

## 레이저 직접 묘화법에 의한 알루미나 기판위의 미세 전도성 패턴 제작

김혜원\* (한양대학교), 이제훈 (한국기계연구원 레이저응용시스템그룹),  
신동식 (한국기계연구원 레이저응용시스템그룹), 강성군 (한양대학교)

### The fabrication of micro- size conductor lines on alumina patterned by laser ablation

H.W. Kim\*, J. H. Lee\*\*, D. S. Shin\*\*, S.G. Kang\*

\*Division of Materials Science and Engineering, HYU, \*\*KIMM

#### ABSTRACT

The fabrication of micro-size patterning on alumina substrate is generated by laser direct writing ,which has high precision and selectivity of various laser beam energies. The depth and width of patterns is affected by laser parameter such as laser power, scan rate. Through the chemical and mechanical polishing Pd seeds was effectively got rid of alumina substrate for selectivity electroless Ni plating. Thermal treatment is good method for changing electrical property of conductor line, because the treatment can control of the grain size.

**Key Words** : 선택적 무전해 니켈 도금(selective electroless Ni plating), 레이저 직접묘화법(laser direct writing), 전도성 미세패턴(micro-size conductor line), 화학·기계적 연마(Cheical and mechanical polishing)

#### 1. 서론

다품종 소량생산, 신제품 개발주기의 단축 그리고 특수전용부품의 주문제작이 증가함에 따라 유연성 있게 이에 대처할 수 있는 공정기술 개발의 필요성은 크게 대두되고 있다. 또한, 환경 문제가 심각해짐에 따라 환경저해공정을 환경친화적인 청정공정으로의 대체가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 현실적인 요구를 충족시키기 위하여 전기, 전자 그리고 정밀산업 분야에 레이저 가공기술을 적용하기 위한 공정 및 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다[1-2]. 이 중 대표적인 기술이 미세 패터닝 기술이다. 미세 패터닝 제작 기술은 광전자, 복합회로 제작기술, 기계부품의 미세가공, 인쇄, 기계 전자분야의 부품 제조, 전도성 회로제작 등의 활용되고 있는 기술이다. 최근 부품의 극소화, 고집적화 기술이 발전하면서 소자에 부과되는 에너지 밀도가 증가하게 되어 방열 문제가 새로운 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 세라믹 기판을 사용하게 되었다. 이러한 기술의 틈새 적용영역으로 수  $\mu\text{m}$  - 100  $\mu\text{m}$  이하의 선폭을

가지는 패턴을 제작할 수 있는 기술은 현재 그 가능성을 확인하고 있는 수준이다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 공정의 개요

첫번째 전도성 패턴 제작 공정은 레이저 직접묘화법 중의 하나인 어블레이션하여 패턴을 제작하는 단계, 두번째 catalyst-accelerator 활성화 용액에 의해 알루미나 기판 전체에 시드를 형성하는 단계, 세번째 화학·기계적 연마로 패턴부분을 제외한 부분의 시드 제거 단계, 마지막으로 금속성 패턴 제작 단계인 무전해 도금 단계로 나누어진다.

##### 2.2 레이저 직접묘화법

실험에 사용된 레이저는 1064nm 파장을 가지는 Q-switched Nd:YAG 레이저를 사용하였다. 레이저 파워와 레이저 이송속도를 달리하여 표면에 주사되

는 에너지를 변화시켰다.

알루미나 기판의 레이저 가공 중에 생긴 표면의 이물질을 제거하기 위해 RCA 세척방법을 택하였다. 활성화 용액으로 기판전체에 시드를 형성시킨 후 불산: 염산의 비가 3:1 로 섞은 에천트 용액에 기판을 담구어 팔라듐과 기판의 밀착성을 느슨하게 하고 기계적 연마를 통해 표면위의 팔라듐 시드를 제거할 수 있었다. 전도성 패턴이 완성되기 위해서 이 시드 위에 금속화를 하는 방법으로 니켈-붕소 무전해 도금을 택하였다. 도금액의 성분으로 니켈 원은 황화니켈( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), 환원제로는 Borane-dimethylamine ( $(\text{CH}_3)_2\text{NH BH}_3$ ) 를 사용하였고, 착화제는 sodium citrate ( $\text{HOC}(\text{CO}_2\text{Na})(\text{H}_2\text{CO}_2\text{Na}_2) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )이 사용되었으며 안정제로는 Lead nitrate ( $\text{PbNO}_3$ )를 사용하였다.

### 2.3 분석 방법

알루미나 기판의 레이저 가공 후와 선택적 도금 후 금속화 된 부분의 표면형상과 표면의 성분분포는 SEM (Scanning Electron Microscopy)과 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)로 관찰하였다. 레이저 펄스 변위계는 레이저 빔이 조사되어 돌아오는 시간으로 깊이를 측정하는 장치로써 깊이와 그 프로파일을 측정하였다. 알파스텝퍼로 도금 후 패턴의 프로파일을 알 수 있었다. 열처리 후의 니켈 도금 피막의 구조, 결정성의 변화를 관찰하기 위하여 X선 회절 분석을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 레이저 직접묘화법에 의한 패턴 형성

직접묘화법 중의 하나인 어블레이션 방법에 의하여 레이저 출력과 이송속도에 따른 알루미나 기판 위에 패턴의 깊이는 fig. 1 에 나타내었다. 그림에서와 같이 패턴의 깊이는 표면에 주사된 레이저 파워 보다는 이송속도에 영향을 많이 받았다. 출력이 증가하여도 깊이가 증가하지 않은 것은 표면 굴곡을 만드는 등의 표면형상을 바꿨기 때문이다. [3]

이러한 경향은 Q-switched Nd:YAG 레이저 빔이 알루미나 표면에 입사되면 빔의 크기와 흡수깊이로 규정되어지는 일정한 체적내부에 빔 에너지가 흡수된다. 흡수된 에너지는 표면 에너지로서 작용하여 열전도에 의하여 재료 내부로 전달되어 지는데, 열전도에 의하여 손실되는 에너지의 양보다 흡수되는 에너지의 양이 클 경우, 재료는 가열되어 용융되며, 에너지의 양이 더 증가 할수록 재료의 일부는 폭발적인 화학적, 물리적인 분해를 동반한 증발에

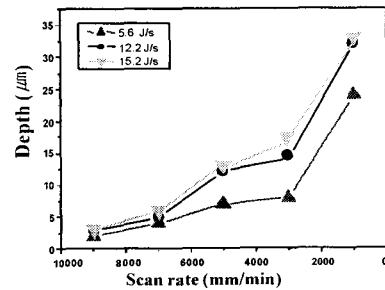


Fig. 1 Width of patterned alumina substrate versus scan rate at different laser power

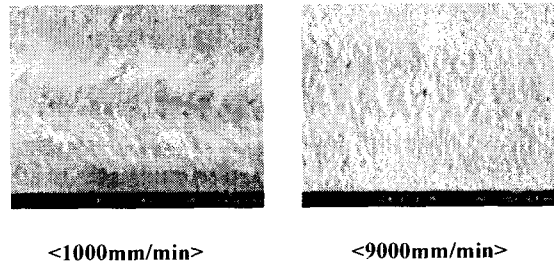


Fig. 2 SEM image of surface at different scan rate

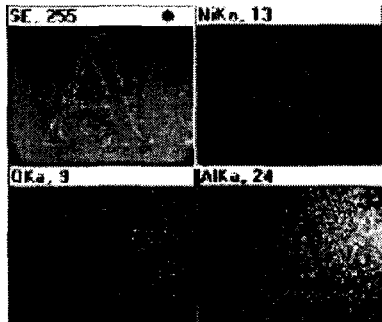
의하여 제거된다[4-5]. 따라서 가공할 재료를 증발하여 패턴을 형성하기 위해서는 충분한 레이저 빔의 에너지가 공급되어야 한다.

Fig. 2 은 이송속도에 따른 표면형상을 나타내며 이것은 에너지에 따라서 재료가 증발되거나 용융되어 제거됨을 보여준다.

### 3.2 무전해 도금법에 의한 전도성 패턴 제작

알루미나는 부도체이기 때문에 소지 표면에 촉매 기능을 갖는 금속시드가 존재하여야 한다. 따라서 무전해 도금 전에 활성화 용액에 의해 알루미나 기판 전체에 시드를 형성하는 과정을 거친 후에 무전해 도금을 통하여 선택적인 도금을 실시하였다.

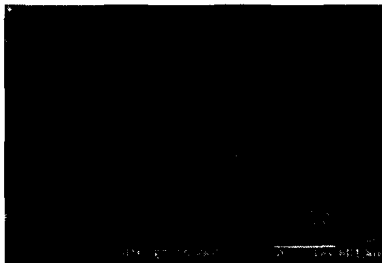
Fig 2 에서 보듯이 레이저로 가공된 부위는 용융되거나 어블레이션 되었고, 그 위에 무전해 도금을 하였다. Fig 3 에서와 같이 도금 후의 EDS 분포도를 보면 선택적으로 Ni 이 레이저로 패턴된 "A" 부분의 글자위에만 분포한다는 것을 알 수 있다. 즉, 무전해 도금은 Pd 시드위에서만 형성이 되며 이를 조절하여 시드를 패턴된 라인 위에만 분포하



**Fig. 3 EDS mapping image of Ni electroless plating on the patterned alumina substrate**

개하여 선택적 도금을 수행하였다.

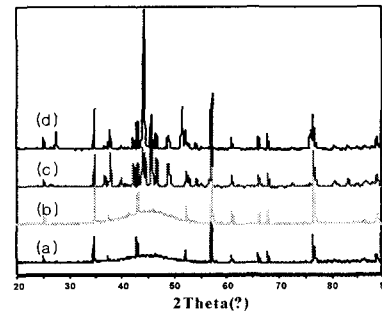
도금액은 pH는 약 6.7로 중성이며 도금 용액의 온도는 70°C로 유지하였다. 도금 후 알파스텝퍼로 표면형상을 조사한 결과 시간이 갈 수록 패턴을 채워나갔다. 1시간 도금을 한 경우의 선폭은 레이저 조사후의 패턴의 선폭보다 약 30  $\mu\text{m}$  증가함을 SEM을 통하여 알 수 있었다. 이는 무전해 도금 시에 Ni 금속이 시드의 높이 방향으로만 증착 되는 것이 아니라 측면으로도 도금이 되었다는 것을 알 수 있다.



**Fig. 4 SEM image of Ni electroless plating on the patterned alumina substrate**

Fig 4는 선택적 도금의 결과의 SEM 이미지이다. 위의 Fig 3에서 EDS 분포도에서 잘 나타나듯이 패턴된 부분에서의 무전해 도금이 일어났음을 보여주고 있다. 무전해 도금에서 시드형성과 시드의 선택적 제거를 통해서 Ni을 효과적으로 선택적 전도성 라인을 만들 수 있게 된 것이다.

### 3.3 열처리 후 도금 피막의 안정



**Fig. 5 XRD patterns of Ni electroless deposited alumina substrate after thermal treatment; (a) as deposited, (b) 100°C, (c) 300°C and (d) 500°C**

도금된 피막의 구조를 알아 보기 위하여 X선 회절 분석을 하였다. 그 결과 니켈 도금 피막의 대부분이 비정질인 것으로 나타났다. DSC 분석 결과 300°C에서 발열 반응에 의해 Ni<sub>3</sub>B 상이 석출됨을 알 수 있었다. 따라서 XRD 분석결과 비정질 상태의 도금층을 100°C, 300°C, 500°C에서 1시간동안 열처리 한 결과 니켈 피막에 결정화가 일어난 것을 알 수 있었다. Fig 5에서 100°C에서 열처리한 피막은 열처리를 하지 않은 피막의 XRD 패턴이 일치하므로 결정화가 일어나지 않고 대부분 비정질 상으로 남아있기 때문인 것으로 판단된다. 300°C, 500°C에서 열처리한 피막은 같은 패턴을 보이므로 비정질 상태로 있던 도금층이 열처리를 통해 결정화가 일어났음을 알 수 있고, 피크가 크게 발생한 것으로 보아 석출 화합물이 응집 성장하여 조직이 매우 조대화 되었을 것이라 생각된다. Four point probe 실험 결과 비정질 상이 결정질 상보다 전도성이 높은 것을 알 수 있었다. 그 이유는 다결정성을 보이는 XRD 피크에서 볼 수 있는데 전도도에 다결정성의 특성으로 인하여 많은 결함이 그레인 바운더리에 존재하기 때문이다. 하지만, 이러한 다결정에서 결정립의 크기를 증가시키고 결정립의 수를 줄일 수 있다면 전도도의 향상도 기대할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 레이저를 이용하여 선택적으로 재료 표면에 직접 묘화법을 통해 패턴을 제작하는 공정으로 리소그래피 공정을 통하지 않고 직접 패턴을 제작, 그리고 형성을 하였다. 특히, 알루미늄은 부도체이기 때문에 소자 표면에 촉매 기능을 갖는 금속핵이 존재하여야 하므로 무전해 도금법을 응용

하여 기판 전체에 시드를 형성하였으며 이러한 시드의 제어를 통해서 선택적 도금을 하여 전도성 라인을 형성하였다.

레이저의 표면주사 에너지를 조절하여 알루미늄 표면에서는 에너지가 증가할수록 scan rate 가 감소함에 가공된 부위의 너비의 깊이가 증가함을 알 수 있었으나, 레이저 출력 에너지 값이 차이를 있음에도 같은 scan rate 에서 깊이가 같은 것은 그 에너지가 표면 형상을 바꾸는 데 썩인 것으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 레이저 빔의 출력 보다는 scan rate 가 깊이에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 무전해도금의 특성을 이용, 제어함으로써 선택적 도금이 가능 할 수 있었고 이는 전도성을 지닌 물질의 선택적인 증착이 가능함을 보여주는 것이라 할 수 있다. 이렇게 증착된 도금 피막의 열처리를 통하여 결정화를 이룸으로써 전도성 회로 뿐만 아니라 전기 저항체로써의 응용이 가능할 수 있다는 것도 제시되었다. 이러한 기술을 토대로 하여 레이저 기술과 선택적 도금기술을 바탕으로 한 더욱 미세한 패턴 제작까지 이를 수 있게 될 것이다.

#### 참고문헌

1. Glenn O. Mallory, Juan B. Hajdu, editors, "Electroless plating : fundamentals and applications", American Electroplaters and Surface Finishers Society, 1990.
2. M.J. Desilva, et. al., "A new technique to generate conductive paths in dielectric material", Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517 - 521, 1990.
3. V. Kripesh, W. Gust, S. K. Bhatnagar and H. Osterwinter, "Effect of Nd:YAG laser micro machining on gold conductor printed over ceramic substrates", Materials letters, Vol. 44, pp. 347-351, 2000.
4. 한국기계연구원 "레이저를 이용한 건식 인쇄회로기판 제조 공정기술 개발 및 보급," 산업자원부 보고서, 2001.
5. 이제훈, 서정, 한유희 "레이저 직접묘화법에 의한 AlN 기판상의 전도성 패턴 제작에 관한 연구", Journal of KSLP, Vol. 3, No. 2, pp. 25-33, 2000.