

最近の技術から

軟 X 線分光用回折格子

原 田 達 男

(株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

1. はじめに

波長が 0.5~30 nm 程度の軟 X 線領域の分光には、一般に反射型回折格子が使用される。この波長領域では、反射強度を得るために光学系は斜入射の配置がとられる。回折格子の格子溝は従来等間隔配列とされてきた。この場合、回折格子を含め分光装置の光学素子を平面あるいは球面により構成すると、斜入射光学系では一般に大きな収差が避けられず、また光源、検知器等の配置に制約が多い。

回折格子の格子溝を不等間隔配列にすると、スペクトル像の収差が低減するほか、光学系配置の自由度が増大し、軟 X 線分光装置の高性能化、高機能化が可能になる。

本稿では、不等間隔格子溝回折格子の製作と、その軟 X 線分光への応用について述べる。

2. ルーリングエンジンによる不等間隔格子溝刻線

回折格子の製作には、ルーリングエンジンと呼ばれる専用工作機械が使用される。図 1 は、筆者らが 1974 年に完成した日立第 3 号ルーリングエンジン¹⁾の外観である。ここでは、格子素材(ブランク)に格子溝間隔用送

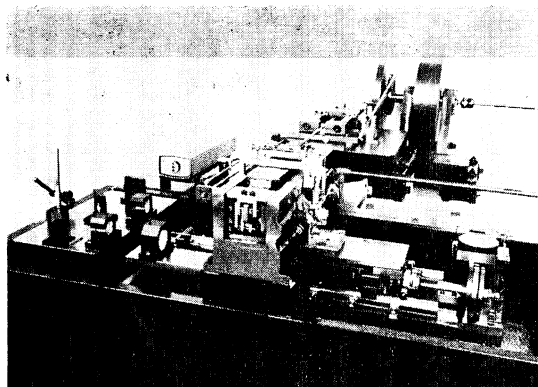


図 1 数値制御ルーリングエンジン

りを与え、ダイヤモンド工具が往復動を行なって格子溝を刻む。

本装置では、数値制御による任意不等間隔格子溝配列用ブランク送りが可能である。図 2 にその制御系を示す。ブランク送り用歯車装置には、差動歯車を使用した回転加算機構があり、その一方の入力は等間隔格子溝用送りに対応する連続回転、もう一方の入力は格子溝間隔変化用のパルスモーター間欠回転である。格子溝位置に対応させてパルスモーターの回転パルス数を数値制御することにより、任意の不等間隔格子溝配列が得られる。

3. スペクトル平面結像型凹面回折格子

従来の凹面回折格子スペクトログラフは、Rowland 円(凹面の曲率半径を直径とし、回折格子中心で接する円)上にスペクトルを結像させるのが一般的であった。軟 X 線用斜入射スペクトログラフも同様であるが、この場合、スペクトル結像位置が波長によって大きく変化し、多波長のスペクトルを同時に検知することが困難であった。

凹面回折格子の格子溝配列を不等間隔にすると、Rowland 円と異なるスペクトル結像面が得られる。図 3 は、中心格子溝間隔 1/1200 mm、曲率半径 6 m の凹面回折格子の場合、光源を入射角 87° に固定し、格子溝間隔を変化させていったときのスペクトル結像面の変化を示したものである。ここで、格子溝間隔変化パラメー

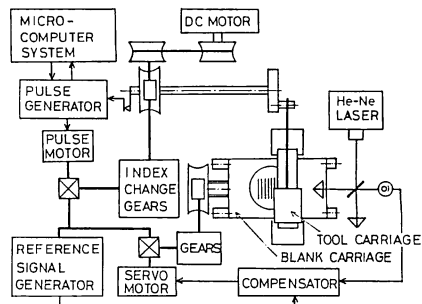


図 2 数値制御ルーリングエンジン制御系

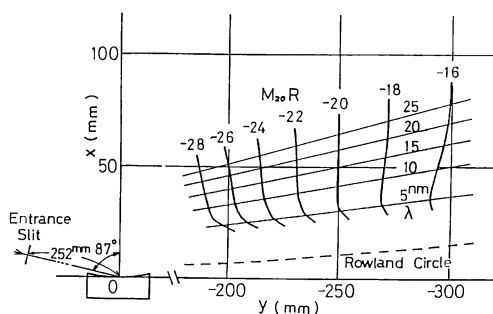


図3 不等間隔格子溝凹面回折格子のスペクトル結像面 (1200 本/mm, 曲率半径 6 m)

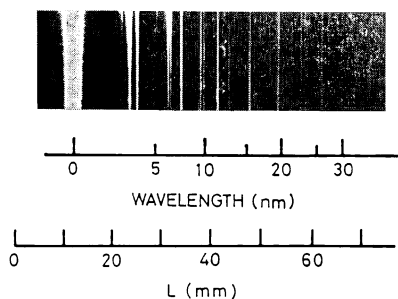


図4 レーザープラズマスペクトルの平面結像

タ¹⁾ $M_{20}R = -20$ のとき, 5~25 nm の波長範囲内で, スペクトルは回折方向にほぼ直交する平面上に結像する。

この凹面回折格子を数値制御ルーリングエンジンをを用いて製作し, 東大物性研黒田研究室の大出力レーザー装置により, レーザープラズマ輝線スペクトルを撮影した結果を図4に示す。カーボンターゲットから発した 3~25 nm のレーザープラズマスペクトルが, 平面のX線フィルムで鮮明に撮影されている²⁾。

このスペクトル平面結像機能により, マイクロチャンネルプレート (MCP) や半導体センサーアレイを用いた軟X線多波長スペクトルの同時計測が可能になった³⁾。

4. スペクトル収束型平面回折格子

従来の平面回折格子は, スペクトル収束のため, 凹面鏡等の補助光学系が必要不可欠であった。しかしながら, 格子溝配列を不等間隔にすることにより, 図5のようにスペクトルの分散と収束の両機能を合わせもった平面回折格子の実現が可能になる。

その応用の一つとして, California 大学 Berkeley 校の宇宙科学研究所において極紫外探査衛星 (Extreme Ultraviolet Explorer) に搭載する平面回折格子スペクトロメータが開発された^{4,5)}。EUVE 用スペクトロメータは, 図6に示すように, Wolter 型反射望遠鏡の収束

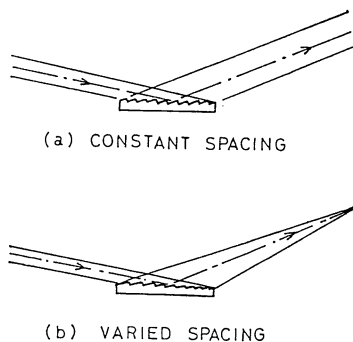


図5 不等間隔格子溝平面回折格子によるスペクトルの分散と収束

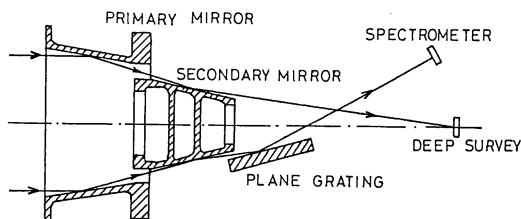


図6 極紫外探査衛星用平面回折格子スペクトロメータ

光路に不等間隔格子溝平面回折格子を配置し, 望遠鏡の焦点距離とほぼ等しい距離にスペクトルを平面結像するものである。回折格子は, 軸直角断面を3分割して3個配置され, 中心格子溝間隔 1/2400, 1/1200, 1/600 mm の3個の回折格子がそれぞれ, 7~19, 14~38, 28~76 nm の波長領域をカバーする。回折格子の格子溝間隔は 200 mm 刻線幅の中で一端から他端まで約2倍変化している。

文 献

- 1) T. Harada and T. Kita: "Mechanically ruled aberration-corrected concave gratings," *Appl. Opt.*, **19** (1980) 3987-3993.
- 2) 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) 1983-1984.
- 3) N. Nakano, H. Kuroda, T. Kita and T. Harada: "Development of a flat-field grazing incidence XUV spectrometer and its application in picosecond XUV spectroscopy," *Appl. Opt.*, **23** (1984) 2386-2392.
- 4) M. C. Hettrick, S. Bowyer, R. F. Malina, C. Martin and S. Mrowka: "Extreme Ultraviolet Explorer spectrometer," *Appl. Opt.*, **24** (1985) 1737-1756.
- 5) C. Martin, S. Mrowka, S. Bowyer and R. F. Malina: "The Extrema Ultraviolet Explorer spectrometer," *Proc. SPIE*, **597** (1985) 284-290.

(1987年7月28日受理)