



## 투과력이 강한 X선 반사경

### 머리말

가시광에 비하여 에너지가 3~4자리수가 높은 (파장이 짧은) X선은 투과력이 강하여 쉽게 반사되지 않는다. 높은 반사율을 얻기 위해서는 거울 표면에 대하여 극단적인 경사(傾斜) 입사에 의한 전반사가 이용되고 있다. 10keV 에너지까지의 X선에 대해서는 이미 경사입사 X선 망원경이나 현미경이 실용화되고 있다. 그러나 펄스촬영이나 수하물검사에 사용되고 있는 투과력이 더 강한 X선, 즉 경X선이라 부르고 있는 10~100 keV의 X선을 효율 좋게 반사시키는 것은 거울 표면의 질적인 개혁이 큰 개발과제로 되어 있다. 경(硬)X선에 의한 영상은 점광원으로 부터의 발산광을 물체에 쬐어, 투과율의 차이에 의한 농도를 관찰하는데 지나지 않았고 여기에 광학계는 개재하고 있지 않았다.

이번에 우리들은 X선의 브래그반사를 이용한 다층막슈퍼미러를 개발하여

20~40keV의 감도를 갖는 X선망원경을 처음으로 실현하였다. 이 거울의 특징은 넓은 에너지영역에서 반사율이 높고, 필요에 따라 X선의 에너지를 자유롭게 선택 할 수 있다는 것과 종래 방법에 비하여 현격하게 우수한 해상도를 얻을 수 있다는 것이다. 이것은 경 X선의 집광결상광학계(集光結像光學系)를 가능케하여 관찰수단을 혁신시키는 것으로서 다방면의 응용이 기대되고 있다.

이하에 다층막슈퍼미러의 원리, 성능, X선 광학계로 응용에 대하여 설명한다.

### 다층막슈퍼미러

X선의 반사에는 금이나 백금을 수 10~100nm의 두께로 막을 만든 거울이 사용되고 반사면에 대한 입사각이 임계각보다 작을 때는 표면에서의 전반사로 높은 반사율을 얻을 수 있다. 임계각은 X선의 에너지가 높아질수록 작아지고 10keV에서 0.4°, 40keV에서 0.12°로 된다. 이것을 넘으면 반

사율은 급격히 저하한다.

한편 최근에 개발이 추진되고 있는 다층막 반사경은 매우 평활한 기관위에 중원소(Pt, W 등)와 경원소(C, Si)를 교대로 일정한 두께(1~수nm)로 주기적으로 수십 짝을 적층한 것이다. 각층 두께는 원자수준의 정밀도로 제어된다. 입계각보다 큰 입사각에서 투과율이 커지기 때문에 다층막의 브래그 반사로 높은 반사율을 얻을 수 있다. 브래그 반사는 결정체에서 볼 수 있는 것처럼 주기적인 구조에 의한 간섭효과를 이용한 것으로서 주기길이(중원소와 경원소 두께의 합), X선의 에너지와 입사각이 일정한 관계(브래그 조건)를 만족할때만 일어난다. 반사율은 적층수에 비례하여 높아지지만 에너지띠역은 반대로 좁아진다.

이에 대하여 다층막의 주기길이를 서서히 변화 시키면서 적층하면 입사각은 같을지라도 에너지가 다른 X선이 브래그조건을 만족시켜 더 넓은 에너지띠역에서 높은 반사율을 얻을 수 있게 된다. 특히 경X선영역에서는 투과력이 더욱 강해지기 때문에 이 방법은 유효하게 된다.

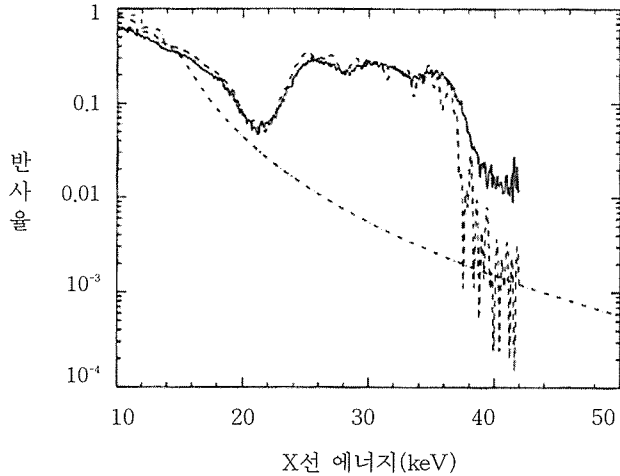
이와 같은 반사경을 다층막슈퍼미러라 부르고 있다. 직감적으로 주기길이를 표면에서 기관면으로 감소시키는 동시에 높은 에너지의 X선을 효율 좋게 반사시키기 때문에 하층의 주기길이를 완만하게 변화시켜 적층수를 증대하는 것이 필요하다. 이 경우 최대와 최소의 주기길이에 의하여 감도 있는 에너지띠역 및 입사각을 결정할 수 있다.

우리들은 Pt와 C의 짝맞춤으로 표면에서 기관면으로 향하여 주기길이(nm)와 적층수(짝)을 (10, 1), (4.9~4.6, 4), (4, 8), (3.6, 13), (3.3, 18), (3.1, 25)로 하는 구조를 가진 슈퍼미러를 제작하였다. 입사각 0.3°에 대한 X선반사율을 Pt의 단일막반사경과 비교하여[그림]에 나타내었다. 20keV 부근까지는 전반사로 감소하고 있지만 그것을 넘으면 브래그반사로 40keV 부근까지 30% 정도의 반사율을 얻어서 1~2 자릿수 높아졌다.

그 제작을 위하여, 원통모양을 한 거울면 기관(구경 20~50cm, 길이 15cm)의 안쪽 면에도 막을 만들 수 있는 마그네트론 DC스패터링 장치를 새롭게 개발하였다. 다층막슈퍼미러의 성능은 특성X선과 50keV까지의 연속X선을 이용하여 입사각과 X선에너지에 대한 반사율을 측정하므로써 평가할 수 있다.

## 경X선 광학계로의 응용

경(硬) X선으로 우주관측을 위하여 슈퍼미러를 사용하여 시작한 경사입사X선망원경은 입사각 0.3°로 거울의 2회 반사를 이용한 월터 I 형의 광학계이다. 광축에서 본 유효면적을 크게하기 위하여 다수의 매우 얇은 거울면기관을 동심원·공초점(共焦點) 배치로 설치한다. 거기에 유리의 맨드릴(mandrel)에서 금을 이형제로 하여 에폭시 수지를 이용 Al호일(두께 0.15mm)을 성형



[그림] 입사각 0.3°에 대한 다층막슈퍼미러의 X선반사율 · 실선은 실측치, 점선은 실측치에 적합시킨 계산치, 쇠사슬선은 Pt의 반사경

시킨 원추형의 replica거울을 여기에 슈퍼미러의 막을 만들었다. 구경 45Cm, 초점거리 8m의 다중 박막형 X선 망원경을 만들기 위해서는 1,000매정도의 거울이 필요하다. 1999년에 이것을 기구에 탑재시켜 세계 최초의 25~40keV 경X선으로 천체의 활상관측(撮像觀測)을 할 예정이다.

그 외 응용으로는 점광원으로부터 발산광을 한점에 집광하는 것으로, 의료진단에 이용될 I(옥소)나 Ba의 30~40keV 특성X선, 흡수끝부근의 활상관찰용 현미경을 제작하는 것도 가능하며 앞으로의 개발과제가 될

것이다.

### 맺음말

다층막의 발전으로 주기길이를 가변시킨 슈퍼미러가 개발되고 경X선망원경이 실현될 단계에 도달하였다. 아직 한층더 기능을 향상시켜야 하겠지만 그 응용은 우주관측뿐만 아니라 방사광빔라인광학계, 핵융합플라즈마진단이나 생체관찰을 위한 X선현미경 등 의료기술의 혁신을 위하여 크게 발전할 것으로 기대된다. **KRIA**

(나고야대학 : 山下廣順)