Journal of Electrochem. Soc., Vol.144, p.466, 1997
- 7) K.Kondo and K.Fukui : "Current Evolution of Electrodeposited Copper Bumps with Photoresist Angle", Journal of Electrochem.Soc., Vol.145, p.840, 1998
- 8) K.Kondo, Z.Tanaka and T.Monden : "Shape Evolution of Electrodeposited Bumps with Additive", Electrochimica Acta, Vol.1, p.2530, 1999
- 9) 近藤和夫, 田中善之助, 江口宗博, 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, Vol.3, p.303, 2000
- 10) S.S.Kruglikov, N.T.Kudriavtsev, G.F.Vorobiova and A.Y. Antonov : "On the Mechanism of Leveling by Addition Agents in Electrodeposition of Metal", Electrochimica Acta., Vol.10, pp.253-261, 1965
- 11) J.O.Dukovic : "Feature-Scale Simulation of Resist-Patterned Electrodeposition", Journal of IBM Research and Development, Vol.37, pp.125-141, 1993
- 12) C.Madore and D.Landolt : "Blocking Inhibitors in Cathodic Leveling", Journal of Electrochem. Soc., Vol.143, p.3936, 1996
- 13) O.Kardos : "Current Distribution on Microprofiles Part I", Plating February, p.129, 1974
- 14) J.D.Thomas : "Leveling, Definition, Measurement and Understanding", Proc. Amer. Electropl. Soc. Vol.43, p.60, 1956
- 15) 逢坂哲彌 : "高アスペクト比を有する電析Niマイクロプロープの試作", 表面技術, Vol.52, No.1, p.130, 2001