

## 포토 리소그래피 공정을 이용한 DLC 마이크로 패턴 원통 금형 제작

하태규\* · 김정완\* · 이태동\* · 윤수종\*\* · 김태규\*\*†

\*부산대학교 나노융합기술학과, \*\*부산대학교 나노메카트로닉스공학과

### Fabrication of DLC Micro Pattern Roll Mold by Photolithography Process

T. G. Ha\*, J. W. Kim\*, T. D. Lee\*, S. J. Yoon\*\*, T. G. Kim\*\*†

\*Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busan 46241, Korea

\*\*Department of Nanomechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

**Abstract** Recent mold industry uses many roll-to-roll processes that can produce high production speed and precision machining and automation process. In the circular cylinder mold, however, patterns of less than 10  $\mu\text{m}$  are difficult to manufacture and maintain. In this study, we fabricated a circular cylindrical mold with a DLC thin film which have high hardness, low coefficient of friction and high releasability by using lithography and lift-off process. The height, line width, and pitch of the fabricated DLC macro pattern are 3.1  $\mu\text{m}$ , 9.1  $\mu\text{m}$  and 20.2  $\mu\text{m}$ , respectively. The pattern size is finer than the current applied to the aluminum cylinder type, and this shows the possibility of practical use of DLC micro pattern roll mold.

(Received February 28, 2018; Revised March 7, 2018; Accepted March 9, 2018)

**Key words** : DLC coating, CVD, Lithography, Micro pattern, Roll Mold

## 1. 서 론

최근 금형산업에서는 시간 대비 높은 생산율, 정밀 가공과 자동화 공정이 가능한 연속 원통금형(Roll-to-Roll) 공정을 선호하고 있다. 기존공정에 사용되는 원통금형은 Al 원통소재에 Ni, Cr, Cu를 도금하여 레이저나 프레스를 이용한 기계가공을 거쳐서 패턴을 제작하기 때문에 제작비용과 공정시간이 많이 소요된다. 또한 이러한 원통금형은 금속재의 낮은 내마모 특성으로 인하여 일정기간 사용 시 마모로 인해 자주 교체를 해야 하는 단점이 있고 기계적인 가공으로 패턴을 제작할 경우 레이저나 팁 사이즈 등의 한계로 10  $\mu\text{m}$  이하의 패턴을 구현하기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 신소재 개발이나 나노코팅 기술적용 등 다양한 방법이 연구되어지고 있으며[1], 최근에는 나노임프린트 분야에 리소그래피 공정을 이용한 연구가 활발하다[2-5].

Diamond-like Carbon(DLC) 박막은 고경도, 저마

찰 계수를 갖는 탄소-탄소 혹은 탄소-수소간의 공유결합에 의한 비정질탄소(Amorphous Carbon)의 일종으로 그 성질이 다이아몬드와 유사한 내마모성, 높은 경도와 화학적 안정성, 높은 열전도도, 가시광 및 적외선영역에서의 우수한 투과율 등을 가지고 있다[6]. 특히, DLC 박막은 낮은 마찰계수와 우수한 내마모성 특성을 가지고 있어서 고체윤활박막으로 하드디스크, 마찰마모가 심한 각종 베어링, 인공관절 등에 적용되기도 한다[7]. 또한 우수한 이형성 특성을 갖기 때문에 기존의 Al 원통금형에 Ni, Cr, Cu 도금을 한 금형보다 우수한 내구성을 갖게 된다.

본 연구에서는 DLC가 가지고 있는 이러한 우수한 특성을 원통금형에 적용하고 10  $\mu\text{m}$  이하의 패턴을 구현하기 위하여 기존에 많이 사용하는 알루미늄 금형에 DLC 박막합성 기술을 접목하여 마이크로패턴을 제작하고자 하였다. 이러한 DLC 박막을 기계적 가공이 아닌 리소그래피공정과 리프트오프 공정을 통해 선택적 식각을 하여 마이크로 패턴을 제작하였고,

†Corresponding author. E-mail : tgkim@pusan.ac.kr  
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

이를 원통금형에 적용하여 그 특성을 분석하고 실용화 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 마이크로패턴 금형 제작

사용된 알루미늄 금형은 Al 60계열의 소재로 외경 50 mm, 내경 30 mm, 길이 50 mm 원통으로 제작하였으며 알루미늄 원통표면의 가공은 슈퍼피니싱(Super finishing) 장비를 사용하여 경면연마 하였다. DLC 박막합성에 앞서 원통금형의 절삭가공 시 묻은 절삭유를 제거하기 위하여 아세톤에 10분간 초음파 세척 등의 습식 전처리 공정을 실시하였다.

그리고 DLC를 증착하기 전 건식 전처리 공정으로 아르곤 플라즈마를 이용하여 RF Power 500 W에서 30분간 전처리 공정을 실시하여 표면의 불순물을 최대한 제거하였다. 일반적으로 DLC 박막층과 모재간 부착력 향상은 Si, Ti, W 및 Cr 등의 금속물질을 주로 사용하고 있다. 본 실험에서는 부착력 향상을 위하여 Si Catalyst로 잘 알려진 HMDSO(Hexamethyldisiloxane)를 기화시켜 5분간 증착하여 중간층(Buffer layer)을 형성하였다. 그 후, DLC의 박막층은 Ar gas와 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스를 2:70 비율로 설정하여 2시간 동안 DLC 박막층을 Si 중간층 위에 증착되도록 하였다. Table 1에 DLC 박막합성의 증착조건을 나타내었다. 이때 금형의 내구성과 내마모성 향상을 위하여 패턴뿐 만 아니라 경면 가공된 알루미늄 원통 표면에도 DLC를 증착하였다. 또한, 리소그래피와 리프트오프 공정시 사용되는 알칼리성 현상액은 알루미늄 원통소재에 산화반응을 유발하여 현상을 저해하는 요소로 작용되기 때문에 알루미늄 원통 내경에도 DLC 박막이 증착되도록 지그를 설계·제작하여 사용하였다.

### 2.2 DLC를 증착한 마이크로패턴 금형 제작

원통금형에 마이크로 패턴을 제작하기 위해서 DLC 박막이 증착된 알루미늄 원통표면에 AZ Electronic Materials사의 Gxr-601(14cp) Photoresist (PR)를 사용하여 스핀코팅 공정을 실시하였다. Oven에서 80°C로 20분간 Soft Bake를 한 후, 마이크로패턴이 그려진 Film mask를 씌우고 UV로 노광하



Fig. 1. Polishing & DLC Coating on aluminium cylinder.

Table 1. Experimental condition for DLC coating

Parameter	Conditions
RF Power (W)	500
Working pressure (mTorr)	10
HMDSO flow rate (sccm)	5
Ar + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> flow rate (sccm)	2:70
Deposition time (min)	30
DLC Thickness (μm)	3

였다. 그리고 AZ Electronic Materials사의 300MIF Developer를 사용하여 DLC 박막 위에 마이크로패턴을 현상하였다. 이러한 과정을 거쳐 Film mask에 새겨진 패턴이 그대로 DLC 박막이 증착된 알루미늄 원통금형 위에 PR로 패턴을 형성시켰다.

PR패턴이 형성된 원통금형에 DLC 패턴을 형성하기 위해 DLC 2차 증착을 실시하였다. 이 공정은 1차 DLC 박막위에 DLC 박막을 재증착하기 때문에 HMDSO를 중간층 용도로 사용하지는 않았다. DLC 박막 증착조건은 1차와 같이 Table 1과 같은 조건으로 실시하였고, 이때 증착된 DLC 박막의 두께는 2.5~3 μm이다. 이러한 DLC 박막의 두께는 증착시간의 변화에 따라 막 두께의 조절이 가능하므로 PR층의 두께에 따라 최적의 DLC 박막두께를 설정하였다.

마지막으로 PR패턴을 제거하기 위하여 Lift-off 공정을 사용하였다. DLC 박막은 내화학성이 강하여 화학용액에 의하여 에칭반응이 일어나지 않는다. 따라서 PR 패턴 위에 증착된 DLC 박막과 Al 원통금형에 1차로 증착된 DLC 박막간의 단차가 발생하므로 이를 이용해서 화학용액이 PR층으로 침투하여

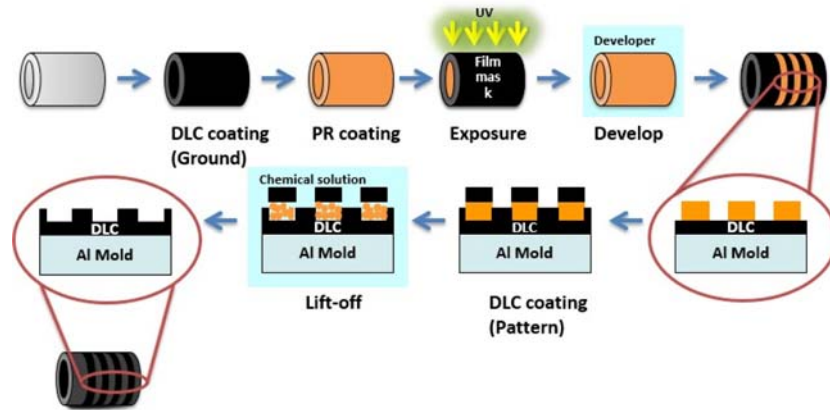


Fig. 2. Schematic diagram of DLC patterning process on Roll Mold.

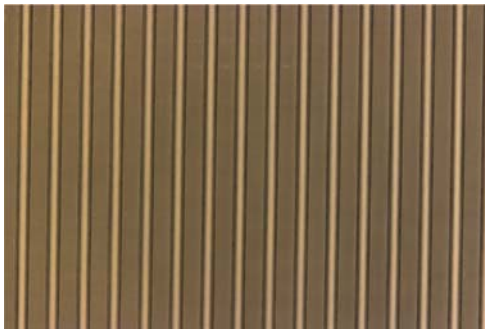


Fig. 3. 2D Image of PR pattern.

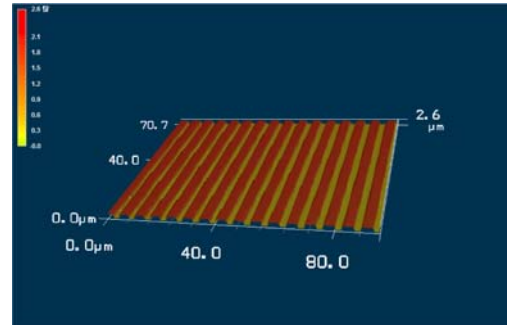


Fig. 4. 3D Image of PR pattern.

PR을 에칭 함으로서 DLC 층을 제거하게 되는데 이 과정이 Lift-off 공정이다.

화학용액은 아세톤(순도 99.5%)을 사용하여 초음파 세척기로 약 1~5분간 처리를 하여 PR을 없애고 나면 그 위에 증착된 DLC 박막층도 같이 제거된다. 최종적으로는 PR층이 제거되고 DLC 박막층만 남게 되면서 DLC 박막으로 이루어진 패턴이 형성된다. Fig. 2에 DLC 마이크로 패턴을 가지는 알루미늄 원통금형 제작에 관한 전반적인 공정과정을 도식적으로 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 DLC 마이크로패턴 금형

마이크로 패턴의 선폭, 피치, 패턴높이를 측정하기 위해 컬러 3D 레이저 현미경(VK-9700K)을 이용하였다. DLC박막이 증착된 알루미늄 원통금형 위에

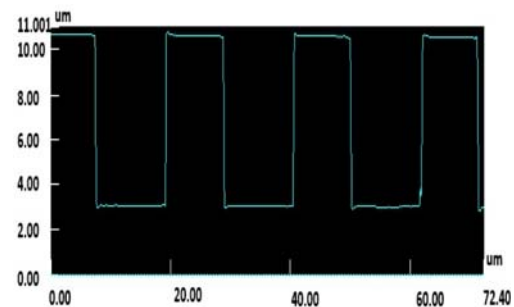


Fig. 5. Measurement of PR pattern.

PR패턴이 형성되었으며, Fig. 3, Fig. 4에 패턴의 2D, 3D 측정 이미지를 나타내었다.

이때 PR 패턴의 두께는 8~9 μm로 측정되었다.

다음 Fig. 6, Fig. 7은 DLC 패턴의 모양을 2D, 3D 이미지로 표현된 치수를 나타낸 결과이다.

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8에서 마이크로 패턴의 치수를 측정한 결과 값을 Table 2에 정리하여 나타

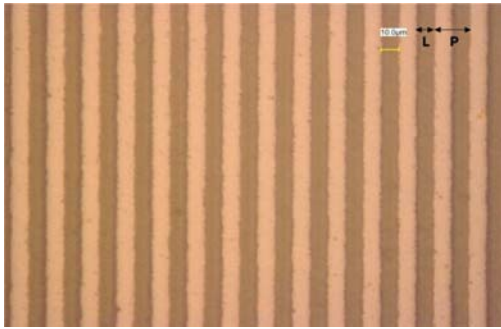


Fig. 6. 2D Image of DLC pattern.

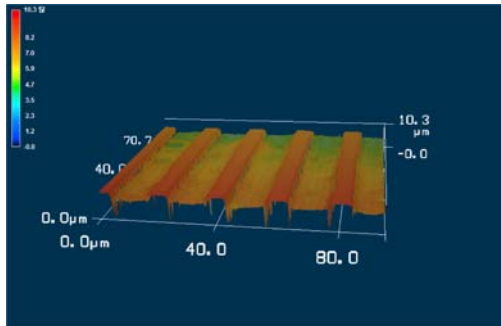


Fig. 7. 3D Image of DLC pattern.

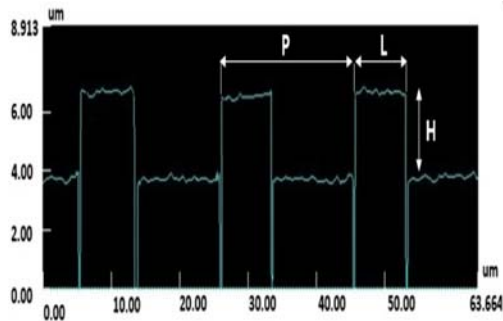


Fig. 8. Measurement results of DLC pattern.

내었다. 결과를 보면 선폭(L) 9.1  $\mu\text{m}$ , 피치(P) 20.2  $\mu\text{m}$ , 두께(H) 3.1  $\mu\text{m}$ 로 마이크로 패턴이 잘 형성되었음을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 8에서와 같이 패턴의 단차를 단면형상으로 관찰하면 직각의 사각형 단면형태로 DLC 패턴이 올바르게 형성된 것을 확인할 수 있다. 만약 단면이 직사각형의 단면이 아니고 둥근모양이면, DLC 박막층이 균일하게 증착되지 않아서 좋은 마이크로 패턴이 형성되지 않은 것으로 판단할 수 있다.

Table 2. Measurement results of DLC pattern

	DLC pattern size ( $\mu\text{m}$ )
Line (L)	9.1
Pitch (P)	20.2
Height (H)	3.1

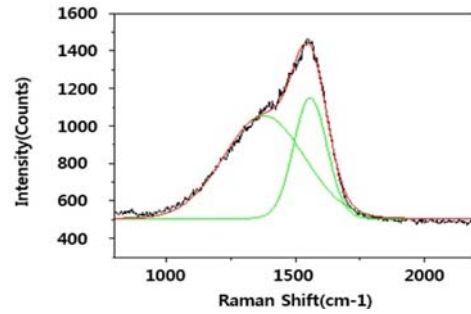


Fig. 9. Raman spectrum of DLC film.

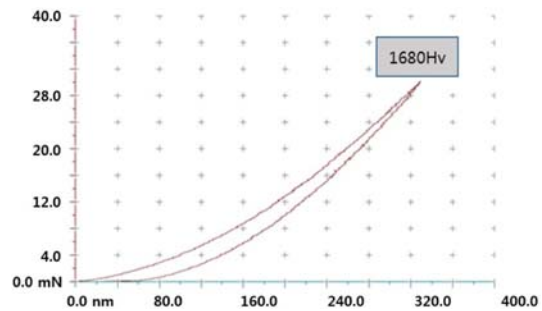


Fig. 10. Vickers hardness of DLC film.

### 3.2 증착 DLC 특성

Fig. 9는 DLC 박막으로 형성된 패턴부의 Raman spectrum 결과이다. 일반적인 DLC 박막의 경우  $\text{sp}^2$  흑연에 의한  $1,580\text{ cm}^{-1}$  부근에서의 G-peak와  $\text{sp}^3$  결합 구조를 의미하는 disordered 미세 결정 (micro-crystalline) 흑연에 의한  $1,330\text{ cm}^{-1}$  대의 D-peak를 갖는다[2]. DLC 박막의 경우  $\text{sp}^2$  흑연에 의한  $1580$  부근에서의 G- peak과  $\text{sp}^3$  결합 구조를 의미하는  $1330$  대의 D-peak를 나타내었다.

Fig. 10은 DLC 패턴부의 경도를 Nano-indentation 으로 측정한 결과이다. 측정결과 비커스경도 값이 Hv1,680 으로 나타났다. 이는 기존 알루미늄 금형패턴의 평균 경도인 Hv700 보다 2배 이상 높은 경도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 11은 DLC 패턴부의 마모거동을 조사하기 위해서 Ball

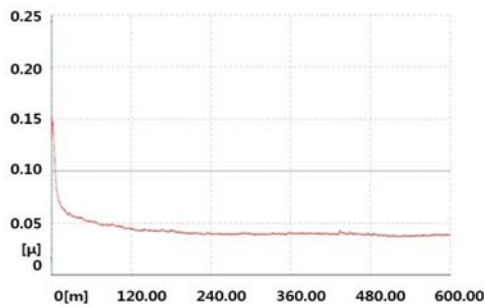


Fig. 11. Friction coefficient of DLC film.

on disk형 마모시험을 실시한 결과데이터로 마찰계수가  $\mu=0.05$  이하로 측정되어 매우 우수한 저마찰 특성을 가지는 것으로 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통해 제작한 DLC 마이크로 패턴 원통 금형은 기존의 DLC박막의 보호코팅개념을 벗어나 포토 리소그래피와 리프트오프 공정으로 선택적 식각을 함으로써 DLC 마이크로 패턴 원통금형을 제작할 수 있었다.

생성된 DLC 패턴의 선폭과 피치크기가  $10\ \mu\text{m}$  이하로 형성되어 실용화 가능성이 있음을 알았고, 경도와 마찰계수 특성이 매우 우수한 마이크로 패턴 원통금형을 제작할 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 DLC의 우수한 경도, 저마찰계수 및 이형성의

특성을 활용하여 기존 도금공정에 의한 원통금형을 대체하여 사용 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### Acknowledgements

This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University.

#### References

1. Franke, Franke, Jörg, and Jörg Franke : Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID) (2014).
2. Harry J. Levinson : Principles of Lithography (2001).
3. Y. Xia and G. M. Whitesides : Soft lithography, Annual review of materials science **28** (1998) 153-184.
4. M. A. Unger, H. P. Chou, T. Thorsen, A. Scherer and S. R. Quake : Monolithic microfabricated valves and pumps by multilayer soft lithography, Science **288** (2000) 113-116.
5. S. Y. Chou, P. R. Krauss and P. J. Renstrom : Nanoimprint lithography, Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures **14**, (1996) 4129-4133.
6. J. Robertson : Diamond-like amorphous carbon, Materials Science and Engineering **R37**, (2002) 129-281.
7. M. Y. Wey : Properties and application of DLC coatings, Journal of the Korean Society for Heat Treatment (2003) 239-243.