

最近の技術から

回折格子

永田 浩

日本光学工業(株)開発本部 〒140 東京都品川区西大井 1-6-3

1. はじめに

回折格子というと、光デバイスとしてのカップラーや分布帰還型半導体レーザー、光通信の分波器、あるいは各種機器の精密位置決めなど、幅広い分野で多様な応用例が報告されている。一方、分光用に限っても、とくに真空紫外から軟X線域で新しい回折格子や分光器が開発されてきている。ここではこれら分光用のものについて、最近の話題を解説する。

2. 不等間隔格子

回折格子分光器は、等間隔の直線溝をもつ回折格子を基本として発展してきた。現在でもこうした回折格子が主流である。しかし1970年代前半に、計算機制御した機械刻線法やレーザー干渉法により、不等間隔の格子溝をもつ回折格子が市販品のレベルで製作可能となってきた。このような回折格子を用いると、従来の分光器等間隔の格子の場合より分解能を向上させられたり、新しい汎用型の分光器を考案することができる。瀬谷・波岡モノクロメーターへの不等間隔格子の適用、斜入射定偏角分光器の開発などがその例である¹⁻³⁾。さらに、それぞれの用途に合わせた特殊な分光器の開発も可能となる。そのなかでも、凹面不等間隔格子を用いた平面結像分光器が注目を集めており、多くの報告がある⁴⁻⁸⁾。その例を次に示す。

凹面格子を用いた分光系の焦線の軌跡として、ローランド円がよく知られているが、不等間隔格子を用いるとレムニスケート曲線で良好な結像特性を示す焦線を得ることができる。この曲線の変曲点付近を測定したい波長域と一致させるように回折格子および分光系を設計すると、結像面はほぼ平面となり、写真乾板やアレイセンサーを検出器とする計測に都合がよい。とくにアレイセンサーを用いた光電検出法は、従来の(光)電子増倍管と比べて出射スリットや機械的回転、移動が不要で、小型化、多波長同時測光が可能となる。図1は核融合装置のプラズマ診断用に開発された斜入射平面結像分光器の例

である⁷⁾。入射角88度、回折格子は溝間隔1/300mm(不等間隔なので溝間隔は格子面上で変化する。通常は回折格子中央部の値で表示される)、曲率半径7.5mで、測定波長域が2~50nmで像面長は31mm、像面への光束の入射角は20度以下となる。同じ波長域を曲率半径3mの回折格子でローランド円上で測定すると、溝間隔、入射角を同じとして像面長38cm、光束の入射角は79度以上の斜入射となる。平面結像分光器は真空紫外から軟X線域での報告が多いが、近赤外域で半導体レーザーの発振波長測定用のものも開発されている⁸⁾。

平面格子は、凹面あるいは軸外放物面の鏡で光束をほぼ平行光束として使用することが多く、不等間隔格子はあまり考慮されなかった。しかし収束光束あるいは発散光束中では、不等間隔格子が収差補正に意味をもってくる。図2はシンクロトロン放射光(SOR光)用に開発されたモノクロメーターで、平面の前置鏡、平面格子、出射スリットから構成され、0.5~10nmの波長を分光する⁹⁾。回折格子の回転とともに、前置鏡も移動・回転させて波長走査を行なう。SOR光の光束に適したコリメ

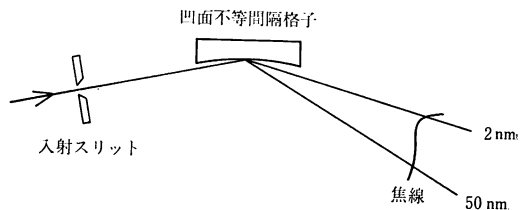


図1 斜入射平面結像分光器

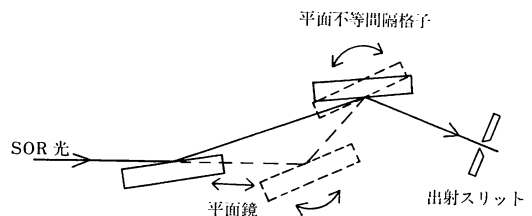


図2 シンクロトロン放射光用平面格子モノクロメーター

ター鏡は製作が困難で高度な技術を要するが、不等間隔格子により平面鏡との組合せで満足できる分解能が得られる。また測定波長が長波長となるにつれて鏡と回折格子への光の入射角が小さくなり、高次光の除去にも適している。回折格子は幅 200 mm, 溝間隔 1/2400 mm, 溝間隔の変化量は -21~24% に達する。

平面格子の特殊例として円筒面を用いた分光系がプラズマ診断用に設計されている¹⁰⁾。これは、円筒面上で指数関数的に溝間隔の変化する回折格子と、円筒中心軸上に固定した入射・射出スリットを有し、回折格子を円筒面に沿って移動させて波長走査する分光器である。収差の性質が波長によらず一定で、コマ収差と非点収差を除去できる。現在、製作検討中である。

3. コニカルマウント

回折格子は、従来は図3(a)のように、主光線が格子溝に直交する面内あるいはこの面からのずれの小さい範囲で入射するように配置されていた。この場合、斜入射域での回折効率はあまり大きくなり、5~10%程度であった。これに対し、図3(b)のように、主光線を格子溝にほぼ平行にし、とくに鋸歯状格子面に垂直な面内にとると、回折効率が格子の表面物質の鏡面反射率程度まで増加することが見いだされた。このような配置をコニカルマウントという。平面の等間隔格子を用い、天体観測やプラズマ診断を目的とした分光系で応用例が報告されるようになってきている^{11,12)}。さらに、平面に放射状に刻線した回折格子を、収束光束中でコニカルマウントと同じような配置で使う分光系も設計され、X線モノクロメーター、天体用分光器としての用途が考えられている¹³⁾。

4. 製作技術

回折格子の製作技術は、基本的にはすでに確立されて

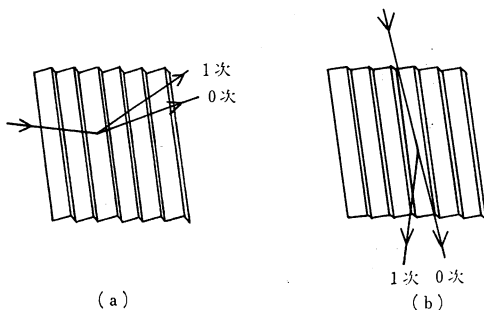


図3 回折格子と主光線の入射方向
(a)通常のマウント, (b)コニカルマウント

いるが、さらに迷光の低減など、特性の向上をめざして地道な努力が続けられている。その例として、耐熱レプリカ格子がある¹⁴⁾。真空装置では、その真空度を十分よくするには、装置を加熱(150~250°C)して内壁表面の残留分子等を効率よく除去することが必要である。しかし従来のレプリカ格子はせいぜい50°C程度までしか耐熱性がなく、高温では面精度が悪化して分解能の低下を招くため、真空分光器の加熱はむずかしかった。一方、SOR光などの大出力光源と組み合わせた場合、加熱しない程度の真空度では回折格子の表面劣化が問題となってきた。新しいレプリカ格子は、200°Cの加熱に対し、可視紫外および軟X線域において加熱前とほとんど変化しない特性を示すものが得られている。

文 献

- 1) H. Noda, T. Namioka and M. Seiya: Design of holographic concave gratings for Seya-Namioka monochromators. *J. Opt. Soc. Am.*, **64** (1974) 1043.
- 2) D. Lepere: Monochromateur a simple rotation du réseau, a réseau holographique sur support torique pour l'ultraviolet lointain. *Nouv. Rev. Opt.*, **6** (1975) 173.
- 3) T. Harada and T. Kita: Mechanically ruled aberration-corrected concave gratings. *Appl. Opt.*, **19** (1980) 3987.
- 4) 永田 浩: 斜入射スペクトログラフ用ホログラフィック回折格子の設計と製作. *光学*, **10** (1981) 436.
- 5) R. J. Fonck, A. T. Ramsey and R. V. Yelle: Multi-channel grazing-incidence spectrometer for plasma impurity diagnosis: SPRED. *Appl. Opt.*, **21** (1982) 2115.
- 6) T. Kita, T. Harada, N. Nakano and H. Kuroda: Mechanically ruled aberration-corrected concave gratings for a flat-field grazing-incidence spectrograph. *Appl. Opt.*, **22** (1983) 512.
- 7) 永田 浩, 木原直人, 森本二郎, 志甫 諒: 昭和58年度日本分光学会春季講演会講演要旨集 (1983) p. 8.
- 8) 喜多敏昭: フラットフィールド・ポリクロメーター用機械刻線収差補正凹面回折格子の開発. *分光研究*, **32** (1983) 173.
- 9) T. Harada, M. Itou and T. Kita: A grazing incidence monochromator with a varied-space plane grating for synchrotron radiation. *SPIE Proc.*, **503** (to be published).
- 10) 小塩高文, 石黒英治, 岩永良一: 広島工業大学研究紀要, **18** (1984) 101.
- 11) W. Werner and H. Visser: X-ray monochromator designs based on extreme off-plane grating mountings. *Appl. Opt.*, **20** (1981) 487.
- 12) W. Cash: Echelle spectrographs at grazing incidence. *Appl. Opt.*, **21** (1982) 710.
- 13) W. C. Cash, Jr.: X-ray spectrographs using radial groove gratings. *Appl. Opt.*, **22** (1983) 3971.
- 14) 喜多敏昭, 原田達夫: 第31回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (1984) p. 92.

(1984年12月11日受理)