

UV 나노임프린트 리소그래피 공정에서 레지스트 도포의 최적화를 통한 잔류층 두께의 최소화

김기돈^{*}, 정준호, 심영석, 이응숙(한국기계연구원 나노공정장비연구센터), 김지현, 조영근(나노종합팩센터), 홍성철(웨스트팩 아소시에이트㈜)

The Minimization of Residual Layer Thickness by using optimized dispensing method in UV-nanoimprint Lithography Process

K. D. Kim, J. H. Jeong, Y. S. Sim, E. S. Lee(Center for Nano Process and Tools, KIMM), J. H. Kim, Y. K. Cho(National Nanofab Center), and S. C. Hong(WESTPAC Associates, Inc.)

ABSTRACT

Imprint lithography is a promising method for high-resolution and high-throughput lithography using low-cost equipment. As with other nanoimprint methods, ultraviolet-nanoimprint lithography (UV-NIL) resolution appears to be limited only by template resolution, and offers a significant cost of ownership reduction when compared to other next generation lithography (NGL) methods such as EUVL and 157 nm lithography. The purpose of this paper is to suggest optimum values of control parameters of Imprio 100 manufactured by Molecular Imprint, Inc., which is the first commercially available UV-NIL tool, for sound nanoimprint. UV-NIL experiments were performed on Imprio 100 to find dispensing recipe for avoiding air entrapment. Dispensing recipe related to residual layer thickness and uniformity was optimized and 40 nm thick residual layer was achieved.

Key Words : Nanoimprint lithography (나노임프린트 리소그래피), Residual layer thickness (잔류층 두께), Dispensing(디스펜싱)

1. 서론

1996년 프린스턴 대학의 Chou 교수에 의해서 제안된 이래로 나노 임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography, NIL) 기술은 경제적이고도 효과적으로 나노 구조물을 제작할 수 있는 기술로 실용적/기술적 측면에서 모두 높게 평가되고 있으며 특히, 2003 년도에 발표된 ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)에서는 2010-2013 년 22-32 nm DRAM Half-Pitch 패턴을 위한 차세대 리소그래피기술로 나노임프린트 기술이 신규로 선정되었는데, 이는 나노임프린트 기술의 성장 가능성을 학계 및 산업계에서 인정했음을 의미한다. 또한 2003년 MIT의 기술 보고서에 따르면 나노임프린트 기술은 세계를 변화시킬 10개의 새로운 기술 중에 하나로 선정되어 미래 기술

로서의 중요성을 더해주고 있다.

나노임프린트(nanoimprint lithography, NIL) 공정 기술은 나노 스케일의 패턴을 경제적으로 대량 생산할 수 있는 장점을 가진 기술로 6 nm 크기의 나노 구조물도 임프린트가 가능하다는 결과들이 발표된 바가 있다.⁽¹⁾ 일반적으로 이와 같은 나노임프린트 공정은 크게 가열에 의한 방식(thermal-type NIL)^(1,2)과 광경화 방식(UV-NIL)^(3,5,6)으로 나누어진다. 가열에 의한 방식은 열가소성수지를 고온으로 가열 후 압력이 가해진 스탬프(stamp)로 나노 구조물을 제작하는 방법이다. 하지만, 높은 압력과 열 영향으로 몰드의 내구성 및 몰드의 변형에 의한 위치 제어에 취약하며, 집적도를 높이기 위한 다층의 제조 방법에 제약이 따른다.⁽⁴⁾ 이에 반하여 광경화 수지를 이용한 나노 임프린트 공정은 저압과 상온에서 공정 수행이 가능하여 다층 구조 제작에 유리하며,

공정의 안정성 유지가 용이하다.

UV-나노임프린트 공정은 나노 크기의 패턴 (pattern)을 갖는 투명한 스탬프를 사용하여 박막 수지 층 또는 수지 액적(droplet)을 가압한 상태에서 스탬프를 통과하여 조사된 자외선으로 수지를 경화시켜 Fig. 1 과 같이 웨이퍼(wafer)에 패턴을 전사 (transfer)한다.

UV-NIL 공정은 가열 방식의 NIL 과 달리 저압으로 임프린트를 수행하므로 평평한 스탬프와 기재 사이에 기포의 함입 가능성이 많다. 기포의 함입은 불량한 나노임프린트 결과를 초래하므로 적절한 수지 액적의 도포를 통한 기포 함입 방지가 중요하다. 나노임프린트 공정을 통해서 얻어지는 나노패턴은 일반적으로 식각(etching) 공정을 거쳐 기재 (substrate)위에 전사된다. UV-NIL 공정에서는 사용되는 광경화성 수지의 점성력에 의해 나노 구조물 이외의 불필요한 잔류층이 Fig 2 와 같이 남게되며 이러한 잔류층은 나노 구조물을 식각 등을 통해, 기재로 전사하는데 방해 작용을 하여 가능한 얇고 균일하게 유지하는 것이 중요하다. 잔류층의 두께가 두꺼울수록 임프린트된 나노 구조물이 식각 과정을 거치면서 본래의 형상 정보를 잃을 수 있다. 또 잔류층의 두께가 두꺼울수록 균일한 잔류층 두께가 보장이 안되어 설정된 식각 조건에 의한 식각에서 부분적으로 과도한 식각과 전혀 식각이 되지 않는 결함이 Fig. 3 과 같이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 MI 사의 UV-NIL 장비인 IMPRIO 100 을 사용하여 나노 구조물을 실리콘 웨이퍼에 전사할 때 기포의 함입을 억제하고 평탄화 층과 나노 구조물 사이에 생성되는 두께의 최소화 및 균일화를 위한 최적화된 도포 방법에 대하여 토론한다.

2. 본론

2.1 나노임프린트 실험

IMPRIO 100 을 이용한 나노임프린트 실험은 1 N 의 가압력과 150 sec 의 가압 시간, Hg Arc Lamp 를 사용한 10 sec 의 노광 시간을 기본 공정 조건으로 하였다. 실험에 사용한 $1 \times 1 \text{ in.}^2$ 스탬프는 기존의 반도체 마스크(mask) 제작 공정과 추가적인 수정 (quartz) 원판 식각 공정을 거쳐 제작하였다. 스탬프는 제작 후 접촉방지막 처리를 하였고 기재로 사용된 웨이퍼는 전형적인 반도체 세정 처리를 하고 Brewer Science 사의 DUV30J 를 스핀 코팅 방법으로 60 nm 두께의 평탄화층을 형성한 후 임프린트 공정을 수행하였다. 사용된 광경화성 레지스트는 4 cps 점성을 갖는 UV 경화수지이며 액적을 제팅 형태의 디스펜싱 방법으로 도포하였다.

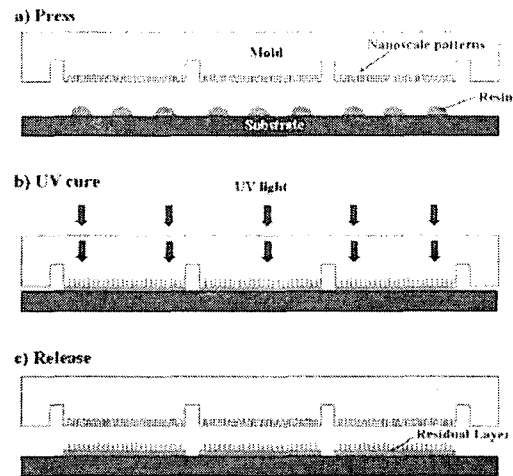


Fig. 1 Schematic of imprint process of UV-NIL

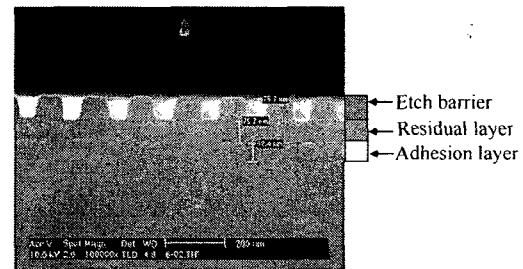


Fig. 2 Sectioned view of imprinted pattern on adhesion layer

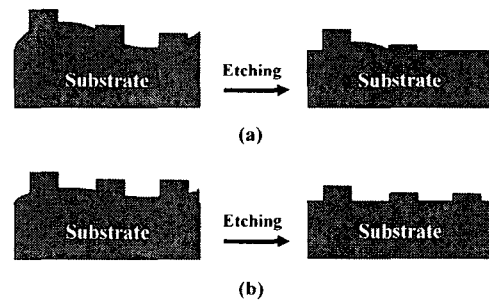


Fig. 3 Expected etching result with respect to variety in residual layer thickness (RLT); (a) thick RLT and (b) thin RLT

2.2 기포 함입

Fig. 4 는 $1 \times 1 \text{ in.}^2$ 스탬프를 사용하여 임프린트한 결과를 나타내고 있다. $0.02 \mu\text{l}$ 의 액적을 0.25 in 의 간격을 두고 9 개를 실리콘 웨이퍼에 디스펜싱한 후 임프린트를 수행하였다. 잔류층의 두께가 70-100 nm 의 색을 띄고 있으며 내부가 완전히 충전되지 않고 비어있는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같

은 문제는 액적의 부피가 크고 액적과 액적 사이의 간격이 멀어 임프린트시 스탬프에 의해 넓게 퍼지면서 주변의 액적과 큰 공간이 비워진 상태로 만나기 때문에 발생한다. 즉, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 임프린트가 가능한 전체 부피를 가능한 작은 액적을 이용하여 스탬프의 유효 크기만큼 도포하고 임프린트 하는 것이다. 간단한 실험적 결과가 Fig. 4의 우측상단 결과이다. 같은 9개의 액적을 도포하였지만, 액적간의 거리는 0.2 in.로 Fig. 4의 아래 가운데 결과에 비해 20% 감소하였고 액적 하나의 부피도 0.018 μL 로 줄인 결과이다. 또한 액적의 정렬 방법에 따라 같은 액적의 부피에 대하여 다른 결과를 낼 수 있다. 즉, 바둑판 배열이 아니라 zigzag 형태의 배열은 기체의 초기 공간을 더욱 작게 만들기 때문에 본 연구에서는 zigzag 형태의 액적 배열을 선택하였다.

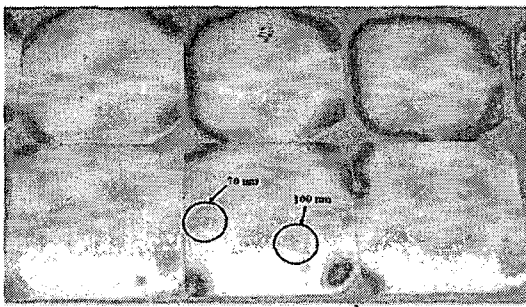


Fig. 4 Residual later thickness produced by using MII conventional dispensing recipe

2.3 디스펜싱의 최적화

본 논문에서 사용한 UV 경화성 수지는 Fig. 5와 같이 시간에 따라 휘발하는 특성이 있다. 이는 점성이 낮아 유동성이 향상된 수지를 사용하여 나노 패턴이 있는 스탬프의 홈에 잘 채워지도록 하기 위해 일반적으로 휘발성이 강한 모노머(monomer)를 혼합하여 수지를 제조하기 때문이다. 수지의 휘발성은 단지 시간만의 함수가 아니라 초기에 부피에 따라서도 휘발량이 달라진다. 즉, 초기의 부피가 작으면 작을수록 더 부피에 대한 표면적의 비가 커지면서 많은 비율의 휘발이 일어나는 것이다. 본 논문에서는 2.2 절에서 설명했던 결과를 토대로 하여 전체 부피가 일정하게 정해진 경우에 대하여 각 위치에 따른 최적의 액적 양을 계산하여 임프린트 적용하고자 한다.

액적의 배열은 1? in.² 면적에 zigzag 형태를 취하며 디스펜서에 의하여 모든 액적이 도포되었을 때 모두 같은 부피를 갖는 것을 목적 함수로 두었

다.

$$V_{final} = V_0 (1 - f_{rest}(V_0, t)) \quad (2-1)$$

식 2-1에서 V_{final} 는 전체의 디스펜싱이 된 후 남게 되는 액적의 부피, $f_{rest}(V_0, t)$ 는 시간과 초기 부피에 따른 잔류 부피의 비율이다. Fig. 5는 80, 200, 400 pL의 초기 부피를 갖는 액적이 100 sec까지 시간이 진행되면서 휘발되는 부피의 비율을 나타낸 것이다. 수지 제조사인 MI사의 자료인 Fig. 5는 액적의 부피와 시간에 대한 자료의 한계가 있어 적절한 초기 액적 부피를 찾는 데 많아 어려움이 있다. 좀 더 넓은 영역에 대한 $f_{rest}(V_0, t)$ 를 찾기 위해서 측정에 의한 data 값인 Fig. 5의 그래프로부터 Radial Basis Function을 이용하여 Fig. 6과 같은 관계를 얻었다. 사용한 함수는 multiquadratic으로 $\varphi(r) = \sqrt{(r^2 + c^2)}$ 를 사용하였다. 3개의 초기 부피에 대하여 10개의 시간에 대한 결과를 사용하여, Fig. 6과 같이 시간은 150 sec, 초기 부피는 500 pL까지의 관계를 얻었다. IMPRIO 100에서 임의의 지점에 액적을 디스펜싱하는데는 약 0.5 sec의 시간이 소요되므로 최종 각 액적의 부피와 전체 액적의 수를 식 2-1에 대입하면 V_{final} 과 t가 정해지고 그에 따른 V_0 를 반복적 방법을 통해 수치적으로 구할 수 있다.

IMPRIO 100에서 사용되는 디스펜서는 MicroFab사의 제품으로 액적 하나의 분해능이 30 pL이다. 본 연구에서는 최소 초기 부피를 디스펜서의 분해능을 고려하여 300 pL로 설정하였다.

위의 방법을 통하여 $V_{final} = 3.0112 \times 10^{-4} \mu\text{L}$ 이고 전체 액적의 개수는 216개, 액적의 전체 부피는 0.0976 μL 인 조건을 찾을 수 있었고 이와 같은 조건에 의한 임프린트 결과를 Fig. 7과 같이 얻었다. 잔류층의 두께는 분포가 Fig. 4와 는 확연히 다르게 균일함을 알 수 있으며 잔류층 두께 역시 40 nm 이하로 유지되는 결과를 얻었다.

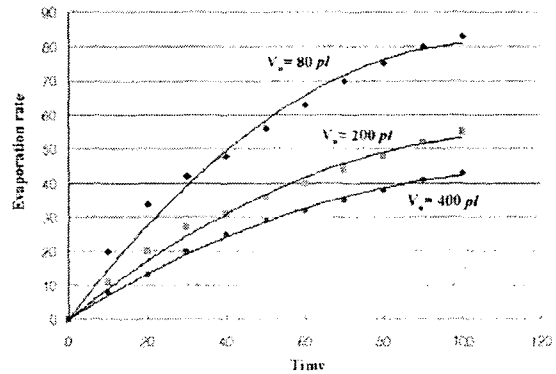


Fig. 5 Measured evaporation trend of monomer resin

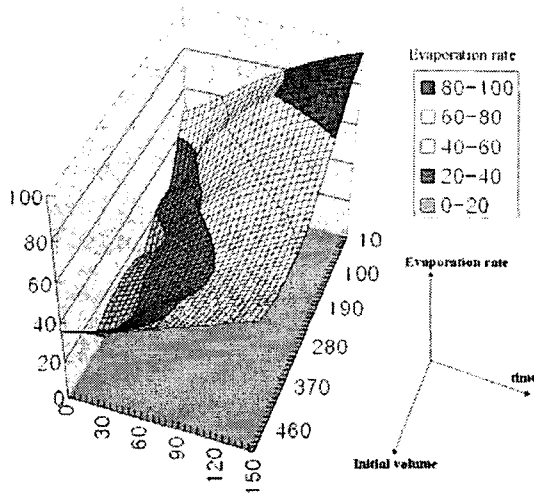


Fig. 6 Interpolated evaporation trend with respect, to time and initial volume of droplet

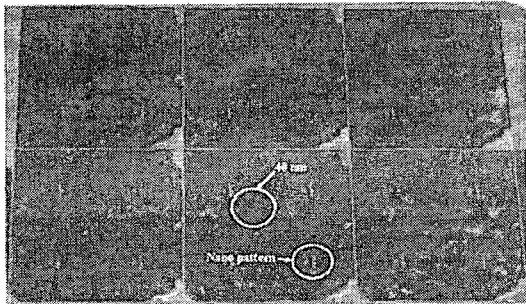


Fig. 7 Residual layer thickness produced by using optimized dispensing recipe

3. 결론

본 논문에서는 UV-NIL 장비 중 하나인 IMPRIO 100 을 활용하여 나노임프린트 공정을 수행하면서 기포의 함입 방지를 통한 임프린트 패턴의 전사와 기재에 대한 전사를 용이하게 하기 위한 잔류층 두께의 균일화 및 최소화에 대한 연구를 수행하였다.

수지의 유동성을 좋게 하기 위해서 솔벤트가 다량 포함되어 휘발성이 강한 광경화성 수지를 이용한 본 공정에서 측정을 통해서 얻어진 일부의 데이터로부터 초기의 부피와 디스펜싱 시간을 고려한 휘발 비율을 찾아내어 디스펜싱이 모두 이루어지고 난후 각 액적의 부피가 모두 같도록 하는 디스펜싱 방법을 제안하였다. 이와 같은 디스펜싱 방법에 의하여 균일한 40 nm 두께의 잔류층을 갖는 임프린트를 성공적으로 수행하였다.

얇은 잔류층은 임프린트 후 식각을 통해 패턴을 기재에 전사할 때 좀 더 정확한 패턴의 전사가 가능하며 균일한 잔류층 두께는 식각 과정에서 패턴의 전사 손실을 막을 수 있다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노메카트로닉스 기술 개발 사업단의 연구비 지원 (M102KN01001)에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R., and Renstrom, P. J., *Blank anoinprint Lithography*,? *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 14, No. 6 pp.4129-4133, 1996.
2. Chou, S. Y., Krauss, P. R., and Renstrom, P. J., *Blank imprint of Sub-25 .nm Vias and Trenches in Polymers*,? *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 67, Issue 21, pp. 3114-3116, 1995.
3. Otto, M., Bender, M., Hadman, B., Spangenberg, B., and Kurz, H., *Blank characterization and Application of a UV-based Imprint Technique*,? *Microelectron. Eng.*, Vol. 57-58, pp. 361-366, 2001.
4. Schaper, C. D., Chen, B- D. and Pease, R. F. W., *Blank Induced Thermal Stress Fields for Three-Dimensional Distortion Control of Si Wafer Topography*, *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 75, No. 6, pp.1997-2002, 2004.
5. Hiroshima, H., Inoue, S., Kasahara, N., Taniguchi, J., Miyamoto, I., and Komuro, M., *Blank niformity in Patterns Imprinted Using Photo-Curable Liquid Polymer*,? *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, pp. 4173-4177, 2002.
6. Deguchi, K., Takeuchi, N, and Shimizu, A., *Blank valuation of Pressure Uniformity Using a Pressure-Sensitive Film and Calculation of Wafer Distortions Caused by Mold Press in Imprint Lithography*,? *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, pp. 4178-4181, 2002.