

폴리머 코팅 LIFT 공정을 이용한 미세패턴제조 Fabrication of Micropattern Using LIFT Process with Polymer Coating Layer

*이봉구, #민병권, 이상조
*B.-G. Lee, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee
연세대학교 기계공학부

Key words : Laser ablation, Direct writing technology, microdeposition, micropattern

1. 서론

레이저 미세가공기술은 가공방법에 비해 상대적으로 간단한 장비를 이용해 수십 마이크로미터 크기의 미세패턴 및 구조물을 용이하게 제조할 수 있기 때문에 활발한 연구가 이루어지고 있다¹. 대표적인 레이저 가공기술로는 레이저 빔과 반응가스의 화학반응을 이용하여 증착하는 레이저 국소증착(LCVD), 레이저 빔을 이용해 고체 재료를 직접 가공하는 레이저 어블레이션(ablation)가공과 레이저 유도증착(LIFT)^{2,3}, 마이크로 광조형법(microsterolithography)^{4,5} 등이 있다.

레이저 미세가공기술의 하나인 레이저 유도증착(LIFT)은 레이저 직접묘화법의 하나이다. 레이저 유도증착은 레이저 빔이 투과하는 투명기판에 전도성 금속박막을 전자빔과 같은 진공 증착공정으로 투명 절연기판위에 증착한다. 이렇게 제작된 시편을 수용기판에 고정시켜 레이저 미세가공기의 이송 테이블위에 장착한다. 금속박막에 집속된 레이저 빔을 조사하면 레이저 빔의 빛 에너지가 금속박막에 흡수되어 열에너지로 바뀌게 되고, 열에너지의 열전도에 의해서 금속박막이 열분해 되어 수용기판 표면 위에 증착(Deposition)이 일어나는 것을 말한다. 일반적인 레이저 유도증착 공정의 경우 수용기판의 과열과 같은 열적 손상을 피할 수 없다. 이외에도 레이저 빔의 열에너지에 의한 금속박막의 물리적 성질이 변하게 되고, 열응력에 의한 수용기판의 미세크랙과 같은 손상을 받게 된다. 이것은 레이저 빔의 열에너지에 의한 어블레이션으로 증착되기 때문에 증착층에 재용발(Re-evaporation)이 일어나 증착율이 떨어지는 단점이 있다^{6,7}. 이러한 문제를 박막위에 Polymer를 코팅하여 레이저 빔의 열에너지에 의한 금속박막의 물리적 성질 변화를 방지하고, 레이저 빔의 흡수율을 향상시켜 수용기판 표면의 급격한 온도상승과, 시편의 열적 손상을 방지하게 하여 증착효율을 높일 수 있었다.

로 증착하고, 금속 박막위에 폴리머를 코팅한다. 이렇게 만들어진 시편을 수용기판과 밀착시켜 고정된 후 투명재료 위에서 레이저빔을 조사한다. 조사된 레이저빔은 폴리머 코팅층은 용융, 증발되어 제거되며, 제거된 금속박막은 Fig.1(b)와 같이 아래쪽 수용기판 표면위에 증착된다.

Table 1 Experimental conditions

Laser wavelength	355nm
Laser power	5.6~8.5J/cm ²
Scan speed	10~30μm/s
Thin film material	Cu, Cr, Al
Thin film thickness	400nm
Photoresist	AZ1512
Photoresist thickness	1μm

본 연구에서는 레이저 유도 증착 기술에 폴리머 코팅을 사용하여 미세패터닝 기술의 대체할 수 있는 실용화 기술의 가능성을 확인하는 것을 중점을 두었다. 또한 LIFT 공정의 정밀도를 향상시키기 위해 금속 박막 위에 폴리머를 코팅하여 LIFT 공정을 수행하였다. LIFT 공정에 사용된 레이저 가공조건, 금속박막의 종류와 두께, 폴리머의 종류와 두께 등 실험조건은 Table 1 과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 고정초점방식으로, 증착 실험을 진행하였으며, 금속박막 위에 폴리머 코팅을 사용한 LIFT 공정으로 생성된 증착층은 캐속조형 공정처럼 시편 표면에 높이 방향으로 멀티스캔 방식으로 스캔하면서 미세패턴 및 구조물을 증착 하였다. 증착된 패턴 이나 구조물은 높이방향으로 증착이 일어나면서, 앞에서 증착된 증착 표면은 이후의 적층될 증착물에 대하여 기질의 역할을 하기 때문에 연속적이며 균일한(uniform) 표면이 필요하다. 만일 균일하고 연속적이지 못한 증착물 위에 다시 증착이 되면, 증착율의 차이가 발생하여 정밀도가 우수한 패턴이나 구조물을 증착하기 어렵기 때문에 적절한 공정변수의 설정이 필요하다.

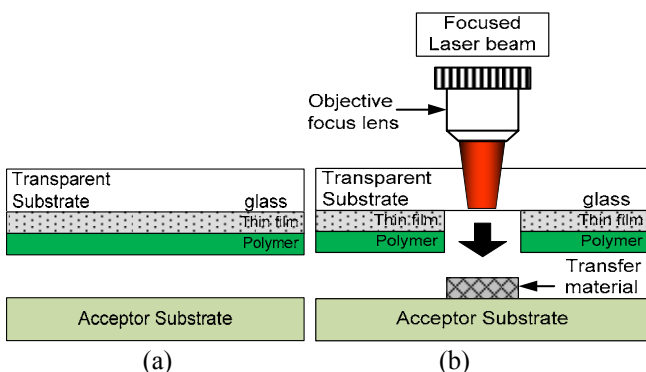


Fig. 1 Schematic diagram of modified LIFT process using polymer layer: (a)Metal Thin film is deposition by e-beam evaporator the transparent substrate (b)Metal is deposited on the acceptor substrate

2. LIFT 공정의 개요 및 실험방법

Fig. 1 은 본 연구에서 제시한 폴리머 코팅을 이용한 레이저 유도증착 공정을 도식적으로 보여주고 있다. Fig.1(a) 과 같이 유리나 같은 투명재료 위에 금속박막을 전자빔으

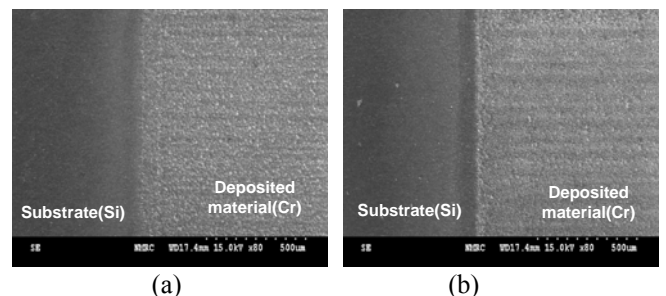


Fig. 2 Comparison of edge quality with and without polymer coating layer (a)without polymer coating layer (b)with polymer coating layer

Fig. 2 는 폴리머 코팅효과에 대한 실험으로 Cr 박막에 코팅을 한 경우와 코팅을 하지 않은 경우의 LIFT 증착 실험 결과를 SEM 사진을 통하여 엣지품질(edge quality)와 증착 표면 품질을 분석하였다. 실험결과 코팅을 하지 않은 경우 Fig. 2(a)와 코팅을 한 Fig. 2(b)의 SEM 사진 결과를 보면

코팅층을 이용하여 증착 실험을 한 경우가 코팅을 하지 않은 경우보다 엷지부가 훨씬 명확하고, 증착표면의 형상의 경우 또한 연속적이고 균일한 표면을 관찰 할 수 있었다.

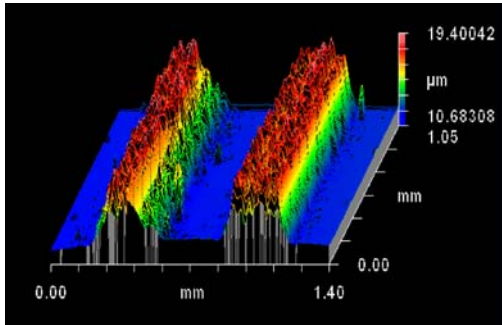


Fig. 3 3D plot of the deposited micropattern on Pyrex glass

Fig. 3 은 Pyrex glass기판에 미세패턴을 제조하기 위한 증착 조건으로 알루미늄박막 위에 폴리머 코팅을 하고 레이저 출력 $8.5J/cm^2$, 레이저빔 주사속도는 $30\mu m/s$ 로 설정하여 유도증착의 실험결과를 비접촉식 형상측정기로 측정한 3차원 형상을 나타낸 그림이다. 3차원 미세 구조물을 제작하기 위해서는 시편에 수직인 방향으로 한층 한층 연속적으로 레이저 빔을 스캔하면서 증착반응을 유도해야 된다. 증착이 진행되면서 Fig. 3 과 같이 증착물 표면에 도랑(trench)형상을 갖게 되는데 이런 현상은 레이저 유도증착(LIFT)공정을 이용하여 3 차원 미세구조물 제조에는 나쁜 영향을 미친다. 도랑현상은 수용기판에 레이저 빔이 한층 한층 조사되었을 때 이미 형성된 증착층 표면에서의 불균일성과 레이저빔의 중첩, 가우시안 에너지 분포에 의한 재용발(re-evaporation)에 따른 것으로 생각된다. 이처럼 기존 증착층 위에 새로운 층을 증착할 경우 쉽게 발생하는 도랑 현상을 줄이기 위해서는 최적의 스캔속도 및 레이저 펄스 반복율을 선정해야 된다.

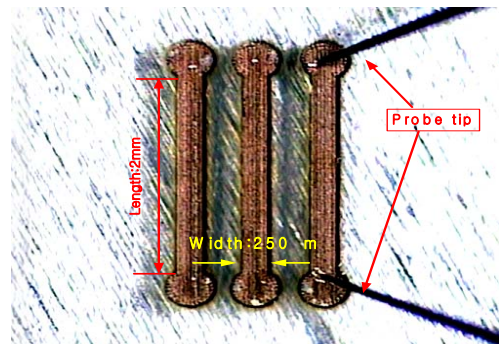


Fig. 4 Cu circuit created by LIFT process

LIFT 공정 후 미세 패턴의 전기 전도성을 측정하기 위해 전기 전도성이 높은 구리를 LIFT공정을 통해 증착하였다. Fig. 4 는 전기전도성 측정을 위해 폭 $250\mu m$, 길이 $2mm$ 의 직선형태의 전극패턴을 증착하였으며 증착된 패턴에 전압을 인가했을 때 전류를 측정하였다. Fig. 5 는 $0.1\sim 0.5V$ 로 전압을 인가하였을 경우 측정된 전압-전류 값을 나타낸 그래프이다. PR 코팅 후 LIFT공정을 하였을 경우가 같은 전압을 인가하였을 때 더 큰 전류 값이 측정되었다. 전압, 전류 값을 바탕으로 저항 값을 계산한 결과 폴리머 코팅 전, 후의 저항이 각각 3.8Ω , 2Ω 으로 미세패턴의 구리조직을 치밀하게 증착할 수 있게 하여 전기 저항이 감소함을 알 수 있다. Fig. 6 는 Pyrex glass에 크롬과 폴리머 코팅층을 멀티 스캔방식으로 LIFT 공정을 이용하여 제조한 벌집모양의 3차원 미세구조물 전자현미경(SEM) 사진이다. 레이저 에너지 출력 $5.6 J/cm^2$, 스캔속도 $10\mu m/s$ 로 스캔하면서 증착한 것으로, 높이 $20mm$ 의 3차원 미세 구조물을 증착하였다.

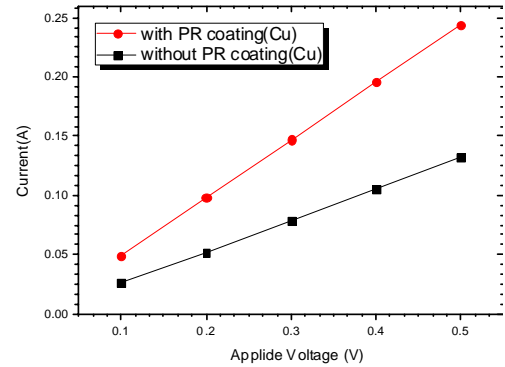


Fig. 5 I-V curve of deposited pattern

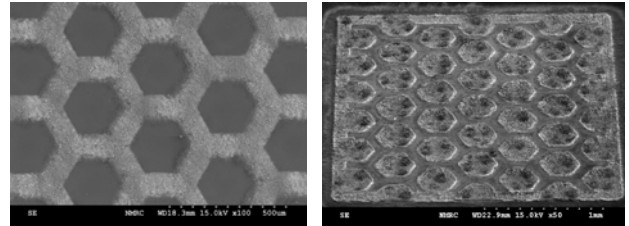


Fig. 6 SEM images of Cr deposited microstructure on silicon

4. 결론

레이저 유도 증착공정에 폴리머 코팅층을 사용하여 미세패터닝 기술에 대체할 수 있는 새로운 실용화 기술의 가능성을 확인하였다. 특히 금속박막의 폴리머 코팅을 이용한 미세패턴 및 3차원 마이크로 구조물 제조에 관한 것으로, 박막위에 폴리머 코팅을 이용하여 선택적으로 금속박막에 층단위(layer by layer)조사하는 멀티스캔 방식으로 증착 실험을 하여 마이크로미터 크기의 미세패턴과 3차원 미세 구조물 증착이 가능하며, 다양한 재료에 응용이 가능하고, 우수한 증착물 결합도, 전기 전도성을 향상시켰다. 또한 폴리머 코팅을 이용한 미세패턴 및 구조물을 제조하는 기술을 개발하고, 증착패턴의 균일하고 조밀한 증착조직을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Lee, J. H., Suh, J., Han, Y. H., "A Study on Fabrication of Conductor Patterns on AlN Ceramic Surface by Laser direct Writing," 한국레이저가공학회지, 3, 25-33, 2000.
2. Bohandy, J., Kim, B. F., Adrian, F. J., "Metal Deposition from a Supported Metal Film using an Excimer Laser," Journal of Applied Physics, 60, 1538-1539, 1986.
3. Bohandy, J., Kim, B. F., Adrian, F. J., Jette, A. N., "Metal Deposition at 532nm using a Laser Transfer Technique," Journal of Applied Physics, 63, 1558-1162, 1988.
4. Shin, B. S., Kim, J. G., Chang, W. S., and Whang, K. H., "Rapid Manufacturing of 3D Micro-products using UV Laser Ablation and Phase-change Filling," International Journal of the Precision Engineering and Manufacturing, 7, 56-59, 2006.
5. Yang, D. Y., Lim, T. W., Yong, S., Kong H. J., Lee K. S., Kim D. P. and Park S. H., "Additive Process Using Femto-second Laser for Manufacturing Three-dimensional Nano/Micro-Structures," International Journal of the Precision Engineering and Manufacturing, 8, 63-69, 2007.
6. Yamada, H., T. Sano, et al, "Optimization of Laser-Induced Forward Transfer Process of Metal Thin Films," Applied Surface Science, 197, 411-415, 2002.
7. Willis, D. A. and Grosu, V., "Microdroplet Deposition by Laser-Induced Forward Transfer," Applied Physics Letter, 86, 244103-3, 2005.