

리프트 오프 공정이 용이하고 내에칭성이 향상된 임프린트 레진 개발 development of lift-off friendly imprint resin with improved etch resistance

*황선용¹, #이현¹, 변경재¹, 홍은주¹

*S. Y. Hwang¹, #H. Lee(heonlee@korea.ac.kr)¹, K. J. Byeon¹, E. J. Hong¹

¹ 고려대학교 신소재공학과

Key words : imprint lithography, imprint resin, lift off, etch resistance, nanometer-sized pattern

1. 서론

반도체 소자[1], 디스플레이[2], 발광 다이오드[3] 등을 비롯한 다양한 정보 통신 기기 분야에서는 기술의 발전에 따라 제품의 고기능성과 고효율을 요구하고 있다. 이에 따라 소자의 고집적화가 급속히 진행되고 있으며 이를 위해 극 미세패턴 형성 기술의 연구가 이루어지고 있다.

현재, 미세 패턴 전자 기술로 대표적인 것은 기존의 포토 리소그래피[4]와 전자빔 리소그래피[5], 나노임프린트 리소그래피[6] 등이 있는데, 이 중 나노임프린트 리소그래피 기술은 값비싼 광학장비가 필요 없어 매우 경제적이며, 수십 나노크기 이하의 극미세 패턴을 비교적 간단한 공정으로 형성할 수 있고, 생산 효율이 매우 높아 차세대 나노패터닝 기술로 각광받고 있다.

일반적으로 리소그래피 기술을 이용하여 고분자 패턴을 형성하는 이유는 기관위에 금속, 절연체 등 여러 가지 기능성을 가진 재료의 패턴을 형성하기 위함인데, 이는 대표적으로 직접 식각법[7]과 리프트 오프법[8]으로 대별된다.

직접 식각법은 레지스트를 식각마스크로 사용하여 부분적으로 하부층을 식각하는 방법이기 때문에 공정이 간단하다는 장점이 있다. 하지만 이 공정을 진행하기에는 레지스트가 반응성 이온 식각공정에 대한 높은 내식각성을 갖어야 하며, 식각비를 고려하여 높은 높이를 갖는 폴리머 패턴을 형성해야 하는 어려움이 있다.

리프트 오프법은 기관 위에 레지스트 패턴을 먼저 형성하고 잔여층을 제거한 후 이를 증착 마스크로 사용하여 금속을 선택적으로 증착하고 chemical solution 등을 이용해 레지스트만 선택적으로 제거하여 금속패턴을 얻는 방식이다. 직접 식각법에 비하여 더 용이하게 수십나노 급의 금속패턴을 형성할 수 있지만, 형상이 좋은 패턴을 얻기 위해서는 레지스트 잔여층을 줄이고 반응 이온 식각을 통한 잔여층 제거 공정을 최대한 짧게 해서 패턴의 임계 크기의 변화를 최소화해야 한다. 또한 단층의 임프린트 패턴으로 리프트 오프시에는 금속이 임프린트 패턴의 옆면에 증착되기 쉬어 rabbit ear[9] 등의 결함이 발생하기 때문에, 통상 기관 위에 고분자층을 코팅하고 그 위에 단량체 계열의 레지스트를 이용하여 패턴을 형성한 후 하부 고분자층을 과식각하여 수직 이방 구조 형상의 패턴을 만들어 rabbit ear가 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다.

이를 위해서는 레지스트가 하부 고분자층 보다 반응 이온 식각에 대한 내식각성이 높아야 하지만 통상의 임프린트 레진으로 사용되는 단량체 계열의 레지스트는 하부층으로 흔히 쓰이는 LOL2000TM 레지스트에 비해서 내식각성이 높지 않은 어려움이 있다.

본 연구에서는 나노 임프린트 리소그래피를 이용하여 다층 구조의 레지스트 패턴을 형성하였다. 일반적으로 임프린트 리소그래피에서 사용하는 기존의 단량체 기반의 레지스트는 하부 LOL2000TM 레지스트에 비해 내식각성이 좋지 않기 때문에 수직의 이방성 구조를 갖는 패턴을 형성하기가 매우 어려웠지만, 상부의 임프린트 레지스트의 내식각성을 향상시켜 리프트 오프가 용이한 패턴을 형성하는 실험을 진행하였다..

Reagent	Resin 1	Resin 2
Benzyl Methacrylate	90%	80%
Poly Benzyl Methacrylate	5%	5%
Methacryloxypropyl Terminated PolyDimethylsiloxanes	0%	10%
Trigonox 21ls	5%	5%

Table 1 Composition of Thermal Monomer Resin

2. 실험

단량체 기반 레지스트[10]를 사용한 임프린트 리소그래피 공정을 그림 1에 나타내었다. 본 연구에서는 리프트 오프를 위한 하부 레지스트층으로 Shipley사의 LOL2000TM을 사용하였다. piranha treatment, DI rinsing을 통해 세척된 실리콘 웨이퍼 위에 LOL2000TM을 6000rpm에서 30초 동안 스핀코팅 하여 150nm의 두께를 갖는 LOL2000TM층을 형성하였다.

임프린트 리소그래피 공정에서 사용한 레지스트는 Table 1과 같은 구성을 가지고 있는데, 내식각성 향상을 도모하기 위하여 M-PDMS(Methacryloxypropyl Terminated PolyDimethylsiloxanes, Gelest Inc.)를 첨가하였다.

임프린트 공정은 Quartz 몰드를 사용하여 진행하였다. Quartz 웨이퍼 위에 포토 레지스트를 코팅하고 극 자외선 광학 리소그래피를 이용하여 고분자 레지스트 패턴을 형성한 후, 반응성 이온 식각공정을 통하여 Quartz 웨이퍼 위에 다양한 크기의 점 패턴을 형성하였다.

제작한 Quartz 몰드는 표면에너지가 높아, 임프린트 공정이 끝난 후 레지스트와 Quartz 몰드가 잘 떨어지지 않아 패턴 형성이 되지 않는 문제가 생기는데 이를 피하기 위해서는 Quartz 몰드의 표면에너지를 낮추어야 한다. 표면에너지를 낮추기 위한 방법으로는 대표적으로 소수성 자기조립 단분자막(Self-Assembled Mono-layer, SAM)코팅 처리가 있

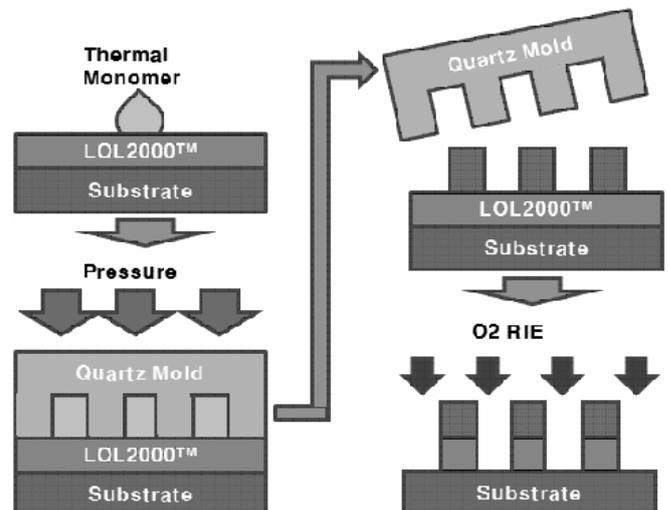


Fig. 1 Schematic of procedures for nano imprint lithography

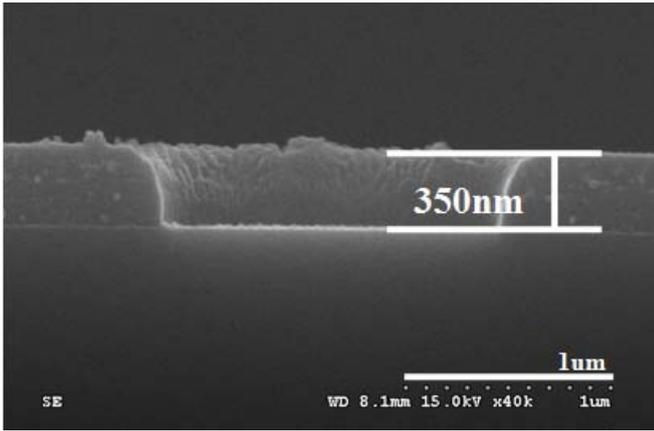


Fig. 2 SEM image of imprint resist patterns

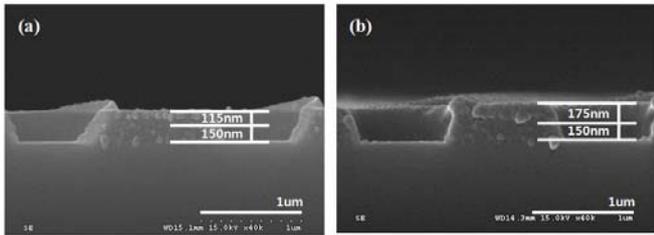


Fig. 3 SEM image of imprint resist patterns after O₂ RIE

다.[11] 본 실험에서는 silane 계열의 SAM 인 Heptadecafluoro-1,1,2,2-tetra-hydrodecyl trichlorosilane 과 hexan을 1:1000 비율로 섞은 용액에 Quartz 몰드를 넣어 SAM 을 형성하였으며, 결과적으로 소수성 단분자막으로 인해 Quartz 몰드의 표면에너지가 낮아져서 레지스트와 몰드가 잘 분리될 수 있다.

임프린트 장비는 NND 사의 NANOSIS 820 을 사용하였다.[10] LOL2000™ 이 코팅 된 기판 위에 임프린트 레진을 0.4ul 떨어뜨리고 SAM 코팅된 Quartz 몰드를 올려놓았다. 이 후 N₂ gas 를 20bar 까지 가압한 후 15 분 동안 유지하고, 온도를 120 도까지 올린 후 다시 15 분 동안 유지하였다. 실험을 진행할 때 열경화성 레지스트를 사용하기 때문에, 열가소성 레지스트에 비해 임프린트 공정 후 별도의 냉각 과정이 필요하지 않다. 마지막으로 Plasma Therm. 790 Series 반응성 이온 식각 장비를 이용하여 100W, O₂ 40sccm, 압력 40mtorr, 시간 50 초 동안 반응 이온 식각을 진행하여 극미세 패턴을 형성하였다.

3. 결과 및 토의

그림 2 은 Quartz 몰드를 사용하여 임프린트를 진행한 SEM 사진이다. 패턴의 높이가 약 350nm 임을 확인할 수 있다. 그림 3-(a)는 LOL2000™ 이 코팅된 실리콘 기판 위에 M-PDMS 를 첨가하지 않은 레지스트를 사용하여 임프린트를 진행한 후, 이를 100W, O₂ 40sccm, 압력 40mtorr, 시간 50 초 동안 식각하여 얻은 결과이다. 레지스트가 약 235nm 식각된 것을 확인할 수 있다. 같은 공정으로 M-PDMS 가 첨가된 레지스트를 임프린트 한 후 동일한 조건의 식각을 진행하였는데, 그림 3-(b) 에서 보는 바와 같이 레지스트가 약 175nm 식각되었음을 확인할 수 있다. 이를 통해서 M-PDMS 를 첨가한 임프린트 레지스트의 O₂ 플라즈마에 대한 내식각성이 향상되었음을 알 수 있다.

M-PDMS 를 첨가한 레지스트의 내식각성이 증가하면 전체적으로 형성된 패턴이 높아지므로 리프트 오프 공정을 통하여 금속 패턴을 보다 두껍게 형성하기에 유리하며, 또한 패턴의 모서리 영역의 침식을 완화시킬 수 있기 때문에

반응성 이온 식각 후 하부 LOL2000™ 레지스트가 수직 이방성 형상을 갖을 수 있다., 이를 통해 금속 등을 증착 할 때 rabbit ear 현상을 효과적으로 방지할 수 있다.

M-PDMS 는 대부분이 수소와 탄소로 이루어져 있고, 실리콘이 함유되어 있다. 이는 반응 이온 식각 공정에서 단량체 기반의 레지스트에 비해 M-PDMS 의 수소와 탄소로 인한, 산소 플라즈마에 대한 내성 증가가 기대된다. 또한 수소와 탄소가 모두 식각된 후에 남은 실리콘은 산소와 결합하여 SiOx 를 형성하고, 이 역시 식각 공정 진행 중 O₂ 플라즈마에 대한 방벽 역할을 할 수 있는데, 이러한 영향으로 인해 일반적인 단량체 기반의 레지스트에 비해 M-PDMS 를 첨가한 레지스트의 내식각성이 향상된 것을 확인할 수 있다. 다만, 내식각성 향상을 위한 M-PDMS 의 너무 많은 첨가는 단량체 기반의 레지스트의 유동성을 감소시켜 무잔류층 임프린트가 어려워지기 때문에 목적에 따라 적절한 비율의 M-PDMS 를 최적화시켜야 한다.

4. 결론

다층 구조를 이용한 리프트 오프 공정은 상부 레지스트 패턴이 하부 LOL2000™ 레지스트층 보다 반응 이온 식각 등에 대한 내식각성이 좋을 경우 수직의 이방성 구조를 갖는 패턴을 구현할 수 있으며, 이를 이용하여 금속, 절연체 등 사용 목적에 따른 여러 가지 패턴을 형성할 수 있다.

본 연구에서는 나노 임프린트 리소그래피 기술을 이용한 리프트 오프에 용이한 극미세패턴을 형성하기 위하여, 임프린트 레지스트에 M-PDMS 를 첨가하였으며 이로써 상부 레지스트의 반응성 이온 식각시 내식각성을 향상시켰고 이를 통하여 리프트 오프가 용이한 극미세패턴을 형성할 수 있었다.

후기

This study was supported by a grant (A050750) of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea.

참고문헌

1. Qi-Zhong Yang, G A C Jones, M J Kelly, H Beere and I Farrer, *Semicond. Sci. Technol.* 21 (2006) 558-564
2. Darren Lochun, Mary Kilitziraki, David Harrison and Ifor Samuel, *Smart Mater. Struct.* 10 (2001) 650-656
3. Hung-Wen Huang, H CKuo, J T Chu, C F Lai, CC Kao, T C Lu, S CWang, R J Tsai, C C Yu and C F Lin, *Nanotechnology* 17 (2006) 2998-3001
4. Stefan Hausser, Stefan Majoni, Holger Schligtenhorst, and Georg Kolwe, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 16, 2, MAY 2003
5. A Chen, S J Chua, P Chen, X YChen and L K Jian, *Nanotechnology* 17 (2006) 3903-3908
6. Stephen Y. Chou, Peter R. Krauss, and Preston J. Renstrom, *J. Vac. Sci. Technol. B* 14(6), Nov/Dec 1996
7. Utkan Demircia and Mehmet Toner, *APPLIED PHYSICS LETTERS* 88, 053117 (2006)
8. P. Carlberg, M Graczyk, E.-L. Sarwe, I. Maximov, M. Beck, L. Montelius, *Microelectronic Engineering* 67-68(2003)203-207
9. g.y. jung, w. wu, s. ganapathiappan, d.a.a. ohlberg, m. saif islam, x. li, d.l. olynick, h. lee, y. chen, s.y.wang, w.m. tong, r.s. williams, *Appl. Phys. A* 81, 1331-1335 (2005)
10. Heon Lee, Sunghoon Hong, Kiyeon Yang, Kyungwoo Choi, *Microelectronic Engineering* 83 (2006) 323-327
11. Heon LEE and Gun-Young JUNG, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 43, No. 12, 2004, pp. 8369-8373