

# Low-energy EPL 마스크 구현을 위한 특성 연구 (Characteristics for making the mask of low-energy EPL)

김태근, 함동은, 신수범, 김우삼, 김치호\*, 정용재\*, 안진호  
한양대학교 재료공학과, \*한양대학교 세라믹공학과

## Abstract

Low energy EPL용 마스크 구현을 위한 특성을 연구하였다. Monte Carlo 법을 이용하여 시뮬레이터를 제작하였고, pattern side wall의 slope와 membrane의 Thickness, 전자빔의 가속전압에 따른 전자빔의 거동을 확인함을 통하여 Low energy EPL용 마스크 제작을 위한 spec.을 도출하였다. 또한 실제 제작을 위한 기초단계로 Si etching을 수행하였으며, mask 제작법에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

## 1. Introduction

차세대 노광공정(Next Generation Lithography)으로 주목받고 있는 기술들로는 X선을 광원으로 하는 XRL(X-Ray Lithography), 마스크에 전자빔을 투영하는 EPL(E-beam Projection Lithography), 이온빔을 투영하는 IPL(Ion Projection Lithography), 극자외선을 광원으로 하는 극자외선 노광공정(EUVL : Extreme Ultraviolet Lithography), 그리고 도장처럼 틀로 찍어내는 간단한 개념을 이용한 Nanoimprint 등을 들 수 있다. 그 가운데, EPL은 다품종·소량 생산에 이점을 갖고 있기에 소품종·대량생산에 용이한 EUVL과 함께 큰 관심을 받고 있는 기술이다.

EPL의 역사는 1973년 전자빔 축소투영으로부터 시작되었고, 현재 개발되고 있는 EPL의 기본 개념은 1990년 Bell 연구소에서 제안되었다. 노광시스템의 개발은 Lucent technology에 의한 SCALPEL과 IBM이 제작한 전자광학계(PREVAILE)를 탑재한 Nikon의 EB Stepper로 양분된다. 그러나 둘 다 산란 contrast에 의한 결상원리, 다수의 sub-field로 이루어진 마스크를 이용한 stitch-and-scan 노광방식 등의 공통점을 가지고 있어 기본적으로는 같은 기술로 볼 수 있다.

EPL 마스크는 EB stepper에 사용되는 스텐실(Stencil) 마스크와 SCALPEL에 사용되는 멤브레인 마스크의 두 가지 형태가 있다. Stencil 마스크는 상보 마스크의 필요성, deep hole 가공, 검사 등의 문제점을 갖고 있지만, 해상도에서의 우월성으로 인해 현재로서는 EPL 마스크의 주류를 이룰 것으로 예상된다.

본 실험에서는 전자빔의 거동을 예상하기 위하여 Monte Carlo법을 이용하여 시뮬레이션을 제작하였고, 마스크 패턴 제작시 예상되는 side wall의 slope 현상을 고려하여 slope에 따른 전자빔 에너지의 투과 분포를 확인하였고, stencil 마스크의 두께를 도출하기 위해 두께에 따른 전자빔 에너지의 투과 분포를 조사하였다. 그리고 low energy 범위에서 전자빔의 가속전압에 따른 영향도 살펴보았다. 마지막으로 마스크 제작을 위한 시각 실험을 진행하였고, 이에 대한 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

## 2. Experimental

본 실험에 사용된 시뮬레이터는 Monte Carlo 법을 이용하여 Si 마스크와 전자빔의 상호작용을 해석하여 모든 전자들의 움직임을 기록하고 각각의 에너지, 이동 방향을 측정할 수 있게 설계되었다. Plural 모델을 이용한 이 시뮬레이터는 수 마이크로 대 사이즈의 마스크에서 전자 산란 현상을 빠른 속도로 계산할 수 있다.

마스크 패턴의 두께와 패턴 side wall의 slope, 전자빔의 가속전압을 변화시키며 마스크를 통과한 전자의 에너지의 분포가 어떻게 달라지는지 살펴보았다. 이 때 마스크 패턴의 중심으로부터 x축 방향으로 0.3  $\mu\text{m}$  떨어진 영역까지를 0.015  $\mu\text{m}$  간격으로 이산화하고 총 300 개의 노드에 대해 지름 0.1 mm의 전자빔을 주사하였다.

실제 마스크 제작 공정에의 적용을 위한 식각 공정은 ICP etcher에서 진행하였고, 패턴 사이즈는 목표 사이즈보다는 큰 2  $\mu\text{m}$  패턴에서 진행하였다. 식각 공정에 사용되는 hard mask로는 Ni를 사용하였고, DC magnetron sputter를 이용하여 Ni 0.2  $\mu\text{m}$ 를 증착하였다.

### 3. Results and Discussion

#### 1) Simulation을 통한 마스크 특성 분석

##### ① Pattern side wall의 slope 영향

전자빔의 가속 전압 2 keV이고, 마스크 두께가 0.2  $\mu\text{m}$ 일 때, side wall의 변화에 대한 투과된 전자빔의 에너지 분포를 살펴보았다. Figure 1을 보면, 쉽게 예상할 수 있듯이, slope가 vertical 한 경우에 가장 우수한 결과가 나왔고, 0.05  $\mu\text{m}$  패턴의 중심으로부터 0.075  $\mu\text{m}$  떨어진 거리에서는 slope에 관계없이 비슷한 투과정도를 보였다. 그리고 0.125  $\mu\text{m}$  떨어진 거리에서는 전자의 투과가 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, Si이 존재하는 영역에서 0.05 $\mu\text{m}$  떨어진 거리에서는 slope의 영향이 거의 없고, 0.1 $\mu\text{m}$  떨어진 거리에서는 전자의 영향이 거의 없다고 판단된다. 또한 slope가 음인 경우가 양인 경우보다 패턴 내부에서 전자의 투과가 적게 나타나는 결과를 볼 때, 식각에서 흔히 나타나는 negative slope이 simulation 상에서도 유리하게 나타났다.

##### ② 마스크 두께의 영향

Pattern side wall slope를 0°로 고정하고, 가속전압이 2 keV와 4 keV일 때, 마스크 두께에 대한 투과된 전자 에너지 분포를 살펴보았다. 가속전압 2 keV는 마스크 두께에 의한 영향은 거의 없는 것으로 나타났고(Fig. 3), 가속전압이 4 keV 일 때는, 두께가 2  $\mu\text{m}$ 에서 패턴 영역에서의 전자의 투과가 3, 4  $\mu\text{m}$ 의 두께인 경우보다 높게 나타났다(Fig. 4). 2 keV의 낮은 가속전압에서는 두께가 고려대상이 되지 않는 않지만, 그 이상의 가속전압에서는 패턴의 두께를 두껍게 제작하여야 함을 알 수 있다. 즉 식각 시 큰 aspect ratio를 필요로 함을 생각할 수 있다.

##### ③ 전자빔 가속 전압의 영향

Pattern의 두께를 0.3  $\mu\text{m}$ , Pattern의 side wall slope를 0°로 고정하고, 가속전압에 따른 투과된 전자 에너지 분포를 살펴보았다. 낮은 가속 전압일수록 전자의 투과량이 적은 결과를 보였다(Fig. 5).

##### ④EPL mask spec 도출

시뮬레이션을 통해 확인된 EPL mask의 최적 spec.은 pattern의 side wall이 vertical 하고, 4  $\mu\text{m}$ 이상의 두께를 필요로 한다. 추가로 Side wall slope는 positive slope보다 negative slope인 경우가 더 우수한 결과를 보였고, 2 keV 가속전압의 전자빔에서는 마스크 두께에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 빔 가속전압은 낮은 가속 전압일수록 전자의 투과량이 적으므로 노광 시 가능한 낮은 가속 전압을 사용하는 것이 바람직할 것이다.

#### 2) Si 에칭

##### ① 공정

DC magnetron sputter를 이용하여 4 inch wafer 위에 Ni hard mask를 200 nm 두께로 올려서 패터닝을 하였고, 2  $\mu\text{m}$ 의 패턴에 대하여 식각실험을 진행하였다., 식각 조건은 다음과 같다.

- Chemistries : SF<sub>6</sub> 90~95 % / O<sub>2</sub> 5~10 %
- ICP Power : 200 ~ 850 W
- RF Power : 200 ~ 700 W
- Bias : -30 ~ -350 V
- Pressure : 10 ~ 28 mTorr

## ② 결과

실험 조건을 달리하며 식각 실험을 진행한 결과 식각 프로파일에 큰 영향을 주는 변수는 bias power. 첨가가스의 함유량으로 나타났는데, bias power의 증가로 인한 ion bombardment 효과로 인해 어느 정도의 lateral etching은 제어할 수 있었다. 하지만, bias가 -200 V 이상의 실험에서는 Ni mask의 sputtering 영향으로 인해 Ni 입자가 식각 패턴으로 떨어져 micro mask로 작용, Silicon fillar를 형성시키는 문제점이 나타났으며 식각공정이 진행되면서 물리적 효과의 간섭으로 인해 식각률이 감소됨을 확인할 수 있었다.

Fluorine과 Si 원자간의 화학적 반응에 의해 식각공정이 진행될수록 local bowing(lateral etch) 현상이 나타났고, O<sub>2</sub> gas의 양을 늘려서 식각한 결과 side wall에 SiOxFy의 보호막층을 형성하여 식각 프로파일을 향상시킬 수 있었다. 최종적인 결과는 Fig. 6과 같고, 식각 조건은 SF<sub>6</sub> 90 %, O<sub>2</sub> 10 %, ICP 850 W, RF 300 W, Bias -50 V, Pressure 18 mTorr이다. Pattern size는 2 μm, aspect ratio는 5.5 이다. Simulation을 통해 도출된 최적 조건인, pattern size 50 nm, aspect ratio 4 ~ 10 과 비교할 때 식각 실험에서의 mask pattern은 목표보다 크지만, EPL mask 제작을 위한 가능성을 보여준 결과라 할 수 있겠다.

## 4. Conclusion

Monte Carlo 법을 이용하여 자체 제작된 시뮬레이터를 이용하여 mask pattern side wall의 slope 변화, mask 두께 변화, 빔 가속전압의 변화에 대한 전자빔 에너지 분포의 변화를 살펴보았다. Pattern side wall slope는 vertical한 경우가 가장 우수한 결과를 보였고, positive slope보다 negative slope가 우수한 결과를 보였다. 마스크의 두께는 두꺼울수록 우수하였지만, 낮은 가속전압에서는 두께에 의한 영향이 미미함을 알 수 있었다.

실제 마스크 제작을 위한 기초 식각 실험을 진행하였고, SF<sub>6</sub> 90%, O<sub>2</sub> 10%, ICP 850W, RF 300W, Bias -50V, Pressure 18mTorr에서, 2 μm size pattern에 대하여 aspect ratio 5.5의 결과를 얻을 수 있었고, 이 결과를 통해 EPL 마스크의 제작 가능성을 확인할 수 있었다.

## References

- [1] Y. Lee, W. Lee and K. Chun : J. Korean Phys. Soc., Vol. 40, No. 4, (2002) 720
- [2] T. Kuriyagawa, Y. Tezuka, T. Fukasawa, Y. Takamura and Y. Horiike : Proc. of Symp. on Dry Process, Tokyo, (2001) p.117
- [3] P. nallan, A. H. Khan, A. Kumar, D. Podlesnik : Proc. of Symp. on Dry Process, Tokyo, (2001) p.105
- [4] S. Tabara : Proc. of Symp. on Dry Process, Tokyo, (2001) p.123
- [5] S. Shimonishi, T. Matsumoto, S. Taniguchi, K. Takenaka, I. Sakai, T. Ohiwa, F. Higuchi, K. Horigchi : Proc. of Symp. on Dry Process, Tokyo, (2001) p.111

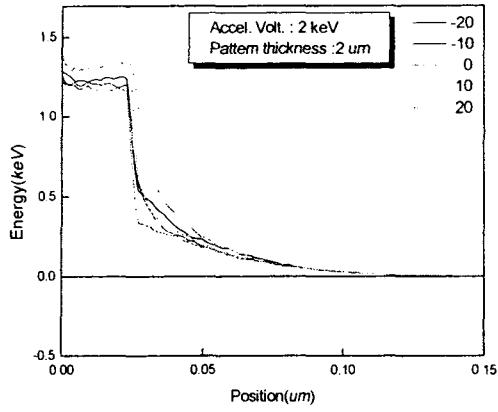


Fig. 1. pattern side wall slope에 따른 전자 에너지 분포

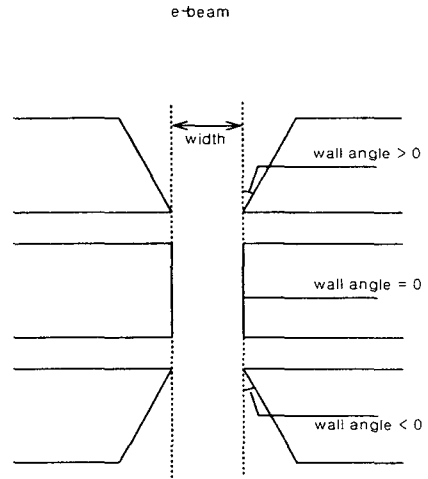


Fig. 2. Pattern slope 모식도

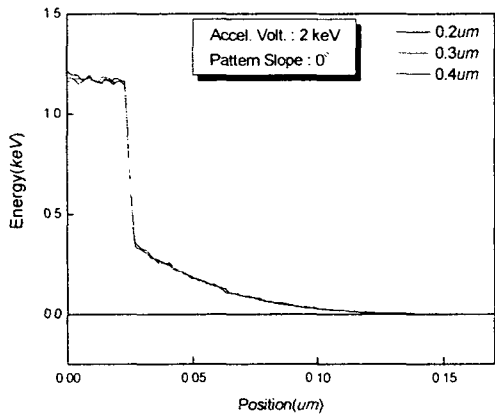


Fig. 3. 가속전압 2 keV에 대하여 pattern 두께에 따른 전자 에너지 분포

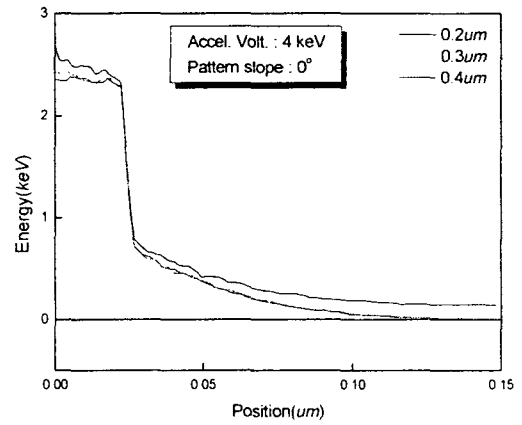


Fig. 4. 가속전압 4 keV에 대하여 pattern 두께에 따른 전자 에너지 분포

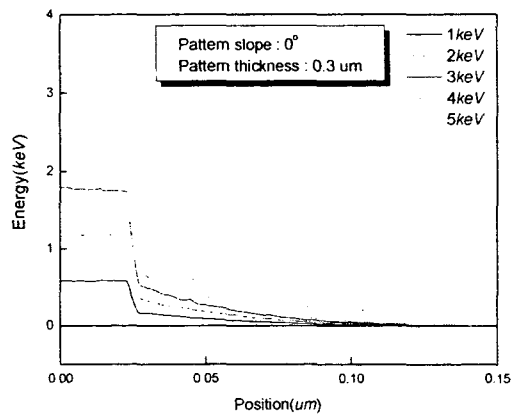


Fig. 5. 가속전압에 따른 전자 에너지 분포

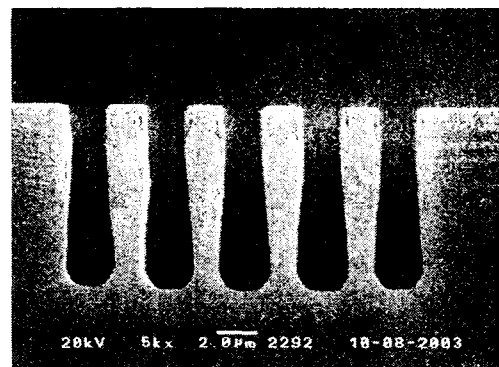


Fig. 6. 2 um 패턴의 Si 식각 image