



전기도금된 Cu-Sn과 Ni preplated frame의 특성 비교

이대훈^{a,b}, 장태석^{a*}, 홍순성^b, 이지원^b, 양형우^b, 한병근^b

^a선문대학교, 전자재료공학과, ^b(주)아큐텍반도체기술, R&D team

Comparison of the Characteristics of Cu-Sn and Ni Pre-Plated Frames Prepared by Electro-Plating

D. H. Lee^{a,b}, T. S. Jang^{a*}, S. S. Hong^b, J. W. Lee^b, H. W. Yang^b, B. K. Hahn^b

^aDept. of Electronic Materials Eng., Sunmoon Univ.

^bR&D Team, Acqutek Semiconductor and Technology Co., Ltd.

(Received November 10 2006 ; accepted December 14 2006)

Abstract

In order to improve the performance of PPFs (Pre-Plated Frames), a PPF that employed a Cu-Sn alloy instead of conventionally used Ni was developed and then its properties were investigated. It was found that the electroplated Cu-Sn alloy layer was a mixture of uniformly distributed fine crystallites, resulting in better wettability and crack resistance than those of Ni PPF. Moreover, as in Cu/Ni/Pd/Au PPF, migration of copper atoms from the base metal to the top of the Cu/Cu-Sn/Pd/Au PPF surface was not found although the Cu-Sn layer itself contained considerable amount of copper. It was expected that, by using the newly developed Cu-Sn PPF, any possible heat generation and signal interrupt caused by an external electro-magnetic field could be reduced because the Cu-Sn layer was paramagnetic, i.e., nonmagnetic.

Keywords : PPF, Leadframe, Cu-Sn alloy, Electro-plating

1. 서 론

Leadframe은 반도체 칩을 탑재하여 칩을 지지해 줌은 물론 열방출과 인쇄회로기판(PCB)과의 전기 회로 연결을 통하여 각종 전자부품 및 IC 부품의 칩들이 제 기능을 발휘할 수 있도록 해주는 중요한 요소 부품이다. 이러한 leadframe의 소재로는 열과 전기 전도성이 좋고 가공이 쉬우며 경제적인 Cu 합금들이 주로 사용되며, stamping법 또는 etching법에 의해 제조된다. 이와 같은 leadframe 표면의 산화를 방지하고 PCB와의 solderability를 향상시키기 위하여, 지금까지는 대부분 packaging 공정에서 leadframe pad에 chip을 부착하고 wire bonding 및 EMC molding을 한 후 회로 역할을 할 external lead에 가장 대표적인 용접재료인 Pb-Sn을 도금하

여 사용하여 왔다. 그러나 Pb에 의한 환경오염과 인체 유해성이 심각하게 대두되면서 선진국들을 필두로 세계 각국에서 이의 사용을 매우 엄격하게 규제하고 있다. 이에 따라 Pb를 대체할 Sn-Cu, Sn-Ag-Cu, Sn-Zn-Bi, Sn-Ag-In-Bi 등 다양한 솔더 재료들이 개발되고 일부 사용되어 왔다. 그러나 가장 효율적인 대체 방법은 leadframe의 external lead 부분까지 미리 Pb-free plating한 PPF(Pre-Plated Frame)를 개발하여 사용하는 것으로, 현재까지는 Cu 기지층에 Ni 층을 도금하고 그 위에 Pd 혹은 Pd 합금을 도금 적층한 Cu/Ni/Pd계 PPF가 주류를 이루고 있다. 이와 같은 PPF를 사용하면 Pb를 사용하지 않음으로써 환경문제를 해결함은 물론, packaging 공정에서 도금 라인과 이에 필요한 공간이 제거됨에 따라 공정의 단순화, 생산시간의 단축, 생산비용의 절감, 수율의 향상 등이 가능하게 되어 최종 IC 부품의 생산성을 대폭 향상시킬 수 있다¹⁻⁴⁾. 그러나

*Corresponding author. E-mail : tsjang@sunmoon.ac.kr

각종 전자부품 및 이동통신부품의 발달에 따라 leadframe도 점점 극소화하면서 그 pitch 간격이 더욱 축소되고 있고³⁾, 고대역의 무선주파수대에서 IC 부품 사용 범위도 점점 증가하고 있는 점을 고려할 때, Ni을 barrier 층으로 사용한 PPF에서는 강자성체인 Ni에 의해 eddy current가 형성되면서 열이 발생하고, 자기 변형 및 자기장 발생에 의해 인접회로에 영향을 미칠 가능성이 매우 크다. 그러므로 Ni을 보다 친환경적이고 비자성체인 물질로 대체하기 위한 연구개발이 이루어져야 할 필요가 있다. 본 논문에서는, 강자성 Ni층을 비자성 Cu-Sn 합금층으로 대체한 Cu/Cu-Sn/Pd/Au계 PPF를 개발한 후, 그 제반 특성들을 Ni PPF와 비교, 분석함으로써 Cu-Sn PPF의 실용화 가능성을 타진하였다.

2. 실험방법

Cu-Sn 합금을 적용한 Cu/Cu-Sn/Pd/Au 구조의 PPF를 전기도금법으로 제작하여 Ni을 사용한 Cu/Ni/Pd/Au 구조의 PPF와 비교분석하였다. 이때 PPF의 기지금속으로는 leadframe 제작시 일반적으로 사용되는 Cu 합금소재 중 하나인 EFTEC64T (Cu: 99.25 wt%) 합금을 사용하였다. Cu-Sn과 Ni 층은 기지금속 위에 각각 0.5 μm 내외의 두께로 도금하였으며, 그 위에 Pd와 Au 층을 각각 0.06 μm, 0.03 μm씩 적층하여 PPF 시편을 제작하였다. 제작된 시편들의 열적 안정성 조사를 위하여 wire-bonding (200°C/5분) 및 moisture resist test(260°C/ 40초간 3회 반복) 환경과 동일한 조건에서 열처리하였으며, 열처리 전후 시편에서의 변화를 조사하였다.

이와 같이 제작된 시편들의 상형성 및 상변화는 Cu Kα X선 회절 분석(Rigaku D-Max 2200)을 통해 조사하였으며, 미세구조 및 도금층 두께는 TEM (JEOL JEM-2000EX) 분석을 통하여 확인하였다. 또한 각 도금층간의 원자 확산 여부는 XPS(KRATOS Analytical, NOVA)를 이용하여 가속전압 4 kV의 ion beam으로 시편 표면에서부터 10 nm/min.씩 etching 하면서 정밀 조사하였다. 자기특성은 VSM (Lakeshore 7407)을 이용하여 10 kOe의 인가자장 하에서 측정하였다. 또한 wire pulling test(DAGE BT14)와 solderability test(Menisco ST50) 등을 통하여 Cu-Sn 합금을 사용한 PPF의 실제 적용성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 기지금속 위에 약 3~5 μm 두께로 도금된 Cu-Sn 합금의 X선 회절분석 결과를 나타낸 것

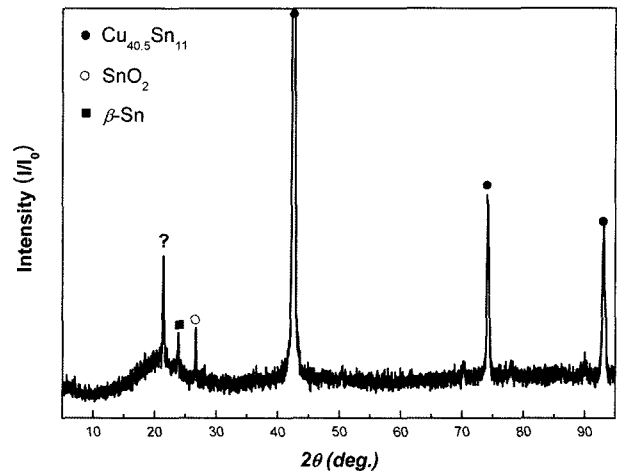


Fig. 1. X-ray (Cu Kα) diffraction pattern of the electroplated Cu-Sn alloy.

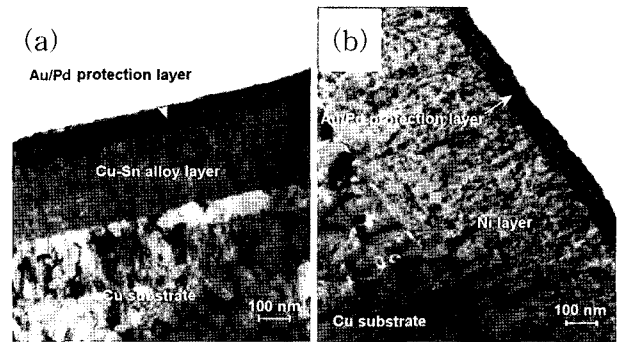


Fig. 2. TEM images of the (a) Cu-Sn pre-plated frame, (b) Ni pre-plated frame.

이다. 도금된 Cu-Sn 합금막은 결정질로 되어 있고, 여러 가지 상들이 동시에 형성되는 것을 알 수 있었다. 즉 Cu_{40.5}Sn₁₁(simple cubic)이 주요 상으로 존재하였으며, 소량의 β-Sn(orthorhombic)과 SnO₂(tetragonal) 산화물들이 공존하는 mixture 형태를 이루고 있었다.

그림 2는 PPF의 단면을 TEM으로 관찰한 결과를 나타낸 것이다. 그림 2(a)에 나타난 바와 같이, Cu-Sn 합금층은 상당히 균일하고 미세한 결정립들로 구성되어 있었으며, wetting 특성이 좋아 Au/Pd 보호층과는 물론 Cu 합금 기지와도 완벽하게 밀착되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 그림 2(b)에 보이는 것과 같이, Ni PPF에서의 Ni은 기지조직과의 wetting이 좋지 않아 Cu 합금 기지와 계면에서 흰색으로 나타나는 void가 종종 발견되었으며, 결정립들이 표면에 수직인 방향으로 배향하면서 조대한 columnar 조직을 이루고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 조직발달의 형태는 보호층인 Au/Pd 층에도 영향을 미쳐, 비록 Ni과 이들 보호층과의 밀착상태는 우수하였지만, 보호층의 표면

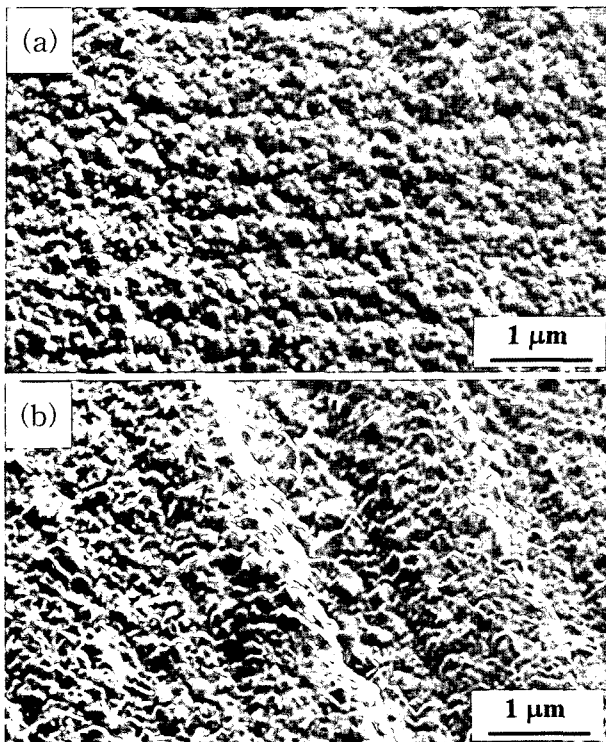


Fig. 3. Surface morphology of the (a) Cu-Sn pre-plated frame, (b) Ni pre-plated frame.

을 거칠게 하는 결과를 초래하였다(그림 3(b) 참조). 그림 3은 Cu-Sn PPF와 Ni PPF의 표면을 FESEM으로 관찰한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이, PPF의 표면, 즉 Au/Pd 보호막의 표면 형태도 그 두께가 100 nm 이하로 매우 얇고 하부층과의 밀착상태가 우수하여 Cu-Sn 합금층과 Ni 층에서의 결정성장 및 표면 형태에 의해 영향을 받는 것을 알 수

있었다. 그림 3(a)에 보이는 것처럼, Cu-Sn PPF의 표면은 균질하게 발달된 Cu-Sn 층의 영향으로 상당히 평평하고 균일한 반면, Ni PPF의 표면(그림 3b)은 columnar 형태로 발달한 Ni층의 영향으로 굴곡이 져 있는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 PPF에 굽힘 응력이 발생하였을 때, Cu-Sn 합금으로 이루어진 PPF가 구조적으로 더 안정할 것임을 예상할 수 있었다.

현재 선진국을 필두로 각국의 Pb 사용규제가 확대됨에 따라 Pb가 들어가지 않은 무연솔더에 대한 관심이 커지고 있다. 특히 2006년 7월부터 발효된 EU의 유해물질 관리 규정인 RoHS를 시작으로 하여 전자부품에서의 무연솔더 적용은 계속 늘어날 전망이다. 이에 따라 기존의 Sn-Pb 솔더 사용시 약 180°C였던 bonding 온도가 무연솔더 사용함에 따라 200°C 이상으로 크게 증가하였고, Sn-Sb 솔더 사용시에는 최대 240°C까지 bonding 온도가 증가할 것으로 예상된다. PPF는 이러한 무연솔더 사용에 대응하여 개발된 leadframe이므로, 본 연구에서 개발하고자 하는 Cu-Sn 합금 PPF 또한 이러한 온도 대역에서의 안정성이 확보되어야 한다. 따라서 200°C 이상의 온도에서 assembly 상황에 맞은 조건들을 설정한 후 열처리를 실시하여 열처리에 따른 특성 변화를 조사하였다.

그림 4는 Cu-Sn 합금 또는 Ni을 사용한 PPF의 열처리전, 200°C에서 5분간 열처리한 후, 그리고 260°C에서 40초씩 3회 반복하여 열처리한 후의 표면상태를 AFM을 이용하여 관찰한 결과를 나타낸 것이다. 그림 2와 3에서 예상된 바와 같이, 도금 직

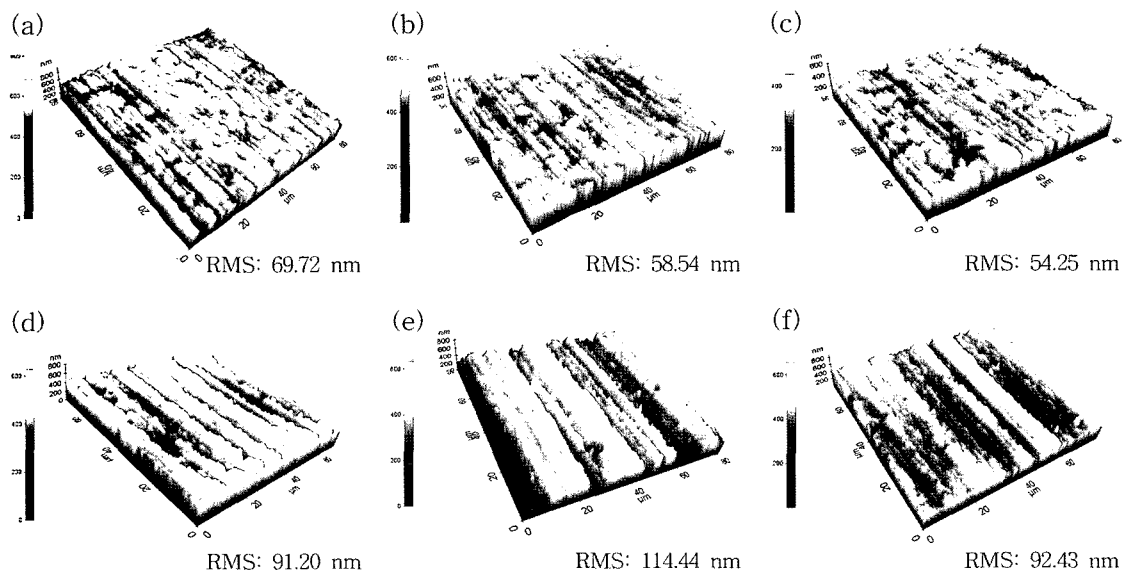


Fig. 4. AFM analyses of the Cu-Sn pre-plated frame (upper figures) and Ni pre-plated frame (lower figures): (a) & (d) As-plated, (b) & (e) annealed at 200°C for 5 min., (c) & (f) annealed three times at 260°C for 40 sec.

후, 즉 열처리 전의 표면 거칠기(RMS)는 Cu-Sn PPF가 69.72 nm, Ni PPF가 91.20 nm로 Cu-Sn 합금 표면이 덜 거친 것을 알 수 있었다. 열처리 후에는 Cu-Sn PPF의 경우, 각각 58.54 nm(그림 4b), 54.25 nm(그림 4c)로 거칠기가 감소하여 열처리에 따라 표면상태가 개선되는 경향을 나타내었다. 반면에 Ni PPF는 열처리 후 각각 114.44 nm(그림 4e)와 92.43 nm(그림 4f)의 표면 거칠기를 나타내, 열처리의 영향을 거의 받지 않거나 오히려 약간 증가하는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 차이는 200°C 정도의 온도구역에서 Cu-Sn 합금층 내부에서는 원자확산이 활발히 일어나 기존보다 더욱 균질한 조직으로 변화하는데 비해, Ni 층에서는 원자확산이 잘 일어나지 않기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 표면 거칠기의 크기 및 변화는 뒤에 언급할 PPF와 Au wire간의 bonding성에도 영향을 미친다. 일반적으로 소재의 bondability는 표면이 매끄럽고 연할수록, 결정립계 밀도가 작을수록 증가하는 경향을 나타낸다⁸⁾.

그림 5는 열처리에 따른 원자들의 확산 여부, 특히 Cu의 표면 확산 여부를 알아보기 위하여 열처

라 전후의 Cu-Sn PPF에 대하여 XPS 분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 이미 상용화되어 있는 Ni PPF에서 Ni 층은 용접층으로서의 역할 뿐만 아니라 Cu 기지합금으로부터 표면으로 Cu 원자가 확산되는 것을 방지하는 barrier 역할도 한다. 만약 PPF의 표면으로 Cu 원자가 확산되어 나타나면, 이들이 산소와 반응하여 CuO, Cu₂O와 같은 Cu 산화물을 형성하며, 이러한 Cu 산화물들은 assembly 과정 중 wire-bonding성을 현격히 감소시키는 주된 요인으로 작용한다⁴⁾. 특히 표면에 노출된 Cu 원자들이 황화물이나 염화물과 같은 부식물을 형성하면 산화물과는 달리 이들이 표면에서 자유롭게 이동하면서 creep corrosion을 유발하게 되어, 결과적으로 칩과 부품의 파손을 초래하게 된다^{6,7)}. 이와 같이, PPF에서 barrier 층은 Cu 기지층의 Cu 원자가 표면으로 확산되는 것을 방지하는 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 Cu-Sn 합금을 적용한 PPF에서의 Cu-Sn 층도 이와 같이 Cu 확산을 방지하는 barrier 층으로서의 역할을 충실히 수행하여야 하며, 이것은 이 PPF의 실용성을 좌우하는 결정적 요소이기도 하다. 특히 Cu-Sn 층에서는 Cu-Sn 합금을 이루는 Cu 원자

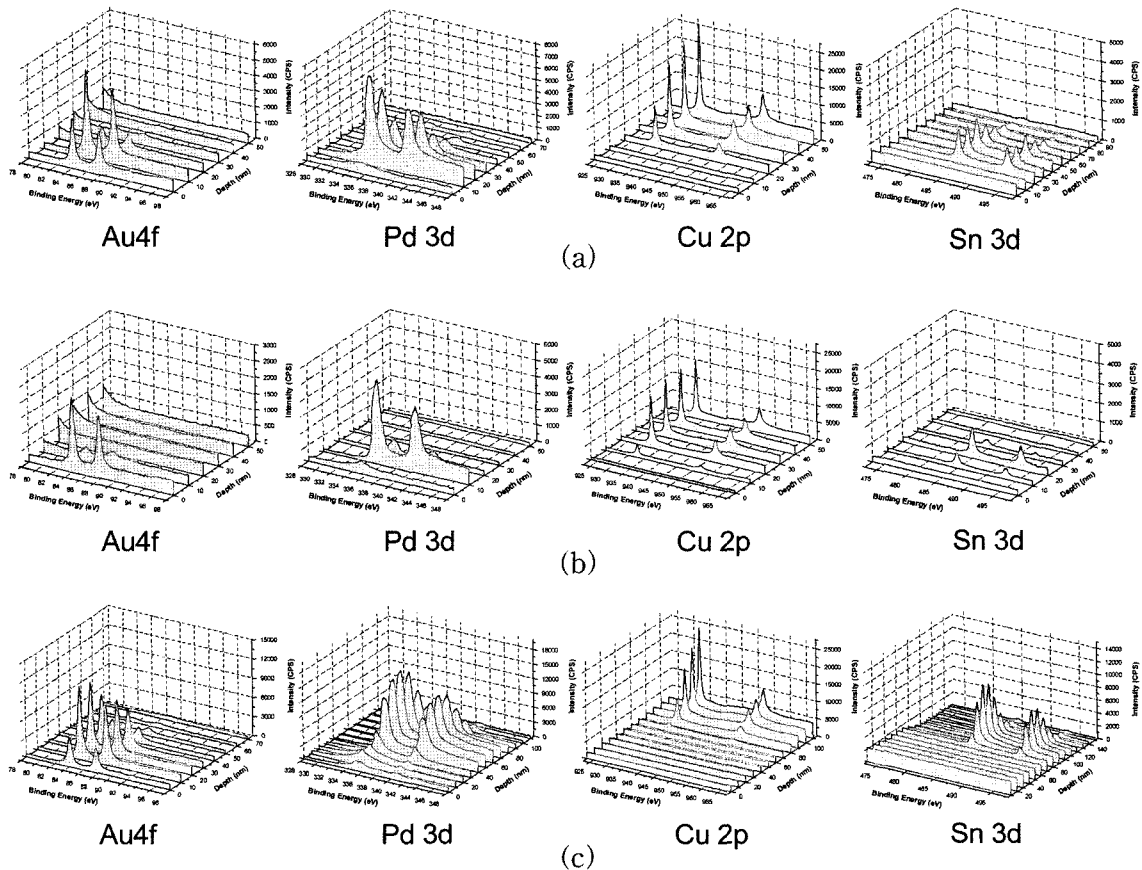


Fig. 5. XPS depth profiles of the Cu-Sn pre-plated frames: (a) As-plated, (b) annealed at 200°C for 5 min., (c) annealed three times at 260°C for 40 sec.

자체가 Au/Pd 보호층을 통과하여 표면으로 확산될 가능성이 크므로, Cu의 표면 확산 여부는 반드시 확인해 보아야 한다. 이와 같은 Cu 확산 여부; 나아가 PPF를 구성하는 원소들의 전체적인 확산 여부와 표면으로부터의 분포를 보다 정확하게 알아보기 위하여 XPS 분석을 실시한 결과, 그림 5(b)와 (c)에 나타난 것처럼, Cu-Sn PPF에서 열처리 후에도 표면에서는 물론, 비록 경우에 따라 약간의 차이는 있지만, 최소한 표면에서 10 nm 정도까지는 Cu가 발견되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 열처

리에 따라 Cu-Sn 합금층에서의 원자 확산이 상당히 활발할 것으로 예상됨에도 불구하고 이와 같은 결과를 얻은 것은 Cu-Sn PPF의 실용화 가능성을 열어주는 매우 고무적인 일이다. 다만, Cu-Sn PPF에서는 도금층의 두께 편차가 부위 및 도금 상황에 따라 다소 큰 것으로 나타나, 앞으로 이를 균일하게 유지하기 위한 대책이 요구된다.

그림 6은 Cu-Sn PPF와 Ni PPF의 자기이력곡선을 나타낸 것으로, Cu-Sn 또는 Ni 층에 따라 서로 크게 차이가 남을 알 수 있다. 즉, Ni PPF는 전형적인 강자성체의 이력곡선을 나타내고 있는 반면, Cu-Sn PPF는 전형적인 상자성체의 특성, 즉 비자성을 나타내고 있다. 이것은 반자성인 Cu의 특성과 상자성인 Sn의 특성 때문이며, 장차 Cu-Sn 합금을 적용한 PPF가 외부 자기장이나 고주파수 환경에서 자기적으로 반응을 일으키지 않을 것임을 시사한다. 즉 서두에 언급한 바와 같이, eddy current에 의한 열 발생이나 자기장 형성에 의한 신호 간섭 현상이 발생할 가능성이 적음을 말해주는 것이다.

표 1은 본 연구를 통하여 개발한 Cu-Sn PPF의 실제 적용성을 알아보기 위하여 Cu-Sn PPF와 Ni PPF에 대한 wire-bonding pull test와 solderability test 결과를 비교한 것이다. 표에 나타난 바와 같이, 두 PPF의 bondability와 solderability에 서로 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이러한 사실은 Cu-Sn PPF가 Ni PPF를 충분히 대체할 수 있음을 의미하는 것이다.

4. 결 론

Cu-Sn 합금층을 적용한 새로운 Cu/Cu-Sn/Pd/Au 계 PPF를 개발하여, 그 특성을 기존 Cu/Ni/Pd/Au 계 PPF와 비교, 분석하였다. Cu-Sn PPF에서 Cu-Sn 합금도금층은 균질하고 미세한 결정질로 이루어져 있었고, 기지층과의 밀착상태도 우수하였다. 그러나 Ni 도금층은 표면에 수직인 방향으로 결정들이 조

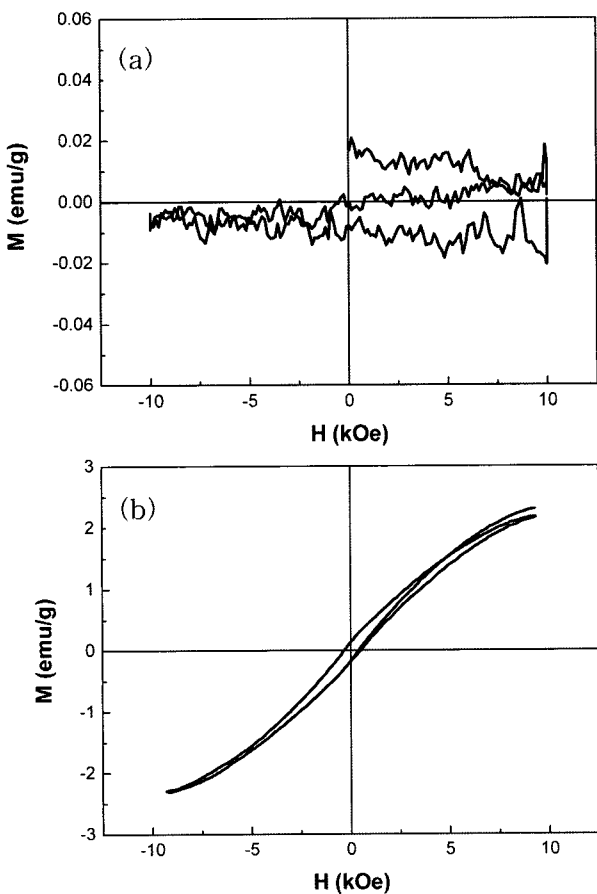
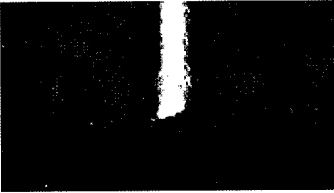
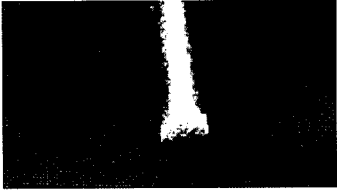


Fig. 6. Hysteresis loops of the (a) Cu-Sn pre-plated frame, (b) Ni pre-plated frame.

Table 1. Results of the field tests for the Cu-Sn and Ni pre-plated frame

	Cu-Sn alloy PPF	Ni PPF
Wire-bonding pull test (g)	7.33	7.41
Solderability test (%)	 99~100	 99~100

대하게 성장하면서 columnar 구조를 이루고 있었고, 기지층과의 밀착상태도 좋지 않아 계면에서 void가 종종 발견되었다. 이와 같은 구조적인 차이는 PPF의 표면 상태나 거칠기에도 차이를 가져왔으며, 궁극적으로 assembly 과정에서 Ni PPF에 더 많은 응력이 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 한편, Cu-Sn 도금층이, Ni 도금층과 같이, assembly 온도구역에서 Cu 기지층의 Cu가 PPF 표면으로 확산되는 것을 막아주는 역할 하는지를 XPS 분석을 통하여 알아본 결과, Cu-Sn 합금층 자체에 다량의 Cu가 함유되어 있음에도 불구하고, Ni PPF의 경우와 마찬가지로, assembly 온도구역에서 PPF의 표면으로 Cu가 확산되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Ni PPF가 강자성 거동을 나타내는 반면 Cu-Sn PPF는 비자성 거동을 보여 외부의 전, 자기장에 의한 열 발생이나 신호장애의 가능성이 훨씬 적을 것임을 예상할 수 있었고, Cu-Sn PPF의 bonding성이나 용접성은 Ni PPF와 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 이상과 같이, 미세조직, 표면 및 계면 상태, Cu 확산 방지 능력, 자기적 성질, 실장성 등의 특성과 생산가격, 환경문제 등을 고려했을 때, 기존 Ni PPF를 새로 개발한 Cu-Sn PPF로 충분히 대체할 수 있을 것으로 예상되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청이 시행하는 2005 산학연

컨소시엄 사업의 지원하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. F. Huang, J. Ma, H. Ning, Y. W. Cao, Z. Geng, *Mater. Lett.*, 57 (2003) 2135.
2. A. Chinda, H. Akino, R. Koizumi, *Hitachi Cable Review* No. 17 (1998) R9.
3. P. G. Kim, K. N. Tu, D. C. Abbott, *Appl. Phys. Lett.*, 71 (1997) 61.
4. P. Zhaoand, M. Pecht, *Microelect. Reliability*, 43 (2003) 775.
5. A. Visser, M. Buhler, *Mater. Proc. Technol.*, 115 (2001) 108.
6. L. R. Conrad, M. J. Pike-Bieganski, R. I. Freed, in: *Proc. 15th Annual Connectors and Interconnection Technology Symposium*, Fort Washington, PA, USA (1982) 401.
7. D. W. Williams, *IEEE Trans. Compon. Hybrids Manuf. Technol.*, 11 (1988) 36.
8. T. Y. Lin, K. L. Davison, W. S. Leong, Simon Chua, Y. F. Yao, J. S. Pan, J. W. Chai, K. C. Toh, W. C. Tjiu, *Microelectronics Reliability*, 43 (2003) 803.