

## Nd:YAG Laser를 이용한 자성금속 막의 패턴 식각

채상훈 · 서영준 · 송재성\* · 민복기\* · 안승준\*\* · 이주현

선문대학교 재료금속공학부  
\*한국전기연구소 전기재료연구부  
\*\*선문대학교 신소재과학과

### Micro-patterning of Multi-layered Magnetic Metal Films Using Nd:YAG Laser

Sang-Hoon Chae, Young-Joon Seo, J. S. Song\*, B. K. Min\*, Seung Joon Ahn\*\* and Ju-Hyeon Lee

Dept. of Materials Eng., Sun Moon University, Asan city, Choongnam 336-840

\*Division of Electrical Materials, Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-600

\*\*Dept. of Physics, Sun Moon University, Asan city, Choongnam 336-840

(1999년 8월 10일 받음, 2000년 1월 14일 최종수정본 받음)

초 록 본 연구에서는 실리콘 wafer 위에 sputtering 방법으로 진공증착된 CoNbZr 비정질 박막을 Nd:YAG 레이저로 식각하기 위한 실험을 했는데, 금속의 경우 표면에서 빛의 반사율이 매우 크기 때문에 파장이 1.06 $\mu\text{m}$ 인 Nd:YAG 레이저의 에너지를 흡수하는 것이 매우 어려우므로 식각이 거의 이루어지지 않았다. 그래서 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 시도로서 본 연구에서는 빛의 흡수율이 좋은 검은색의 polymer막을 금속박막의 표면에 도포하고 이 polymer막 위에 레이저를 조사해서 금속박막을 식각하는 실험을 실시하였다. 기존의 방법으로는 laser power가 332W나 되는데도 식각이 거의 일어나지 않았지만 본 연구의 방법을 이용했을 때는 laser power가 114W로 1/3정도 밖에 안 되는데도 레이저 식각이 비교적 양호하게 이루어졌다. 이는 검은색의 polymer층이 Nd:YAG 레이저 에너지의 흡수 및 전달 층의 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다.

**Abstract** In this study, the laser patterning of sputter-deposited amorphous CoNbZr films has been tried using Nd:YAG laser. However, the metal film was not removed because of its high reflectance of the laser on the metal surface. To solve this problem, authors tried to screen-print a black polymer on the metal film and then irradiate the laser on the polymer. This is a new method which was suggested by this study. Using this new method, the metal films were effectively removed with the laser power of 114W even though the metal films was not removed with the laser power of 332W using the conventional method. This result leads to the conclusion that the black polymer acts as a laser energy absorbing and transferring layer.

**Key words** : Micro-patterning, Magnetic Metal Films, Nd:YAG Laser, CoNbZr alloy, Energy absorbing, layer

### 1. 서 론

최근에 레이저를 이용한 재료의 가공이 많이 시도되고 있는데 이는 가공하고자하는 시편의 고정성이 용이하고, 장비를 빨리 설치할 수 있으며, 가공 패턴의 디자인을 빠르고 용이하게 변경할 수 있고, 가공한 자국이 작으며, 복잡한 모양의 패턴도 쉽게 가공할 수 있는 장점 때문이다.<sup>1)</sup>

본 연구에서는 레이저를 이용해서 기존의 기계적 가공이 아니라 금속박막의 patterning을 시도했다. 고주파에 이용되는 박형의 자기소자를 제조하기 위해서는 다층으로 이루어진 자성 막이 요구된다. 특히 이러한 경우에는 10-50 $\mu\text{m}$  정도의 두꺼운 금속의 자성 막이 요구되는데, 이러한 자성막을 식각하여 패턴을 형성하는데 있어서 자성 막이 두꺼울 뿐만 아니라 다층의 다른 물질로 이루어져 있기 때문에 습식식각법을 이용할 경우에 동일한 etchant를 이용하면 물질에 따라 식각속도가 다르고 기본적으로 등방성식각이 이

루어지므로 바람직한 패턴을 형성하는 것이 매우 어렵다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 대안으로 레이저를 이용한 건식식각 방법을 시도했다. 일반적으로 적외선인 레이저빔은 평행광선으로서 레이저 source에 의해서 발생되며 반사거울에 의해서 식각표면까지 전달된다. 식각 대상지점에 이르면 레이저빔은 렌즈에 의해 식각재료의 표면에서 거의 한 점으로 모이도록 집중된다. 증폭된 레이저빔은 순간적으로 대상물질을 가열하여 증발시킴으로서 식각이 이루어진다. 레이저의 출력은 매초당 레이저빔으로부터 방출되는 전체 에너지의 양으로 표시되며 레이저빔의 강도는 이러한 출력이 집중되는 조사부위의 면적으로 나눈 값으로 정의된다.

레이저빔의 강도 = 레이저출력 / 레이저빔의 조사부위면적

레이저 식각이나 절단을 위해서는 고도의 빔강도가 요구되는데 이러한 고도의 빔강도는 식각하고자 하는 재료의 표

면을 순간적으로 급격히 가열시키는 결과를 가져오며 이것은 주변물질의 가열로 열 손실이 초래될 시간이 거의 없다는 것을 의미하는 것으로 결국 빠른 식각속도와 식각품질을 유지할 수 있게 한다. 더욱이 대부분의 금속에 있어서 레이저빔이 낮은 강도를 가질 경우 금속의 표면에서 반사성이 높은 반면에 높은 강도를 갖는 레이저빔의 경우 표면에서의 반사성은 낮아진다. 이러한 이유로 레이저식각에 있어서 레이저빔의 강도가 높아야한다. 빔강도는 또한 식각하고자 하는 막의 두께에 따라서 달라져야 하는데 막의 두께가 두꺼울수록 빔강도도 높아져야 한다. 높은 강도의 레이저빔은 pulsed wave나 continuous wave 모두에서 얻어질 수 있는데 pulsed wave에 의한 식각의 경우는 peak pulse power가 continuous wave의 경우 평균출력이 식각부위의 침투정도를 결정한다.

진공증착된 금속박막은 빛의 반사율이 높기 때문에 반사체로 많이 이용되고 있다. 본 연구에서 식각하고자 하는 자성박막은 진공증착된 금속박막이므로 빛에 대한 반사율이 매우 크다. 그래서 이러한 경우에는 레이저 에너지의 흡수율이 낮기 때문에 레이저를 이용해서 patterning하는 것이 매우 어렵다.<sup>2)</sup>

이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 두 가지 대안을 고려해 볼 수 있는데, 그 중 하나는 위에서 언급한 바와 같이 레이저빔의 강도를 높이는 것이고 나머지 하나는 레이저 에너지의 흡수율이 높은 에너지 흡수층을 형성함으로써 레이저 에너지를 흡수해서 바로 밑에 있는 자성막에 레이저 에너지를 전달해 주는 역할을 하게 하는 것이다. 본 연구에서는 첫 번째 경우의 대안으로 레이저빔의 강도를 높이기 위해서 펄스형 레이저를 이용했는데 펄스형 레이저를 이용할 경우 에너지의 펄스폭이 짧아서 열에 민감한 물질들을 보호할 수 있으며 에너지가 전달되는 면적이 매우 작기 때문에 본 연구에서 이용된 비정질 자성박막의 결정화를 최소화할 수 있게 된다. 두 번째 경우의 대안으로 본 연구에서는 레이저 에너지의 흡수율이 높은 검은색의 polymer막을 자성박막의 표면에 도포하는 방법을 최초로 시도했다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 비정질 자성박막이 시편으로 준비되었는데 실리콘 wafer 위에 두께가  $2\mu\text{m}$  정도인 CoNbZr alloy 자성박막을 sputtering으로 진공증착시킨 것이다. 이렇게 준비된 자성박막의 표면에 본 연구에 의해서 최초로 시도된 에너지 흡수층을 도포하게 되는데 그 방법을 구체적으로 살펴보면, 우선 레이저 에너지를 가장 효과적으로 흡수할 수 있는 물질로서 미세한 탄소분말을 이용했다. 이 때 탄소분말의 입자 크기는 submicron size이다. 탄소(carbon black powder)는 가시광선이나 적외선 영역의 빛을 가장 잘 흡수하는 물질 중의 하나이며 그래서 검은색이다. 이러한 탄소분말을 polymer와 3:1의 무게비율로 잘 혼합해서 paste 형태로 만든다. 여기서 레이저 에너지의 흡수율을 높이기 위해서 탄소분말의 밀도를 최대한 크게 하는 것이 바람직하다. 이렇게 만들어진 paste를 screen-printing 방법

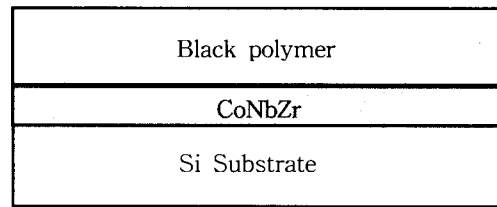


Fig. 1. Cross-sectional structure of the sample with black polymer layer.

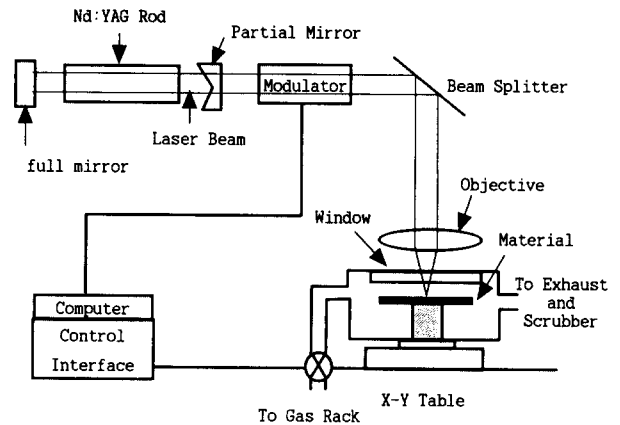


Fig. 2. Schematic diagram of the laser micro-patterning system.

으로 식각하고자 하는 금속막의 표면에 도포하게 되는데 여기서 paste에 탄소분말의 양이 너무 많으면 점도가 너무 크게 되어서 screen-printing이 어렵게 된다. Paste를 도포한 후에 rotary pump를 이용해서  $10^{-2}$  torr 정도의 진공이 얻어지는 진공건조oven에서 약  $100^\circ\text{C}$ 에서 10분 정도 건조하게 되면 polymer가 경화되어서 미세한 탄소입자들을 서로 연결시켜주는 binder 역할을 하게 된다. 이렇게 해서 균일한 두께를 갖는 레이저 에너지 흡수층이 얻어진다. 이때 polymer막의 두께는 약  $3.5\mu\text{m}$  정도가 얻어졌다. 그림 1은 이러한 검은색의 polymer막을 자성박막의 표면에 도포한 시편의 단면모양을 나타내고 있다.

어떤 물질에 전기장(electric field)을 가하면 원자주위에 있는 전자구름이나 이온 혹은 두 가지 모두가 변위를 하게 된다. 인가된 전기장이 진동수  $\omega$ 로 진동할 때 그 진동수가 너무 높아서 전자나 이온이 따라갈 수 없을 정도가 아니라면 전자와 이온의 변위도 진동수  $\omega$ 로 진동할 것이다. 실제로 전자들이  $10^{-11}$ - $10^{-13}$  sec의 짧은 시간동안에 물질의 격자 원자나 다른 전자들과 충돌하므로 진동수가 너무 높아서 전자나 이온이 따라갈 수 없을 정도가 되기는 거의 불가능하다. 그래서 어떤 물질이 강한 레이저 즉 electromagnetic radiation에 노출되면 레이저에너지가 자유전자, 속박전자(bound electron), 혹은 격자진동 등에 의해서 먼저 흡수되고 이것이 충돌과정에 의해서 열로 변환된다. 결국은 이 열에 의해서 물질이 증발됨으로서 레이저식각이 이루어진다.<sup>3-6)</sup> 그림 2에서 보는 바와 같이 본 연구의 Nd:YAG 레이저 실험장치가 구성되었는데 배율이 10배인 빔확대기

(modulator)를 이용하여 레이저빔의 spot크기를 확대하였다. Beam splitter와 프리즘을 이용하여 x-y stage위에 놓여있는 시편에 레이저빔을 정렬하고 볼록렌즈로 집속시켰다.

본 실험에서는 펄스폭이 200 $\mu$ s가 얻어지는 레이저를 이용했으며, 에너지 흡수층으로 검은색의 polymer를 자성박막 위에 도포했을 경우와 도포하지 않았을 경우에 시편에 패턴을 형성하고 이러한 패턴들이 주사형 전자현미경을 이용해서 관찰되었다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 CoNbZr alloy 단층자성박막의 표면에 Nd:YAG 레이저를 조사해서 얻어진 패턴의 SEM 사진을 보여주고 있는데 여기서는 검은색의 polymer막을 자성박막의 표면에 도포하지 않았으며 앞에서 살펴본 봐와 같이 진공 증착된 금속박막의 표면에서 레이저 에너지의 높은 반사율 때문에 식각이 거의 일어나지 않았음을 보여주고 있다.

그림 4는 그림 3의 패턴에서 레이저가 조사된 부분을 확대해서 본 SEM 사진인데 극히 일부분의 레이저 에너지만 비정질의 금속박막에 흡수되었고 나머지 에너지는 모두 금속박막의 표면에서 반사되어서 흡수된 에너지가 충분하지 않기 때문에, 금속박막을 증발시켜서 제거하지는 못했다는

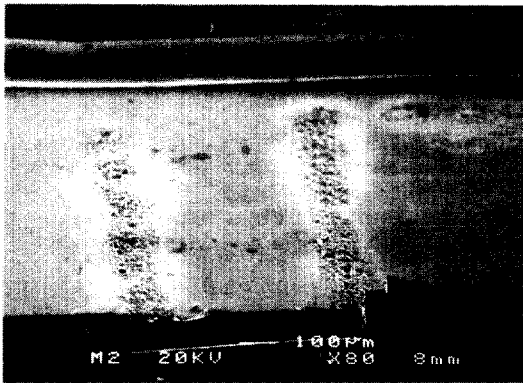


Fig. 3. SEM photograph showing a test pattern which was formed by laser.

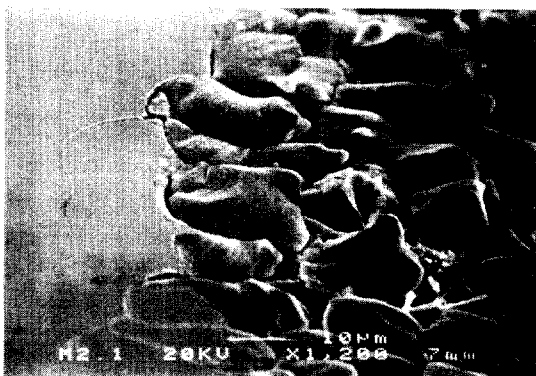


Fig. 4. SEM photograph obtained from the laser-irradiated area of Fig. 3. it shows crystallized grains.

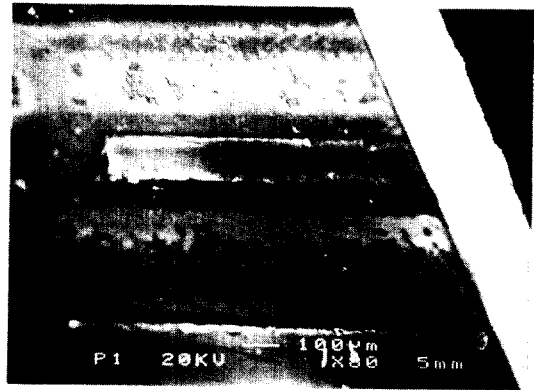


Fig. 5. Plane view of the sample with the black polymer layer which was laser-patterned.

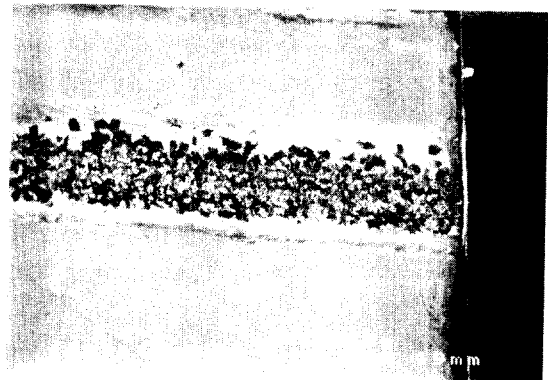


Fig. 6. Plane view of the sample with the black polymer layer which was laser-patterned. Here the black polymer layer was removed after patterning.

것을 보여주고 있다. 다만 비정질의 CoNbZr alloy 자성박막을 결정화 시켜서 결정입자(crystallized grain)들이 생성되었다는 것을 보여주고 있다. 이러한 경우에는 비정질의 자성막이 결정화되었으므로 원래 의도했던 자성막의 특성을 얻을 수 없게 된다.

Polymer막을 도포하지 않은 시편을 레이저식각한 그림 4의 경우에는 레이저 에너지가 73mJ이고 pulse duration이 220 $\mu$ s인 조건으로 동작한 것인데 이 때의 laser power는 332W가 된다. 한편 polymer막을 도포한 시편을 레이저 식각한 후에 찍은 SEM 사진인 그림 5의 경우에는 레이저 에너지가 25mJ이고 pulse duration이 220 $\mu$ s인 조건으로 동작한 것이므로 laser power가 114W이다.

그런데 그림 4에서 보는 봐와 같이 polymer막을 도포하지 않은 시편을 레이저 식각한 경우에는 laser power가 332W나 되는데도 식각이 거의 일어나지 않았지만, polymer막을 도포한 시편을 레이저 식각한 그림 5의 경우에는 laser power가 114W로 polymer막을 도포하지 않은 시편에 비해서 laser power가 1/3정도밖에 되지 않는데도 불구하고 금속박막이 식각되었다는 것을 알 수 있다. 여기서 식각된 부분을 EDX(Energy Dispersive X-Ray microanalysis)를 통해서 분석해본 바에 의하면 금속박막

이 완전히 식각되어서 실리콘으로된 기판이 드러났다는 것을 알 수 있었다. 이때 그림 6에서 보는 바와 같이 검은색 polymer는 아세톤 등의 solvent에 담그기만 하면 쉽게 제거되기 때문에 적용이 매우 용이하다는 것을 알 수 있다.

여기서 검은색 polymer막을 도포하지 않은 경우에는 제거해야 할 막의 두께가 2 $\mu\text{m}$ 정도인데, 검은색 polymer막을 도포한 경우에는 제거해야 할 막의 두께가 polymer막의 두께와 자성막의 두께를 합한 약 5.5 $\mu\text{m}$ 정도로 제거해야 할 막의 두께가 2.75배나 된다. 그런데 오히려 두께가 2.75배나 두꺼운 막이 에너지를 1/3로 줄였는데도 불구하고 더 잘 제거되었다. 이러한 현상을 설명하기 위해서는 빛에 대한 금속의 일반적인 속성을 살펴볼 필요가 있는데, 일반적으로 금속표면의 높은 열전도와 높은 빛의 반사율 때문에 금속을 식각하는 경우에는 비금속을 식각하는 경우에 비해서 더 높은 평균출력이 요구된다. 이것은 효과적인 레이저 식각을 위해서는 레이저 에너지의 흡수율이 좋아서 물질제거에 이용되는 에너지의 양이 많아야 하며 이러한 에너지가 제거하고자 하는 물질의 제한된 표면에 순간적으로 집중되어야 함을 의미한다. 여기서 본 연구에 이용된 검은색 polymer막이 미세한 탄소분말과 polymer binder로 이루어져 있으므로 검은색으로 되어 있는 탄소분말은 레이저 에너지를 흡수하는 역할을 하고 polymer binder는 녹는 온도나 끓는 온도가 낮기 때문에 쉽게 증발할 수 있게 해주는 역할을 한다. 그래서 검은색 polymer막 자체는 쉽게 제거될 수 있으며, 이 때 탄소분말은 레이저 에너지를 흡수해서 아래에 있는 금속막에 전달해주는 역할을 하게 될 것으로 생각된다. 왜냐하면 금속의 Nd:YAG 레이저 에너지(파장 1.06 $\mu\text{m}$ ) 흡수율은 수 %에 불과한데 반해서 탄소의 Nd:YAG 레이저 에너지 흡수율은 거의 100%에 가깝기 때문에 검은색 polymer막을 도포했을 경우에 더 많은 에너지를 흡수하고, 한 편으로 탄소의 열전도율이 금속에 비해서 1/10-1/100 정도에 불과하기 때문에 흡수한 레이저 에너지의 대부분이 측면이 아니라 거리가 가까운 아래쪽의 금속막에 전달될 것이기 때문이다.

#### 4. 결 론

일반적으로 금속의 경우 표면에서 빛의 반사율이 매우 크기 때문에 파장이 1.06 $\mu\text{m}$ 인 Nd:YAG 레이저의 에너지를

흡수하는 것이 매우 어렵다. 이러한 관점에서 표면이 매우 평탄하기 때문에 레이저 에너지의 반사율이 특히 큰 본 연구의 진공증착된 금속박막을 효과적으로 식각하기 위해서는 두 가지 방법을 생각해 볼 수 있는데 그 하나는 레이저의 반사율이 낮은 짧은 파장의 레이저를 이용하는 방법이 있고 또 다른 한 가지 방법은 금속박막의 표면에서 레이저 에너지의 흡수율을 높이는 것이다. 첫 번째 방법은 고가의 에너지 source가 요구되기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해서는 두 번째의 방법이 더욱 경제적이고 효과적인 방법이 될 것이다. 그래서 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 시도로서 본 연구에서는 빛의 흡수율이 좋은 검은색의 polymer막을 금속박막의 표면에 도포하고 이 polymer막 위에 레이저를 조사해서 금속박막을 식각하는 실험을 실시하였다.

이러한 방법을 이용했을 때 표면에서 레이저빔의 반사율이 매우 높은 물질일지라도 레이저식각이 비교적 양호하게 이루어졌다. 이는 검은색의 polymer층이 Nd:YAG 레이저 에너지의 흡수 및 전달층의 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 에너지절약기술개발사업의 일환으로 주관기관인 한국전기연구소의 위탁과제로서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. F. Ready, Industrial Application of Lasers, Academic Press, p. 409 (1997).
2. American Institute of Physics, Handbook, p. 6-112, McGraw-Hill Book Co., New York (1967).
3. H. Beyer, W. Ross, R. Rudolph, A. Michaelis, J. Uhlenbusch, and W. Viol, J. Appl. Phys., **70**, 75 (1991).
4. V. Oliveira and R. Vilar, J. Mater. Res., **12**, 3206 (1997).
5. Y. Arata and I. Miyamoto, Laser Focus, **3**, (1977).
6. X. Liu, D. Du, and G. Mourou, IEEE. J. of quantum Electronics, QE-33, **1706** (1997).