



Title	X線多層膜反射鏡
Author(s)	山下, 広順
Citation	大阪大学低温センターだより. 1987, 59, p. 10-12
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/12587">https://hdl.handle.net/11094/12587</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# X線多層膜反射鏡

理学部 山下 広 順 (豊中4137)

## 1. はじめに

X線から超軟X線領域(1~300Å)での光学系としては全反射を利用した斜入射光学系あるいはブラッグ反射による結晶光学系が用いられてきた。しかし精度のよいX線結像光学系としてはおおくの困難があり、可視光と同じような光学系を作ることは不可能と思われていた。多層膜反射鏡はこれらの問題点を解決し、X線光学に変革をもたらすであろうと期待されている。”即ち波長帯域は限られるがX線直入射鏡を作ることができる。

多層膜反射鏡は重元素と軽元素を一定の厚さで交互に基板上に積層することによって作られ、厚さは原子レベルの精度で制御されねばならない。その反射の原理はブラッグ反射と同じである。X線の波長( $\lambda$ )、入射角( $\theta$ )及び膜厚( $d = d_H + d_L$ )を決めるとブラッグ条件( $n\lambda = 2d \sin \theta$ )を満足するところで高い反射率が得られる。”従来の分光結晶とのちがいは格子間隔が自由に選べること、反射できる波長帯域が広くできることによって積分反射率が一桁以上よくなることである。更に光学系に合せて面方向、深さ方向に膜厚を可変することも可能である。

我々はX線反射望遠鏡への応用を目ざして多層膜反射鏡の製作及び性能評価を行っているのでその現状について述べる。

## 2. 多層膜の製作

多層膜の製作するにはまず波長域、入射角を決め、光学定数をもとにフレネルの式を用いて反射率、波長分解能を計算し最適な物質の組み合わせ、膜厚、膜厚の比( $d_H/d_L$ )及び積層枚数( $N$ )を求めねばならない。 $2d=150\text{Å}$ 、 $N=20$ でMo/Si, Mo/C, Ni/Cについて計算した波長に対するピーク反射率を図1に示す。特に123~150Åの波長域ではMo/Siで高い

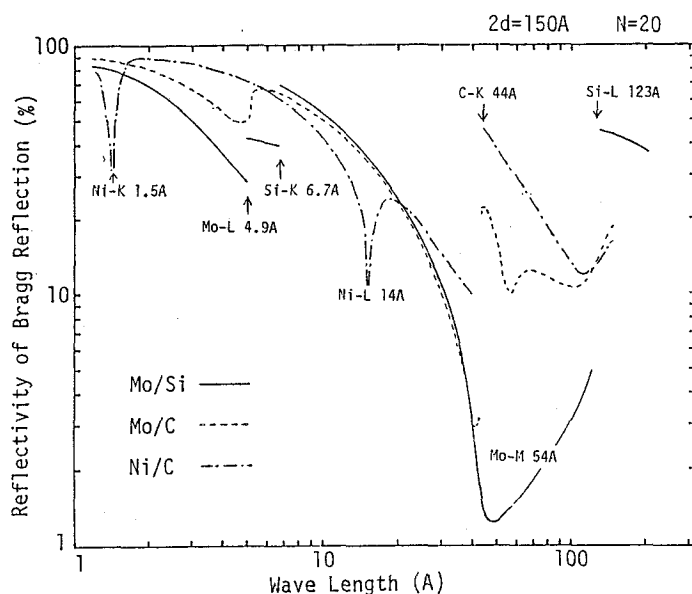


図1  $2d = 150\text{Å}$ ,  $N=20$ の場合のMo/Si, Mo/C, Ni/Cの波長に対するピーク反射率(計算値)

反射率が得られる。<sup>3)</sup>

製作方法はイオンビームスパッタリング、電子ビーム蒸着、レーザービーム蒸着の3つに大別される。我々の研究室では超高真空電子ビーム蒸着装置によって製作を行っている。蒸着槽は直径350 mm、高さ800mmの円筒形でイオンポンプとターボ分子ポンプによって排気され、到達真空度は $1 \times 10^{-10}$  torrである。電子銃は3台装備され、それぞれにシャッターを取付け蒸着膜厚を制御する。それから50cm離れたところに基板を置き、その両側に水晶振動子膜厚計を2台取付け蒸着膜厚をモニターしている。1 Å以下の精度で膜厚は制御されている。基板にはフロートガラス、及びフロートポリシング法で研磨されたBK-7、石英ガラスを用い、面の粗さは2~3 Å (rms) である。<sup>4)</sup>

これによって $2d=70\sim 200$  Å,  $N=5\sim 20$ のMo/Si, Mo/C, Ni/Cの多層膜を製作した。これらをAESによって分析したが不純物は全く検出されなかった。

### 3. 性能評価

製作された多層膜はX線発生装置からのCu-K $\alpha$  (1.54 Å), Si-K $\alpha$  (7.13 Å), C-K $\alpha$  (44.7 Å)の特性X線によってその反射率、波長分解能、ブラッグ角を測定することによって評価される。更に入射ビームと反射ビームのプロファイルを比較することによって反射面の粗さも知ることができる。Mo/C ( $2d=162$  Å,  $N=5$ )の測定結果を計算値と比較して図2に示す。1次の反射は互によく一致しており、ほぼ理想的な多層膜が形成されたことを示している。これから求めた膜厚は膜厚計の値より10%大きくなっている。今までに製作した多層膜のピーク反射率は、Cu-K $\alpha$ で80%, Si-K $\alpha$ で40%, C-K $\alpha$ で10%の値が得られた。

更に詳しく多層膜の特性を調べるために、高エ研のフォトンファクトリーでは15~150 Å、分子研のUVSORでは80~250 Åの波長域で波長に対して連続的な反射率の測定を行った。UVSORにおけるMo/Siの測定結果を図3に示す。入射角80°、波長150 Åのところで40%の反射率が得られた。123 ÅのところにSiのL吸収端があるためとそれより短波長側では反射率が急激に悪くなる。

シンクロトロン放射光は軌道面内に偏光しているためにs及びpの成分の反射率も測定でき、ブリュスター角45°のところでp成分の反射率は最

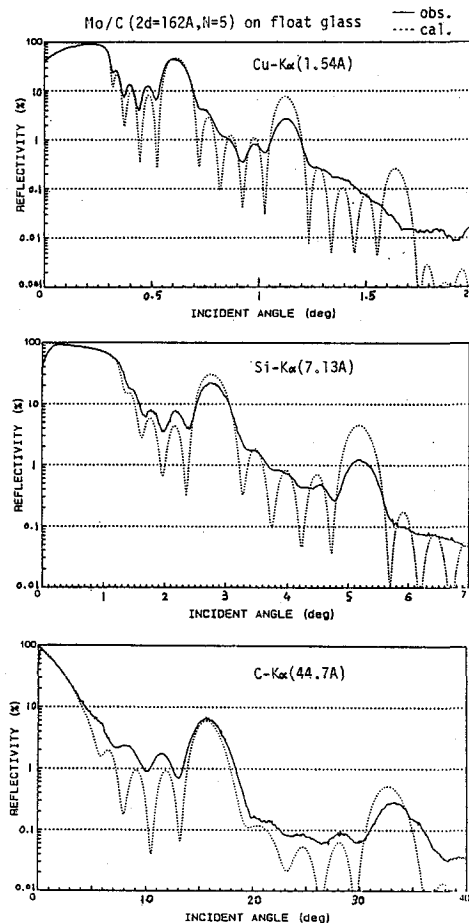


図2 Mo/C ( $2d=162$  Å,  $N=5$ ) の Cu-K $\alpha$ , Si-K $\alpha$ , C-K $\alpha$  の特性X線に対する反射率

小になる。このことにより多層膜がX線偏光子としても有用であることが確められた。

#### 4. 応用

多層膜を反射鏡として用いる場合には波長帯域をなるべく広くすること、即ち波長分解能を悪くすることが必要である。現在のところ $\lambda/\Delta\lambda\sim 10$ 程度である。直入射鏡としては $\lambda\geq 30\text{\AA}$ の波長域で可能である。分光素子として用いる場合には波長分解能をなるべくよくすることが必要であり、 $\lambda/\Delta\lambda\sim 200$ が最大である。これは分光結晶にくらべて一桁悪い。高分解能にするためには回折格子の反射面を多層膜にすることにより $1\sim 10\text{\AA}$ の波長域で高分散分光系を作ることができる。

多層膜の応用範囲は広く、X線望遠鏡のみならずX線顕微鏡、プラズマ計測用X線光学系、放射光ビームラインX線光学系、リソグラフィ用X線光学系への応用が考えられている。<sup>5)</sup>

我々は $44\sim 70\text{\AA}$ 及び $123\sim 200\text{\AA}$ の波長域で多層膜を用いた直入射型X線反射望遠鏡を製作し、ロケットあるいは人工衛星に搭載して広視野高角分解能で天体の撮像観測をすることを計画している。

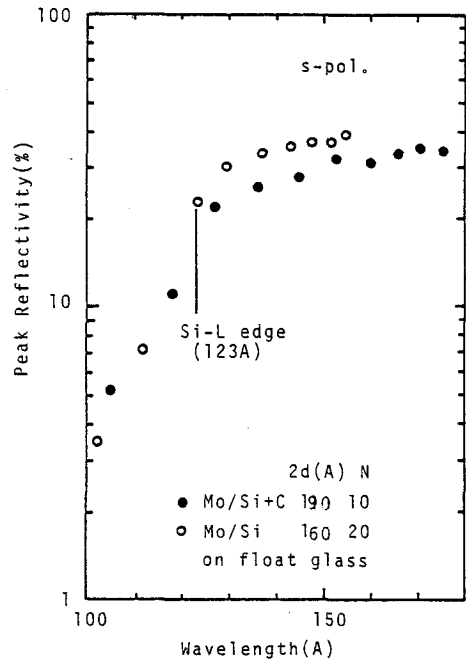


図3 Mo/Si+C ( $2d=190\text{\AA}$ ,  $N=10$ ) と Mo/Si ( $2d=160\text{\AA}$ ,  $N=20$ ) の波長に対するピーク反射率 (UVSORによる実測値)

#### 参 考 文 献

- 1) J.H.Underwood and D.T.Attwood: Physics Today Apr. (1984) p.44.
- 2) T.W.Barbee, Jr.: Proc.SPIE 563,2(1985).
- 3) T.W.Barbee, Jr., S.Mrowka and M.C.Hettrick: Appl.Opt. 24,883(1985).
- 4) 難波義治: 光学, 13巻 p.454 (1984).
- 5) K.Yamashita: Proc.15th Int.Symp.Space Tech.Sci. p.1865(1986).