

X-선 반사율 측정 장치 개발 및 특성

박주환, 류재삼, 김흥찬, 조상진, 이창희

한국 원자력 연구소 중성자 물리실

juhwan2@kaeri.re.kr

박막 재료는 박막 구조 상태에서 일반적인 bulk와는 다른 물성을 나타내기 때문에 반도체 박막, 자기박막, 폴리머 박막 등에 널리 이용된다. 이들 박막의 특성을 평가하기 위해서 AFM, SEM, TEM 및 ellipsometer 등과 같은 다양한 측정 방법들이 이용되고 있으며, 그 중 박막의 두께뿐만 아니라 거칠기, 박막의 밀도 등의 정보를 쉽게 알 수 있는 x-ray 반사율 측정 장치는 다층 박막 구조에서 계면(interface)의 정보를 얻을 수 있어 널리 이용된다^(1,2). 상용화된 x-선 반사율 측정 장치(x-ray reflectometry)의 경우 x-선원 앞에 단색기(monochromator)가 위치하고 있어 Cu-source를 이용하는 x-선 장치일 경우 Fe가 함유된 물질을 측정할 때 fluorescence 2차 x-선이 발생된다. 이와 같은 2차 x-선의 발생은 측정시 background로 작용하여 정밀 분석이 불가능하다. 이런 경우 x-선원의 타겟을 Cu가 아닌 다른 물질로(Mo, Zr) 대체하거나, 검출기(detector) 앞에 단색기를 설치하기도 하지만 상용화된 제품의 경우 제작 구조상 단색기의 위치를 조절하기 어렵고, 타겟을 고려할 경우 교체 후 장치 전체를 재 정렬해야 하는 어려움이 있다. 본 연구에서는 편극 중성자 거울 제작에 필요한 Fe가 함유된 자성 박막을 제작하기 위해 발생하는 2차 x-선을 고려하여 검출기 앞에 단색기를 장착한 구조의 x-선 장비를 자체 제작하였으며 본 장치는 향후 제작될 x-선 거울의 탄력적 설치도 고려되어 설계되었다.

본 장치는 우선 전체 길이 1,800mm에 총 5개의 슬릿을 이용하였으며(그림 1) 상하 방향의 빔 분산을 일차적으로 줄이기 위해 soller 슬릿(slit1)을 X-선원 출구에 설치하였다. soller 슬릿에서 80mm 떨어진 위치에 수평 방향 빔 분산 억제를 위해 고정형 슬릿(slit 2,3)이 시편 앞쪽에 놓여지며 슬릿 간격과 슬릿은 조절이 가능하여 실험 목적에 맞추어 분해능 및 flux를 조절할 수 있다. 현재 슬릿 1과 2 둘에 폭은 0.1m이며 슬릿의 간격을 400mm이다. 시편 위치와 검출기 사이에 두개의 슬릿(slit4, 5)을 이용하였으며 슬릿 4 뒤쪽에 단색기를 설치하였다. 저각에서 장치 정렬시 직진 빔에 의한 검출기의 손상을 고려하여 단색기 뒤쪽으로 빔 흡수 장치 (beam absorber)를 설치하였다. 표 1은 본 장치의 성능을 나타내었다. x-선 발생 장치는 PANalytical사의 PW3830이며 단색기는 PG(002)를 이용하였으며 분해능은 0.4이다. slit은 그 정밀성 때문에 독일 Huber의 제품을 detector는 SCIONIX사의 scintillation type을 이용하였다. data의 acquisition을 위해 NI사의 counter board를 이용하였으며(PCI 66019, 20MHz) 제어 프로그램은 NI사의 Labview를 이용하여 자체 제작하였다(그림 2). 측정 범위는 0~40 로 powder diffraction과 reflection 두 모드로 측정이 가능하다.

그림 3은 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 붕규산 유리(borofloat, 독일 Schott사) 표면에 Ni 및 Si/FeCo 박막을 증착 후 본 장치를 이용하여 측정한 결과이다(그림 3). 그림 3. 2와 3은 Si/FeCo 구조의 동일 시편을 상용화된 장비와 본 장치로 측정한 데이터를 비교한 그림이다. 기존 상용화된 장비에 비해 고각 범위에서 분해능 차이로 인해 peak 분리가 가

능함을 확인 할 수 있었다.

본 장치는 실험실에서 널리 이용되는 고가의 사용 제품을 대체할 수 있는 뛰어난 성능을 지닌 장비이다. x-선원에서 검출기까지의 길이가 길기 때문에 분해능 또한 뛰어나다. flux 감소와 같은 문제는 향후 자체 개발할 x-선 미러 및 x-선 빔 가이드를 이용하여 개선할 것이다.

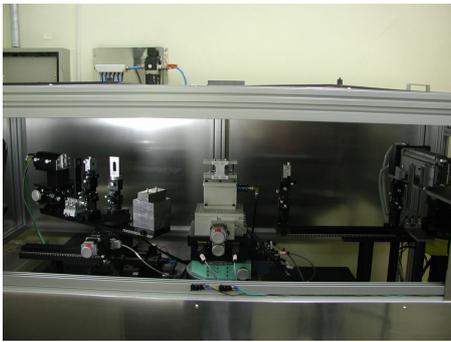


그림 1. X-선 반사율 측정 장치

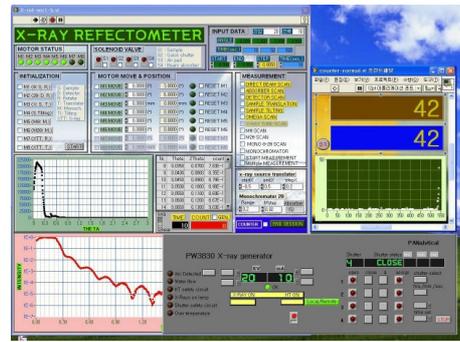


그림 2. X-선 반사율 장치 제어 program

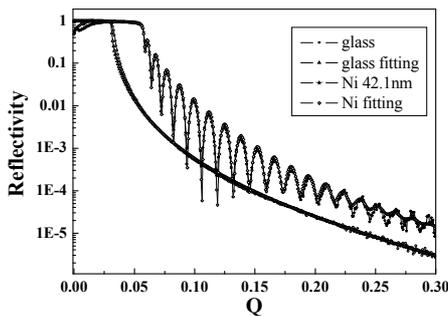


그림 3.1 붕규산 유리 기판 및 Ni 박막 측정 결과

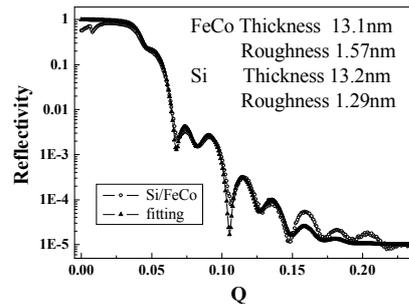


그림 3.2 본 장치로 Si/FeCo 측정 결과

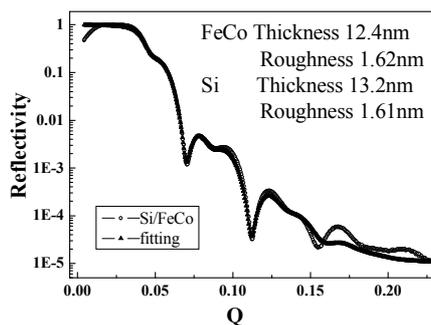


그림 3.3 상용화 된 장치로 Si/FeCo 측정 결과

표 1. X-선 반사율 측정 장치 특성표

Slit Size	1~10mm(H)	Incident Angle	0~4
Variable	1~10mm(W)	Sample Size	60x40~60x120
Incident Wavelength	1.542 Å	Minimum Reflectivity	~10 ⁻⁷
Q Range	0~0.56 Å ⁻¹	Monochromator	PG(002)
Resolution	8 Å ⁻¹	Q resolution	0.0035

참고 문헌

1. T. P. Russell, "X-ray and neutron reflectivity for the investigation of polymers", Materials science, Vol 5, 171-271 (1990)
2. M. Stamm, "X-ray reflectometer for study of polymer thin films and interfaces", Physica B, 564-566 (1989)