

연 X선 영역에서 다층박막의 반사와 투과 특성

Reflectivity and Transmission Characteristics of a Multilayer
in the Soft X-ray Spectral region

전인준, 차동호, 이수미, 김동언

포항공과대학교 물리학과

injoon@anyon.postech.ac.kr

방사광을 이용한 실험의 증가와 플라즈마 진단 기술의 발달로 다층 박막 연 X선 광학 부품의 필요가 점점 더 증가되고 있다. 수직 입사시 높은 반사율을 갖는 다층 박막 반사경은 여러 응용 분야에서 매우 중요한 자리를 차지한다. X선 현미경에 이용되어 자연 상태에서의 세포를 고분해능으로 관찰할 수 있게 하며, 우주에서 오는 X선의 상을 잡도록 한 X선 만원경에도 응용될 수 있다. 다층 박막 반사경을 이용하여 구성된 X선 시각 장비는 폭이 0.1 마이크로미터인 선을 시각할 수 있음을 보여 주었고⁽¹⁾, X선 레이저 공진기에도 사용되어 X선 레이저의 효율을 높이는 데도 응용되고 있다. 이런 응용성의 입장에서 볼 때, 연 X선 영역에서 반사율이 높은 다층박막과 quarter-wave plates로 쓰기에 적합한 물질의 조합과 최적조건을 갖는 구조 변수를 도출하는 것은 매우 유용하다.

지난 20년간 과학과 기술의 발달로 인하여 경계면이 균일하고, 거칠기가 거의 없는 수nm 두께의 다층 박막의 제조가 용이하게됨에 따라 전자빔, 스퍼터링, 레이저 등을 이용한 증착 기술을 이용하여 X선 광학 부품용 다층박막을 제조하고 분석하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 본 연구실에서는 magnetron sputtering 방법과 pulsed laser deposition (PLD) 방법을 이용하여서 Mo/Si 다층박막을 제조하여 반사율을 측정하였고 이론치와 비교하였다. 본 연구실에서 개발한 computer simulation code를 이용하여 계산하였다. 그림 1은 magnetron sputtering으로 제조한 Mo/Si 다층박막의 반사율이다. bilayer 두께는 11.76 nm 이다. 입사 각도가 87.5도일 때 20.8 nm에서 40%의 반사율을 얻었다⁽²⁾. 그림 2(a)는 PLD 방법으로 제조한 Mo/Si 다층박막의 반사율이다. bilayer 두께는 8.23 nm 이다. 입사각도가 80도일 때 15.6 nm에서 1.2%의 반사율을 얻었다. (b)는 TEM 사진이다. 그림 3도 PLD 방법으로 제조한 Mo/Si 다층박막의 반사율이다. bilayer 두께는 9.653 nm 이다. 입사각도가 40도일 때 12.75 nm에서 8%의 반사율을 얻었다.

가속기 실험중에서 magnetic circular dichroism (MCD) 실험을 할 때 원 편광 빛이 필요하다. 이런 경우 전자의 궤도면에 평행하게 나오는 빛은 선 편광이 되어있어 원 편광을 얻기위해서 궤도면에서 위나 아래로 움직여 빔을 선택하여 사용하고 있다. 이렇게 하면 빛의 세기가 떨어지는 단점이 있다. 빛의 세기를 감소시키지 않고 원 편광 빛을 얻기위해서는 전자 궤도면에서 나오는 선 편광 빛을 투과 시켜서 만들면 된다. 연 X선이 다층박막 투과시 위상에 관하여 computer simulation 통하여 연구하였다. 그 결과 가장 좋은 quarter-wave plates 후보로 13 nm에서는 Rh/Si 이였고, 4.4 nm에서는 Co/K 다층박막이었다. 그림 4(a)는 파장이 13 nm에서 Rh/Si 다층박막에 대한 s 편광과 p 편광의 계산된 투과율이고 (b)는 두 편광의 위상차이다⁽³⁾.

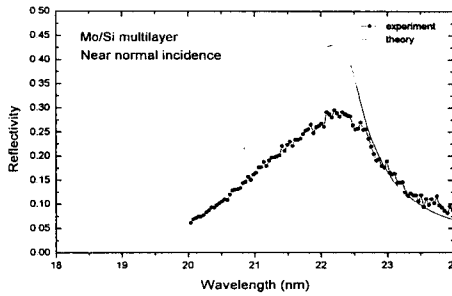


그림 1 입사각도가 87.5도에서 파장범위가 18 nm에서 24 nm일 때 반사율

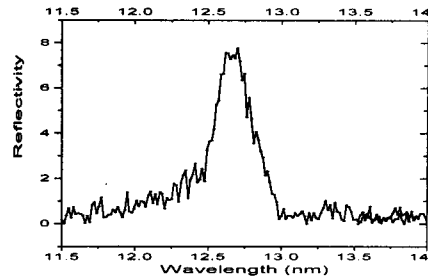
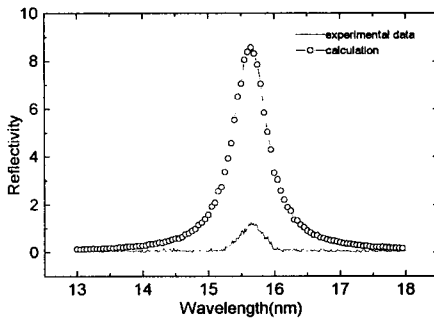


그림 3 입사각도가 40도에서 파장범위가 11.5 nm에서 14 nm일 때 반사율



(b)



그림 2 (a) 입사각도가 80도에서 파장범위가 13 nm에서 18 nm일 때 반사율, (b) TEM 사진

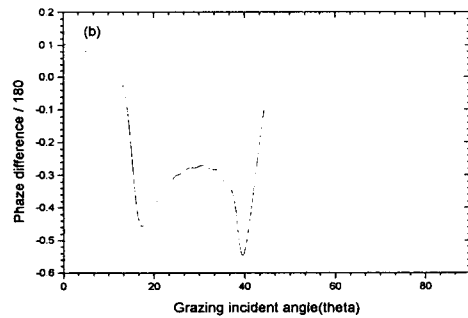
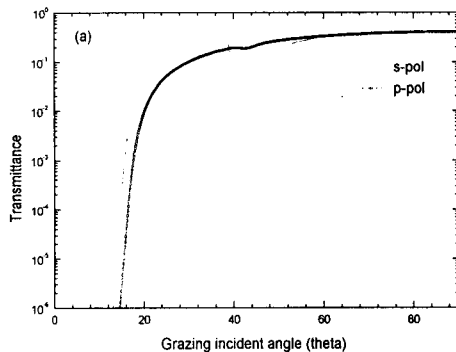


그림 4 (a) 파장이 13 nm에서 Rh/Si 다층박막에 대한 s 편광과 p 편광의 계산된 투과율 (b) s 편광과 p 편광의 위상차

1. J. E. Bjorkholm, J. Bokor, L. Eichner, R. R. Freeman, et al., "Reduction imaging at 14 nm using multilayer-coated optics: Printing of features smaller than 0.1 μm ," J. Vac. Sci. Technol. B 8, 1509 (1990).
2. D. Kim, H. W. Lee, J. J. Lee, J. H. Je, M. Sakurai and M. Watanabe, "Mo-Si multilayer as soft x-ray mirrors for the wavelengths around 20 nm region," J. Vac. Sci. Technol. A 12, 148 (1994).
3. Dong-Eon Kim, Su-Mi Lee, and In-Joon Jeon, "Transmission characteristics of multilayer structure in the soft x-ray spectral region and its application to the design of quarter-wave plates at 13 and 4.4 nm," J. Vac. Sci. Technol. A 17, 398 (1999).

