

## 레이저 직접묘화법(Laser Directing Writing)을 이용한 미세패턴 금속화 기술



**박 정 호**

(KIMM 산업기술연구부)

- '91 한국외국어 대학교 물리학과(학사)
- '94 연세대학교 물리학과(석사)
- '94 - 현재 한국기계연구원 연구원



**이 제 훈**

(KIMM 산업기술연구부)

- '90 독일 슈투트가르트대학 기계공학과(석사)
- '96 독일 슈투트가르트대학 기계공학과(박사)
- '90 - '96 독일 항공우주연구소 연구원
- '96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



**한 유 희**

(KIMM 산업기술연구부)

- '78 연세대학교 기계공학과(학사)
- '84 독일 브라운슈바이크공대 기계공학과(석사)
- '87 독일 브라운슈바이크공대 기계공학과(박사)
- '87 - '89 독일 항공우주연구소 연구원
- '89 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

### 1. 개요

첨단산업의 발전과 함께 산업전반에 걸쳐 부품의 극소화, 경량화 그리고 집적화 추세가 확대되고 있으며 이에 부응하기 위하여 기존의 공정을 대체할 수 있는 신 공정기술의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 다품종 소량생산, 신제품 개발주기의 단축 그리고 특수 전용부품의 주문제작이 증가함에 따라 유연성 있게 이에 대처할 수 있는 공정기술개발의 필요성이 크게 대두되고 있다. 또한, 환경 문제가 심각해짐에 따라 환경 저해공정을 환경 친화적인 청정공정으로 대체가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 현실적인 요구사항을 충족시키기 위하여 전기, 전자 그리고 정밀산업분야에 레이저 가공기술을 적용하기 위한 연구가 선진국을 중심으로 진행되고 있으며 그중 대표적인 기술이 미세패턴 제작 기술이다.

미세패턴 제작 기술은 광전자, 복합회로(hybrid circuit) 제작기술, 기계부품의 미세가공, 인쇄, 기계·전자분야의 부품 제조, 전도성 회로제작 등에 활용되고 있는 기술로 공정의 종류에 따라 크게 subtractive, additive 그리고 semi-additive process로 구분되어 진다.

Subtractive 공정은 기판 표면에 전도층을 형성한 후 불필요한 부분을 제거하여 패턴을 제작하는 공정이며, additive 공정은 반드시 필요한 부위에만 전도층을 제작하는 공정으로써 subtractive 공정에 비하여 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

- 다품종소량생산체계에 적합한 높은 유연성,
- 환경저해공정인 에칭공정의 축소 및 삭제,
- 넓은 가공 면적,
- 공정수 및 재료의 절감,
- 초단펄스와 국부적인 가공으로 열 영향의 최소화

본 고에서는 미세패턴 제작 방법들을 소개하고, 이 중에서 additive 공정에 속하는 레이저 직접표화방법(direct writing method)을 사용하여 박막기술과 후막기술의 중간적용영역을 보완할 수 있는 패턴 제작공정기술의 개발결과를 정리 요약하였다.

## 2. Microstructuring 기술 현황

### 2.1 Subtractive 공정

Subtractive 공정은 가장 잘 알려진 미세패턴 제

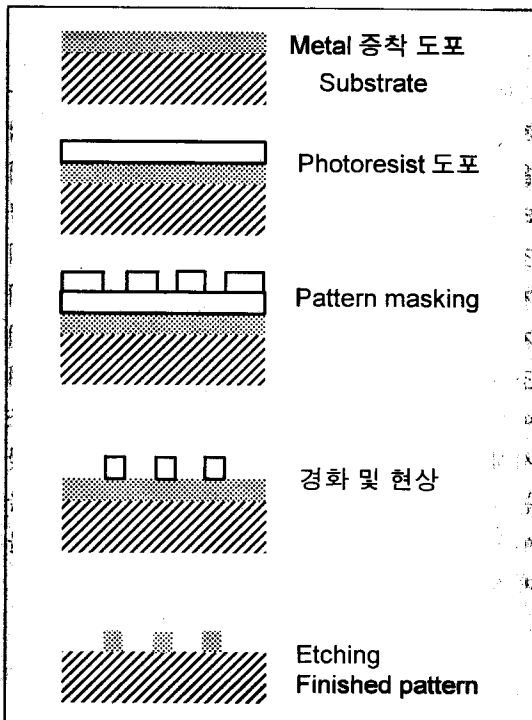


그림 1. Subtractive 공정에 의한 패턴 가공 도식도

작 방법으로서 그림 1에서와 같이 기판 표면상에 필요한 두께의 금속층을 진공증착법이나 전기 화학적 방법으로 코팅한 다음 금속층 표면에 다시 광경화성 수지 (photoresist film)를 도포한다. 도포된 수지 표면에 패턴을 형성하는 방법으로는 일반적으로 자외선 리소그래피(lithography) 방법<sup>[1]</sup>을 사용하며 이때 마스크 형상을 일반적으로 축소하여 수지 표면에 빛을 조사함으로써 조사된 부위의 수지를 광화학적으로 경화시킨다. 따라서, 후속 처리 단계인 현상공정에서 경화된 부위는 세척되지 않고 기판 표면에 남아 마스크 형상을 재현하게 된다. 현상공정에서 세척된 부위는 금속층이 노출되어 다음 단계인 에칭 공정에서 부식되어 제거되며 경화된 수지를 박리 함으로써 기판 표면에 원하는 패턴의 금속화가 이루어진다.

자외선 리소그래피는 미세패턴을 제작하기 위해서 고가의 장비와 많은 제작시간을 초래하는 UV 조명장치와 마스크가 사용되어 왔으며, 이를 해결하기 위하여 집속된 레이저빔을 이용하여 직접 수지 표면에 패턴을 형성하는 방법이 개발되어 시작품 제작공정에의 적용 가능성이 제시되었다. 이 방법을 레이저 리소그래피라고 하며 정밀 x-y 테이블을 사용하는 방법과 스캐너를 사용하는 방법이 있다. 또한, 마스크 제작 공정이 불필요하게 됨으로써 다양한 요구에 대처할 수 있는 공정의 유연성이 향상되었다.<sup>[2]</sup> 레이저 리소그래피 방법으로 제작 가능한 패턴의 선폭은 2 $\mu$ m에서 20 $\mu$ m의 범위를 가지며 되며 도파관(wave guide)나 고주파 필터 등의 제작에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

Yu, G. Geondzhian 그룹<sup>[3]</sup>에서는 적외선 파장의 레이저를 이용한 어블레이션(ablation) 방법을 소개하고 있다. 이 방법에서는 수지 표면에 직접 Nd:YAG 레이저 빔을 집속하여 불필요한 부위를 직접 어블레이션 시킴으로써 원하는 패턴을 제작하고 있다. 이 방법은 기존의 방법에 비하여 광경화 공정과 세척공정을 생략함으로써 공정단계를 줄일 수 있다는 이점이 있으나, 제작 가능

한 선폭이나 형상의 품질이 떨어져 고정밀도를 요하는 부품제작에는 적용이 어렵다. 따라서 선 폭 100 $\mu$ m 범위의 패턴 제작에 적용이 기대되고 있다.

S. Yamazaki 그룹<sup>[4]</sup>에서는 나노초의 펄스 폭을 가진 Nd:YAG 레이저 빔을 집속하여 태양전지의 아이솔레이션 커널(isolation canal) 제작에 사용하였다. 그 결과로 태양전지의 패턴 형성 유효면적을 기존의 금속 마스크를 사용한 것에 비해 14% 증가되었다. 여기서는 수지를 사용하지 않고 유리판에 코팅되어 있는 1.1 $\mu$ m 두께의 폴리브텐 금속층을 집속된 레이저빔으로 조사하여 어블레이션 시켰다. 가공조건에 따라 가공 가능한 커널(canal)의 폭은 30 $\mu$ m에서 150 $\mu$ m 범위이며, 용융 잔여물이나 코팅층의 박리 현상이 발생하지 않는다는 연구결과를 보고하고 있다. 또한 이 방법을 이용한 다층(multi-layer) 박막 가공을 위한 연구도 활발히 진행되고 있다.

이상에서 언급한 방법 외에 몇 가지 공정을 조합한 방법이 소개되고 있다. J. Kickelhain<sup>[5]</sup>은 35 $\mu$ m 두께의 구리가 코팅된 PCB 기판을 Nd:YAG 레이저를 이용하여 약 30 $\mu$ m까지 어블레이션 시킨 후 나머지를 에칭하여 제거하는 방법을 소개하고 있다. 이러한 방법은 고집적 전자회로 제작에 적용되리라 예상되고 있다.

### 2.2 Semi-Additive 공정

Semi-additive 공정은 먼저 두께가 나노 미터(10<sup>-9</sup>m)인 씨드(seed) 금속층을 기판 표면에 코팅한 후 금속층 표면에 광경화성 수지를 도포한다. 수지 표면에 마스크나 집속된 레이저빔을 직접 조사하여 원하는 패턴을 형성한 후, 형성된 패턴 위에 무전해도금을 하여 원하는 패턴의 두께만큼 금속을 증착시킨다. 그후 가공되지 않은 부위의 수지를 제거하고 나노 미터 범위의 금속층을 에칭하여 제거함으로써 패턴이 형성되어 진다. 이러한 공정의 도식도는 그림 2와 같다.

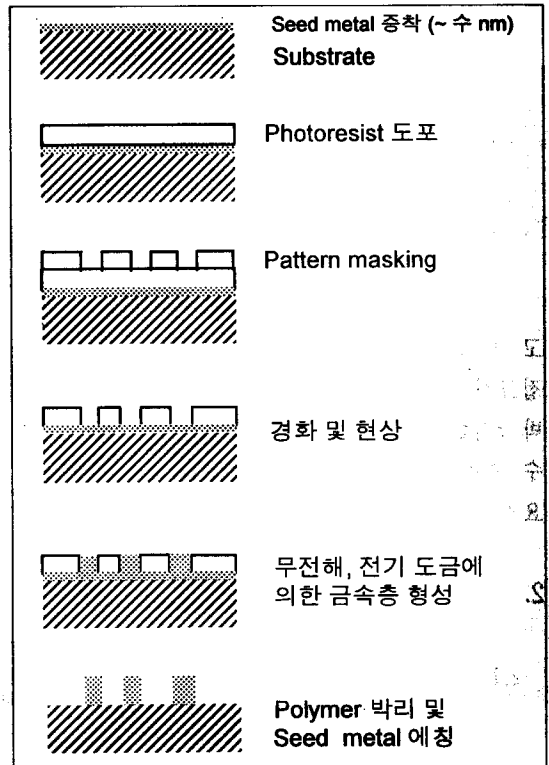


그림 2. Semi-Additive 공정에 의한 미세 패턴 제작 공정

R.J. von Gutfeld 그룹<sup>[6]</sup>에서는 마스크를 사용하지 않는 레이저빔에 의한 선택적 전기도금방법을 제시하고 있다. 여기서는 기판 표면에 나노미터 범위 두께의 금속층을 증착한 다음 전기도금조의 캐소드(cathode)에 연결한 후, 집속된 레이저빔을 금속층에 선택적으로 조사함으로써 레이저빔이 조사된 부위의 열화학적 반응속도를 빔이 조사되지 않은 부위의 반응에 비해 약 1,000배 이상 급속히 증가시켰다. 따라서 레이저빔의 조사시간과 출력밀도를 제어하여 원하는 두께를 갖는 패턴을 형성한 후, 나노미터 범위의 금속층을 에칭하여 빔이 조사되지 않은 부위의 금속층을 제거하는 방법이다.

### 2.3 Additive 공정(Laser Directing Writing)

Additive공정은 2.1과 2.2절에서 설명한 방법들

과는 달리 기판 표면 전체에 금속층을 코팅하지 않고 패턴이 형성되어야 할 부위에만 국부적으로 금속층을 형성하는 방법이다.(그림 3) Subtractive와 semi-subtractive 공정에 비해 공정이 간소화되고, 특히 에칭 공정이 생략되어 현재 활발한 연구가 진행되고 있다. 이러한 additive 법은 첨가물(additive material)을 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법으로 구별할 수 있다. 전자의 대표적인 방법으로는 금속반응가스 분위기에서 광화학적 혹은 광열적 반응에 의하여 반응 가스를 금속분자와 유기물 분자로 분해하여 금속분자를 기판 표면에 증착시키는 레이저 CVD(Chemical Vapour Deposition) 방법<sup>[7]</sup> 있다. 증착 가능한 반응가스는 Al, Au, Cr, Cu 그리고 W등을 포함한 가스들이 있다.

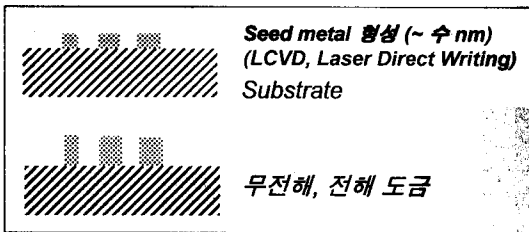


그림 3. Additive법에 의한 패턴 가공 도식도

Pd, Cu-acetate와 같은 유기 금속(Organo-metallic Compound)을 첨가물로 사용하는 방법은 이를 기판에 도포한 후 가시광선 혹은 자외선 영역의 파장을 가지는 레이저를 기판표면에 선택적으로 조사하여 유기금속을 Pd 혹은 Cu로 분해시켜 이를 씨드로 하여 전기 혹은 무전해 도금을 통하여 미세패턴을 형성하는 방법<sup>[8]</sup>이 있다.

후자는 레이저를 세라믹 기판에 직접 조사하여 세라믹 재료(AlN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC 등)의 열분해성<sup>[9]</sup>, 특히 AlN의 경우에는 약 2573K에서 Al과 N<sub>2</sub>로 분해되는 현상을 이용하여 선택적으로 레이저 조사된 영역에 Al층을 형성시켜 이를 무전해 도금 공정의 씨드로 이용하여 금속성 후막을 형성하는 방법이다.<sup>[10]</sup> 이 기술은 2 단계공정에 의한 금속층 형성 기술로 환경오염을 유발하고 고가인 유

기금속을 사용하지 않는다는 측면에서 현재 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.

최근에는 LIFT(laser Induced Forward Transfer) 방법<sup>[11]</sup>이 소개되고 있는데 이 방법은 타겟(target) -glass, quartz 등- 표면에 나노미터 두께의 금속층을 코팅한 후, 레이저빔을 타겟을 투과시켜 코팅된 금속층에 집속시켜 금속층을 국부적으로 어블레이션 시킨다. 이 어블레이션 된 금속 증기(vapour)와 용융물은 타겟의 금속층 면에 근접해 위치한 기판의 표면에 증착하게 된다. 이렇게 증착된 패턴은 일반적으로 전기전도도가 낮기 때문에 직접 사용하기가 어려우며 증착된 패턴을 씨드로 사용하여 무전해도금조에서 필요한 두께만큼 보강하여 사용한다. LIFT 방법으로 제작 가능한 패턴의 폭은 20 $\mu$ m 이상으로 보고되고 있다.

### 3. 레이저 직접묘화(Laser Directing Writing)법에 의한 패턴 형성

Circuit이 고집적화 될수록 단위 면적당 발생하는 열이 증가되며 이를 효과적으로 방출하는 문제가 심각히 대두되고 있다. 열을 효과적으로 방출하므로써 circuit의 열적 손상(thermal damage)을 감소시켜 내구성을 향상시키고 제품의 안정성을 증가시킬 수 있다. 여기에 적합한 재료가 높은 열전도도를 가지는 AlN(Aluminum Nitride)이며 고집적화 되어 가는 복합회로 제작에 이용될 수 있는 재료이다.

AlN은 현재 널리 사용되는 알루미늄이나보다 열전도도가 10배 이상 높으며 실리콘과 거의 같은 열팽창계수와 화학적 안정성, 높은 절연성을 가지고 있기 때문에 MIC(microwave integrated circuit) 응용분야에도 사용될 수 있다.

AlN기판 위에 전도성 패턴을 형성하는 방법으로는 증착(sputtering), 실크인쇄(screen printing), 레이저 직접묘화법(laser direct writing)과 같은 방법이 있다. 증착 방법에서는 기판과 전도층과

의 접착력을 향상시키기 위해 중간층이 필요하고, 실크인쇄의 경우에는 구현할 수 있는 최소 선폭이 100 $\mu$ m 정도이다. 한편, 리소그래피의 경우 최소 선폭은 마이크로미터 이하이나 장비가 고가인 단점이 있다. 이러한 두 기술의 중간영역에 해당되는 영역에 사용될 수 있는 기술로 레이저 직접묘화법이 있다. 특히, 세라믹 기판에 첨가물을 사용하지 않고 2단계 공정만으로 패턴을 제작할 수 있는 공정은 공정의 단순화, 평판 및 구면과 같은 형태의 세라믹에도 패턴을 제작할 수 있는 가능성으로 인해 활발한 연구가 진행되고 있다.

본 기술개발에서는 Nd:YAG 레이저를 광원으로 사용한 레이저 직접묘화법(laser direct writing)을 이용하여 AlN 기판 표면에 열 분해(thermal decomposition)를 유도하여 무전해 도금용 씨드를 형성하고 무전해 도금을 통해 패턴을 형성하고자 하였다.

AlN 기판에 Q-switching된 Nd:YAG 레이저를 선택적으로 조사하여 표면 온도가 2573K에 도달하면 열 분해(thermal decomposition)가 일어나 AlN은 Al과 N<sub>2</sub>로 분리되어진다. 이때 가스 상태의 질소는 대기 중으로 날아가고 액체 상태의 Al은 냉각되어 Al층을 형성한다. 이렇게 형성된 Al층은 전도성이 매우 낮고 불규칙이기 때문에 무전해도금 기술을 이용하여 후막의 금속층을 형성하게 된다. 이러한 과정을 도식적으로 나타내

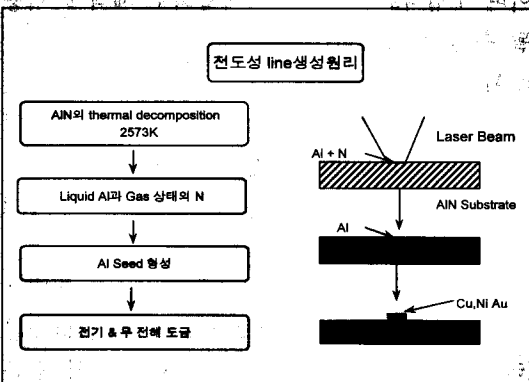


그림 4. 전도성 패턴 형성 원리

면 그림 4와 같다.

### 3.1 실험 장치

실험장치의 개략도는 그림 5와 같다. 입사되는 레이저의 펄스 에너지는 선형편광기와  $\lambda/2$  plate로 구성된 광학계를 통해 미세 조절이 가능하다. 집속렌즈는 이론적으로 약 12 $\mu$ m의 초점 크기를 형성할 수 있는 OFR사의 대물렌즈(5X)를 사용하였으며 구성된 시스템은 그림 6과 같다.

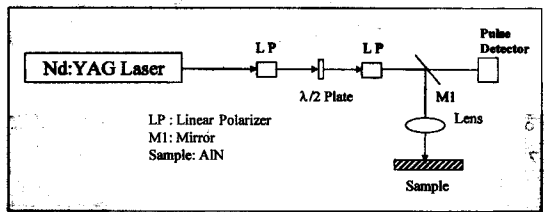


그림 5. 실험장치 개략도

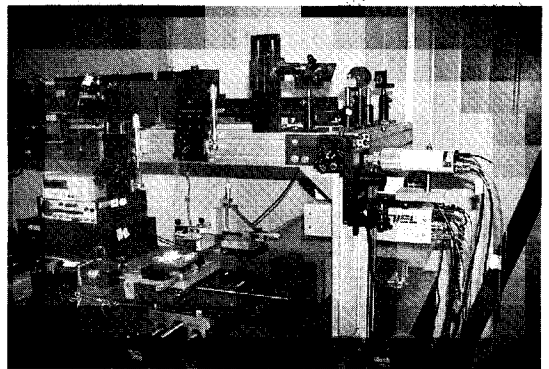


그림 6. Nd:YAG 레이저 직접묘화 시스템

### 3.2 Nd:YAG 레이저 조사에 의한 AlN 표면에 금속성 패턴 형성

#### 3.2.1 레이저 조사 영역의 화학적 성분 변화

레이저 조사전의 AlN 세라믹은 그림 7과 같이 AlN 분말의 소결입자가 관찰되었다. 그림 8은 레이저 조사후의 AlN 표면을 나타내며 레이저 빔 조사전의 표면에서 관찰되었던 분말 소결 입자가 없어지고, 용융됨을 관찰할 수 있었다.

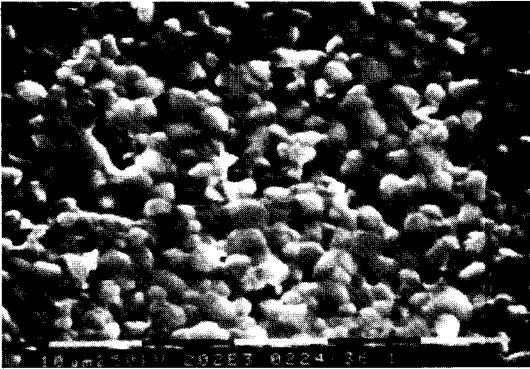


그림 7. AlN기판의 SEM 사진

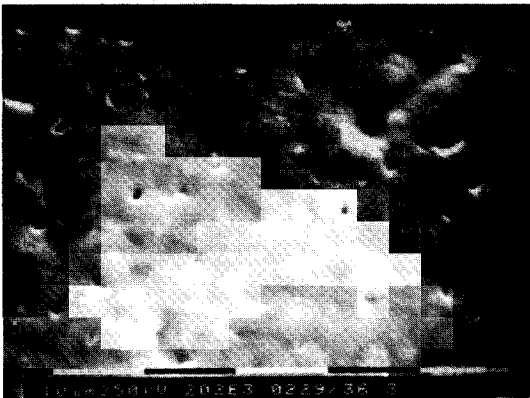


그림 8. 레이저 조사된 영역의 SEM 사진

이러한 용융된 AlN표면의 성분을 알기 위해 XPS를 이용하여 모재 표면부터 깊이로 따른 성분 변화를 측정하였다. 그림 9는 레이저 조사전의 AlN 기판의 표면에서부터 깊이 방향의 성분을 나타내는 깊이 모양(depth profile)이다. XPS 측정 결과에서 에칭 시간 1s는 표면에서부터 약 1Å의 깊이를 나타낸다.

AlN 세라믹의 주성분인 Al과 N은 각각 48%와 42%의 조성비를 가지며, 산소 및 탄소가 미량 함유되어 있음을 알 수 있다.

레이저 조사된 영역에서의 성분 변화를 XPS 결과는 그림 10과 같다. 조사 전 1:1 비율로 함유되어 있던 Al과 질소가 열분해에 의해 질소 성분이 감소되었음을 알 수 있다. 그러나 AlN 기판에서 소량 함유되어 있던 산소의 양이 증가되어

Al과의 3:2조성비를 가지는데 이는 알루미늄( $Al_2O_3$ )에 함유되어 있는 Al과 O의 조성비와 같음을 알 수 있다. 즉, 형성된 Al층이 대기중의  $O_2$ 와 반응하여 산화되었음을 나타낸다. 이러한 결과는 레이저 조사전 후 존재하는 Al의 결합 에너지를 비교함으로써 확인 할 수 있다. 즉 AlN세라믹에서 나타나는 Al의 결합에너지는 74.4eV 인데 비하여  $Al_2O_3$ 에 함유되어 있는 Al의 결합에너지는 74.1eV이다. 그림 11의 분석 결과와 같이 레이저 조사 후 형성된 Al층에 존재하는 Al의 결합 에너지는 74.1eV임을 알 수 있었다. 이는  $Al_2O_3$  상태에서의 Al의 결합에너지와 일치한다.

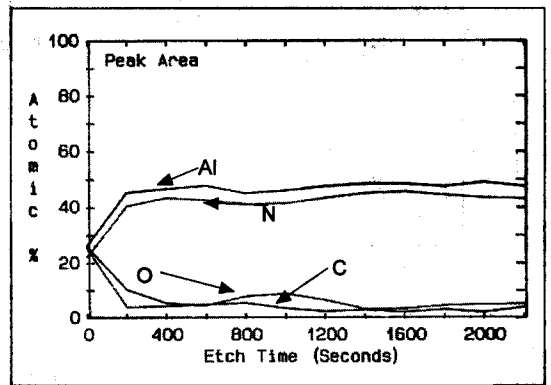


그림 9. AlN기판의 XPS 성분 분석 결과

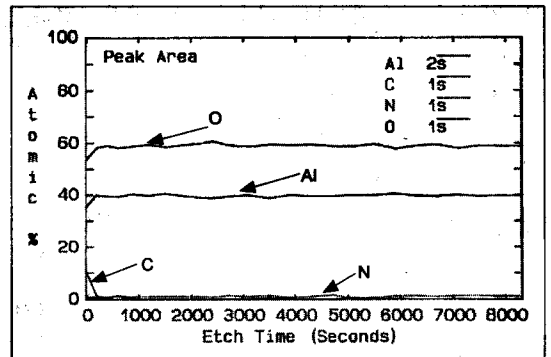


그림 10. 레이저 조사된 영역의 성분 분석 결과

### 3.2.2 공정 변수가 선평 변화에 미치는 영향

레이저 직접묘화법의 공정 변수인 시편 이동 속도 및 펄스 에너지에 따른 Al층의 선평 변화

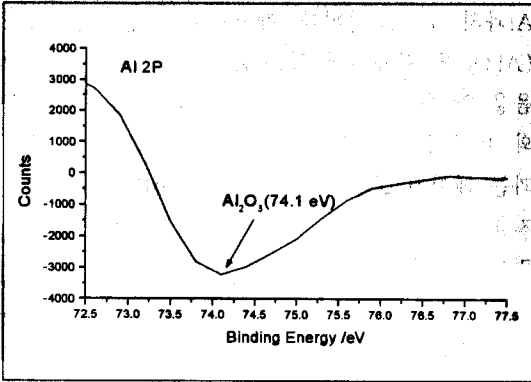


그림 11. 레이저 조사된 영역의 Al XPS peak spectrum

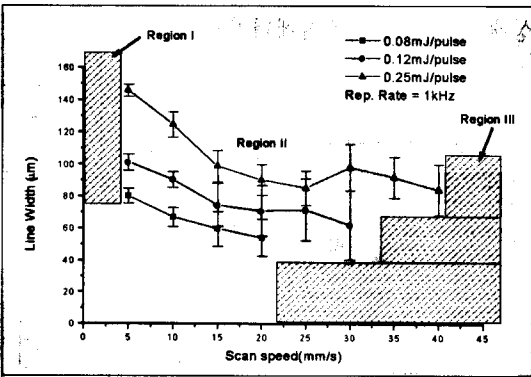


그림 12. 공정 변수에 따른 Al층의 선폭 변화

및 비저항값을 관찰하기 위하여 먼저 펄스에너지를 0.08mJ, 0.12mJ, 0.25mJ의 세 단계로 변화시키고, 각각의 경우에 대한 이송속도를 변화시켰다.

그림 12는 펄스에너지 및 속도변화가 Al층의 선폭에 미치는 영향을 보여주고 있다. 이송속도에 따른 Al층의 표면은 모재이송 속도가 감소함에 따라 단위 면적 단위시간 당 입사되는 에너지가 과다하여 용융되었던 Al의 어블레이션이 일어난 영역 I 과 모재이송 속도가 증가하여 입사되는 에너지 감소로 불 연속한 Al 금속층이 형성되는 영역 III, 그리고 Al 금속층이 단락되지 않은 Al 층이 형성된 영역 II로 구분되어진다. 연속된 Al층이 형성된 영역 II에서는 이송속도가 증가하면 Al층의 선폭이 감소하나, 선폭의 균일성은 저하된다. 즉, 레이저 빔의 중첩도가 이송속도 증가로 인해 감소되어 균일성이 저하되었다. 이러한

결과는 그림 13의 Al층의 표면 사진에서도 알 수 있다. 펄스에너지의 영향은 그림 12에서와 같이 에너지가 증가되면 선폭이 증가됨을 알 수 있다.

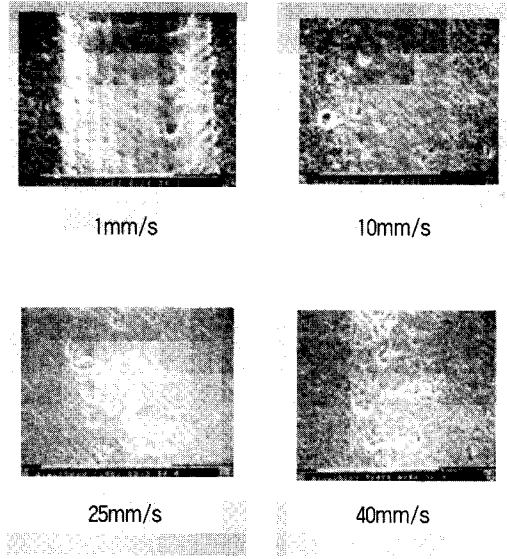


그림 13. 이송속도에 따른 Al층의 표면 변화

즉, 이송속도는 선폭의 균일성과 관련되는 공정변수이고, 펄스에너지는 Al층의 선폭에 연관됨을 알 수 있었다.

### 3.2.3 Al층의 비저항값 측정

레이저 조사에 의해 형성된 Al층의 비저항값을 Four-Point Probe 법을 이용하여 측정하였다.

모재 이송 속도 및 레이저 펄스 에너지에 따른 비저항 측정 결과는 그림 15와 같다. 펄스 에너지가 감소되면 Al층의 비저항값이 증가되는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 펄스 에너지가 0.25mJ인 경우에 비해 0.08mJ인 경우 레이저 조사영역에서 불 완전한 열분해로 인해 Al 이외의 불순물 즉, 강 유전체인 AlN 성분이 많이 존재하기 때문에 발생한 것이라고 생각되어진다. 모재이송 속도가 증가에 따른 비저항값 증가 현상은 그림 13의 표면사진에서와 같이 Al층의 연속성과 0.08mJ의 경우와 같이 균일성이 감소한 것에 기인한다고 사료된다.

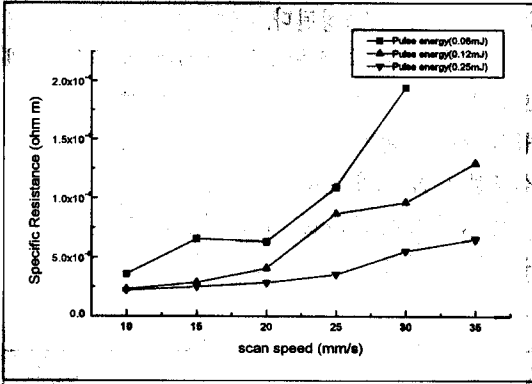


그림 14. Al층의 비저항값 변화

3.2.4 최소 선폭의 Al층 형성

Nd:YAG레이저 조사에 의해 형성할 수 있는 최소 선폭을 펄스에너지와 AlN 기판 표면에 형성된 Al층의 선폭과의 상관관계를 기초로 하여 이송속도를 10mm/s로 고정시키고 첨두 출력 밀도(Peak Power Density)와 이송속도 증가와 같은 효과를 가지는 펄스 반복률을 변화시키면서 임계값과 최소 선폭 형성 조건을 설정하였다.

연속적으로 형성되는 임계값을 조사한 결과 첨두 출력 밀도가 약 0.14MW/cm<sup>2</sup>이하에서는 불 연속적인 Al층이 형성됨을 알 수 있었다. 이러한 임계값 이상에서 형성된 Al층은 그림 15 (a)와 같이 단락되지 않았으나 불 균일한 폭의 Al층이

형성되었다. 선폭의 균일성은 그림 12, 13의 결과에서와 같이 이송속도 즉, 입사되는 레이저 펄스 반복률(중첩도) 증가를 통해 향상될 수 있다. 즉, 그림 15 (b)에서와 같이 중첩도가 약54%인 경우로 임계값 측정 조건보다는 균일한 선폭의 Al층을 얻을 수 있었으나 레이저빔의 초점크기의 중첩에 의한 물결무늬가 표면에 형성되었다. 그림 15(c)와 같이 중첩도가 약 75%까지 증가하면 - 2kHz 펄스 반복률 - 표면에 형성된 물결 무늬가

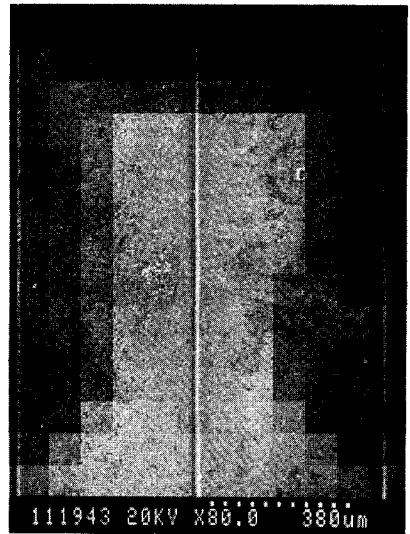
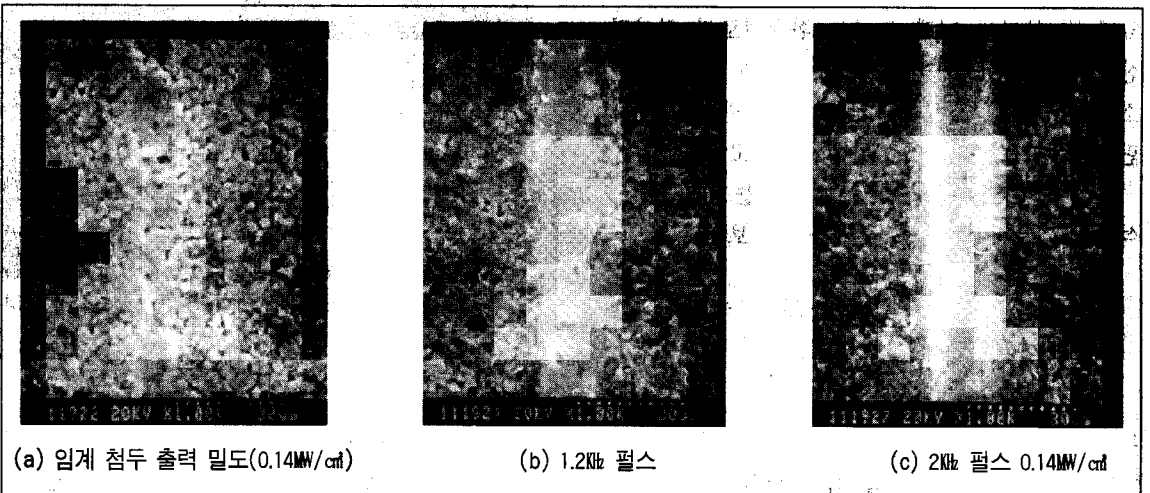


그림 16. 24µm 선폭의 Al 층



(a) 임계 첨두 출력 밀도(0.14MW/cm<sup>2</sup>)

(b) 1.2kHz 펄스

(c) 2kHz 펄스 0.14MW/cm<sup>2</sup>

그림 15. 첨두 출력에 따른 Al층의 표면사진



없어지고 약 24 $\mu$ m의 최소 선폭을 가지는 균일한 Al층을 얻을 수 있었다.(그림 16)

임계값 이상에서의 침투 출력 밀도에 의해 형성된 Al층의 선폭 변화는 그림 17에서 보여주는 바와 같이 출력밀도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있으며 본 연구에 사용된 시스템의 최대 침투 출력 밀도인 0.76MW/cm<sup>2</sup>의 출력 밀도에서 약 31 $\mu$ m의 선폭이 형성되었다.

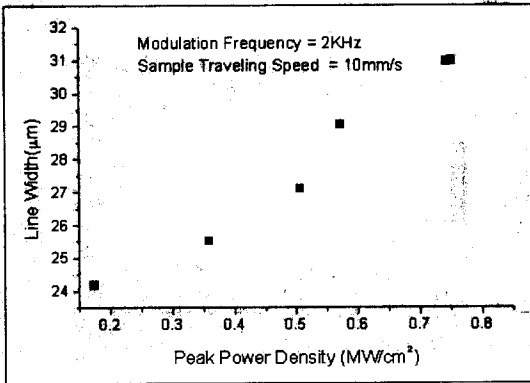
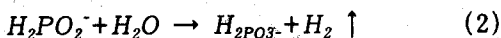
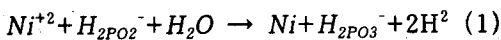


그림 17. 침투 밀도 변화에 따른 Al층의 선폭 변화

### 3.2.5 무전해 니켈 도금에 의한 후막의 전도층 형성

무전해 니켈에 의해 생성된 도금층은 전기적 특성뿐만 아니라 기계적인 특성, 납땀성이 우수하여 이에 대한 연구 및 응용 기술이 개발되고 있다.<sup>[12]</sup> 무전해 니켈 도금은 환원제로써 치아린 산소다(NaH<sub>2</sub> PO<sub>2</sub>)를 사용하는 것과 수소화 붕소(BnHn<sup>+</sup>의 조성을 가졌으며, 보란이라고 불린다)를 사용하는 것이 널리 사용되고 있다.

차아린산소다를 환원제로 사용하는 경우는 그 석출반응은 복잡하지만 결과적으로 보면



의 두가지 반응이 되는데 (1)에 의해 환원된 니켈이 자기 촉매적 역할을 하여 연속적으로 니켈이 석출된다. 석출물 중에 인(P)이 포함되며,

Ni-P의 합금이 생성된다.

수소화붕소를 환원제로 사용하는 도금은 아민 보라민을 사용하는 저온욕조와 수소화붕소 나트륨을 사용하는 고온욕조가 있다. 어느 경우이나 석출물은 Ni-B의 합금이 된다.

본 연구에서 Dipsol 사의 무전해 니켈 도금액을 사용하였다.

표 1. 무전해 니켈 도금 조건

pH	4.8
도금 온도	86°C
도금 속도	16 $\mu$ m/hr

표 1의 도금 조건에서 레이저 조사에 의해 형성된 Al층에 대한 도금 결과는 그림 18과 같이 불 균일한 Ni층이 형성되었다. 이는 초기 Ni 치환(Ni displacement)과정에서 Al층이 부분적으로 도금액에 용해되어 발생한 것으로 생각되어진다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 초기 도금과정에서 일어나는 Ni 치환 속도를 증가시켰다. 즉, 치환속도는 치환액 온도에 비례하여 증가할 뿐만 아니라<sup>[13]</sup> 도금속도를 증가시킨다.<sup>[14]</sup>

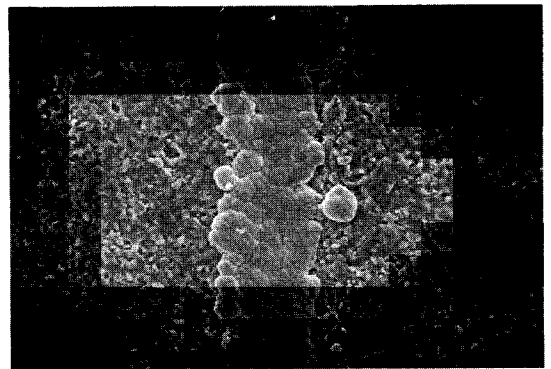


그림 18. 무전해 Ni 도금에 의해 형성된 Ni 층의 SEM 사진

레이저 조사에 의해 형성된 약 24 $\mu$ m의 선폭을 가지는 Al층의 경우 도금 온도가 약 92°C에서 그림 19과 같이 균일한 폭의 도금층을 얻을 수 있었고 이러한 온도에서의 도금 속도는 86°C의

온도 조건에 비해 약 2배 증가된 30 $\mu\text{m/hr}$ 였다.

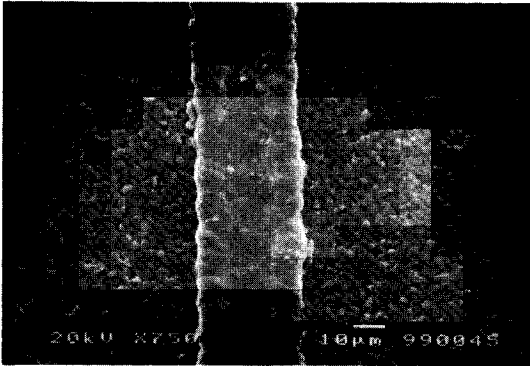


그림 19. 무전해 Ni 도금된 Al층의 표면 사진

### 3.3 레이저 Microstructuring의 기초 연구

#### 3.3.1 도금 전 후 형성된 금속층의 선폭 비교

그림 17과 같은 조건에서 생성된 Al층에 대한 무전해 도금 전 후의 선폭 변화를 관찰하였다. 24 $\mu\text{m}$ 의 최소 선폭에 대한 무전해 도금 결과 Al층의 폭에 비해 선폭이 증가된 27 $\mu\text{m}$ 의 도금층이 형성됨을 관찰할 수 있었다. Al층의 선폭 변화에 따른 도금층의 선폭 증가는 그림 20과 같이 Al층의 폭이 증가 될수록 도금 전 후의 선폭변화가 증가됨을 알 수 있다.

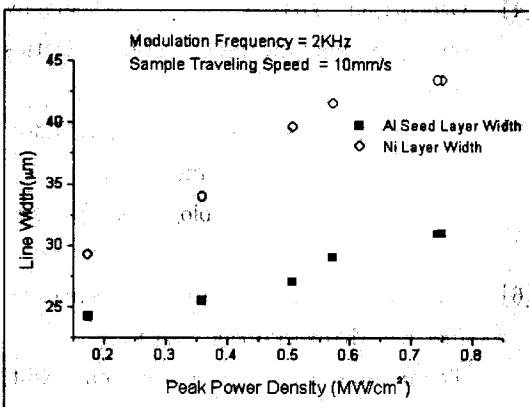


그림 20. Al층의 선폭과 무전해 Ni층의 선폭 비교

#### 3.4.2 최소 선간 간격 형성

미세패턴을 제작하기 전에 선행되어야 할 연구는 인접한 두 전도층 사이의 최소 선간 간격<sup>1)</sup>이다. 본 연구에서 제작된 금속성 후막의 최소 선간 간격 형성 조건을 구하기 위하여 선간 간격이 30, 50, 100 $\mu\text{m}$ 인 Al층을 제작하여 무전해 니켈도금을 하였다.

30 $\mu\text{m}$ , 50 $\mu\text{m}$ 의 선간 간격을 가지는 Al층의 무전해 도금을 한 결과는 그림 21, 22과 같이 독립된 전도층을 형성할 수 없었으나 100 $\mu\text{m}$ 의 선폭을 가지는 Al층의 경우 그림 23와 같이 독립된 Ni 전도층이 형성되었다.

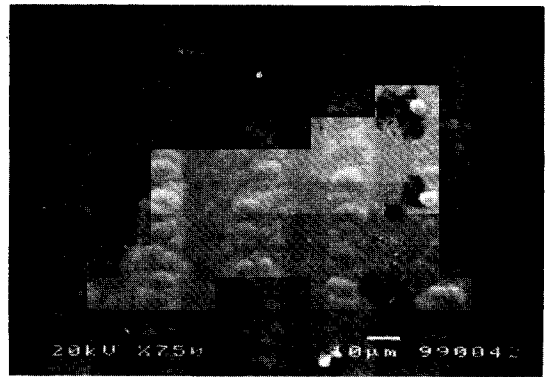


그림 21. 30 $\mu\text{m}$  선간 간격의 Al층에 대한 무전해 도금 결과

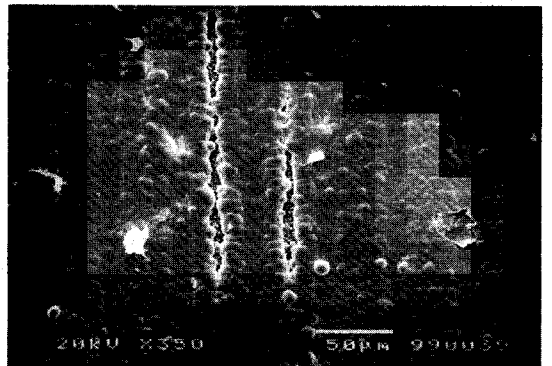


그림 22. 50 $\mu\text{m}$  선간 간격의 Al층에 대한 무전해 도금 결과

1) 선간 간격 : 씨드 선의 중심에서 다음 씨드 선의 중심까지의 거리

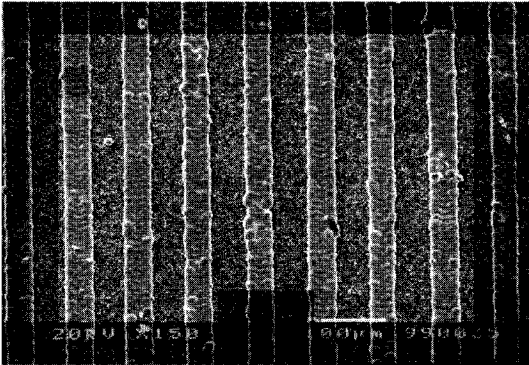


그림 23. 100 $\mu$ m 선간 간격의 Ni층에 대한 무전해 도금 결과

그림 24는 그림 23의 결과에 대한 측면 사진으로 AlN 세라믹에 표면에 레이저 직접묘화법과 전처리 공정이 생략된 무전해 니켈 도금법을 통하여 선폭이 약 40 $\mu$ m이고 두께가 10 $\mu$ m인 균일한 Ni 전도층이 100 $\mu$ m의 선간 간격으로 형성될 수 있음을 보여주고 있다.

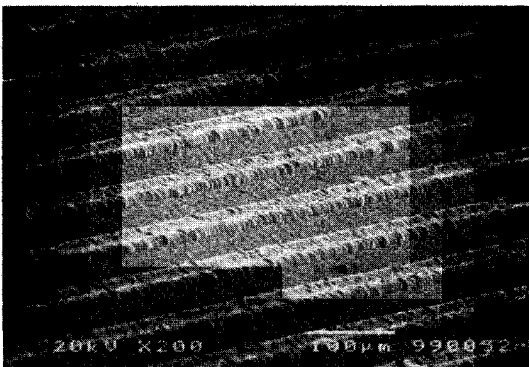


그림 24. AlN 기판 표면에 형성된 Ni층의 측면 사진

#### 4. 결론 및 향후 계획

전자소자의 Package 재료로 사용되고 있는 AlN은 높은 유전율과 열전도도로 인하여 그 적용영역이 증가되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 Nd:YAG레이저 직접묘화법과 무전해 도금법을 이용하여 AlN 기판에 미세패턴 형성을 위한 기초연구를 수행하여 AlN 기판 표면에 2 단

계공정을 통해 선폭이 40 $\mu$ m이고 두께가 약 10 $\mu$ m인 Ni 금속층을 선간 간격이 100 $\mu$ m로 형성하여 실용화를 위한 가능성을 제시하였다.

향후 무전해 도금 및 Ni층의 전기 전도도에 관한 지속적인 연구를 통해 세장비(aspect ratio)가 큰 패턴의 제작뿐만 아니라, 곡면의 기판표면에도 패턴을 형성할 수 있어 그 응용분야의 확대가 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ganz, J., Hesse, K., Kuehnele, A., Weibel, B.: Herstellung Feiner Eiterstrukturen mit Hilfe der Laserunterstuetzten Beschichtungen. Verbindungstechnik in der Elektronik, DVS-Berichte 141, p. 7, 1992.
- [2] Boettiger, U., Hafner, B.: Pattern Generator mit Excimer-Laser. Maskentechnik fuer Mikroelektronik-Bausteine, VDI-Berichte 621, p. 59, 1986.
- [3] Becker, R.A., sopoll, B.I.: Focused Laser Lithographic System. Appl. Optics, Vol. 17(7), p. 1069, 1978.
- [4] Geondzhian, Yu.G. et al.: Microlithography on Complex-Surface. Microelectrics Engineering 17, p. 117, 1992.
- [5] Yamazaki, s., Watabe, s., Itoh, K.: Laser Scribing Lithography. Amorphous Semiconductor Technology & devices, Vol. 16, p. 149, 1984.
- [6] Kickelhain, J.: Lasergestuetzte Technology fuer die Mikroelektronik. Laser Technology und Anwendungen, Edit. Kohler, H., Essen, Vulkan, p. 651, 1993.
- [7] V. Gutfeld, R.J., Tynan, E.E., melcher, R.J., Blum, s.E.: Laser Enhanced Electroplating and Pattern Generation.

- Appl. phys. lett. 35 (9), p. 651, 1979.
- [8] M. Wehner, etc, Direct writing of gold and copper lines from solutions, Applide Surface Science, 106, 1996, p. 406-411.
- [9] S.M. Pomenov, etc, Laser activation of diamond films for electroless metal plating : Valence band modifications, Appl. Phys. Lett. 68(3) 15 January 1996, p. 334-336.
- [10] A.J. Pedraza, etc, Surface modification of aluminum nitride and of aluminum by Excimer laser, Mat. res. Soc. Symp. Proc. Vol 285, 1993, p. 209- 214.
- [11] Ehrlich, D.J., Tsao, J.Y. : Laser Microfabrication. Thin Film Processing and Lithography. Boston, Academic press, 1989.
- [12] 임영 , 특수가공, 전기연구소 1991. 2.
- [13] H. Watanabe, etc, Fabrication of nickel microbump on aluminum using electroless nickel plating, J. Electrochem. Soc., Vol. 44, No. 2, February 1997, p. 471-476.
- [14] Shoichi Furukawa, etc, Electroless plating of nickel on silicon for fabraction of high-aspect-ration microstructures, Sensors and actuators A 56, 1996, p. 261-266.