

나노/마이크로 광소자용 스탬프 이형 장치 및 특성 평가

Release Layer Coater with Stamp for Nano/Micro Optical Devices and Characteristics Evaluation

*이문재¹, 조천수², 류진화¹, 오지인¹, #정명영¹

*M.J.Lee¹, C.S.Cho², J.H.Ryu¹, J.I.Oh¹, #M.Y.Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 인지메카트로닉스공학과, ² 부산대학교 지능기계시스템공학과

Key words : SAM(Self Assembled Monolayers), Release Layer

1. 서론

지식정보화 사회의 고도화에 따라 정보전송량 증가 수요에 따른 광통신 기술의 발달로 FTTH가 확대·보급되고 이에 고정밀도, 초소형화 및 고집적화 광소자의 수요가 증대되고 있다. 기존 실리카 기반의 광소자는 복잡한 공정, 낮은 생산성, 고비용 등의 문제점을 가지고 있으며 이러한 문제점을 해결하기 위해 고분자 기반의 광소자 제작 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹

그 중에서 나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography, NIL)는 나노/마이크로 크기의 미세구조물을 가진 금형을 이용하여 유리전이 온도 이상으로 가열된 열가소성 시료에 물리적 압력을 가하는 한 번의 압인공정으로 금형의 구조물을 복제하는 기술로서, 공정이 단순하고 공정 시간이 짧아 저비용으로 대량 생산이 가능한 장점을 가지고 있어 고분자 기반의 광소자를 제작할 수 있는 매우 유용한 기법이다.²

임프린트 공정을 통한 고분자 기반의 광소자 제작은 나노/마이크로 크기의 미세구조물이 각인된 금형과 고분자가 직접적으로 물리적 접촉을 한 후 이형(demolding)을 한다. 이때 금형과 고분자의 접착력에 의해 금형과 고분자의 미세구조물에 손상 및 결함이 발생하고 sticking에 의해서 표면이 거칠어져 광소자의 산란 손실이 증가하는 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 이형 기법 연구 및 표면처리 기법 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 금형의 표면에 이형막을 형성하는 기법으로는 스핀 코팅법, 액체 타입 단분자막형성법, 증기타입 단분자막 형성법, 플라즈마 반응법 등이 있으며 그 중 높은 재현성과 신뢰성을 이유로 증기타입의 단분자막 형성법을 선택하였다.³

본 연구의 목적은 임프린트 금형의 이형처리를 위한 장치 개발 및 이에 대한 유효성 검증이다. 장치는 증기 상태의 이형막 형성 용액이 최대한 이상적인 상태로 균일하게 금형에 증착되도록 하기 위해 챔버와 용액과의 거리가 최소가 되는 구조로 설계하였으며, 증기 상태의 용액은 챔버와 용액이 담긴 플라스크 사이의 압력차에 의해 챔버 내로 유입된다. 이형막 형성의 결과는 금형의 표면접촉각의 크기를 통해 알 수 있으며, 최적 공정 조건 연구를 통하여 장치의 유효성을 확인하였다.

2. 이형막 형성 장치의 제작 및 특징

본 연구에서 설계 및 제작된 이형막 형성 장치는 액체 상태의 용액을 증기 형태로 바꾸어 금형에 단분자막(Self Assembled Monolayers, SAM)을 형성시킬 수 있는 시스템으로 이루어져 있으며, Fig. 1과 같이 챔버부, 모터부, 제어부, 가열부로 구성되어 있다.

본 장치의 특징은

- 1) 금형에 증기 상태의 단분자막 형성 용액이 균일하게 증착되도록 하기 위한 무단 변속의 속도 조절 가능한 금형 회전 장치
- 2) 고세장비(가로 대 세로 비율)의 미세구조물을 가진 금형의 단분자막 형성 균일도 향상을 위해 금형의 기울기(0° ~ 45°)를 임의로 조절할 수 있는 금형 홀더
- 3) 액체 상태의 단분자막 형성 용액을 증기 상태로 만들어 주는 가열장치

- 4) 증기 상태의 단분자막 형성 용액을 금형에 최적 상태로 증착시키기 위한 챔버 및 연결 파이프의 가열 및 온도 유지 장치
 - 5) 터치스크린을 이용해 공정 순서와 각 공정에 따른 변수를 임의대로 조작할 수 있으며, 프로그래밍시 전 공정을 자동으로 진행할 수 있는 PLC 제어장치
 - 6) 단분자막과 금형 표면의 접착력을 증가시켜 내구성을 향상시키기 위해 DI(Delionized) water를 증기 상태로 만들어 증착시 첨가할 수 있는 장치
 - 7) 단분자막 형성 용액은 그 특성상 부식성이 매우 강하므로 챔버 내부, 연결 파이프 등 각 부품 및 장치들은 내부부식성이 강한 재질을 사용
- 등이며, 각 부품장치들은 개별적으로 제어가 가능하게 제작하였다.

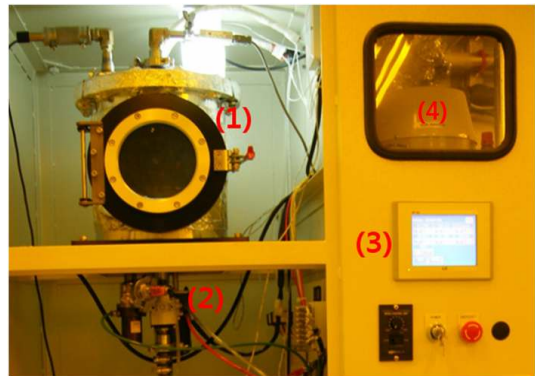


Fig. 1 The automatic release layer coater system ; (1) Chamber part (2) Motor part (3) Control Screen part (4) Heating part

3. 이형막 형성 장치의 특성평가 및 유효성 검증

본 연구를 통하여 제작된 이형막 형성 장치는 이형막의 균일도 향상과 이형막 형성 효율성 향상, 그리고 장치의 수명 향상의 특성을 가지고 있다.

챔버는 외벽에 히터 및 온도 센서가 부착되어 있어 ±5℃ 오차 범위 내에서 원하는 온도로 가열 및 온도 유지를 할 수 있다. 챔버를 가열하는 이유는 이형막 형성 용액이 증기 상태로 금형에 증착되어야 하는데, 챔버 외벽의 온도가 증기의 온도보다 낮으면 온도차에 의해 챔버 내부 벽면에서 액화 현상이 일어나 금형에 이형막이 제대로 형성되지 않기 때문이다. 이를 방지하기 위하여 챔버를 가열 및 온도 유지 가능하게 하였으며, 같은 이유로 증기 상태의 이형막 형성 용액이 챔버로 유입되는 통로인 연결파이프도 가열 및 온도 유지가 가능하도록 하였다. 챔버 내부와 외부의 온도는 제어부 터치스크린을 통해 실시간으로 확인할 수 있다.

금형을 회전시킬 수 있는 홀더를 챔버 내부에 설치하였으며, 회전 속도는 0 ~ 40RPM까지 수동으로 변속이 가능하다. 앞서 설명한 금형 홀더는 회전 특성뿐 만 아니라 기울기를 줄 수 있도록 하였는데, 금형에 형성되어 있는 미세구조물의 구조 중 이형막이 형성될 금형 표면과 수직이 되는 면이 있다면 이형막이

형성되기 어렵기 때문이며 금형에 기울기를 주어 미세구조물의 내부 옆면까지 이형막이 형성될 수 있도록 하였다.

본 연구를 통해 제작된 이형막 형성 장치의 유효성 검증을 위한 실험을 수행하였다. 제작된 장치의 유효성 검증 실험은 실리콘 웨이퍼 위에 Aldrich사의 Trichloro(1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyl)silane, 97%를 단분자막 형성 용액으로 사용하여 실험하였다. 실험 방법으로는 먼저 챔버와 연결파이프를 80℃까지 가열한 후 실리콘 웨이퍼를 챔버 내부의 홀더 위에 놓고 챔버를 밀폐시킨 다음 챔버 내부 압력이 0.01torr가 될 때까지 진공도를 향상시켰다. 챔버 내부 압력이 0.01torr가 되었을 때 연결 파이프를 막고 있던 밸브를 열어 증기 상태의 단분자막 형성 용액이 챔버 내부로 유입되어 실리콘 웨이퍼 위에 증착되도록 하였다. 증기 상태의 단분자막 형성 용액의 유입시간은 10초로 하였으며, 그 이후에는 밸브를 닫아 안정적인 상태에서 증착이 일어나도록 하였다. 단분자막 형성이 끝난 실리콘 웨이퍼를 가지고 용액 대신 DI water를 이용하여 같은 공정의 실험을 한 번 더 수행하였다. 그 이유는 형성된 단분자막이 DI water와 반응하면 실리콘 웨이퍼와의 결합력이 더 강해져 내구성이 증가하기 때문이다. 실험한 샘플의 표면접촉각을 측정한 결과 110°가 나왔으며 이형막을 형성하지 않은 실리콘 웨이퍼의 표면접촉각이 22°인 것과 비교(Fig. 2)하였을 때 제작된 이형막 형성 장치가 유효함을 알 수 있었다.

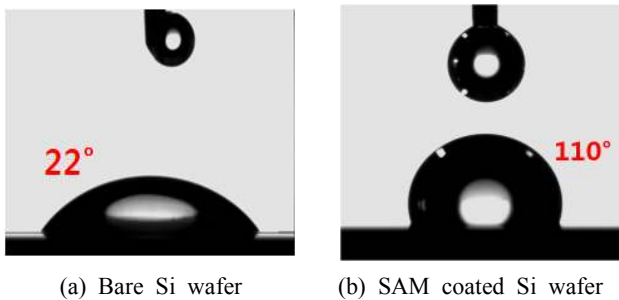


Fig. 2 The image of contact angle

실리콘 웨이퍼의 표면은 친수성의 자연산화막으로 되어 있어 표면접촉각의 크기가 작다.(Fig. 2 (a)) 반면 단분자막이 형성된 실리콘 웨이퍼는 단분자막의 끝단이 F(fluorine, 불소)로 되어 있어 소수성 특성을 향상시켜 표면접촉각이 크다.(Fig. 2 (b))

본 장치를 통하여 단분자막이 형성된 실리콘 금형을 이용하여 임프린트 공정을 수행하였다. 임프린트 공정은 PMMA(PolyMethylMethAcrylate) 시트에 핫-엠보싱 공정으로 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

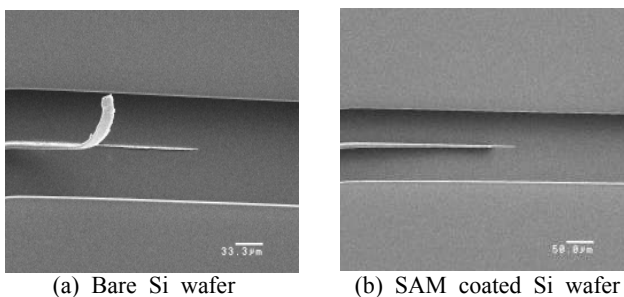


Fig. 3 The image of pattern imprinted polymer

Fig. 3의 (a)는 아무처리도 하지 않은 실리콘 웨이퍼로 임프린트 공정을 수행한 사진을 나타낸 것으로 표면이 친수성의 높은 결합 에너지를 가지고 있어 이형 시 손상이 일어났다. Fig. 3의 (b)는 제작된 이형막 형성 장치를 통해 단분자막이 형성된 실리콘 웨이퍼로 임프린트 공정을 수행한 사진으로 단분자막의 끝단이 소수성으로 낮은 결합에너지를 가져 이형 시에도 금형이나 고분자에 손상이 없음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 고분자 기반의 나노/마이크로 광소자 제작을 위한 금형의 이형막 형성을 위해 용액이 안정적인 증기상태로 증착될 수 있게 장치를 설계 및 제작하였다. 장비의 특성 평가 및 유효성 검증을 위해 실험을 수행하였고, 그 결과 이형막이 형성된 실리콘 웨이퍼의 표면접촉각이 이형막이 형성되지 않은 것의 표면접촉각보다 훨씬 크게 측정되었다.

이형막을 형성한 실리콘 웨이퍼를 이용하여 임프린트 공정으로 제작한 광소자가 이형막이 없는 실리콘 웨이퍼의 경우보다 이형 시 손상이 적고 표면거칠기가 개선되었다. 이를 통해 광소자의 손실을 줄일 수 있음을 확인함으로써 제작된 이형막 형성 장치가 유효성을 가진다는 사실을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 중소기업기술개발지원사업(중소기업 이전기술개발사업)의 일환으로 수행하였음.[S1065242]

참고문헌

1. Sotomayor Torres, C.M., Zankovych, S., Seekamp, J., Kam, A.P., Cedeno, C.C., Hoffmann, T., Ahopelto, J., Reuther, F., Pfeiffer, K., Bleidiessel, G., Gruetzner, G., Maximov, M. V. and Heidari, B., "Nanoimprint lithography: an alternative nanofabrication approach" Mater. Sci. Eng. C., Vol. 23, pp.23, 2003
2. Scheer, H. C., Bogdanski, N., Wissen, M., Konishi, T. and Hirai, Y., "Profile evolution during thermal nanoimprint," Microelectronic Engineering, Vol. 83, No. 4-9, pp. 843-846, 2006.
3. Frequency and amplitude dependences of molding accuracy in ultrasonic nanoimprint technology Harutaka Mekar and Masaharu Takahashi Advanced Manufacturing Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 1-2-1, Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305-8564, Japan