

天文観測技術の最前線 (21)

多層膜反射鏡

—直入射型X線望遠鏡の開発—

可視光用の反射望遠鏡と同様な直入射型X線反射望遠鏡を開発することはX線天文屋の夢である。金属を蒸着した鏡に光が垂直に入射したときに鏡面反射によって高い反射率が得られるのは 800 \AA より長い波長に限られ、それより短い波長に向かって急激に減少し、 300 \AA がその限界である。これは屈折率が1に近づくことと物質に対する透過率が大きくなるためである。従ってX線望遠鏡には斜入射型光学系が用いられてきたが、集光力、解像力が直入射光学系に比べて著しく劣っている。

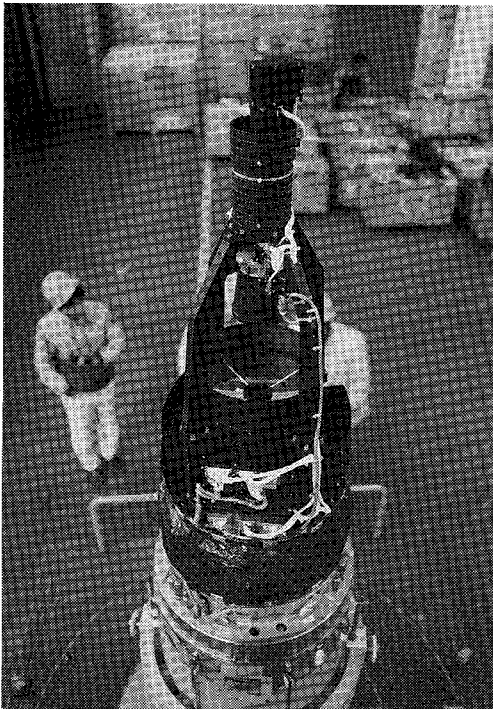
この原理的に困難な問題を解決するには、結晶によるX線のブラッグ反射を利用する方法がある。即ち、反射面に周期構造があると入射X線の波長 (λ)、反射面に対する入射角 (θ) 及び格子定数 (d) がブラッグ条件 ($n\lambda = 2d \sin \theta$, n は反射の次数) を満たせば干渉によって

強め合い、高い反射率が得られる。 $\theta=90^\circ$ では $d=\lambda/2$ ($n=1$) となる。しかし通常のX線分光に用いられる結晶ではブラッグ条件を満たす波長(角度)幅が極端に小さく実用になる光学系を作ることはできないし、格子定数によって観測できる波長も自ずと決められる。そこで近年の先端技術の進展によって反射面の周期構造を人工的に作ることが可能になり、多層膜反射鏡が出現した。これは重元素と軽元素を原子レベルの精度で一定の厚さに制御しながら、交互に周期的に積層することによって製作される。重元素としてはニッケル、モリブデン、ロジウム、タングステン、白金等が軽元素としてはベリリウム、炭素、珪素等が用いられている。 d は2つの物質の一層の厚さの和となり、 15 \AA より大きくしないと膜の均一性あるいは界面の粗さのため反射率が高くない。積層数は300組まで可能である。従って、多層膜が適用可能な直入射型光学系の波長域は $30\sim 300 \text{ \AA}$ となり、波長幅は $\lambda/10$ 程度に制限される。反射率は物質の組合せ、層厚、積層数、波長、入射角あるいは成膜法によって大きく変わり、直入射の場合には $123\sim 150 \text{ \AA}$ の波長域では70%近い値が得られているが、 $45\sim 80 \text{ \AA}$ の波長域では高々10%程度である。斜入射の場合には反射率は更に向上する。多層膜を成膜する鏡面基板には高い平滑度が要求され、 $2\sim 3 \text{ \AA}$ 以下の表面粗さが必要となる。

これまでに球面あるいは非球面に成膜した多層膜反射鏡が製作され、実際の観測に用いられるようになってきた。図にロケットに搭載された観測装置を示す。中央部に $130\sim 140 \text{ \AA}$ の波長域を観測する口径 25 cm の球面鏡から成る直入射型多層膜望遠鏡が組み込まれている。この多層膜は Mo/Si の組合せで $d=70 \text{ \AA}$ 、積層数20組である。下部には $50\sim 60 \text{ \AA}$ に感度を持ち、入射角 30 度の回転放物面から成る斜入射型多層膜望遠鏡が、上部には紫外線望遠鏡がそれぞれ組み込まれている。

アメリカでは既にカセグレン型多層膜望遠鏡によって 173 \AA の波長で太陽コロナが1秒の角分解能で撮像されている。この多層膜反射鏡は将来の衛星搭載のX線から極端紫外線領域の望遠鏡には非常に有用であり、分光素子、偏光子としても優れた性能を持っている。また、核融合プラズマ診断光学系、放射光光学系、X線顕微鏡あるいはリソグラフィ用光学系への応用を目指して、開発が進められている。

山下広順(宇宙研)



S-520-13 ロケットに搭載された銀河極端紫外線観測装置。中央部に直入射型多層膜反射鏡が取り付けられている。

平成3年8月20日

印刷発行

定価 550 円(本体 534 円)

発行人

印刷所

発行所

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12

〒181 東京都三鷹市国立天文台内

電話 (0422) 31-1359

社団法人 日本天文学会

啓文堂 松本印刷

社団法人 日本天文学会

振替口座 東京 6-13595