

## Mo/Si 다층박막의 특성 평가에 관한 연구

허성민 · 김형준 · 이동현 · 이승윤 · 이영태\* · 강인용\* · 정용재\* · 안진호

한양대학교 재료공학과, 한양대학교 세라믹공학과\*

### Study on the Evaluation for the Property of Mo-Si Multilayers

Sung Min Huh, Hyeong Jun Kim, Dong Hyun Lee, Seung Yoon Lee, Young Tae Lee\*,  
In Yong Kang\*, Yong-Chae Chung\*, and Jinho Ahn

Department of Materials Science & Engineering, Hanyang University

\*Department of Ceramic Engineering, Hanyang University

**초 록:** Magnetron sputtering 장비를 이용하여 극자외선 노광 공정용 Mo/Si 다층 박막을 증착하였다. 증착 파워로는 Mo의 경우 DC 파워를, Si의 경우 RF 파워를 이용하였다. 각각의 target에 인가되는 DC 또는 RF 파워의 시간 및 파워 조절을 통해서 원하는 구조인자를 가진 다층박막을 증착하였다. 증착된 다층박막을 단면 TEM, low/high angle XRD 등을 이용하여 박막의 미세구조와 interfacial layer의 거동을 살펴 보았으며, low angle XRD로부터 다층박막을 간접적으로 평가할 수 있었으며, 단면 TEM으로부터 Si 위에 형성되는 Mo의 interfacial layer가 Mo위에 형성되는 Si의 경우보다 두꺼운 것을 알 수 있었다.

**Abstract:** The Mo/Si multilayer for EUV lithography was deposited using magnetron sputtering system. The multilayers were characterized using the cross-sectional transmission electron microscope (TEM) and low/high angle X-ray diffraction (XRD). The microstructure of Mo and Si was highly textured structure and amorphous, respectively. The well-defined low angle XRD peaks implies a well-defined multilayer structure. The interfacial layer of Mo-on-Si was thicker than Si-on-Mo interfacial layer.

## 1. 서 론

1990년대 초부터 기존의 가시광 노광 기술의 한계가 지적 됨에 따라, 이를 대체할 수 있는 차세대 노광공정 기술의 필요성이 대두되었다. 몇 가지 대표적인 차세대 노광 공정으로는 Projection X-ray Lithography(PXRL)<sup>1)</sup>, Scattering with Angular Limitation Projection e-beam Lithography(SCALPEL)<sup>2)</sup>, Extreme Ultraviolet Lithography(EUVL, 극자외선 노광 공정)<sup>3)</sup> 등이 있다. 이런 차세대 노광 공정 기술 중 13.5 nm 영역의 파장대의 광원을 사용하는 극자외선 노광 기술은 높은 해상도, 낮은 NA에서 기인한 큰 초점심도와 공정의 여유도, 안정적인 마스크 구조, 기존의 가시광 노광 공정 기술과의 유사성으로 인해 70 nm 이하의 최소 선폴 세대의 소자제조에 가장 유력한 노광 기술로 평가 받고 있다.

마스크의 형태는 기존의 굴절식 광학계(refractive

optics)와 투과형 마스크(transmission mask)와는 달리 반사형 노광계(reflective optics)와 반사형 마스크를 사용하여 빛을 축소 투영하는 방식을 사용한다<sup>4)</sup>. 이 때 마스크에서 웨이퍼 상으로의 정확한 패턴 형성과 높은 수율을 가지기 위해서는 고반사율을 가진 저결함 극자외선 반사 다층박막의 제작은 필수적이다. 따라서 본 실험에서는 multi-target이 장착 가능한 스퍼터를 이용해서, MO/Si 다층박막을 증착하여 증착 조건에 따른 다층박막의 특성 변화를 직/간접적으로 관찰 하였다.

## 2. 실험방법

증착은 4-inch, (100), p-type의 Si 웨이퍼를 기판으로 사용하여 다층박막을 증착하였다. 극자외선 반사 다층박막에서 가장 중요한 구조 인자(structure factor)로 period의 두께(d)를 7 nm, partition ratio( $\gamma$ )를 0.4 (Mo:3

nm, Si:4 nm), 총 period의 수 (N)를 40으로하여 극자의 선 영역인 13 nm 부근에서 최대 반사도를 보일 수 있도록 하였다<sup>6)</sup>. 박막의 증착은 4-inch의 Mo와 Si target이 동시에 장착 가능한 스퍼터 장비를 사용하였으며, 각각의 target에 인가되는 direct current (DC) 또는 radio frequency (RF)의 연속적인 시간조절 및 파워 조절을 통하여 원하는 구조인자를 가지는 다층박막을 얻을 수 있었다.

이와 같이 증착된 다층박막에 대해 단면 TEM, low/high angle XRD등을 이용하여 박막의 미세구조와 계면층의 거동을 살펴 보았으며 특히 low angle XRD를 이용해서는 다층박막의 계면에 의해 형성되는 회절 peak를 분석함으로써 다층박막의 광학적 성질에 관한 정보를 간접적으로 얻을 수 있었다.

### 3. 실험 결과

Fig. 1의 (a)는 일정 압력 하에서 Si의 증착 변수를 고정

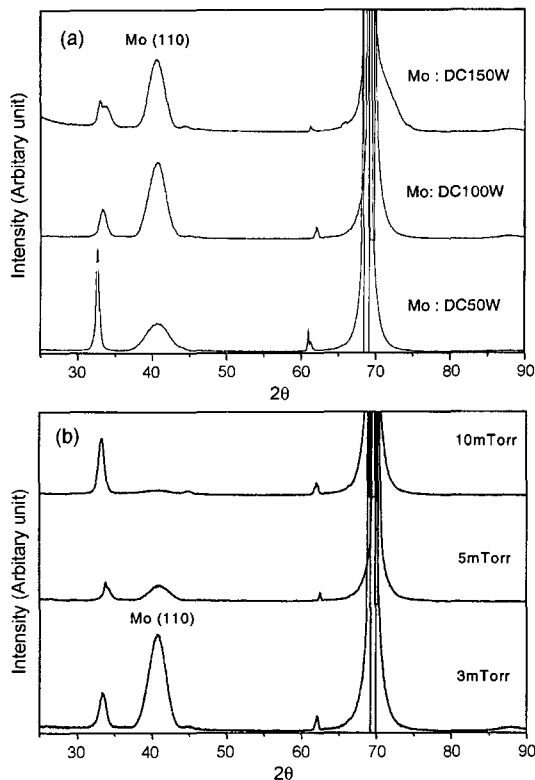


Fig. 1. High angle X-ray diffraction peaks with variations (a) Mo sputtering power (Mo:DC 50-150W, Si:RF 100W, 3 mTorr), (b) Deposition pressure (Mo:DC 100W, Si:RF 100W, 3-10 mTorr).

한 상태에서 Mo의 DC power 변화에 따른 증착된 다층박막의 high angle XRD peak의 비교를 보여주고 있다. High angle XRD peak로부터 Mo layer는 [110] texture를 가진 polycrystalline으로 보이며, Si layer의 경우는 amorphous 구조로 보인다<sup>7)</sup>.

마찬가지로 Fig. 1의 (b)는 증착 압력 변화에 따라 일정 DC power에서의 high angle XRD peak를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, DC power가 증가할수록, 그리고 증착 압력이 낮아 질수록 Mo의 texture 정도는 강해진다. 이는 높은 Mo 증착 파워와 낮은 압력에서는 Mo의 impinging energy를 높이는 결과를 가져와 Mo 원자의 좀더 안정된 위치로의 migration을 가능하게 하는 것으로 풀이 될 수 있다. 또한 이러한 Mo의 결정화 정도는 이후에 증착 되는 Si과의 계면에 상당한 영향을 미치리

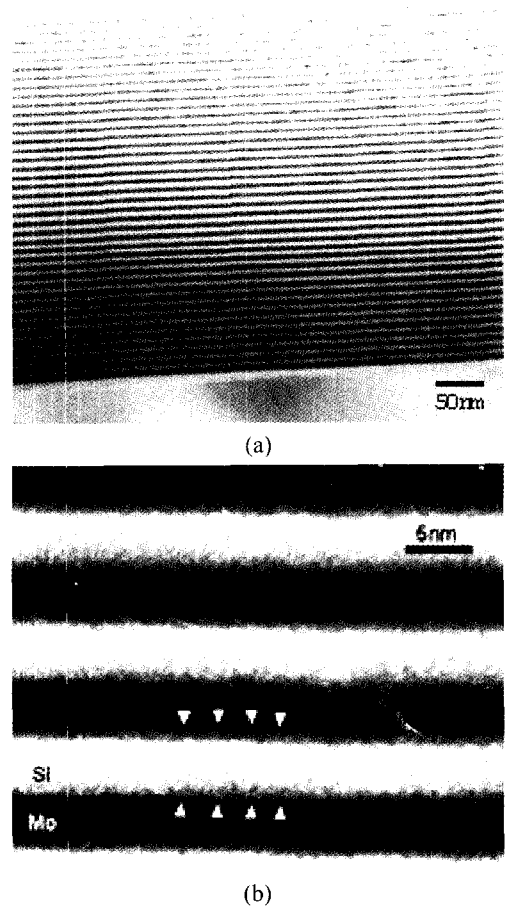


Fig. 2. High resolution cross-sectional TEM image of (a) 40 layers of Mo/Si multi-stack, (b) Interfacial layers at Mo-on-Si and Si-on-Mo.

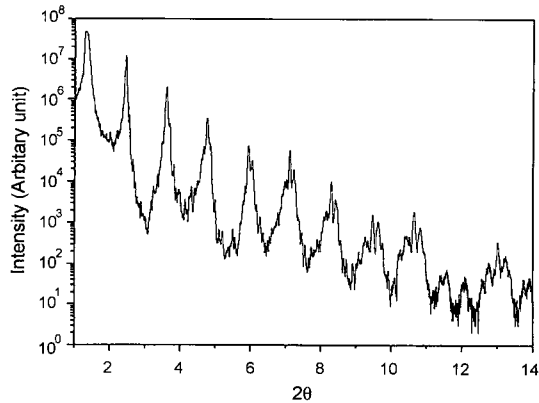


Fig. 3. Low angle XRD diffraction peaks of multilayer (Mo:DC 100W, Si:RF 100W, 3 mTorr).

라 예상된다.

Highly textured Mo와 비정질 Si로 구분되는 미세구조상의 특징은 다층박막의 증착시 형성되는 계면층 형성에 각기 다른 영향을 미친다. Fig. 2는 다층박막의 단면 고해상도 전자현미경 (HREM) 사진이다. Fig. 2(a)는 Mo의 결정화가 saturation을 보이기 시작하는 Mo:DC 100W, Si:RF 100W, 3 mTorr에서 증착된 다층박막의 단면 TEM 사진이다. Fig. 2(b)에서 측정된 d-spacing은  $7 \pm 0.3$  nm이며, TEM 사진으로부터 Mo/Si의 계면은 명확하지 않으며, 계면층이 존재함을 알 수가 있다. 계면층은 Mo-on-Si와 Si-on-Mo 두 가지 경우로 구분할 수 있는데 사진에서 보여지듯, Si-on-Mo 계면층의 두께가 0.6-0.8 nm인 반면에 Mo-on-Si의 경우는 1.2-1.4 nm의 두께를 가진다. 이는 다층박막 적층시 impinging atom의 증량과 하부의 기층의 미세구조에 따라 달라지게 되는 것이다. 다시 말해, Mo-on-Si의 경우 무거운 증량의 Mo가 상대적으로 open structure인 비정질 Si 층에 좀더 많이 침투함을 의미한다. 각 계면층을 최소화 하게 된다면 좀더 향상된 반사도를 가져 올 수 있으리라 기대된다.

증착된 다층박막의 극자외선에 대한 광학적 특성을 간접적으로 평가하기 위하여 가장 성공적으로 증착된 Mo:DC 100W, Si:RF 100W, 3 mTorr의 조건에서 증착된 시편에 대해 low angle XRD 분석을 실시하였다.  $20^\circ$  이하의 peak는 다층박막의 계면에서 일어나는 Bragg diffraction의 보강간섭에 의한 peak로, 다층박막의 구조인자 및 극자외선 거동에 대한 정보를 간접적으로 알 수 있게 해준다. 다층박막의 구조인자가 균일할 수록, low angle XRD의 peak는 더 분명해지고, peak가 더 높은 각에서도 생성되는데 Fig. 3으로부터 위의 조건에서의 잘 정의된 구조인자를 가진 다층박막이 증착 되었음을 간

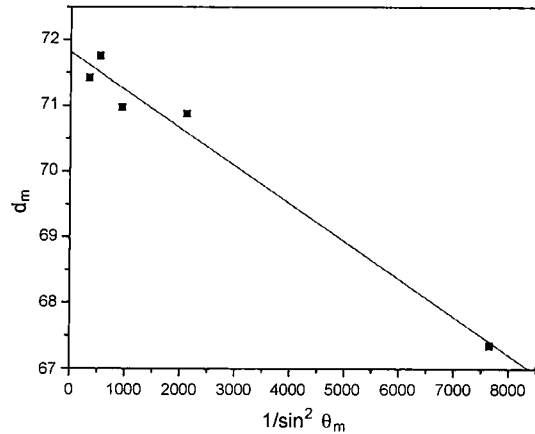


Fig. 4.  $d_m$  vs.  $1/\sin^2\theta_m$  obtained from low angle XRD peaks (Mo:DC 100W, Si:RF 100W, 3 mTorr).

접적으로 평가 할 수 있다.

Low angle XRD peak의 각으로부터 일차 굴절 보정 Bragg 법칙(The first order refraction-corrected of the Bragg's law)를 이용하면, 다층박막의 평균적인 d-spacing을 구할 수 있다<sup>7)</sup>.

여기서  $m$ 은 Bragg peak의 지수,  $d_m$ 은 각각의 Bragg peak 지수에서의  $d$ 값,  $d$ 는 실제 평균 d-spacing,  $\theta_m$ 은  $m$  번째 Bragg peak의 각이다. Fig. 3의 low angle XRD peak으로부터  $1/\sin^2\theta_m$ 을 구해보면, 평균적인 d-spacing은 71.8 Å로 TEM의 측정치와 거의 일치 한다.

#### 4. 결 론

Multi-target sputtering 장비를 이용하여 Mo/Si 반사형 다층 박막을 증착하였다. High angle XRD peak의 분석으로 Mo의 증착 파워가 증가하고, Ar공정 압력이 감소 하면, Mo의 결정화도가 증가하고 이에 따라서 Mo-Si간의 interlayer가 감소하여 더 잘 형성된 다층 박막을 증착 할 수 있었다. Low angle XRD로부터 다층박막을 간접적으로 평가 할 수 있었으며, 일차 굴절 보정 Bragg 법칙을 이용하여 구한 평균적인 두께의 71.8 Å과 High resolution TEM 사진에서 구한  $70 \pm 3$  Å 값과 거의 일치 하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학 기술부에서 추진하는 21세기 프론티어 사업중 테라급 나노소자 개발사업단 지원으로 수행 되었습니다.

### References

1. J.P. Silverman, "X-Ray Lithography: Status, Challenges, and Outlook for 0.13  $\mu\text{m}$ ," J. vac. Sci. Technol. B15, 2117 (1997).
2. L.R. Harriot, "Scattering with Angular Limitaion Projection Electron Beam Lithography for Sub-Optical Lithography," J. Vac. Sci. Technol. B15, 2130 (1997).
3. C.Montcalm, S. Bajt, P.B. Mirkarimi, E. Spiller, F.J. Weber, and J.A. Folta, "Multilayer Reflective Coatings for Extreme Ultraviolet Lithography," priceedings of SPIE, Vol. 42, 3331 (1998).
4. D.W. Sweeney, R. Hudyma, H.N. Chapman, and D.Shafer, "EUV Optical Design for a 100nm CD Imaging System," Emerging Lithography Technologies II, ed. Y. Vladimisky, SPIE, Vol.(2), 3331 (1998).
5. H. Nakajima, H. Fujimori, and M. Koiwa, "Interdiffusion and Structural Relaxation in Mo/Si multilayer Mirrors", J. Appl. Physics. 63(4), 1046 (1988).
6. D.G. Stearns, R.S. Stearns, S.P. Vernon, "Fabrication of High-reflectance Mo-Si multilayer mirrors by planar magnetron sputtering", J. Vac. Sci. Technol. A 9(5), 2662 (1991).
7. Kim *et al.*, "Mo-Si multilayer as soft X-ray Mirrors", J. Vac. Sci. Technol. A 21(1), 148 (1994).