

원통금형의 전자빔 가공을 위한 PR 코팅 및 측정 팁을 이용한 두께 측정

PR Coating for Electron Beam Lithography of Cylindrical Mold and Measuring Coating Thickness of It using Measuring Tip

이승우^{1,✉}, 김정오¹, 서정¹

Seung Woo Lee^{1,✉}, Jeong-O Kim¹, and Jeong Suh¹

¹ 한국기계연구원 나노융합시스템연구본부 (Nano Convergence and System Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials)

✉ Corresponding author: lsw673@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7147

Manuscript received: 2011.9.14 / Revised: 2012.4.9 / Accepted: 2012.7.14

Process conditions for generating nano patterns handle different process according to the pattern characteristics, and different process data according to patterns in questions. To efficiently find optimal process conditions for generating nano patterns, process data by experiment is needed consideration of the pattern characteristics concerning the equipment. In particular, coating methods of a cylindrical mold differ from it of a flat plate because of viscosity of coating materials. Also the coating thickness affects nano process and pattern line width. So coating method of coating thickness for cylindrical mold is very important on nano pattern generating. In this study, a method is proposed for coating Photo Resist through the spray in order to coat cylindrical mold and measuring the thickness of coating using measuring tip considering the size of cylindrical mold because there is no method in the existing SEM. The proposed method is applied to a real printed electronics system to verify its accuracy and efficiency.

Key Words: Electron Beam Lithography (전자빔 가공), Cylindrical Mold (원통형 금형), Photo Resist (김광제), Spray Coating (스프레이 코팅), Measuring Thickness (두께측정), Measuring Tip (측정 팁)

1. 서론

소비자의 요구가 다양화됨에 따라 첨단 제품은 고기능화, 소형화, 경량화를 지향하고 있다. 반도체, 정보저장매체, 디스플레이 및 광학소자의 제작 등에는 기능향상 및 소형화 요구에 따라 나노기술이 적용된 가공기술이 요구되고 있다. 최근에는 원통형 금형에 나노패턴을 생성하여 원통형 금형 사이에 수지를 통과시켜 소자를 생산하는 방법이 있는데 이를 인쇄전자 기술이라 한다. 인쇄전자 기술에서 중요한 요소 중의 하나는 원통형 금형에 나노패턴을 생성하는 것이다. 나노패턴을 가공하

기 위한 주요수단으로는 전자빔 리소그래피, 나노 임프린팅 등 다양한 가공방법이 있으며, 이 중 전자빔 리소그래피 방법은 나노패턴 가공에서 가장 많이 사용되는 방법이다. 전자빔 리소그래피는 PR (Photo Resist) 코팅, 전자빔 노광, 현상 (developing), 에칭 (etching) 등의 공정이 필요하며, 필요한 나노패턴을 가공하기 위해서는 각 공정에서 최적의 조건이 구현되어야 한다. PR 코팅의 두께는 나노패턴의 크기를 결정하는 요소로서, 원통형 금형에 PR 을 일정한 두께로 코팅하는 방법과 두께를 측정하는 것이 매우 중요하다.^{1,2}

본 연구에서는 일반적인 평판이 아닌 곡면을

가지는 원통형 금형에 대한 PR 코팅에 대한 방법과 나노패턴의 크기를 결정하는 코팅두께를 측정하는 방법을 제안하였다.

2. Electron beam lithography 를 위한 가공 요소

전자빔 가공은 전자기 또는 정전식 렌즈를 통하여 쉽게 나노미터 단위의 직경으로 집속시킬 수 있고, 전자기 또한 정전식 편향기로 방향을 쉽게 조절할 수 있어 매우 높은 정밀도로 패턴을 생성할 수 있다. 또한 전자빔 리소그래피 방식은 나노 크기의 집속 빔을 원하는 패턴에 따라 하나씩 조사하게 되므로 넓은 면적을 패터닝 하기에는 많은 시간이 소요되므로 공정시간에 덜 구애 받는 반도체 제조용 마스크 제작, MEMS 소자 제작, 나노형상의 스탬프 제작 등에 많이 활용된다.

전자빔 리소그래피 공정은 코팅장치에 의한 PR 코팅, 전자빔 노광, 코팅액 현상, 에칭 및 잔류 코팅액 제거 등의 순으로 진행된다.^{3,4} Fig. 1 에 전자빔 리소그래피 공정을 나타내었다.

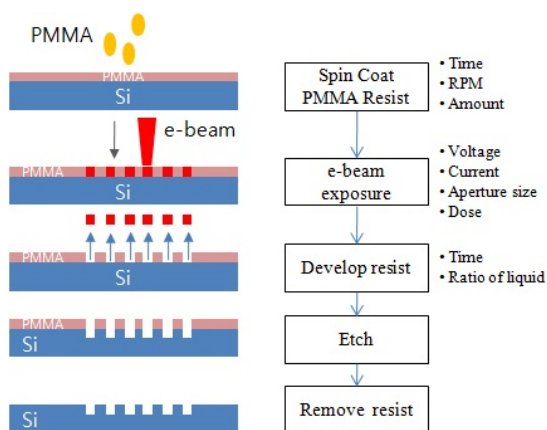


Fig. 1 e-Beam lithography process

전자빔 리소그래피에서 가장 많이 사용되는 PR 물질은 PMMA (polymethyl methacrylate)로서 전자빔이 조사될 경우 PMMA 내의 화학적 결합에 변화가 일어나게 된다. 패턴의 생성은 전자빔에 반응하는 resist 에 따라 달리 구성되며 resist 의 성분이 polymer chain 이 끊어지든지 또는 결합되는지에 따라 양각 혹은 음각패턴이 생성된다. 특히 resist 는 빠른 감도, 높은 해상도 및 높은 내에칭성 등에 의해 패턴이 결정된다. 따라서 높은 감도를

가지는 resist 는 상대적으로 낮은 해상력을 가지기 때문에 제작하고자 하는 형상 및 응용에 맞는 resist 를 선정하여야 한다.⁵

전자빔 노광의 전자총 필라멘트에서 나온 전자빔을 가속시키는 애노드에 의해 가속된 전압은 고전압일수록 파장이 짧으며 해상도를 높일 수 있다.⁴ 또 하나의 가공 요소는 도즈 (dose) 량으로 전자빔이 resist 에 조사되어 반응을 일으킬 때 resist 의 고분자 사슬 변형에 필요한 집속된 에너지 크기이다. 이는 가공기의 전류를 어느 정도 크기에 어느 정도 시간 동안 전자빔을 resist 에 조사하는 양으로 전류 값과 노출시간에 비례하고 픽셀간 스텝크기에 반비례한다.

현상 (developing) 공정은 전자빔에 의해 변화된 resist 층을 제거하는 것으로 보통 MIBK (methyl isobutyl ketone)과 IPA (isopropyl alcohol)의 혼합물을 많이 사용한다. 이때 중요한 것은 현상액의 혼합물 농도와 시간에 따라 패턴의 선명도에 영향을 준다. Table 1 은 현상액 혼합물에 따른 패턴의 영향을 나타낸 것이다.⁶ MIBK 의 농도가 묽을수록 패턴의 해상도는 좋아지지만 처리량은 낮아진다. 즉 PR 의 코팅두께와 전자빔 조사량 및 현상시간에 의해 패턴의 해상도가 영향을 받는다. 에칭의 경우 습식에칭과 건식에칭 방법이 있으며, 건식에칭 방식이 패턴의 구현 해상도가 높아 미세한 패턴을 구현할 수 있다.

Table 1 Relations of blended developer and pattern resolution/throughput⁶

Composition (MIBK : IPA)	Resolution	Sensitivity/Throughput
1 : 1	high	high
1 : 2	higher	medium
1 : 3	very high	low
1 : 0	low	high

본 연구에서는 전자빔 리소그래피 공정 중에서 평판이 아닌 원통형 금형에 대한 코팅방법과 패턴의 크기에 따른 코팅두께의 측정을 위한 연구를 수행하였다. 일반적으로 전자빔의 stigmation 과 시료표면의 focusing 조건이 이상적일 경우 300 nm 두께의 495K PMMA 는 약 15 nm 크기의 패턴을 구현할 수 있으며, 50 nm 두께의 코팅 두께는 약 10 nm 정도의 패턴을 구현할 수 있다.⁵

3. 원통형 금형의 PR 코팅 및 두께 측정

3.1 스프레이를 이용한 코팅

앞에서 언급한 바와 같이 전자빔 리소그래피의 해상도는 전자빔의 stigmation, focusing 과 PMMA 의 두께에 따라 달라진다. 본 연구에서 적용된 원통형 금형은 길이 120 mm, 직경 50 mm 크기이므로 기존의 스프인 코트 (spin coat) 방식의 코팅은 불가능 하다. 특히 PR 코팅제의 경우 평판에 적용되는 스프인코트를 이용한 방식으로는 원통형 금형에 코팅하기에는 적합하지 않다. 따라서 스프레이 노즐을 이용하여 원통형 금형에 PR 코팅하는 방법이 필요하다. 스프레이 방식은 용액과 캐리어가스 (질소)를 사용하는 이류체 방식이다.

Fig. 2 는 기존의 스프인코트 방식에서 회전 속도에 따른 950PMMA A resist (2-7% in Anisole, MicroChem, 독일)의 코팅두께 특성을 나타낸 것이다.⁷ 이 PMMA 는 점도는 25℃에서 10.8±0.8 cst 로 상대적으로 묽은편이며 A2 type 의 경우 4000 rpm 에서 1000Å 두께로 코팅되는 특성을 가지고 있다.

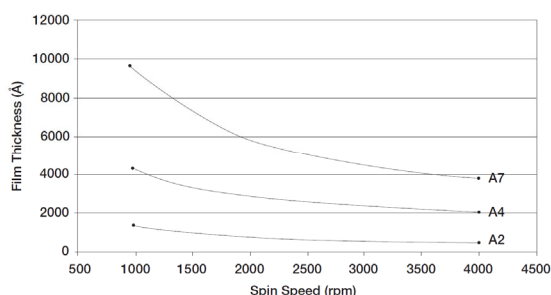


Fig. 2 Thickness of the coated resist according to the spin speed (RPM)

Fig. 2 는 스프인코트 방식에서 평판에 대한 코팅 특성이므로 스프레이 방식에 적합한 PMMA 의 점도를 재구성하였다. 이를 위해 950PMMA A resist 와 동일한 성분을 가지는 anisole 성분의 희석제 (thinner)를 혼합하여 스프레이에 적합한 PMMA 점도를 구성하였다. 점도가 높으면 스프레이에서 헤이즈 (haze) 현상이 생기고 너무 묽으면 코팅 막이 제대로 생기지 않는다.

본 연구에서 250 nm 패턴을 가공하기 위해 300 nm 두께의 PR 코팅이 필요하다는 것을 평판 가공에서 조건을 구하였고, 원통형 금형에서도 같은 조건에서 가공할 경우 300 nm 두께의 코팅이

되어야 한다.

스프레이 방식에 적합한 코팅액 점도를 구현하기 위해 PMMA 원액과 PMMA 와 같은 성분의 희석제를 혼합하여 원통형 금형에 대한 스프레이 코팅 실험을 하였다. 스프레이 방식에서 나타나는 헤이즈 현상은 용액 (PR 코팅액)의 용제가 휘발되는 비점 (휘발속도)과 원통형 금형의 표면결합 특성의 불균형 때문에 생기는 현상이다. Table 2 는 PMMA 와 희석제 혼합비율에 따른 헤이즈 현상과 반복횟수를 나타낸 것이다. 여기서 반복횟수는 코팅을 위한 노즐의 X 축 반복횟수를 의미한다. 코팅 조건은 PR chemical flow 0.5 ml/min, N2 flow 10l/min, 1.5 kPa 압력의 조건으로 코팅하였다. 스프레이 노즐과 원통형 금형과의 거리는 50 에서 70 mm 정도이며, 실험결과 50 mm 에서 코팅하였다. 헤이즈 현상과 반복횟수의 적절성을 감안하여 5:5 비율로 혼합한 용액을 사용하여 코팅하였다.

Table 2 Comparison among the coated surface

PMMA : thinner	haze	repeat
7 : 3	much	few
5 : 5	a little	a few
3 : 7	little	many

Fig. 3 은 스프레이 코팅방식을 이용하여 원통형 금형에 대한 코팅작업을 나타낸 것이다. 300 nm 두께의 코팅 막을 형성하기 위해 원통형 금형의 회전 속도 120 rpm, X 축 이송속도 3.5 mm/sec, 반복 횟수 20 회의 조건을 설정하였다. 원통형 금형의 표면온도를 25℃로 하기 위해 오븐에 약 15 분 정도 예열하였다.

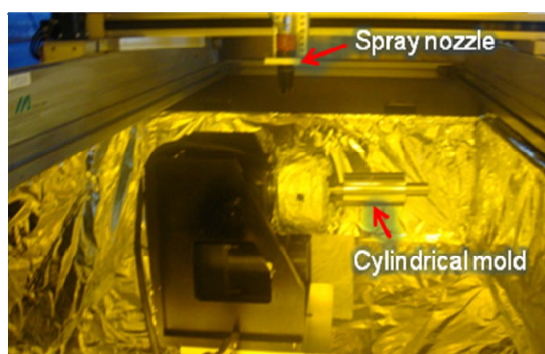


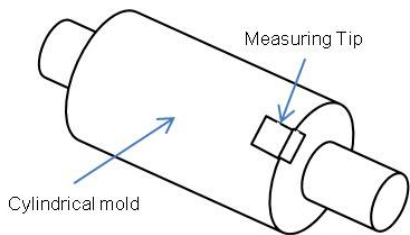
Fig. 3 PR coating of a cylindrical mold using spray nozzle

코팅된 원통형 금형은 표면에 PR 코팅이 잘 증착되기 하기 위해서 80°C에서 30 분간 가열하였다.

3.2 측정 팁을 이용한 코팅 두께 측정

250 nm 패턴을 가공하기 위해 원통형 금형에 코팅된 코팅 두께를 알아야 한다. 이는 코팅 두께가 패턴의 크기를 좌우하는 중요한 요소이기 때문이다. 원통형 금형의 크기는 120 × 50 mm 이기 때문에 존재하고 있는 기존의 측정장치로는 두께 측정이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 측정 팁을 이용하여 코팅의 두께를 측정하였다.

Fig. 4 와 Fig. 5 는 측정팁이 장착된 원통형 금형의 구조와 실제 원통형 금형을 나타낸 것이다. Fig. 4 와 5 에서 보는 바와 같이 측정 팁은 원통형 금형의 끝 부분에 볼트에 의해 장착할 수 있는 구조로 되어있으며, 코팅이 끝나면 원통형 금형과 분리가 되어 측정장치에 의해 코팅두께를 측정할 수 있다.³ 측정 팁은 1.5 × 1.5 mm 크기이며 실제 패턴은 생성되지 않는다. 이러한 원리는 원통형 금형의 크기와 패턴이 생성될 부분에 영향 없이 코팅 두께를 측정할 수 있는 장점이 있다.



(a) Structure of cylindrical mold with measuring tip



(b) Real cylindrical mold having clamped measuring tip using bolt

Fig. 4 Structure and position with measuring tip of cylindrical mold

코팅된 측정 팁의 코팅두께를 측정하기 위해 SEM (scanning electron microscope), 엘립소 미터 (ellipso meter), 알파스텝 (alpha step) 등을 이용하였다.⁸ SEM 을 이용한 코팅 두께의 측정 결과는 스프레이 코팅의 특성에 따라 코팅 표면이 완벽한 평면은 아니지만 약 210~290 nm 정도의 코팅이 되는 것으로 분석되었다. 측정된 결과를 Fig. 5 에 나타내었다.

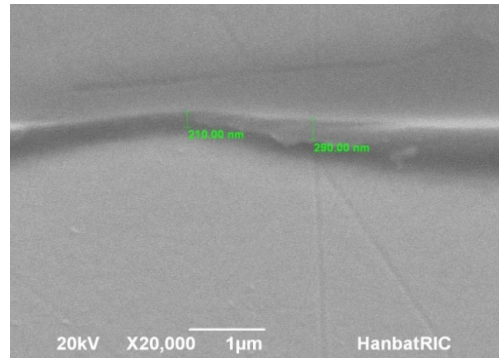


Fig. 5 SEM image of the coated surface on cylindrical mold

엘립소 미터는 광학적 측정 방법으로 두께를 측정한다. 측정광이 시료의 표면에 수직으로 입사될 때 파장에 따라 박막으로부터 반사되는 빛의 강도 (변화량)를 측정하는 것으로 코팅된 측정 팁 단면의 빛의 반사량을 측정하였다. Fig. 6 은 반사되는 빛의 변화량을 나타낸 것이다. 엘립소 미터에서 측정에서도 거의 200~300 nm 사이의 두께 측정이 관찰되었으며, 이 역시 스프레이 코팅의 특성상 중첩되는 부분에서는 빛의 반사량이 증가 되는 부분이 있다.

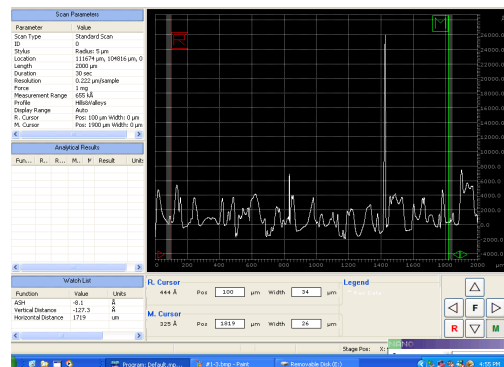


Fig. 6 Measuring of coating thickness using ellipso meter

또한 접촉식 박막 측정 방법인 알파 스텝을 이용하여 코팅 두께를 측정하였다. 알파 스텝은 탐침이 재료표면을 긁고 지나 감으로서 코팅의 두께를 측정할 수 있는 장비로 이의 측정을 위해 측정 팁의 일부분에만 코팅을 하여 두께를 측정하였다. Fig. 7 은 알파스텝에 의한 측정결과를 나타낸 것이다. 이 역시 스프레이 코팅 특성 상 중첩되는 부분에서는 측정결과에서 나타나듯이 두께가 증가되는 부분이 있다.

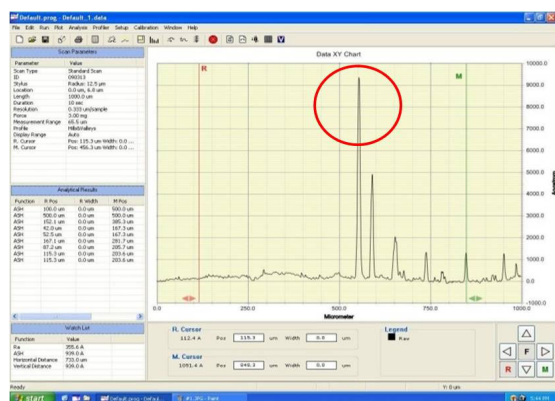


Fig. 7 Measuring of coating thickness using alpha step

세가지 측정방법을 이용하여 원통형 금형에 부착된 측정 팁의 코팅 두께를 측정한 결과 250 nm 패턴 크기를 가공하기 위해 필요한 300 nm 두께의 코팅을 달성하였다.

4. 결론

원통형 금형에 대한 나노패턴 가공을 위해 전자빔 리소그래피 가공방법을 이용한 가공방법을 연구 중에 있다. 본 논문에서는 전자빔 리소그래피 공정에서 원통형 금형을 위한 PR 코팅 방법과 나노패턴의 크기에 영향을 미치는 코팅 두께에 대한 측정방법에 대한 연구를 수행하였다. 원통형 금형에 대한 코팅방법으로는 기존의 스핀 코터에서 사용되는 PMMA 용액의 점도를 튜닝하여 스프레이를 이용한 방법을 제안하였으며, 코팅 두께 측정방법으로는 원통형 금형의 크기 제약으로 인해 원통형 금형에 탈/부착이 가능한 팁을 부착하여 코팅 후 팁을 측정하는 방법을 제안하였다. SEM, 엘립소미터, 알파스텝 등의 다양한 측정방법을 이용하여 약 300 nm 두께의 코팅이 되

었으며, 이는 250 nm 패턴 크기를 가공하는데 적정한 코팅두께이다. 추후에는 이를 바탕으로 원통형 금형을 가공할 수 있는 전자빔 리소그래피 공정을 확립하고 보다 얇은 나노 패턴을 생성하기 위해 보다 얇은 PR 코팅 막 생성을 위한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Linden, J., Thanner, C., Schaaf, B., Wolff, S., Lagel, B., and Oesterschulze, E., "Spray coating of PMMA for pattern transfer via electron beam lithography on surfaces with high topography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 88, No. 8, pp. 2030-2032, 2011.
2. Han, J. W., Choi, J. H., Yoo, Y. E., Kim, B. H., Lee, J. S., and Kang, S. I., "Nano Replication Technology of Nano Patterns and Application Fields," *J. of the KSPE*, Vol. 26, No. 6, pp. 30-35, 2009.
3. Lee, S. W., Kim, J. O., and Seo, J., "Measuring coating thickness of cylindrical mold using measuring tip," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 217-218, 2011.
4. Weimann, T., Greyer, W., Hinze, P., Stadler, V., Eck, W., and Golzhausen, A., "Nanoscale patterning of self-assembled monolayers by e-beam lithography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 57-58, pp. 903-907, 2001.
5. Jeong, H. J., Choi, B. K., and So, D. S., "Technologies of Nano Patterning," *NANO WEEKLY*, Vol. 185, pp. 2-5, 2006.
6. Kim, J. T. and Hwang, I. K., "Current control in e-Beam lithography based on Scanning Electron Microscope," *The Optical Society of Korea Annual Meeting*, pp. 237-238, 2009.
7. MICRO · CHEM, "Products-PMMA," <http://www.microchem.com>
8. National NanoFab Center, "NNFC service-equipment," <http://www.nnfc.re.kr>