

# Mo/Si 다층박막의 반사도에 영향을 미치는 인자 연구 (Factors affecting the Reflectivity of Mo/Si Multilayer)

김태근, 김형준, 이승윤, 강인용\*, 정용재\*, 안진호  
한양대학교 재료공학과, \*한양대학교 세라믹공학과

## Abstract

Magnetron sputter 장비를 이용하여 극자외선 노광공정용 Mo/Si 다층박막을 증착하였다. 증착 시편과 동일한 조건에서 수행된 시뮬레이션과 측정된 반사도 값을 비교하였고, d-spacing, 밀도, interface layer, 입사각 등이 반사도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고찰하였다. 또한 측정된 반사도 그래프에 근접한 조건을 조사하였다. 이를 통하여 Mo/Si 다층박막의 반사도에 영향을 미치는 인자들과 그 영향에 대하여 알 수 있었다.

## 1. Introduction

반도체 산업으로 대표되고 있는 현대 산업이 발전해 감에 따라 반도체 산업에 대한 요구는 날이 갈수록 증가하고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해서 반도체 연구는 그 성능향상을 위해서 소자의 소형화, 고집적화로 나아가고 있다. 반도체 제조공정 중에는 증착공정, 노광공정, 식각공정 등 여러 공정이 포함되어있는데, 소형화, 고집적화를 이뤄내는 데에 가장 핵심적이고 큰 영향을 미치는 분야가 노광공정이라고 할 수 있다. 반도체는 1974년 Brattain, Bardeen, Shockly에 의해 transistor가 개발되고, 수많은 연구와 개발을 거듭하여 현재 0.10  $\mu\text{m}$ 급의 선폭을 가지는 소자를 개발하는 단계에 이르렀다. 그러나 현재 사용되고 있는 노광공정은 원자외선의 파장을 사용하는 가시광 노광공정으로 구현할 수 있는 최소 선폭에 이미 다다르고 있다. 이의 해결을 위해서 여러 가지 부가적인 기술로서 해결해오고 있지만, 그러한 기술로도 한계에 다다랐다. 이러한 상황에서 차세대 노광공정이 거론되고 있으며, 한계 극복을 위한 가능성에 대해 전세계적인 연구가 진행되고 있다. 그 대표적인 분야로 X선을 광원으로 하는 XRL(X-Ray Lithography), 마스크에 전자빔을 투영하는 EPL(E-beam Projection Lithography), 이온빔을 투영하는 IPL(Ion Projection Lithography), 전자빔으로 직접 패턴을 그리는 EBDW(Electron-Beam Direct Writing) 그리고 극자외선을 광원으로 하는 극자외선 노광공정(EUVL : Extreme Ultraviolet Lithography) 등이 있다. 최근 이러한 차세대 노광공정기술의 후보들 중 가장 유력한 후보로 떠올라 전세계적인 관심이 집중되고 있는 기술이 바로 극자외선 노광공정이다.

극자외선 노광기술의 광원인 극자외선은 자연계의 대부분의 물질에서 흡수되기 때문에, 극자외선 노광공정은 반사형 마스크와 반사형 노광계를 이용하여 빛을 축소 투영시키는 방식을 사용한다. 여기에서 정확한 패턴을 구현하고, 높은 반사도를 얻기 위해서는 고반사율을 가진 저결함 반사다층박막의 제작이 필수불가결한 요소이다. 본 실험에서는, 증착된 Mo/Si 다층박막의 반사도에 대하여 시뮬레이션에서의 결과와 비교하는 과정에서 반사도에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려하게 되었고, 그러한 인자들이 반사도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 고찰하였다.

## 2. Experimental

마그네트론 스퍼터를 이용하여 Mo/Si 다층박막을 증착하였다. 증착시 적용된 power는 Mo(DC 25W), Si(RF 100W)이고, Ar을 주입한 공정압력은 3 mTorr로 설정하여 40주기를 증착하였다. 이렇게 증착한 시편을 cross-sectional TEM image로 시편의 적층상태와 각 층의 두께를 확인하였고, ALS

Beamline에서 EUV 반사도 측정을 하였다.

그 뒤 Cross-sectional TEM image에서 측정된 두께 데이터를 바탕으로 반사도 시뮬레이션 실험을 수행하면서 측정된 반사도와 비교를 통해서 인자들에 대한 고찰을 하였다. 반사도 시뮬레이션 실험은, 먼저 Mo/Si 다층박막의 이상상태에서 수행하였다. 그 뒤 광원의 입사각 변화, d-spacing 측정상의 오차를 고려한 d-spacing 값의 조절, 증착 물질의 밀도 변화 등의 인자를 차례로 추가하여 고찰하였고, Mo/Si 다층박막에서 Mo와 Si사이의 중간 계면으로 존재하는 것으로 알려진  $\text{MoSi}_2$ 를 첨가시켰으며, 자연적으로 산화되어 나타나는  $\text{SiO}_2$ 를 최상부층에 넣은 뒤 각각의 변화에 대하여 시뮬레이션의 변화를 관찰하였다.

### 3. Results and Discussion

#### 1) Mo/Si 다층박막의 증착

다층박막은 마그네트론 스퍼터를 이용하여 공정압력 3 mTorr에서 Mo(DC 25W)와 Si(RF 100W)의 power로 40 주기로 증착되었다. Fig. 1은 증착한 Mo/Si 다층박막의 Cross-sectional TEM image이다. 각 층의 두께 측정은 확대경으로 관찰하며 이뤄졌으며, 측정은 Mo와 Si의 두께만을 측정하였다. Mo와 Si의 경계는 계면층의 중앙으로 하여 각각 측정이 이뤄졌다. 측정 결과는 다음의 Fig. 2에 나타내었다.

#### 2) 반사도 시뮬레이션

##### ① d-spacing 변화

Cross-sectional TEM image를 통해서 측정된 d-spacing은 어느 정도 오차를 포함하고 있는데 그러한 현상은 반사도 시뮬레이션과 비교해 보면 쉽게 알 수 있다. 실제 반사도에서 최대반사도 파장과 동일한 시편조건에서의 반사도 그래프에서 나타나는 최대반사도 파장이 크게 차이가 나고 있다. 이에 의거하여 측정된 각 층의 두께를 전체적으로 일정한 비율로 변화시켜서 시뮬레이션을 수행하였다. 각 층의 두께를 3%, 4%, 5%, 10% 만큼 증가시켰고, 이에 대한 반사도 시뮬레이션 결과는 Fig. 3에 나타나 있다. 그래프를 보면 두께가 증가할수록, 반사도는 미미한 감소를 나타냈지만, 최대반사도를 갖는 파장은 두드러지게 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 실제 측정된 반사도 그래프와의 비교를 한 결과, 최대 반사도 파장이 약 4.9%의 변화에서 일치하는 결과를 보였다. 이 결과에 의하면 그 오차는 5%이내라고 할 수 있다.

##### ② 입사각의 변화

반사도 측정에 적용된 입사각은  $9^\circ$ 이지만 입사각의 변화에 대한 반사도의 변화를 살펴보기 위해 Fig. 4와 같은 시뮬레이션을 실시했다. 이전의 실험 결과를 바탕으로, 실제 반사도에서의 최대반사도 파장에 근접한 결과를 보였던 약 5%의 두께를 증가한 데이터를 토대로 실험이 진행되었다. 결과를 보면  $81^\circ$ 에서부터 입사각이 증가함에 따라 반사도는 감소했고, 최대 반사도 값이 나타나는 peak 파장은 증가하였다.

##### ③ 밀도 변화

스퍼터를 이용하여 박막을 증착시켰을 때, 각 물질의 이론 밀도로 증착되지 않는다는 점을 착안하여 박막의 밀도를 변화시킨 복합굴절지수를 적용하여 반사도 시뮬레이션을 하였다. 두께를 5% 증가시킨 경우의 시뮬레이션 결과에서 Mo과 Si의 밀도를 같은 비율로 0.9배, 0.8배로 설정한 뒤 이론 밀도값을 가질 때의 반사도 그래프와 비교하였다. Fig. 5에서 A는 Mo과 Si의 밀도에 대하여 80%의 밀도를 가질 때의 반사도 그래프이고, B는 Mo와 Si의 밀도에 대하여 90%의 밀도를 가질 때의 반사도 그래프이며, C는 Mo와 Si의 이론 밀도에서의

반사도 그래프이다. Mo과 Si 각각의 밀도가 감소함에 따라 최대 반사도는 감소했고, 최대 반사도를 갖는 peak 파장은 증가했다.

#### ④ Interface layer insertion

Mo/Si 다층박막 증착시 Mo과 Si 계면에 MoSi<sub>2</sub> 계면층이 형성되는 것으로 알려져 있다. Fig. 5는 실제 증착시 측정된 결과를 토대로 MoSi<sub>2</sub>가 Si 위에 Mo이 쌓일 경우와 Mo 위에 Si이 쌓일 경우의 비를 3:2로 하여 계면층의 두께를 일정한 비율로 변화시키면서 관찰하였다. 시편 조건은 약 5%만큼 두께를 증가시킨 데이터를 기초로 하였고, 입사각은 81도로 설정하였다. Fig. 6에서는 A, B, C 세 경우에 대한 시뮬레이션 반사도 그래프가 나타나있다. A는 Si 위에 Mo이 있을 때 그 사이의 interface layer인 MoSi<sub>2</sub>가 1.2nm 생성되고, Mo 위에 Si이 있을 때의 MoSi<sub>2</sub>는 0.8nm 생성된 것이다. 마찬가지로 B는 같은 경우에 대하여 1.5nm, 1.0nm가 생성된 것이고, C는 각각 1.8nm, 1.2nm 생성된 것이다. 이러한 가정에서 시뮬레이션을 한 결과를 보면, MoSi<sub>2</sub>의 두께가 증가할수록, 즉 interface layer의 두께가 증가할수록 반사도는 감소한다는 것을 알 수 있다. 약 4.2%의 전체두께 증가에 대해 Mo, Si의 이론 밀도의 80%의 밀도에서 MoSi<sub>2</sub>가 각각,  $d_{\text{Mo on Si}}$ 가 1.5nm,  $d_{\text{Si on Mo}}$ 가 1.0nm일 때 측정 반사도에 근접하였다.

#### ⑤ SiO<sub>2</sub>

Mo/Si 다층박막에서 최상위층은 Si이다. 이렇게 될 경우, Si의 native oxide가 형성된다. 반사도 측정시에도 이 oxide는 존재했을 것이다. 따라서 이 SiO<sub>2</sub>를 적용시켜 최종적으로 근접한 조건을 찾아보았다. Figure 7에 그 결과가 나타나 있다. 4.2%의 d-spacing의 조절, 80%의 밀도, MoSi<sub>2</sub>의 두께는  $d_{\text{Mo on Si}}$ 가 1.5nm,  $d_{\text{Si on Mo}}$ 가 1.0nm이고, SiO<sub>2</sub>의 두께는 약 2nm일 때 측정 반사도 그래프에 근접하였다.

## 4. Conclusion

Multi-target sputtering 장비를 이용하여 Mo/Si 반사형 다층박막을 증착하였고, High resolution TEM 사진에서의 각 층의 두께를 관찰하여 동일한 조건에서 시뮬레이션을 실시하였다. d-spacing이 증가함에 따라 반사도는 감소하고, 최대반사도에서의 파장은 증가하는 경향을 나타냈으며, 81°이상에서 입사각이 증가함에 따라 반사도는 감소하였고, 최대반사도에서의 파장은 증가하였다. 밀도에 대하여는 밀도의 감소에 따라 반사도는 감소하였고, 최대반사도를 갖는 파장은 증가하였다. 또한 Interface layer인 MoSi<sub>2</sub>와 최상부층에 생성되는 SiO<sub>2</sub>를 추가시켰을 때, 약 4.2%의 d-spacing 조절, 80%의 밀도, MoSi<sub>2</sub>의 두께는  $d_{\text{Mo on Si}}$ 가 1.5nm,  $d_{\text{Si on Mo}}$ 가 1.0nm이고, SiO<sub>2</sub>의 두께는 약 2nm에서 반사도 측정치와 가장 근접한 그래프를 얻을 수 있었다.

## References

- [1] C. Montcalm, S. Bajt, P.B. Mirkarimi, E. Spiller, F. J. Webber and J. A. Folta, Vol. 42, [p. 3331 (1998)]
- [2] R. S. Rosen, D. G. Stearns, M. A. Viliardos, M. E. Kassner, S. P. Vernon and Y. Cheng, App. Opt., Vol. 32, No. 34, p. 6975 (1993)
- [3] N. Miyata, S. Ishikawa, M. Yanagihara and M. Watanabe, Jpn. J. Appl. Phys., Vol 38, p. 6476 (1999)

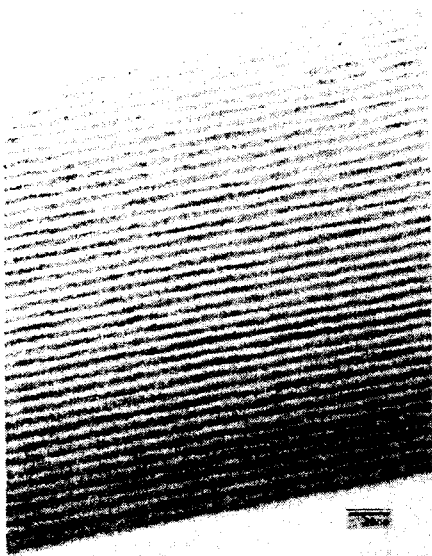


Fig. 1 Cross-sectional TEM image of Mo/Si multilayer

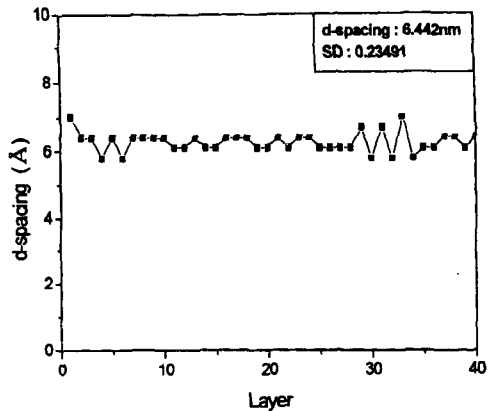


Fig. 2 d-spacing value measured from the cross sectional TEM image of Mo/Si multilayer

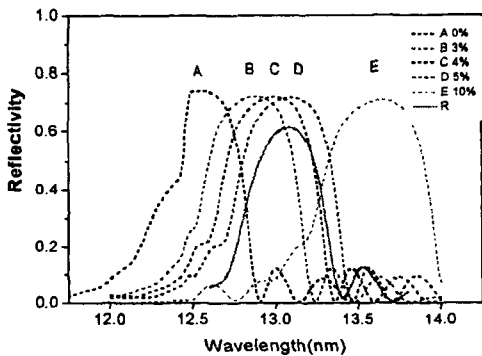


Fig. 3 Reflectivity of d-spacing control

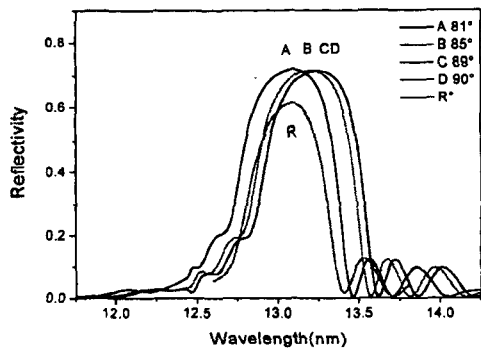


Fig. 4 Reflectivity of several incident angle

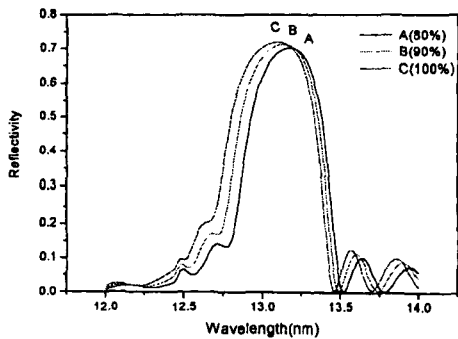


Fig. 5 Reflectivity of the density variation

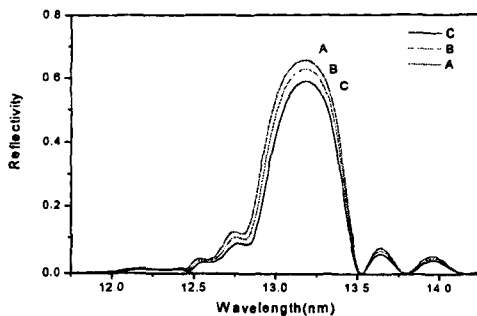


Fig. 6 Reflectivity in case of MoSi<sub>2</sub> insertion  
 (A : d<sub>Mo on Si</sub> : 1.2nm, d<sub>Si on Mo</sub> : 0.8nm  
 B : d<sub>Mo on Si</sub> : 1.5nm, d<sub>Si on Mo</sub> : 1.0nm  
 C : d<sub>Mo on Si</sub> : 1.8nm, d<sub>Si on Mo</sub> : 1.2nm)

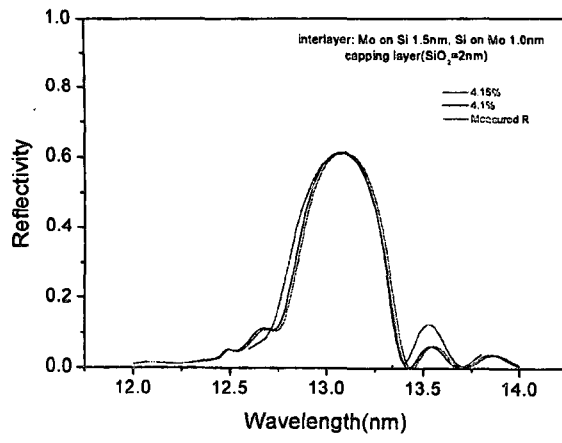


Fig. 7 Reflectivity graph matched with Measured Reflectivity