

## LIGA-like 공정을 이용한 마이크로 부품 복제용 Ni과 Ni-W 금형 제조 및 특성

황완식 · 박준식<sup>\*,\*\*†</sup> · 강영철<sup>\*</sup> · 조진우<sup>\*</sup> · 박순섭<sup>\*</sup> · 이인규 · 강성균<sup>\*\*</sup>

한국항공대학교 항공재료공학과

<sup>\*</sup>전자부품연구원

<sup>\*\*</sup>한양대학교 재료공학과

## Fabrication and Properties of Ni and Ni-W Electroplated Molds Using LIGA-like Process for Replication of Micro Components

W. S. Hwang, J. S. Park<sup>\*,\*\*†</sup>, Y. C. Kang<sup>\*</sup>, J. W. Cho<sup>\*</sup>, S. S. Park<sup>\*</sup>, I. G. Lee and S. G. Kang<sup>\*\*</sup>

Dept. of Materials Engineering, Hankuk Aviation University, 412-791, Korea

<sup>\*</sup>Korea Electronics Technology Institute, 451-865, Korea

<sup>\*\*</sup>Dept. of Materials Science and Engineering, Hanyang University, 133-791, Korea

(2002년 11월 4일 받음, 2003년 1월 8일 최종수정본 받음)

**Abstract** Electroplated Ni and Ni-W micro-molds using LIGA-like process for replication of micro-components such as microfluidic parts and micro optical parts have been investigated. In general, it is hard to produce micro-parts using conventional mechanical processes. Micro-mold formed by LIGA-like process could fabricate micro-parts with high aspect ratio. In this paper, fabrication and properties of electroplated Ni molds with varying applied current types as well as those of Ni-W molds were investigated. Ni molds fabricated under pulse-reverse current showed the highest hardness value of about 160 Hv. Ni-W molds showed the hardness of about 500 Hv which was much harder than that of Ni electroplated molds. The above results suggested that high quality micro-molds could be fabricated by using Ni electroplating of pulse-reverse type for core molds and sequential Ni-W alloys coating.

**Key words** Micro-mold, Ni electroplating, Ni-W electroplating, replication process

### 1. 서 론

최근 마이크로 유체소자, 마이크로 광부품 등 미세 소자의 필요가 증가되고 있다. 그러나 일반 기계 가공으로는 고종횡비(high aspect ratio)의 미세 구조물을 제작하기 어렵다. 따라서 LIGA(German acronym for Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 등 리소그래피(lithography)를 이용한 공정 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 리소그래피를 이용하여 마이크로 몰드를 제작할 때는 도금에 의한 공정이 필수적이다. 도금 몰드를 이용한 반복 복제는 기존의 기계 가공이 할 수 없는 대량생산이 가능하다는 장점이 있다. 그런데 반복 복제를 위한 코어 금형 제작 시 높은 온도와 압력이 가해지게 된다. 따라서 높은 온도에서 상변화 없이 안정해야 하며, 기계적 성질이 우수하고 표면 거칠기가 낮은 코어 몰드 재료를 개발하는 일이 매우 중요하다. 도금은 전기장을 이용하여 금속 이온을 기관에 증착시키는 공정이다. 전기 도금시 모서리와 같은 돌출부에서는 전기장이 집중되어 평탄부에 비해 도

금속도가 빠르고, 거칠기에도 영향을 준다. 지금까지는 일반적으로 Ni 몰드를 사용하여 왔다.<sup>2)</sup> Ni 몰드 제작 시 일반적으로 사용되는 직류 전류 인가 방식에 비해 우수한 기계적 특성을 갖도록 펄스 전류 인가 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>3,4)</sup> 또한 Ni 몰드의 특성을 향상시키기 위해 새로운 재료의 개발 또는 표면처리 공정의 개발이 필요하다. 잘 알려진 대로 Ni-W 합금은 W에 의한 고용강화의 영향으로 Ni에 비해 높은 경도값을 갖는다.<sup>5)</sup> 하지만 수십  $\mu\text{m}$  이상에서 Ni-W 합금은 높은 잔류 응력을 나타내어 구조 재료로서의 사용은 적절하지 못하다.<sup>6)</sup> 따라서 본 연구에서는 코어 몰드로 사용하기 위한 Ni 몰드 제작 방법이 연구되었고, 여기에 내마모 코팅층으로 활용하기 위해 Ni-W 합금을 제작하여 새로운 몰드 코팅 재료로서의 활용 가능성을 살펴보았다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1. Ni 도금

Ni 도금은 전류 인가 방법에 따라 여러 가지 특성을 갖게 된다. 본 연구에서는 Table 1의 도금 조건에 따라

<sup>†</sup>E-Mail : jspark@keti.re.kr

**Table 1.** Conditions for Ni electroplating.

Nickel sulfamate base
Current : 5 A/dm <sup>2</sup>
Anode : Nickel round
Cathode : NiCr/Au (500Å/1000Å)
Sheet resistance : < 0.5 Ω/cm <sup>2</sup>

**Table 2.** Conditions for Ni-W alloys electroplating.

Nickel sulfate (NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O) : 0.06 mol/l
Sodium tungstate (Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) : 0.14 mol/l
Citric acid (Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ·2H <sub>2</sub> O) : 0.3~0.5 mol/l
Ammonium chloride (NH <sub>4</sub> Cl) : < 0.5 mol/l
Sodium bromide (NaBr) : 0.15 mol/l
Temp. : 80~85°C
pH : 8.5~9.2
Current : 0.2 A/dm <sup>2</sup> (direct constant current)
Anode : Nickel round
Cathode : NiCr/Au (500Å/1000Å)
Sheet resistance : < 0.5 Ω/cm <sup>2</sup>

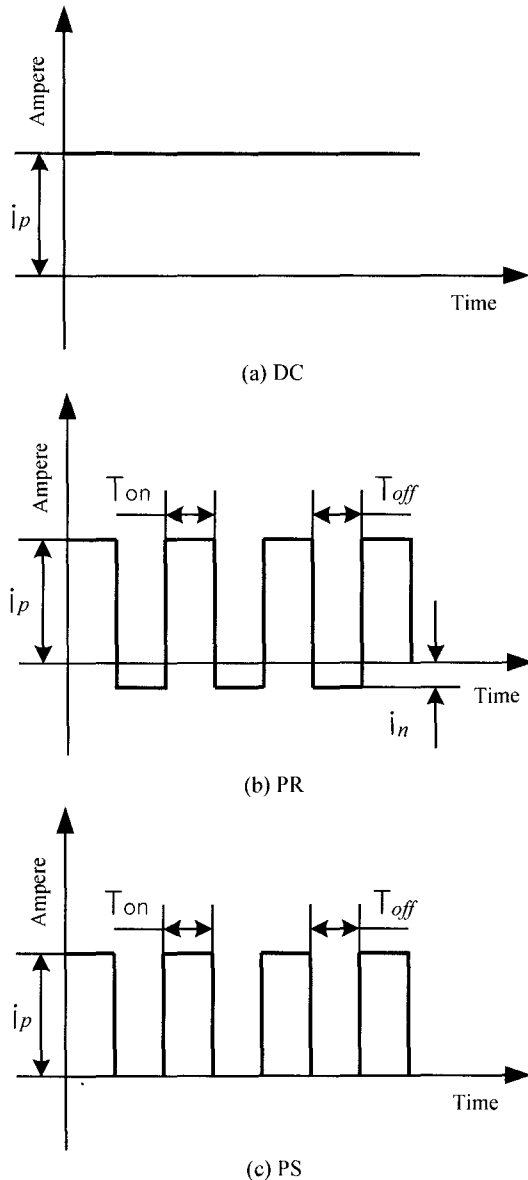
**Fig. 1.** Different types of shaped waveform.

Fig. 1과 같이 전류 인가 방법을 DC(direct constant), PR (pulse-reverse), PS(pulse)로 달리하여 샘플이 제작되었다. 각각의 샘플은 4인치 웨이퍼에 Au seed layer를 증착한 후 감광막을 사용하여 1×1 cm<sup>2</sup> 패턴 및 100 μm 이하의 미세 형상으로 제작되었다. 각각의 샘플은 총 도금량이 같도록 DC는  $i_p$ (positive peak current density) = 5 A/dm<sup>2</sup>의 전류밀도가 공급되었다. PR은  $T_{on}$ (cathodic time of mandrel) = 400 μsec,  $T_{off}$ (anodic time of

mandrel) = 600 μsec,  $i_p$ (positive peak current density)/ $i_n$ (negative peak current density) = 5로 고정되었다. PS는  $T_{on}$ ,  $T_{off}$ 가 각각 500 μsec 설정되어 도금되었다. 각각의 샘플에 대한 도금 두께는 70 μm으로 조절되었고, 각 샘플간의 두께 차이는 약 5 μm 정도였다. 경도는 Matsuzawa 사의 Mxt-alpha7 비커스 경도계를 이용하여 50 gr 중의 힘을 가하여 측정되었다. 내부 구조는 Richseifert사의 XRD 3000로 분석되었다. 표면 형상은 Hitachi사의 SEM S-2400으로, 표면 거칠기는 Kosaka Laboratory사의 surface roughness measuring instrument Se-1700으로 조사되었다. 탐침의 속도는 500 μm/s, 탐침 거리는 4000 μm로 설정되었다.

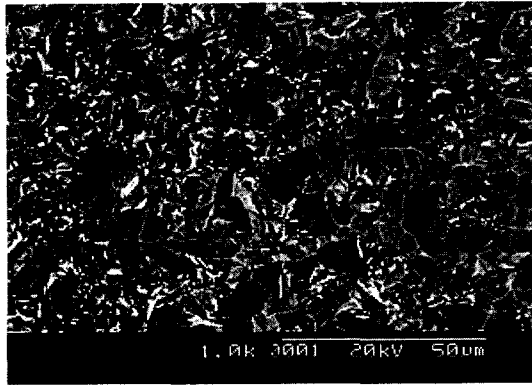
## 2.2. Ni-W 도금

일반적으로 Ni-W 합금은 Ni에 비해 높은 경도와 내마모성을 나타낸다.<sup>6,7)</sup> 전류밀도가 증가할수록 Ni 속의 W 함량이 증가되었다.<sup>8)</sup> W의 증가는 높은 잔류 응력을 수반한다. 따라서 볼드와 같은 구조용 재료로의 사용에는 적절하지 못하다. 따라서 본 실험에서는 Ni 도금 이상의 경도를 갖으며 낮은 잔류 응력을 보이는 W의 함량이 선택되었다. 본 실험에 사용된 도금 조건 및 도금액의 조성은 Table 2와 같다. 샘플은 Table 2의 도금 조건에 따라 Ni 도금과 동일한 방법으로 제작되었다. 샘플의 두께는 약 30 μm으로 조절되었고, 각 샘플간의 두께 편차는 약 5 μm였다. 제작된 샘플은 100°C에서 600°C 사이로 열처리되었다. 샘플은 Ni의 경우와 동일한 방법으로 측정되었다.

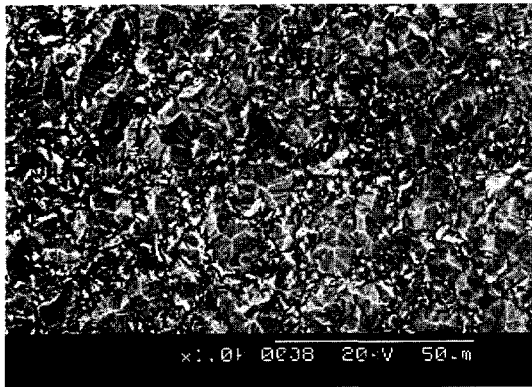
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Ni 도금

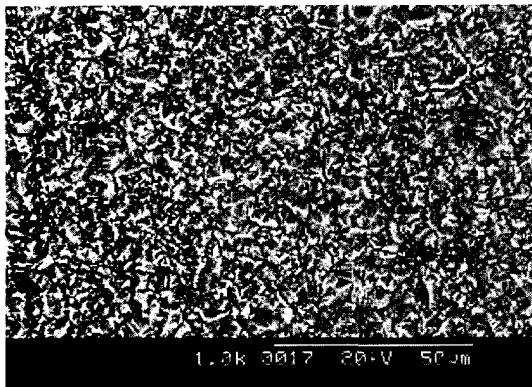
본 연구의 Ni 도금은 복제를 위한 마이크로 몰드의 제작이다. 따라서 Ni 도금시 표면 거칠기는 중요한 인자이다. Fig. 2는 전류 인가 방법에 따른 표면 거칠기 변화를 보여준다. Fig. 2(a)에서 보는 것과 같이 DC는 매우 큰 거칠기를 나타내었다. 이것은 전기장으로 음극에 도달한 Ni 이온들이 표면에 확산할 시간적 여유가 없이



(a) DC



(b) PR



(c) PS

Fig. 2. SEM views of Ni electroplated surface.

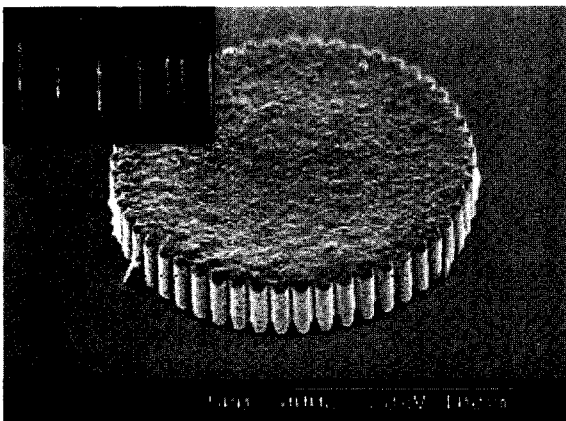


Fig. 3. SEM views of Ni(DC) electroplated micro-mold.

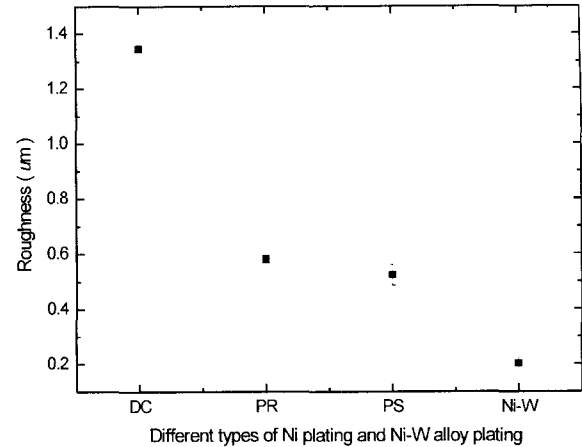


Fig. 4. Surface roughness of three different types of shaped waveform.

바로 증착되었기 때문일 것이라 생각되었다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 DC는 미세 구조물 제작 시, 거친 표면으로 인해 정확한 치수 정밀도를 확보하기 어려울 것으로 생각되었다. Fig. 2(b), (c)에서 보는 것과 같이 PR과 PS는 DC와 대조적으로 낮은 표면 거칠기를 보였다. Fig. 4는 표면 거칠기를 정량화 한 값이다. PS는 DC에 비교하여 Ni 이온들이 표면에서 확산할 시간적 여유가 있다고 생각되었다. 따라서 DC에 비교하여 PS는 조밀하게 증착되고, 표면 거칠기가 낮아졌다.<sup>9,10</sup> PR은 순전압과 역전압을 반복적으로 인가해준다. 역전압을 인가할 때는 도금 시 전류가 집중될 수 있는 돌출부 부분이 식각된다고 생각된다. PR은 증착과 식각이 반복적으로 수행된다. 역전압 구간에서는 펄스의 확산 시간과 동일한 효과를 보이지만 식각이 일어날 수도 있으므로 PS 보다 약간 거친 표면이 생성될 수 있다고 생각되었다. Fig. 5는 각 샘플의 (111)/(200) 피크 비를 나타낸다. DC와 비교하여 펄스로 전원을 공급하였을 때 (111)/(200)이 조금 증가되었다. Fig. 4와 Fig. 5의 비교에서 (111)/(200)이 증가될수록 표면 거칠기는 감소되었다. 이것은 전류 방법의 차이가 도금 표면의 거칠기 및 도금 층의 조밀 정도를 지배하는 큰 인자임을 보여 준다.<sup>4)</sup> Ni과 Ni-W의 경우에 예비 실험을 통해 두께 의존성을 확인한 결과 표면 거칠기는 30 μm~70 μm 사이에서는 동일한 경향을 나타내었다. Fig. 6은 각각의 샘플에 대한 비커스 경도 값이다. Fig. 6에 따르면 PR은 가장 큰 경도 값을 나타내었다. DC와 PS는 표준편차 범위 안의 유사한 값을 나타내었다. Fig. 7은 서로 다른 전류방법과 그에 따른 격자 상수와의 관계를 보여준다. 각각의 경우 XRD를 통하여 (200)면의 격자 상수가 측정되었다. 기계적 성질은 구조에 민감한 영향을 받게 된다.<sup>11)</sup> Fig. 7에서 격자 상수가 변하는 원인으로서는 침입형 원자들의 영향 또는 잔류 응력에 따른 영향으로 볼 수 있다. 본 연구는 동일한 도금욕조를 사용하였고, 전류인가 방법만 달리 하였기 때문에 격자 상수의 변화는 첨가물에 따른 영향보다는 잔

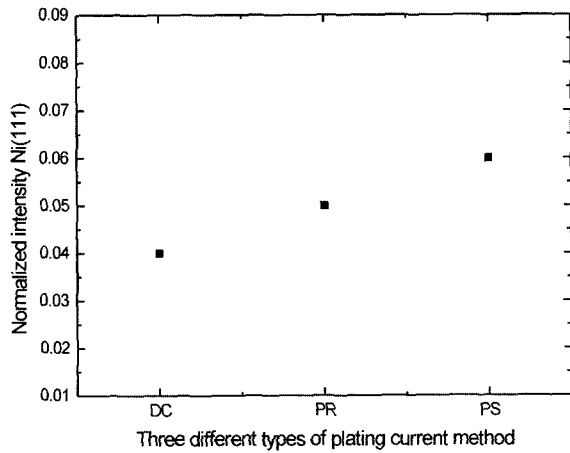
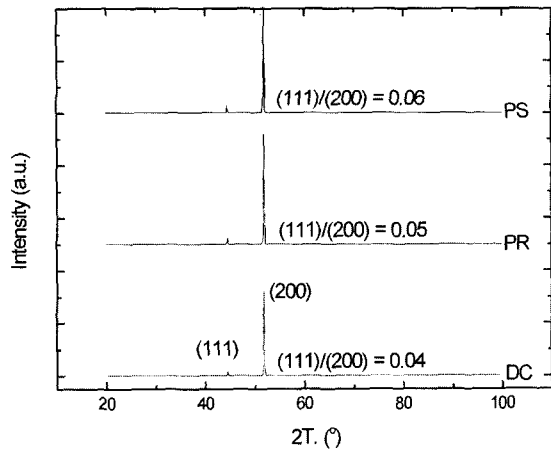


Fig. 5. Normalized intensity ratio of the Ni(111)/(200) XRD diffraction patterns versus different types of shaped waveform.

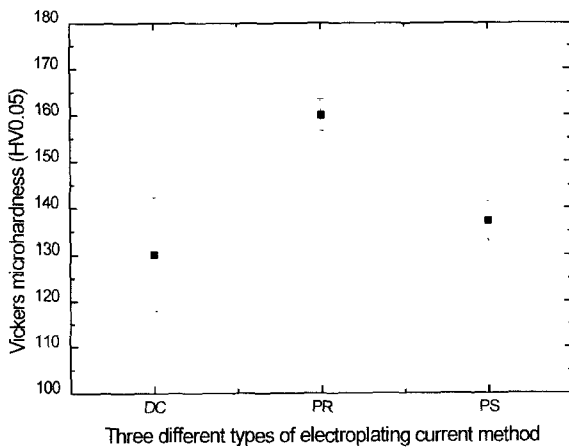


Fig. 6. Vickers microhardness versus three different types of shaped waveform.

류 응력에 따는 영향이라고 판단되었다. 그리고 표면의 압축 잔류응력은 기계적 성질을 증가시키고, 인장 잔류응력은 기계적 성질을 저하시킨다.<sup>12)</sup> Fig. 7에서 DC, PR, PS 모두는 인장 잔류 응력을 보였다. PR의 경우는 가장 낮은 인장 잔류 응력을 보였고, DC 경우는 가장 높은 인장 잔류 응력을 보였다. 따라서 DC가 가장 낮은

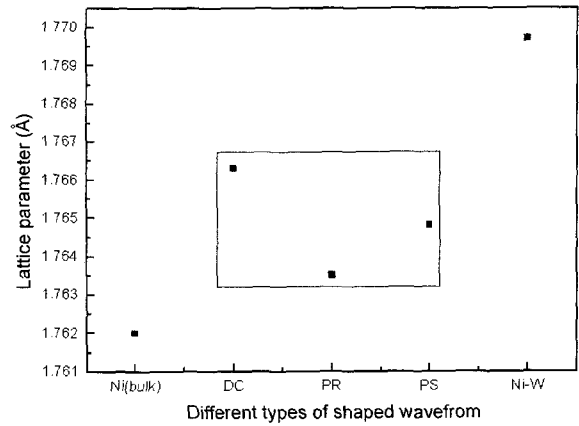


Fig. 7. Changes in lattice parameter of Ni (bulk, DC, PR, PS) and Ni-W alloys.

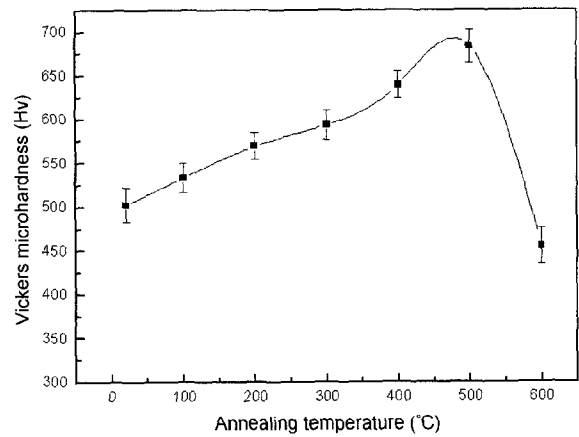


Fig. 8. Vickers microhardnesses as a function of annealing temperatures for 1hr in air.

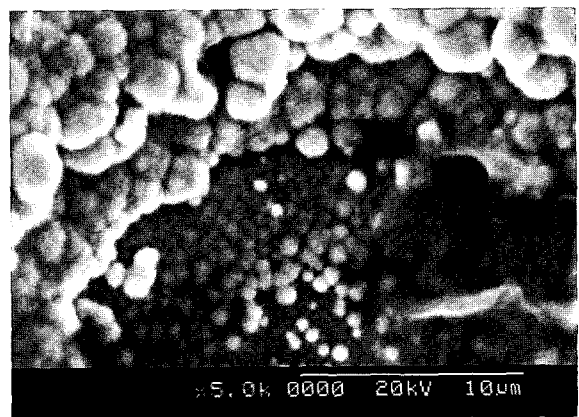


Fig. 9. SEM fractural cross section view of Ni-W alloys electroplating.

경도 값을 보였고, PR이 가장 큰 경도 값을 보였다고 판단되었다. Fig. 3은 현재 보편적으로 사용되는 Ni(DC)로 도금한 마이크로 몰드이다. 그림에서 보는 것과 같이 높은 표면 거칠기를 갖는다. 따라서 표면 거칠기를 낮출 수 있는 다른 방법이 필요하다. 추후 본 연구를 통해 실

정된, 낮은 표면 거칠기와 높은 기계적 특성을 갖는 PR 방법을 이용하여 실제 몰드를 제작한 후 DC와 비교할 예정이다.

### 3.2. Ni-W 합금 도금

본 연구에서 제조된 Ni-W 합금은 W이 Ni에 약 10 wt% 고용된 고용체이다. 전류 밀도  $0.2 \text{ A/dm}^2$ 으로 도금된 Ni-W 합금은 Ni과 동일한 fcc 구조를 보였다. Fig. 8은 제작된 Ni-W 합금 열처리에 따른 비커스 경도 변화를 보여준다. 본 연구에서 제작된 Ni-W 합금은 Ni 안에 W이 고용된 고용체이다. 따라서 고용강화의 영향으로 Ni-W 합금의 경도는 Ni 보다 증가되었다.<sup>5)</sup>

$500^\circ\text{C}$  이하에서는 열처리에 따라 경도값이 증가되었다.  $500^\circ\text{C}$ 까지는 중간화합물의 석출에 의한 석출 강화 그리고 열처리에 따른 기포의 감소로 인한 밀도 증가로 인하여 경도가 증가 되었다고 생각될 수 있다. 하지만, 본 연구의 W 함량은 3 at%임으로, Ni-W 상태도<sup>13)</sup>에서 알 수 있듯이 열처리에 따른 중간 화합물의 생성은 없다. 따라서 열처리에 따른 경도 증가는 열처리에 따른 밀도의 증가로 판단되었다. 다른 연구 결과에 의하면, 기포의 감소에 따라 기계적 성질은 지속적으로 증가하였다.<sup>14)</sup>

그러나  $600^\circ\text{C}$  이상에서 열처리를 할 경우는 결정립 성장에 따라 경도값이 급속히 감소되었다 일반적으로 급속은 열처리에 따라 결함의 회복, 재결정 등이 일어나며 특히 용융점의  $\frac{1}{2}$  지점에서 결정립 성장이 발생된다. 따라서 본 Ni-W 합금은 약  $600^\circ\text{C}$ 에서는 결정립 성장에 따른 Hall-petch 관계식으로 인하여 경도값이 급속히 감소 되었다고 판단 되었다.<sup>15)</sup>

이것은  $500^\circ\text{C}$ 까지는 경도값이 증가되고 그 이상에서는 경도값이 낮아진다는 다른 연구 결과와 일치함을 보였다.<sup>6,7)</sup> 추후 TEM 관찰이 진행될 예정이다. Fig. 9는 Ni-W 합금의 파단된 단면 SEM 사진이다. Fig. 9에서 보는 것과 같이  $0.2 \text{ A/dm}^2$ 의 낮은 전류밀도에서는 도금층이 과립 모양으로 성장되었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 전류 인가 방법을 달리하여 Ni 코어 몰드 제작 방법이 조사되었다. 코어 몰드의 수명 연장을 위하여 Ni-W 합금을 제작하여 새로운 몰드 코팅 재료로서의 활용 가능성을 살펴보았다.

1) 마이크로 몰드로 사용되는 Ni은 전류 인가 방법에 따라 DC, PR, PS로 제작될 수 있다. PR은 DC나 PS에 비해  $160 \text{ Hv}$ 로 높은 경도 값을 보였다. 이것은 PR이 가장 조밀한 구조를 갖기 때문이라 생각되었다.

2) 펄스 전원의 PR과 PS은 DC에 비해 낮은 표면 거

칠기 값을 보였다.

3) Ni-W 합금은 Ni 보다 낮은 표면 거칠기를 보이며, 약  $500 \text{ Hv}$ 의 높은 경도값을 나타내었다.

4) Ni-W 합금의 경우 열처리를 통해  $700 \text{ Hv}$ 까지 경도가 증가되었다.

5) 본 연구에서 설정된 Ni(PR)를 코어 몰드로 사용하고 연속적으로 Ni-W 내마모 코팅을 수행하면 내마모성이 우수한 마이크로 몰드를 제작할 수 있을 것이다. 또한 열처리를 통해 경도를 증가시킬 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부 및 정보통신부의 유망전자부품 기술개발사업(ELECTRO 0580 사업)의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Christophe Marques, Yohannes M. Desta, James Rogers, Michael C. Murphy and Devin Kelly, *J. of microelectromechanical systems*, **6**, 4, 329 (1997).
2. Lyndon S. Stephens, Kevin W. Kelly, Seshu Simhadri, Andy B. McCandless and E. I. Meletis, *J. of microelectromechanical systems*, **10**, 347 (2001).
3. M. Donten, H. Cesiulis and Z. Stojek, *Electrochimica Acta*, **45**, 3389 (2000).
4. S. Benhenda, N. Ben jemaia and M. Bourir, *IEEE transactions on components, packaging and manufacturing technology-part A*, **17**, 303 (1994).
5. George E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Co., 203 (1988).
6. Peter Schlobmacher and Tohru Yamasaki, *Mikrochim. Acta*, **132**, 309 (2000).
7. T. Yamasaki, P. Schlobmacher, K. Ehrlich and Y. Ogino, *Nanostructured materials*, **10**, 375 (1998).
8. Wonback Kim, Churl Kyoung Lee, Jae-chun Lee and Changyoul Suh, *Korean Journal of Materials Research*, **8**, 10, 898 (1998).
9. T. P. Sun, C. C. Wan and Y. M. Shy, *Met. Finishing*, **77**, 33 (1979).
10. W. F. Hall and A. R. Chaudhuri, in *AES 10th Symposium On Plating In The Electronics Industry*, (1983).
11. George E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Co., 108 (1988).
12. George E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Co., 409 (1988).
13. *ASM Handbook*, Vol. 3, Alloy Phase Diagrams, The Materials Information Society, ASM International, Materials Park, OH, 1992.
14. R. L. Coble and W. D. Kingery, *J. Am. Ceram. Soc.*, **39**, 11, 382 (1956).
15. George. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Co., 189 (1988).