

## 전자빔 리소그래피를 이용한 실리콘 산화막의 직접 패터닝

정석구, 최범호, 김석일, 현찬경, 황성우\*, 박정호\*, 김용, 김은규, 민식기

한국과학기술연구원 반도체재료연구실, 서울 130-650

\* 고려대학교 전기 전자 전파 공학부

### 1. 서론

전자빔 리소그래피 (electron beam lithography) 기술은 약 100 nm 크기 정도의 미세 패턴 구현을 가능하게 하고 있으며 이를 이용하여 미세 구조를 갖는 단일 전자 트랜지스터( single electron transistor )나 MOSFET의 스케일링 다운 등에 활발히 응용되고 있다. 현재 전자빔 리소그래피의 레지스트 재료로는 일반적으로 PMMA가 사용되고 있으나, PMMA가 가지는 최대 해상도나 전자들의 산란에 의해 발생하는 근접 효과 등의 이유 때문에 구현할 수 있는 최소 선폭은 약 50 nm 정도로 제한된다. 이와는 달리 실리콘 산화막 등을 레지스트 재료로 사용하는 경우에, PMMA와 같은 organic resist 재료에 비해 결합을 끊을 수 있는 에너지가 훨씬 크기 때문에 근접효과 및 해상도를 개선시킬 수 있으며 현상 과정을 거치지 않고 직접 패터닝 함으로써 현상 과정 및 식각 과정을 통해 발생할 수 있는 패턴 크기의 손실을 최소화 할 수 있다. 본 연구에서는 실리콘 산화막의 표면에 전자빔을 직접 주사한 후 식각함으로써 극미세 패턴을 구현하는 기술에 대해 언급하고자 한다.

### 2. 실험 및 결과

실리콘 산화막에 전자빔이 주사되는 경우 산화막의 표면에 식각을 방해하는 blocking 층이 형성된다. 이에 따라서 실리콘 산화막에 대한 BOE 용액 등을 이용한 선택적 식각이 이루어질 수 있으며 레지스트 층 없이 직접 실리콘 산화막에 패턴을 형성할 수 있다. 실리콘 산화막 상에 전자빔의 도즈량을 변화시키며 이에 따른 패터닝 조건을 조사하였다. 준비된 시료는  $10^{16}/\text{cm}^3$ 의 농도로 도핑된 p-type ( 100 ) 실리콘 기판 상에 습식 열산화 방법에 의해 20nm의 두께로 산화막이 증착되어 있다. 전자빔 리소그래피 장치는 JEOL-6400 SEM으로 구성되어 있으며 35 keV의 가속전압에서 전자빔의 전류치를 40 pA~100pA, 전자빔의 도즈량을 100~800 fC/dot의 범위에서 주사하였다. 전자빔 주사 과정 후에 시료를 6:1의 조성비를 가지는 BOE( buffered oxide etchant ) 용액 (식각률: ~2nm/sec)에서 12초간 상온에서 식각하였다. 그림 1은 전극 사이에  $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$  크기의 영역에 전자빔을 주사한 모습이다. 전극 사이에 겹쳐 변한 부분이 전자빔을 주사한 영역이며 식각시에 blocking 층의 역할을 하게 되는데, 전자빔을 주사함에 따라서 hydro-carbon 층이 산화막 표면에 증착된 것으로 추정되며, 현재 SAM과 XPS 등을 이용하여 조사 중에 있다. 그림 2는 각각 20 nm의 선폭으로 되어 있는 글자 모양을 패터닝 한 것과 (a), 10 nm의 선폭과 90 nm의 간격을 가지도록 전자빔이 주사된 시료를 상온에서 BOE 용액을 이용하여 식각한 패턴 (b)의 SEM 사진으로서 약 10 nm 크기의 패턴이 형성된 것을 알 수 있다. 각각의 리소그래피 조건은 동일하며 점 도즈량 200 fC/dot의 조건에서 실험하였으며, 또 다른 실험 결과를 통해 위의 전자빔의 도즈량 조건보다 도즈량을 증가시키에 따라서 형성된 패턴의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 결론

실리콘 산화막에 전자빔 리소그래피 장치를 이용하여 전자빔을 직접 주사함으로써 10 nm 크기의 패턴을 구현하였다. 10 nm 크기의 패턴은 기존의 레지스트 재료를 이용한 방법으로는 얻을 수 없는 크기의 패턴이며, 근접효과에 따른 패턴의 왜곡도 상당히 개선시킬 수 있었다. 이러한 결과를 통해 고온에서 동작이 가능한 양자소자 등의 제작에 직접적으로 응용될 수 있을 것으로 기대되며, 또한 갈륨산화막이나 알루미늄 산화막 등 화합물 반도체에서 마스크 층으로 사용되는 다른 종류의 산화막의 경우에도 전자빔을 이용한 직접 패터닝이 가능할 것으로 보인다.

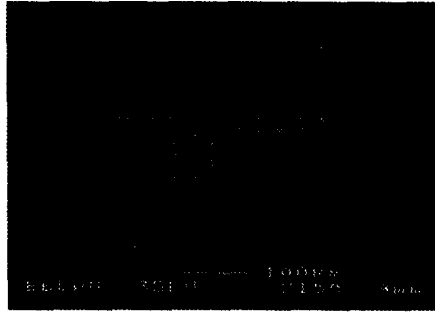
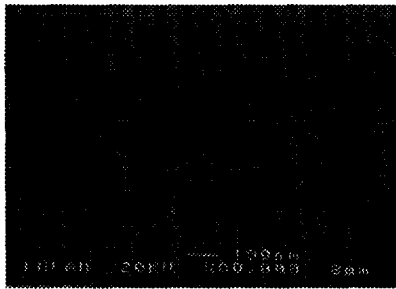
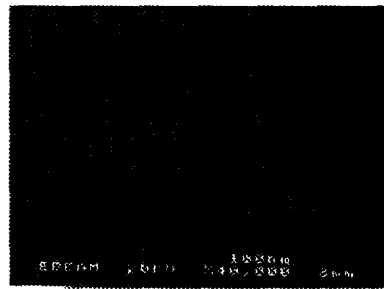


그림 1. 전자빔 주사 후의 실리콘 산화막의 사진.  
(전극 사이에 검게 변한 부분이 전자빔이 주사된 영역이다.)



(a)



(b)

그림 2. 패터닝된 실리콘 산화막의 SEM 사진  
(a) 20 nm 의 선폭을 갖는 KIST 문자 패턴  
(b) 10 nm 의 선폭과 90 nm 의 간격을 갖는 선 패턴

#### 참고 문헌

- 1) D. R. Allee, and A. N. Broers, *Appl. Phys. Lett.* **57**, 2271 (1990)
- 2) H. Hiroshima, S. Okayama, M. Ogura, M. Komuro, H. Nakazawa, K. Ochi, and K. Tanaka, *J. Vac. Sci. Technol. B.* **13** 2514 (1995)
- 3) S. Harachi, T. Wada, S. M. Gorwadkar, K. Ishii, and H. Hiroshima, *J. Vac. Sic. Technol. B.* **15(4)** (1997)