

# 중성자 거울 제작을 위한 Ni 단일 박막의 광학적 특성

## Optical properties of Ni thin films for the neutron mirror

강희영, 조상진, 이창희  
 한국원자력연구소 중성자물리실  
[ex-lune6047@kaeri.re.kr](mailto:ex-lune6047@kaeri.re.kr)

Gd와 Mn 등을 제외한 대부분의 원소들은 중성자에 대해 양(+)의 산란 길이 밀도(scattering length density)를 가진다. 이것은 중성자의 입사방향과 물질면 사이의 입사각이 전자기파(가시광선영역)와는 다르게 매질 내의 굴절각보다 크고, 이상적인 물질 표면에 X-선과 중성자가 임계각 이내로 입사할 때 전반사를 유도한다.

1963년 독일의 Leibnitz가 중성자의 전반사를 이용한 <sup>58</sup>Ni 유도관의 기본개념을 제시한 이후 세계적으로 천연 니켈(68% <sup>58</sup>Ni)을 이용한 중성자 유도관을 제작하여 여러 물질에 대한 물성연구가 진행되고 있다. 국내에서는 2003년부터 한국원자력연구소에서 진행 중인 “냉중성자 프로젝트”를 통해 중성자 유도관의 연구개발을 추진하고 있다.

본 연구에서는 중성자 유도관 제작을 위해 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Ni 박막을 증착하였다. 박막의 증착시, 아르곤 유량과 압력조절밸브를 이용하여 증착 압력을 일정하게 유지시키고, Ni 타겟에 인가되는 DC 전류는 0.5 A로 하였으며, 증착된 Ni 박막의 구조적, 광학적 특성을 연구하였다. AFM을 이용하여 박막의 표면거칠기와 두께를 측정하였으며, X-ray 반사율 측정 장치와 중성자 반사율 측정 장치를 이용하여 광학적 특성을 평가하였다. 본 연구에서 사용한 기판은 붕규산 유리(borofloat, 독일 Schott 사)이며, 그림 1과 같이 일반 유리 기판에 비해 표면거칠기가 좋다. 이 기판의 Sn-비접촉면에 Ni 박막을 증착하여 Ni 거울을 제작하였다.

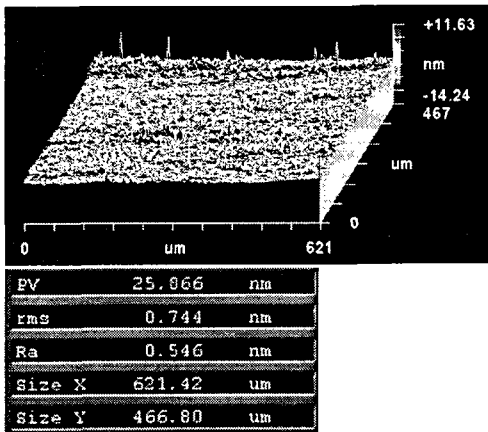


그림 1. 간섭계로 측정된 붕규산 유리의 표면거칠기.

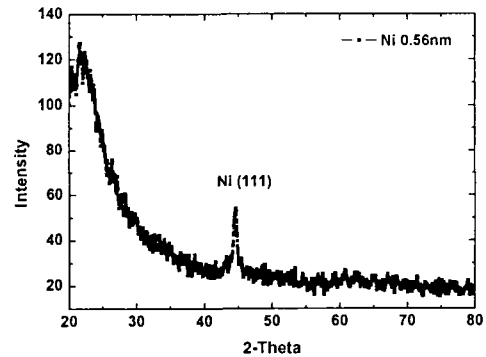


그림 2. Ni 박막의 XRD 스펙트럼.

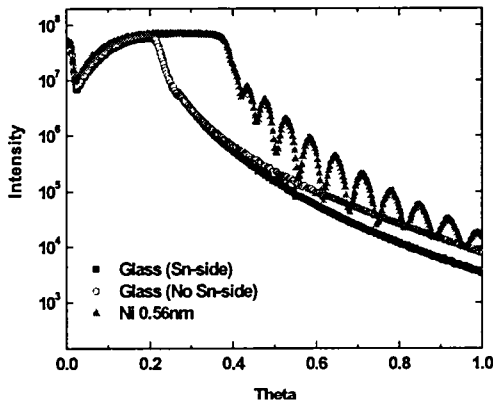


그림 3. 증착된 Ni 박막의 X-ray 반사율  
(박막 두께=0.56nm, 표면거칠기=0.62nm)

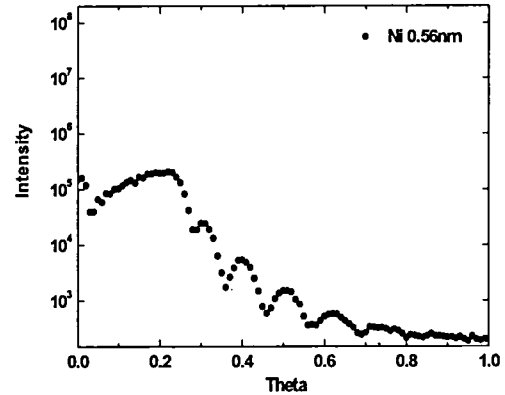


그림 4 . 하나로 PNS port에 설치한 중성자 반사율 장치로 측정된 Ni 거울의 반사율 (임계각=0.23°)

X-선 반사율 측정 장치로 평가된 증착된 Ni 박막의 두께는 0.56nm였으며, AFM과 X-선 반사율 측정 장비로 측정한 박막의 표면거칠기는 붕규산 유리 기판에 비해 0.1nm 정도의 증가를 하였다. 그림 2는 증착된 Ni 박막의 XRD 스펙트럼을 보여주고 있으며, (111) 면을 가지는 결정성을 보였다. 이러한 결정성으로 인해 유리 기판보다 큰 표면 거칠기를 가졌다. 그림 3에서 보여주고 있는 전반사각 내의 X-선에 대한 Ni 거울의 반사율은 95%로 나왔기 때문에 Ni 단일막으로 중성자 거울을 제작하여 중성자 유도관으로 이용될 수 있다. 하나로 PNS port에 중성자 반사율 측정 장비를 설치하여 증착된 Ni 박막의 반사율을 측정하였으며 그 결과를 그림 4에서 볼 수 있다. 증착된 Ni 박막의 임계각은 0.23°로 나왔으며 이는 입사파장이 0.24nm일 때 계산된 임계각과 일치하였다. 이 때 임계각 내에서의 반사율은 72%로 X-선에 비해 낮게 측정되었는데, 이것은 X-선 반사율 측정 장비에 비해 중성자 장치내의 슬릿의 폭이 넓고, 슬릿 간격의 길이가 짧아서 빔의 분산이 상대적으로 높았기 때문이다. 이러한 문제는 고정밀 슬릿을 추가하고 검출기(detector)부분 차폐 등을 보강하면 해결될 수 있다.

이상의 실험적 결과로부터, 0.56nm의 얇은 두께를 가지는 Ni 단일 박막을 중성자 거울로 사용함으로써 높은 반사율을 가지는 중성자 유도관을 제작할 수 있으며, 이러한 증착조건을 기반으로 다층 박막의 중성자 초거울 제작에 유용하게 이용될 수 있다.

[참고문헌]

- (1) P. Böni, "Supermirror-based beam device," Physica B 234-236, 1038-1043 (1997).
- (2) R. M. A. Maayouf, "The neutron reflectivity of different Ni-coated mirrors," Physica B 283, 340-342 (2000).
- (3) R. M. A. Maayouf, "On the neutron reflectivity of Ni-coated mirrors," Physica B 291, 54-58 (2000).

F  
B