めっき浴中でのノッキングによるプリント配線板上無電解 Au/Pd/Ni-P パッドへのワイヤボンディング強度向上

荒川 富行,^a 渡辺 宣朗,^a 渡邊 英司,^b 小岩 一郎^{a,b,*}

^a 関東学院大学工学総合研究所 (〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1)

^b 関東学院大学理工学部 (〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1)

Improvement of Wire Bond Strength to Electroless Au/Pd/Ni-P Plating Pads on Printed Wiring Boards by Knocking in Plating Bath

Tomiyuki ARAKAWA,^a Nobuaki WATANABE,^a Eiji WATANABE,^b and Ichiro KOIWA^{a,b,*}

^a Institute of Science and Technology, Kanto Gakuin University,
1-50-1 Mutuurahigasi, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8501, Japan

^b Faculty of Engineering, Kanto Gakuin University,
1-50-1 Mutuurahigasi, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8501, Japan

* Corresponding author: koiwa@kanto-gakuin.ac.jp

ABSTRACT

Au wire bond strength on Cu interconnects printed wiring boards was investigated for electroless Au/Pd/Ni-P pads plating prepared with knocking substrates in plating baths. A scanning electron microscope revealed that the surface of Ni-P plating formed with knocking was smoother than that of Ni-P plating formed without knocking. Furthermore, X-ray photoelectron spectroscopy indicated that no a Ni peak was recognized on Au/Pd/Ni-P plating formed with knocking, while a Ni peak was observed on ones formed without knocking. The wire bond strength to Au/Pd/Ni-P plating pads formed with knocking was larger than that to ones formed without knocking. These findings are due to removing hydrogen from a Ni-P surface by knocking substrates during formation of Ni-P plating.

© The Electrochemical Society of Japan, All rights reserved.

Keywords : Electroless Plating, Au/Pd/Ni-P Pad, Wire Bonding, Printed Wiring Board

1. 緒 言

電子機器の小型・高機能化に伴い、組み込まれているプリント配線板も小型・高密度化が促進されている。それと同時に、これらのプリント配線板においては、高信頼性と低コスト化が要求される。一般に、プリント配線板上の Cu 配線と半導体チップとは、ワイヤボンディングや Ball Grid Array (集積回路とプリント配線板を接続する半球状の電極) 等によって接続されている。小型化・高密度化の中で、ワイヤボンディング強度の信頼性を確保するために、Au/Pd/Ni-P めっき多層膜が研究されてきた¹⁻⁶。Ni-P めっきを成膜した後に、Pd めっきを拡散防止層として形成し、その後 Au めっきを形成している。Pd めっきを Ni-P めっきと Au めっきの間に挿入することにより、下地の Ni-P めっきの局部腐食が低減される。そのため、Pd めっきの挿入は、ワイヤボンディング強度やんだ接合強度の向上に有効である。

ところで、Ni-P めっき膜を形成する際に、還元剤として次亜リン酸塩を用いた場合には、無電解 Ni-P めっき浴中において還元剤である次亜リン酸塩の酸化により水素が発生する。この水素が膜の表面に付着し、その後のめっきを阻害しめっきの膜質劣化を招くことが知られている。また、Ni の析出と同時に、Ni イオン、次亜リン酸イオンが減少し、水素イオンが発生する。反応の進行とともに水素イオンの発生に起因し pH 値が低下したり^{7,8}、

活性化水素がリンを還元し Ni の中に混入させたりする。このような現象を回避するため、最近、水素を除去する方法として泡沫による方法が提案された^{9,10}。

本稿では、Ni-P めっき浴の中で基板を垂直方向にノッキングすることにより、プリント配線板上の Au/Pd/Ni-P めっきパッドへのワイヤボンディング強度を改善できることを見出したので報告する。

2. 実 験

Au/Pd/Ni-P めっき多層膜の基板として、ガラス繊維強化エポキシ基板上に Cu 配線及びソルダーレジスト (はんだ付けが不要な部分にはんだが付かないようにプリント配線板上に形成した耐熱性レジスト) を形成したテストパターンから成るプリント配線板を用いた。プリント配線板の Cu 配線に無電解 Ni-P めっきを施した後、無電解 Pd めっきおよび置換型無電解 Au めっきを施した。

Au/Pd/Ni-P めっき多層膜は、次のプロセスにより形成した。プリント配線板を、12% の塩酸により 40℃ で 4 分間浸漬した後、10% の硫酸により活性化し、純水でリンスした後、0.1 g/dm³ の塩化パラジウム (濃塩酸 10 ml/dm³ を含む) により活性化し、その後、金めっきの下地に用いる次亜リン酸塩を含む中リン浴 (リン含有量 8–10 wt%) の無電解 Ni-P めっき浴を用い、温度 80℃ で無電解 Ni-P めっきを、続いて温度 45℃ で無電解 Pd めっきを

Figure 1. Schematic diagram of knocking motion. The substrate holder slides periodically up and down, in addition, is given an impact at down position by a cam. The motion is similar to “a pestle of water mill”, but the substrate does not touch the wall of a beaker.

形成し、最後に温度 70°C で置換型 Au めっきを形成した。めっき膜形成時にめっき浴中で基板を、30 回/分、垂直方向にストローク 30 mm でノッキングし、ノッキングしない場合と比較した。ノッキングは、単純な攪拌とは異なり、Fig. 1 に示すように上下方向の攪拌に衝撃を加えることにより、めっき膜表面に付着した水素離脱の促進が期待される。本実験では、ノッキングを行った場合及び行わない場合共に、めっき浴の液攪拌も併用した。Au、Pd 及び Ni-P めっきの膜厚は、それぞれ、約 0.1 μm 、0.1 μm 及び 6 μm とした。次に、温度 175°C で 16 時間アニールした後、ワイヤボンディングの試験を行った。

プリント配線板上の Cu 配線上に形成した Au および Pd、Ni めっき膜の膜厚を、蛍光 X 線膜厚計により Fundamental Parameter 法を用いて、任意の 15 箇所を測定した。Au/Pd/Ni めっき膜の表面モフォロジは、走査電子顕微鏡（キーエンス社 VE-8800）により観察した。また、X 線光電子分光法（XPS；Kratos 社 Analytical AXIS ULTRA DLD）により、Au/Pd/Ni-P めっき膜の表面組成を調べた。

ワイヤボンディング強度を調べるために、プリント配線板 Cu 配線上の Au/Pd/Ni-P パッドをワイヤボンディングした試料を 45 個用意した。ワイヤボンディングは、超音波加熱方式（超音波工業社：USW-SZ-60 型）により、直径 25 μm の Au ワイヤを用いて加圧力 70 gf、温度 160°C で行った。ワイヤボンディング強度は、Fig. 2 に示す方法により評価した。ワイヤボンディングした Au ワイヤの中央部を引上げ、剥離または断線する位置を観察

Figure 2. Measurement method of wire bond strength. Au wires bonded at “1st” at first (ball bonding) and “2nd” next (stitch bonding) were pulled up in the middle of ones. A–E indicate broken position, A: ball, B: neck of ball, C: bonding wire, D: neck of stitch, E: stitch.

Table 1. Average thickness and standard deviation (σ) for 15 points of electroless Ni-P, Pd, and Au plating with and without knocking.

Films (μm)	Ni-P		Pd		Au	
	Thickness	σ	Thickness	σ	Thickness	σ
with knocking	5.70	0.18	0.11	0.03	0.10	0.04
w/o knocking	6.30	0.44	0.11	0.02	0.19	0.12

した。Figure 2 の C が切断されれば、最も大きい密着強度となり、A (ball) あるいは E (stitch) が剥離すれば最も弱い密着強度となる。

3. 結果と考察

Table 1 に、めっき浴中における基板ノッキングの有無に対する Ni-P、Pd 及び Au の平均膜厚および膜厚の標準偏差 (σ) を示す。Ni-P めっき形成においてめっき浴中で基板をノッキングすることにより、 σ が 0.44 μm から 0.18 μm へ顕著に抑制されている。一方、Pd 膜及び Au 膜においては、めっき浴中ノッキングの有無による膜厚バラツキの有意な差異は認められない。これは、Pd 膜及び Au 膜の膜厚が約 0.1 μm と Ni-P 膜の約 6 μm に比べ薄いためである。Au 膜のばらつきには、局所的な Ni の吹き上がりおよび腐食の発生が影響している。また、Ni-P においてノッキングがある場合の膜厚が、ノッキングがない場合より小さいのは、過剰な攪拌は液流速を増加させ、添加剤等の供給が過剰となり、めっき未着を引起す¹¹ためである。

めっき浴中で基板をノッキングしない場合とノッキングした場合の Ni-P 膜の表面モフォロジを、それぞれ、Fig. 3(a) 及び (b) に示す。めっき浴中で基板をノッキングすることにより、膜表面が滑らかになることが分かる。めっき浴中で基板をノッキングすることにより、成膜中に発生する水素の Ni-P 膜表面への付着が低減される。水素付着を抑制することにより反応が膜表面で均一に進行する。これにより膜の局所的な膨れが発生しにくくなり、膜表面が滑らかになる。ノッキングが無い場合は、水素ガスがめっき面に吸着した箇所と吸着していない箇所が

Figure 3. Surface morphologies of Ni-P platings. Small white fragments which were caused by preparing SEM samples were also observed. (a) without knocking, (b) with knocking.

Figure 4. (a) XPS spectrum from Au/Pd/Ni-P platings without knocking. The narrow scan spectrum around Ni peak is inserted. Ni peak is observed. (b) XPS spectrum from Au/Pd/Ni-P platings with knocking.

存在し、吸着した箇所では、後続のめっきが進行しなくなる。一方吸着していない箇所ではめっきが進行し、凹凸形状の析出が形成されると考えられる。Pd及びAu膜の表面モフォロジは、めっき浴中における基板ノッキングの有無による顕著な差異は観察されなかった。Pd及びAu膜の膜厚がNi-P膜より薄いことが要因である。

Figure 4(a)及び(b)に、XPSにより測定したAu/Pd/Ni-Pめっき膜表面のX線光電子スペクトルを示す。Ni-P膜を形成するときにNi-Pめっき浴中で基板をノッキングした場合には、Au、及びPdのピークが観察される。一方、Ni-Pめっき浴中で基板をノッキングしなかった場合には、Au及びPdの他にNiのピークが観察される。これらの結果は、Ni-Pめっき浴中で基板をノッキングした場合には、

Figure 5. (a) Wire bond strength for various broken positions on Au/Pd/Ni-P pads without knocking. A-E indicate broken position in Fig. 2. (b) Wire bond strength for various broken positions on Au/Pd/Ni-P pads with knocking. A-E indicates broken position in Fig. 2.

Au表面へのNi-Pの吹き上がりが抑制されることを示している。しかし、Ni-Pめっき浴中で基板をノッキングしなかった場合には、Niのピークが検出され、Au表面へのNi-Pの吹き上がりが生じている。置換型Auめっきの形成は、Au、PdおよびNiの電位差の関係から生じる。Ni-Pめっき上のPdめっきが、Pdめっき中の水素付着等が要因で均一でない場合、Au表面にNiが吹き上がる可能性がある。Au表面にNiが吹き上がると、Niが酸化して酸化ニッケルが金表面に形成される。Ni-P上の均一なPdめっきはこのような現象を低減する効果がある。しかし、Pdめっき中のノッキングについては、Pdめっき表面モフォロジ、膜厚ばらつき等に対する顕著な効果は観察されなかった。一方、Ni-Pめっき中のノッキング無しの場合には、Fig. 3(a)に示した大きな凹凸の表面モフォロジの影響を受け、Niがより吹き上がりやすくなると考えられる。

めっき浴中における基板ノッキングの有無に対するワイヤボンディング引張り強度試験の結果をFig. 5(a)及び(b)に示す。Aモードによる破壊は、めっき浴中の基板ノッキングの有無にかかわらず観察されなかった。Au/Pd/Ni-P上のワイヤボンディング強度として5–6 gfの報告がある²。本実験のワイヤボンディング強度は、報告値と比べEモードがやや低いもの同レベルである。Figure 6に、ワイヤ引張り強度試験結果の破壊モード割合を示す。Ni-Pめっき形成時にめっき浴中で基板をノッキングすることにより、Eモードの割合が減少し、ワイヤボンディングの密着強度が改善されることが分かる。一方、Ni-Pめっき形成時にめっき浴中で基板をノッキングしない場

Figure 6. Frequency of wire bond broken position for Au/Pd/Ni-P pads with/without knocking. A–E indicates broken position in Fig. 2.

合には、Eモードの割合が大きく、ワイヤボンディングの密着強度が小さいことを表す。

これらの結果は、めっきにより Au/Pd/Ni-P パッドを作成する際に、Ni-P めっき浴中で基板をノッキングすることによって、Au ワイヤボンディングの密着強度が向上したことを示している。Ni-P めっきの形成において、次亜リン酸塩の還元作用により原子状水素が発生し、それらが結合して水素ガスとなる。その水素ガスがめっき面に吸着することにより、後続のめっきの進行を妨げる。めっき浴の攪拌などではこの吸着水素の除去は容易ではないが、衝撃をとまなうノッキングでは水素の離脱を促進することができると考えられる。それにより、ノッキングは膜表面にむらなく後続のめっきを進行させる。ノッキングが無い場合には、水素ガスがめっき面に吸着した箇所と吸着していない箇所が存在し、吸着した箇所では、後続のめっきが妨げられる。一方吸着していない箇所では、めっきが進行し凸形状の析出が形成される。そのため、ノッキングした場合には、Ni-P めっき表面の凹凸が抑制され、Ni-P 膜表面がノッキングしない場合に比較して滑らかになる。また、Ni-P の Au 表面上への吹き上がりも抑制される。その結果、

ノッキングした場合には、ワイヤボンドの密着力強度が改善されると考えられる。

4. 結 論

プリント配線板上、無電解めっきにより Au/Pd/Ni-P パッドを作成する際に、Ni-P めっき浴中で基板を垂直方向にノッキングすることにより、Au ワイヤボンディングの密着強度が向上する。Ni-P めっき浴で基板をノッキングすることにより、Ni-P めっきの表面モフォロジが、ノッキングしない場合に比較して滑らかになる。また、Ni の Au 表面上への吹き上がりが抑制される。これらは、Ni-P めっき浴中で基板をノッキングすることにより、水素の吸着が低減されるためと考えられる。その結果、無電解 Au/Pd/Ni-P めっきパッドへのワイヤボンディング強度が改善される。

文 献

1. K. Hasegawa, A. Takahashi, T. Noudou, and A. Nakaso, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **57**, 616 (2006). [in Japanese]
2. Y. Saito, H. Terashima, T. Muramatsu, H. Watanabe, I. Koiwa, and H. Honma, *Trans. Jpn. Inst. Electron. Packag.*, **11**, 53 (2008).
3. I. Kato, T. Kato, H. Terashima, H. Watanabe, and H. Honma, *Trans. Jpn. Inst. Electron. Packag.*, **3**, 78 (2010).
4. Y. Ejiri, T. Sakurai, Y. Arayama, Y. Tsubomatsu, S. Hatakeyama, S. Arike, Y. Hiroshima, and K. Hasegawa, *IEEE Components Packaging, and Manufacturing Technology (CPMT) Symposium*, Japan, p. 1 (2010).
5. T. Tsuchida, T. Okubo, T. Kano, and I. Shohji, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **63**, 233 (2012).
6. T. T. Anh, V. Mathew, S. K. Wen, and K. Y. Yow, *Electronics Packaging Technology Conference IEEE 14th*, Singapore, p. 364 (2012).
7. G. O. Mallory, *Electroless Plating Fundamentals & Applications* (Eds. G. O. Mallory and J. B. Hajdu), American Electroplating and Surface Finishers Society, Inc., Chapter 1, p. 1 (1990).
8. M. Saito, H. Honma, T. Yamashita, and I. Koiwa, *Nyumon Shinmekkigijutu*, Kogyocynosakai, p. 196 (2008). [in Japanese]
9. Y. Yamada, Y. Fujisawa, T. Sugawara, T. Furuhashi, S. Ichihara, and H. Usui, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **63**, 266 (2012). [in Japanese]
10. Y. Yamada, T. Sugawara, T. Furuhashi, S. Ichihara, and H. Usui, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **63**, 269 (2012). [in Japanese]
11. T. Tsuchida, T. Okubo, T. Kano, and I. Shohji, *J. Surf. Finish. Soc. Jpn.*, **63**, 233 (2012). [in Japanese]