

Flip Chip 접속을 위한 무전해 니켈 범프의 형성 및 특성 연구

전영두 · 임명진 · 백경욱
한국과학기술원 재료공학과

Fabrication and Characteristics of Electroless Ni Bump for Flip Chip Interconnection

Young Doo Jeon, Myung Jin Yim and Kyung Wook Paik

Department of Material Science and Technology, Korea Advanced Institute of Science and Technology

(1999년 4월 26일 받음, 1999년 9월 20일 최종수정본 받음)

초 록 무전해 니켈 도금을 이용하여 플립칩 공정에 응용하기 위한 범프와 UBM 층을 형성하고 특성을 조사하였다. 도금 전 zincate처리를 해석하고 도금 변수인 온도, pH 등에 따른 도금층의 특성 변화, 공정후의 열처리 효과들을 관찰하였다. 이를 통해 각 변수들이 도금층의 특성에 미치는 영향과 전자패키지 응용시 요구되는 무전해 니켈 도금 조건을 제시하였다. 도금후의 니켈은 P가 10 wt% 포함되며, $60 \mu\Omega\text{-cm}$ 의 비저항, 500 HV의 경도의 비정질 결정구조를 갖으며 열처리후 결정질 변화와 동시에 경도가 증가한다.

무전해 범프를 실제 테스트 칩에 형성한 후, ACF 플립칩 접속하여 무전해 니켈 범프의 장점과 미세 전자 패키징응용의 가능성을 확인하였다.

Abstract Electroless Ni plating is applied to form bumps and UBM layer for flip chip interconnection. Characteristics of electroless Ni are also investigated. Zincate pretreatment is analyzed and plated layer characteristics are investigated according to variables like temperature, pH and heat treatment. Based on these observations, characteristics dependence to each variables and optimum electroless Ni plating conditions for flip-chip interconnection are suggested. Electroless Ni has 10wt% P, $60 \mu\Omega\text{-cm}$ resistivity, 500HV hardness and amorphous structure. It changes crystallized structure and hardness increases after heat treatment After interconnection of electroless Ni bumps by ACF flip chip method, we show their advantages and possibility in microelectronic package applications.

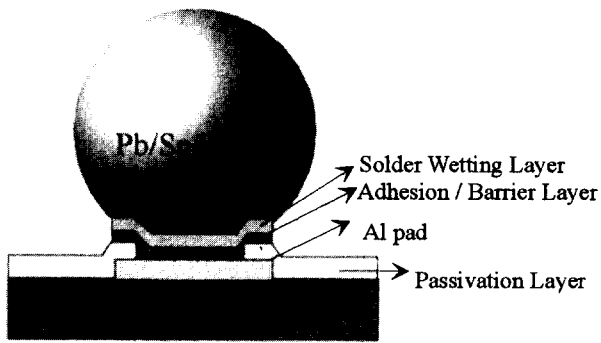
1. 서 론

플립칩 접속기술 (Flip chip interconnection technology)은 소면적, 많은 I/Os, 빠르고 쉬운 접합, 신뢰성, 우수한 전기적 성질 등의 장점을 갖춘 고집적 패키징 기술이다.¹⁾ 플립칩 접속기술을 구성하는 여러 공정 중, Under Bump Metallurgy (UBM) 형성 및 범프 형성 공정은 미세한 각각의 패드마다 선택적으로 원하는 높이의 금속 층을 증착시켜야 하는 어려움 때문에 플립칩 기술의 성능을 좌우한다. 현재는 evaporation, sputtering, electroplating 등과 photolithography를 이용한 범프 형성, gold stud 범프를 기계적으로 형성시키는 방법 등의 고비용이며 복잡한 공정들이 주로 쓰이고 있다.^{1,2)} 이에 비해 무전해 니켈 도금은 도금액 속에 담금 (immersion)만으로 Al 패드 위에 선택적인 범프 형성이 가능하기 때문에 sputtering, lithography, electroplating 등의 다른 공정에 비해 간단하며 저렴하다. 특성상으로 균일한 두께, 우수한 전기적, 기계적인 성질, 납땀성 등의 장점을 갖고 있으며 모든 Al 패드에 동시에 형성되어 웨이퍼 단위의 공정이 가능하다.^{2,4,5)} 도금된 니켈의 이러한 특성은 범프 형성 공정 단계를 간단하게 하며 큰 비용감소 효과를 가져올 수 있는 가능성을 갖고 있

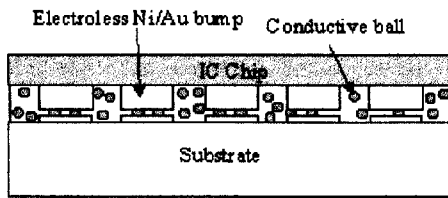
다.^{2,4,5,9,10)}

Fig. 1은 뱀납 플립칩과 Anisotropic Conductive Film (ACF) 플립칩 접속 기술을 나타내고 있다. 뱀납 플립칩용 UBM 층은 Al과의 접착력, 낮은 접촉 저항, 뱀납 확산 방지, 뱀납과의 젖음성 등의 특성이 필요하다. 이러한 조건들을 만족하며 균일한 두께를 얻을 수 있는 무전해 니켈을 UBM 층으로서 적용할 수 있으며, Liquid Crystal Display (LCD) 패키징에 응용되고 있는 ACF 플립칩 접속기술에서 범프의 형성에도 응용이 가능하다.¹⁾ 전자 패키징에서의 응용은 독일은 중심으로 UBM 및 Bump 용 무전해 Ni 이 실용화 단계이며 현재 공정 단계 및 신뢰성을 중심으로 연구가 활발히 진행중이다.

본 논문은 도금 전처리 공정의 연구, 무전해 도금층의 공정 변수에 따른 박막의 특성 변화, 도금후의 열처리에 따른 특성변화 등을 살펴봄으로써 무전해 Ni의 전자 패키징 응용시 요구되는 특성들의 변화에 초점을 두었다. 또한, 형성된 무전해 Ni 범프를 테스트 칩에 형성하고 FR-4 기판에 ACF 접속하여 무전해 니켈 도금의 미세전자 패키징에서의 실용가능성을 알아본다.



(a) under Bump Metallurgy (UBM) of Flip Chip Solder Bump



(b) Schematic of Flip Chip using Anisotropic Conductive film(ACF)

Fig. 1. Application of Electroless Ni plating.

2. 실험 방법

무전해 Ni 도금은 NaH_2PO_2 , NaBH_4 , $(\text{CH}_3)_2\text{NHBH}_3$, H_2NNH_2 등을 환원제로 사용 가능하지만, 저비용이며 가장 널리 보급된 차아인산 나트륨 (NaH_2PO_2) 을 선택하였다.

물중탕 분위기에서 질소 bubble stirrer를 장착한 도금욕을 제작하고 무전해 Ni의 형성대상으로 Si 기판에 Al 1 μm 이상 증착된 시편을 사용하였다. 도금욕의 용액에 이온 농도변화를 막기 위해 도금욕의 크기를 시편에 비해 매우 크도록 하였다.

범프의 형성은 Fig. 2와 같이 precleaning, zincate 전처리, 무전해 니켈 도금, immersion Au 도금의 네가지 과정을 거치게 된다.^{6,9)}

무전해 니켈 박막의 두께는 도금 전후의 무게변화와 밀도를 이용하여 구했으며, 이를 surface profilometer로 확인하였다. 표면의 조도는 Atomic Force Microscope (AFM) 를, 전기전도도는 4-point probe를 이용해 측정하였다. Scanning Electron Microscope (SEM)과 Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)으로 박막의 미세조직과 조성을 조사하였다. 형성된 니켈은 진공 분위기 300 °C에서 1시간 열처리 후, X-ray Diffraction (XRD)를 통해 미세조직 및 여러 특성변화를 관찰하였다.

무전해 니켈로서 UBM 층과 범프를 형성하여 플립칩 응용을 위한 가능성을 살펴보고, 테스트 칩에 범프를 형성하여 ACF 플립칩 기술을 통해 전기적 접속을 시도하였다.

범프 형성을 위한 테스트 칩은 5mm × 5mm크기이며 Al 패드는 100 μm × 100 μm , 피치는 150 μm 이다. ACF로는 5 μm 의 구형 니켈 입자가 6 wt% 함유된 epoxy film을 사용하였으며, 150 °C에서 5분동안 접속하였다.

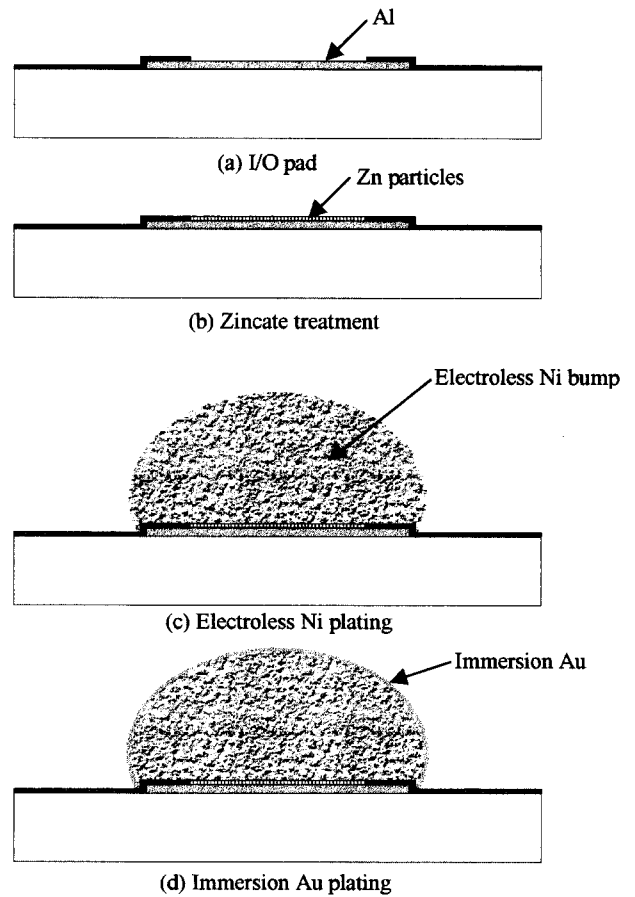
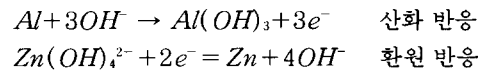


Fig. 2. Electroless Ni bump formation process.

3. 결과 및 고찰

3-1. 전처리 효과 (zincate 효과)

Zincate 전처리는 다음의 산화반응과 환원반응을 통해 Al의 표면에 대한 높은 반응성을 낮추어 주는 반응이다. 용액의 구성은 Al의 용해를 위한 NaOH 용액과 Zn의 치환을 위한 ZnO가 사용된다.



위의 반응이 Al표면에서 동시에 일어나 Al이 용해되고 그 자리에 Zn가 치환되어 표면에 Zn 입자들이 달라붙게 된다. 치환된 Zn는 Ni 도금시에 핵으로써 작용한다.⁶⁾

따라서, 치환된 Zn의 양에 따라 무전해 니켈 피막과 Al의 접착력에 큰 영향을 미치리라 쉽게 생각할 수 있다. 일반적으로 Al의 표면에 치환되는 Zn입자들이 많고 미세할수록 더 좋은 접착력을 갖는다고 알려져 있다.^{2,6)} NaOH와 ZnO의 비율을 20:1, 30:1, 40:1, 50:1로 달리하였을 때와 여러 번의 zincate 처리시 변화하는 Zn의 양을 관찰하였다. 최대의 Zn 입자는 30:1에서 관찰할 수 있다.(Fig. 3) 이는 NaOH에 의한 Al의 용해반응과 ZnO에 의한 Zn의 치환반응이 한쪽으로 치우쳐서는 안되며 고르게 일어나

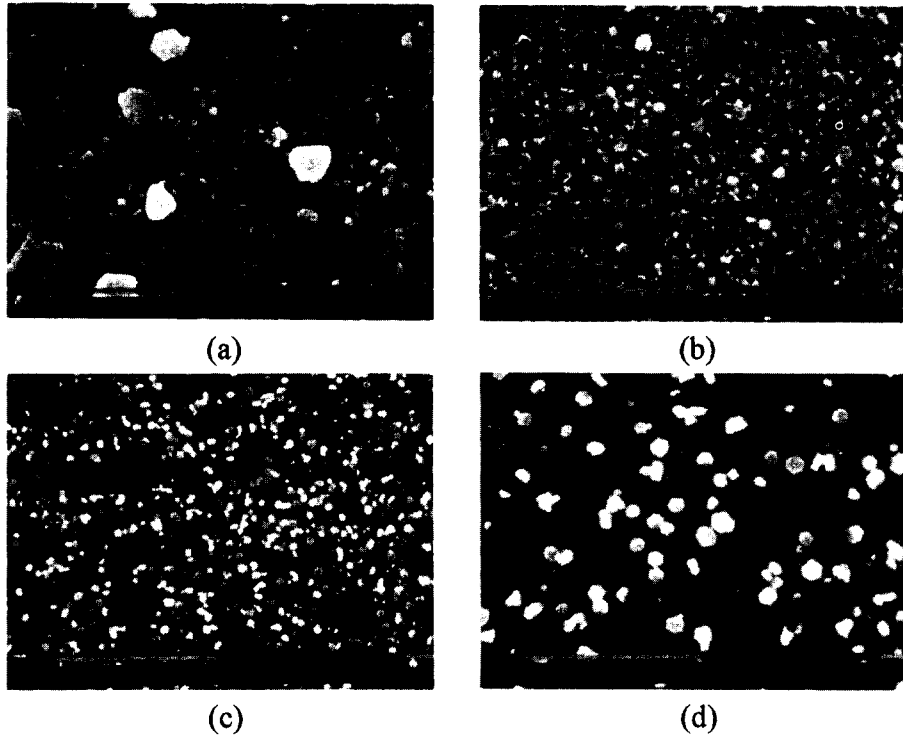


Fig. 3. SEM images of Al surface with various zincate treatment.

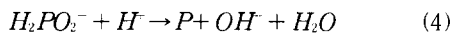
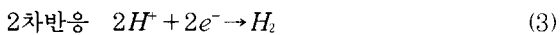
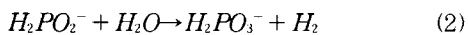
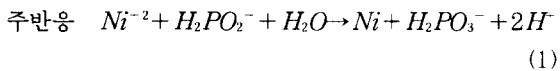
(a) NaOH:ZnO=20:1 (b) NaOH:ZnO=30:1 (c) NaOH:ZnO=40:1 (d) NaOH:ZnO=50:1

도록 NaOH와 ZnO의 비율이 적정선에서 결정되어야 함을 말한다.

Fig. 4에서 zincate 처리를 더해감에 따라 점차 미세하고 균일한 분포의 Zn입자들로 변해가고 있음을 알 수 있다. 또한, NaOH에 의한 Al의 용해가 초당 500Å의 속도로 일어난다. 따라서, I/O 패드에 노출된 Al의 두께를 고려하여 가장 미세한 Zn 입자를 얻을 수 있는 zincate 처리의 시간과 횟수를 결정해야 한다.

3-2. 도금 변수에 따른 성질 변화

차아 인산 나트륨을 이용한 무전해 니켈 도금시의 반응은 다음의 주반응과 2차반응으로 나눌 수 있다.^{3,7,8)}



위의 반응식중 (1) 식에 의해 Ni의 환원이 이루어지며 (2) 식은 차아인산나트륨의 소모, (3) 식은 수소의 발생, (4) 식은 P의 생성을 나타낸다. 위의 식중 H_2PO_2^- 가 Ni의 환원에만 소모되지 않기 때문에 차아인산 나트륨의 이용효율은 50% 미만이다.³⁾ 또한, (1) 식의 반응을 Pourbaix diagram에서 살펴보면 pH 2~7, potential -0.3~-0.8 V_{SHE}의 영역이다.

따라서, 니켈이 0.10M, 차아인산나트륨이 0.34M가 포함되어 차아인산 나트륨의 농도가 니켈의 2배 이상으로 도금

액을 구성하였다.

온도와 pH의 두가지 도금변수를 변화시켜 도금속도, 도금층의 성질 변화 등을 조사하였다. Fig. 5에 linear polarization method를 사용하여 온도에 따른 도금 속도의 변화를 전기화학적으로 살펴보았다. 온도가 변하면서 mixed potential의 값은 크게 변하지 않지만, 도금속도의 비(기울기의 역수)가 80°C에서 5°C마다 1.00:1.60:2.14로 정비례에 가깝게 증가하였다. 하지만, 속도의 증가 외의 다른 성질의 변화는 찾아보기 어렵다.

pH는 도금속도와 함께 도금층의 성질, 무전해 도금의 선택성 등에 큰 영향을 주는 변수이다. Fig. 6에서 pH가 증가함에 따라 도금 속도가 크게 증가함을 알 수 있다. 도금이 진행되면서 Ni^{2+} 이온과 H_2PO_2^- 이온의 양의 감소에 따른 도금 속도의 저하 역시 크게 나타나지 않는다. 뿐만 아니라, 도금층에 불순물로 함유되는 인(P)의 양은 pH가 증가하면서 감소하는데 이는 (4)의 반응식에서 OH^- 이온의 증가와 H^+ 이온의 감소로 설명할 수 있다. 반면에 pH 5 이상에서 범프 형성에 가장 중요한 도금의 선택성(Selectivity)을 잃고, 표면 조도가 증가함이 관찰되었다. 따라서, 선택성을 잃지 않기 위한 한계 pH와 이 범위안에서 전기적 성능의 극대화, 도금 속도의 증가를 위한 최대 pH를 결정할 수 있다.

3-3. 무전해 니켈 박막의 특성

3-3-1. 전기적 특성

전기적인 접속이 목적이므로, 무전해 니켈의 비저항이 낮을수록 이상적이다. 무전해 니켈은 pH 4.75, 90°C의 조건에서 10wt%의 P를 함유하고 있으며, 이러한 니

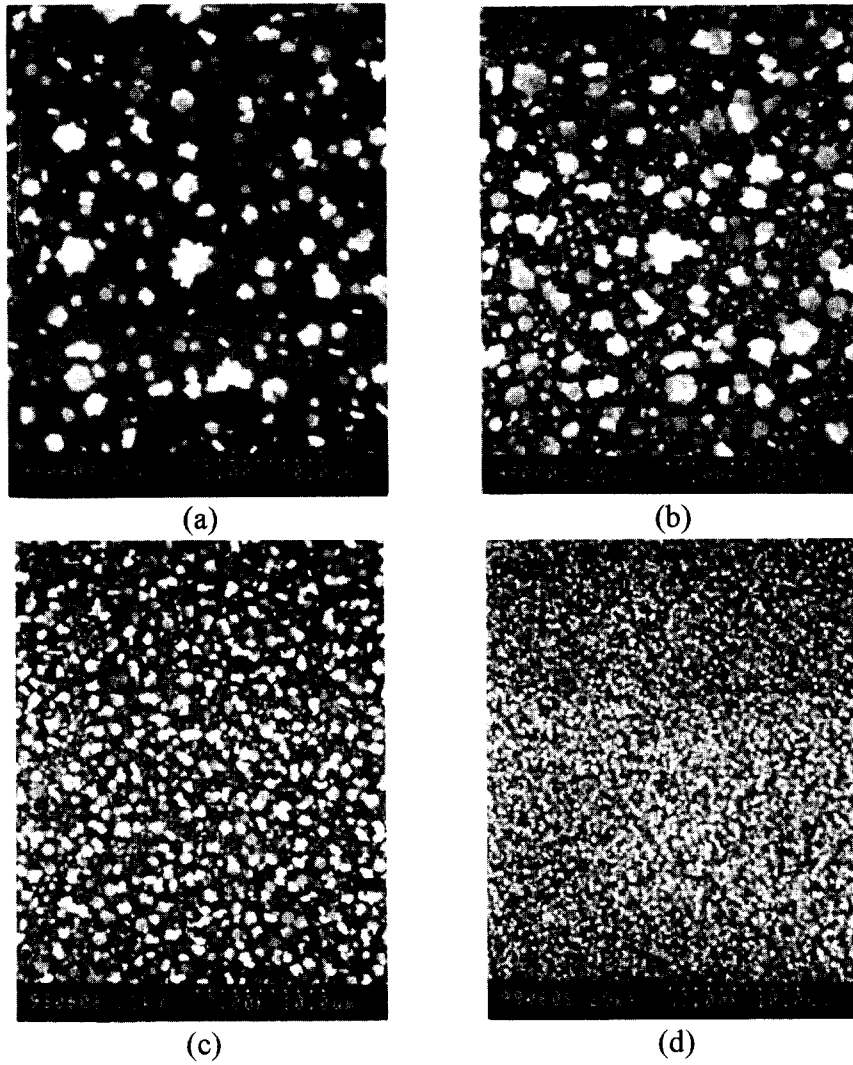


Fig. 4. SEM images of various types of zincate pretreatment. (a) simple zincate pretreatment (b) double zincate treatment (c) double zincate treatment with HNO₃ (d) triple zincate treatment

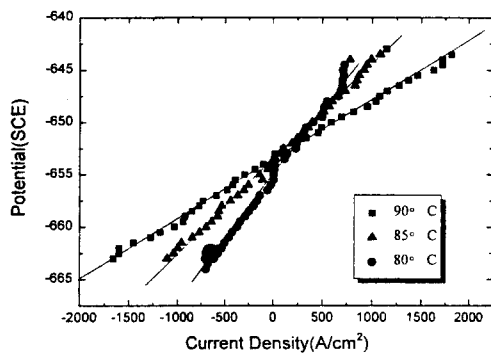


Fig. 5. Linear polarization method with temperature variation.

켈의 비저항은 약 $60\mu\Omega\text{-cm}$ 로 측정되었다. 무전해 Ni의 비저항은 도금 중 (4) 반응으로 첨가되는 불순물 (인)에 의해 순수한 니켈의 비저항 ($6.2\mu\Omega\text{-cm}$) 보다는 높다.³⁾ 측정시 도금층의 두께가 증가하여도 비저항은 약 $60\mu\Omega\text{-cm}$ 에서 크게 변하지 않는다. 이로써 두께에 따른 P의 농도가 거의 일정함을 예상할 수 있다.

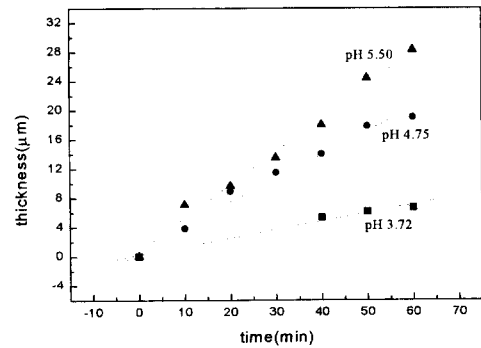


Fig. 6. Electroless Ni plating rate with pH variation.

3-3-2. 물리적 특성

Fig. 7에서 무전해 니켈 도금 직후의 결정구조는 비정질과 약간의 니켈 결정질이 섞여있는 준평형 (metastable) 상태임을 알 수 있다. 이는 약 10 wt%나 포함된 인(P)이 니켈 격자 속의 고용도에 비해 과포화되어 발생하는 니켈 격자의 변형 때문으로 알려져 있다.^{3,7)} 이때의 밀도는 약

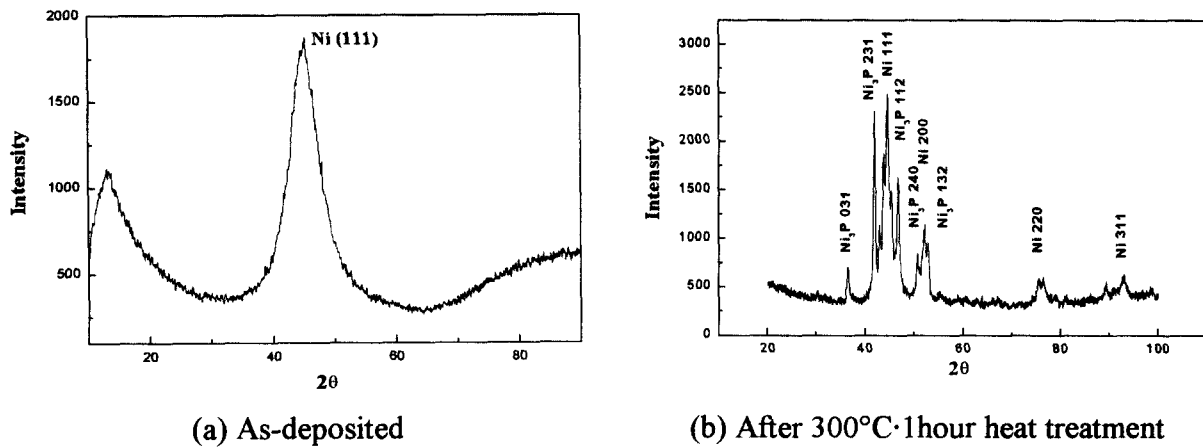
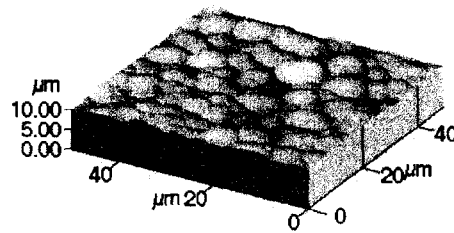


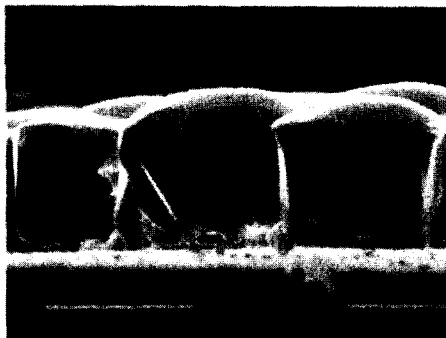
Fig. 7. X-ray diffraction peak changes after heat treatment.



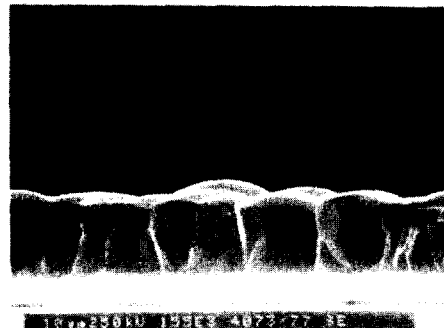
(a) Surface of electroless Ni film



(b) AFM image of electroless Ni film



(c) Vertical section of electroless Ni film



(d) Uniform thickness of electroless Ni film

Fig. 8. Microstructure of electroless-deposited Ni film.

7.85 g/cm³이며 인 (P)의 양이 많아질수록 니켈과 인의 밀도차로 인해 전체 무전해 니켈의 밀도는 감소한다.

니켈 층의 경도는 ACF 플립칩 패키지 시 도전입자와 닿는 범프 표면의 성질을 말해주므로 물리적 특성의 중요한 부분이다. ACF 플립칩용 범프는 균일한 높이와 모양 외에도 도전입자와 닿는 표면을 낮은 경도의 특성이 필요하다. 마이크로 Vickers 경도계로 측정하였으며 도금직후의 경도는 두께나 인 (P)의 양이 변하더라도 약 500 HV에서 크게 변하지 않는다.

3-3-3. 미세구조

무전해 니켈의 미세구조와 표면조도는 UBM 층의 특성과 ACF 플립칩 범프 표면의 모양을 좌우한다. 무전해 니켈의 미세구조는 Fig. 8에서 보듯이 지름이 약 10 μ m 정도인 구형의 입자들로 구성되어 있으며 단면사진으로부터 도금의 초기에는 서로 떨어져 성장하다가 입자끼리의 접촉 후 수직으로 성장함을 예상할 수 있다.

AFM 사진으로부터 무전해 니켈의 표면조도를 확인할 수 있으며 평균 조도는 약 5000Å에서 크게 변하지 않는다.

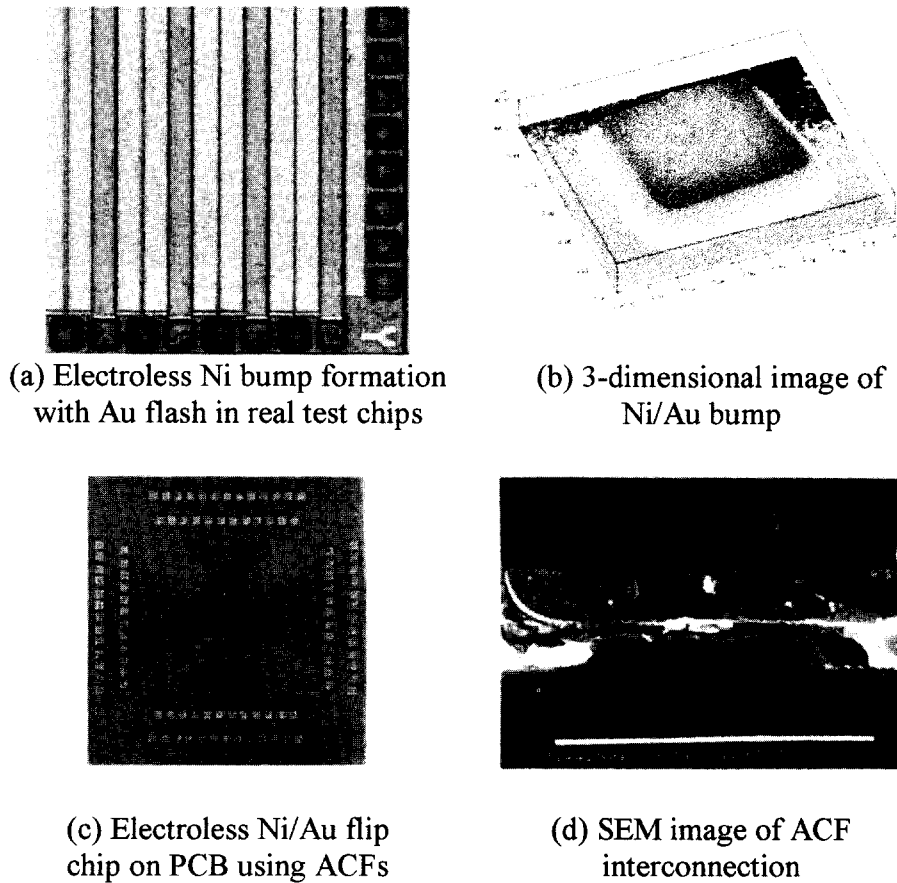


Fig. 9. ACF flip-chip interconnection on PCB using electroless Ni/Au bumps.

3-4. Annealing 효과

무전해 니켈의 열분석 결과 270°C 부근에서 발열 반응을 관찰할 수 있다.⁷⁾ 이 온도 이상에서는 평형상태에 도달하기 위한 에너지를 얻게 되어 과포화되었던 인의 확산으로 Ni₃P상으로 석출되면서 결정질화가 이루어짐을 X-ray Diffraction (XRD)를 통해 확인하였다.(Fig. 7) 열처리시 인의 확산이 진행되면서 석출물의 조성은 Ni₃P에 가까워지면서 니켈 소지와 정합(coherent) 관계에서 부정합(incoherent) 관계로 변화한다. 이때, 니켈 소지와 정합 관계를 갖는 석출물에 의해 경도가 1000HV가량 급격히 증가하는 시효경화 효과가 발생한다.³⁾ 또한, Si 기판 (6.7 μm/m/°C)과 무전해 니켈 (13-14.5 μm/m/°C)과의 열팽창계수 차이로 인해 crack이 발생하기도 한다.

3-5. Low Cost Flip Chip Application

무전해 Ni를 뿔납 플립칩용 UBM으로 응용하기 위해서는 박막이 균일한 두께로 성장해야 한다. 무전해 Ni 층의 단면사진 (Fig. 8-d)에서 Ni 층은 약 10μm의 균일한 두께로서 저가형 뿔납 플립칩용 UBM층으로서의 가능성을 확인할 수 있다.

ACF 플립칩 패키지의 범프로서 응용하기 위해서는 균일한 높이고 모든 I/O 패드마다 재연성있는 범프 형성이 매우 중요하다. Fig. 9-a,b에서는 실제 칩의 150μm 피치의 I/O에 형성된 무전해 Ni/Au 범프를 보여준다. 각각의 I/O

패드마다 균일한 모양과 높이를 갖는 무전해 Ni 범프가 형성되었으며 평평한 범프의 표면도 이상적이다.

FR-4 기판에 ACF 플립칩 접속된 테스트 칩의 단면 사진에서 무전해 Ni/Au 범프와 기판과의 도전입자를 통한 전기적 연결을 확인할 수 있다. (Fig. 9-c, d) 전기적 테스트에서도 모든 I/O패드와의 접속을 확인하였다.

4. 결 론

플립칩 접속 기술 응용을 위한 무전해 니켈 범프를 형성하고, zincate 전처리, 온도, pH, 열처리 등의 인자에 따른 도금 조건의 변화와 도금층의 특성 변화를 연구하였다.

Zincate 용액은 NaOH와 ZnO에 의한 반응이 고르게 일어나는 농도를 Zn 입자 분포를 관찰하여 결정할 수 있다. Zincate 전처리 시간과 헹수는 Al의 용해 속도를 조사하여 Al두께에 따라 정해진다.

온도가 증가할수록 도금 속도가 빨라지나 성질의 변화는 나타나지 않았으며, pH가 증가할수록 도금속도 증가외에도 인의 양 감소, 선택성 감소, 표면 조도 증가 등의 성질 변화도 나타난다. 온도와 pH 의존성을 통해 도금액의 한계 pH와 도금 온도를 결정할 수 있다.

위의 조건에서 형성된 무전해 니켈은 인이 약 10 wt% 포함되며, 60 μΩ-cm의 비저항, 500 HV의 경도의 비정질 결정구조를 갖는다. 300°C에서의 annealing시 니켈의

결정질화, Ni₃P상의 석출로 인한 경도 증가, 열팽창 계수 차이로 인한 결함(crack)이 발생한다. 무전해 Ni의 단면사진에서 초기의 핵으로부터 구형으로 자라며 입자들이 서로 맞닿은 후에는 수직으로 성장함을 예상할 수 있다.

무전해 니켈의 성장시 균일한 높이와 이상적인 범프의 모양을 확인하여 저가형 뱀납 플립칩용 UBM층과 ACF 플립칩용 범프 응용을 위한 가능성을 제시하였다. 테스트 칩에 범프를 형성한 후 ACF 플립칩 패키지를 통해 모든 I/O패드에서 전기적 연결을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. R. R. Tummala, E. J. Rymaszski and A. G. Klopfenstein, *Microelectronics Packaging Handbook - part 2*, Chapman & Hall, Chap. 8, (1997).
2. E. Zakel and H. Reichl, *Flip Chip Assembly using the Gold, Gold-Tin and Nickel-Gold Metallurgy* in J. Lau (Editor), *Flip Chip Technologies*, McGraw-Hill, (1996).
3. Glenn O. Mallory and Juan B. Hajdu, *Electroless Plating Fundamentals & Applications*, American Electroplaters & Surface Finishers Society, Chap. 1 and Chap. 4, (1990).
4. R. Aschenbrenner, A. Ostmann, U. Beutler, J. Simon and H. Reichl, *IEEE Trans. CPMT, Part B* Vol. **18**, No.2, 334, (1995).
5. E. Jung, P. Kasulke, R. Griebler and J. Kioeser, *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging*, Vol. **20**, No. 4, (1997).
6. S. Wernick, R. Pinner and P. G. Sheasby, *The Surface Treatment & Finishing of Al & its Alloys*, Finishing Publications, vol. **2**, 5th edition, Chap. 14, (1987).
7. 金南一, 張時性, 無電解 鍍金, 東和技術, Chap. 5, (1996).
8. Izumi Ohno, *Mat. Sci. & Eng.*, **A146**, 33, (1991).
9. J. I. Han, S.J. Hong, *Japanese Journal of Applied Physics*, v**36**, No. 4A, 2091~5, (1997).
10. C. C. Tsui, T. B. Lim Y. C. Teo and C. Q. Cui, *Advances in Electronic Packaging*, Vol. **1**, 119, (1997).