

## 二波長にブレードした回折格子の製作

高島 幸史

東北大学科学計測研究所 〒980 仙台市片平 2-1-1

(1983年2月24日受理)

### Ruling of Diffraction Grating with Double Blaze Angle

Kōshi TAKASHIMA

Research Institute for Scientific Measurements, Tohoku University,  
2-1-1, Katahira, Sendai 980, Japan

New plane gratings having double blaze angle in individual groove were ruled by using a simple diamond cutter carriage with a micropositioning stage for the two diamond cutters. The groove profile of the ruled grating was double sawtooth contour, and this made it possible to measure a wider spectral range in a single scan of a monochromator, as compared with conventional blazed gratings. The efficiency and stray light levels were measured. The double blazed grating exhibited lesser anomalies and stray light than our conventional grating.

#### 1. はじめに

可視から近赤外の波長範囲で使用する分光光度計等においては回折格子を交換することなしに1枚の格子で広い波長範囲をカバーすることが要求される。このため、一般に使用される回折格子は、その表面物質として Al をコートし、刻線溝はエシェレット型に製作され、1枚の格子面上を2分割して、おのおの異なるブレード角で刻線したものが使用されることがある。この種の回折格子はマルチパートと呼ばれるもので分割した各部分間の回折波面の位相が独立であるため、分解能が犠牲になっている。このほかにも広波長域をカバーするため複数の回折格子をホルダーにのせ使用波長域に合わせてホルダーを回転させ、回折格子を交換使用するものもあるが、そのための駆動機構が追加され装置が複雑となっている。

また、機械刻線による回折格子はホログラフィック格子と比べて迷光レベルが高いといわれている。その原因の一つにルーリングエンジンの刻線位置精度のほかに刻線技術の問題がある。たとえば刻線方向に対するダイヤモンドカッターの取付け不備や、刻線荷重の調整不備等の原因により溝形状が正確な鋸歯状からずれること、お

よび格子面全域にわたり同一溝形状とならないことがある。とくに刻線荷重が過大で刻線溝の山が尖り、稜線が乱れている場合迷光が非常に大きくなる<sup>1)</sup>。

さらに回折格子は本質的にさけられない回折光強度異常(アノマリー)がある。その発生因子の一つに溝形状に依存することが知られており、その大きさは溝の山が尖っている場合大きい<sup>2)</sup>。しかしアノマリーの生ずる波長位置とブレード波長位置が一致しているとき、そのアノマリーが抑制されることが知られている<sup>3)</sup>。

このように刻線溝の山の部分が回折格子の特性を大きく左右することからわれわれは1本の刻線溝中において2個の特定な波長にブレードされている格子を刻線し、使用波長範囲を広帯域化すると同時にアノマリーの軽減された、迷光の少ない回折格子の製作を試みた。すなわち、互いにアノマリーの生ずる二つの波長位置にブレードした2本のカッターを用い1本の溝中で先に刻線した山の部分を他の1本のカッターにより再度成形することにより2個のブレード角をもつ溝とするものである。このため、すでに報告したピエゾ駆動型ルーリングエンジン<sup>4)</sup>のダイヤモンドカッターキャリジを新たに試作して実験を行ない、特性の改善された回折格子を得ることができた。これらにつき報告する。

## 2. ダイヤモンドカッターキャリジの試作

ダイヤモンドカッターキャリジに2本のカッターを取り付け両者の相対位置間隔を高精度で微動調整する必要から、弾性変形を利用した変位機構とした。すなわち、カッターキャリジと微調ステージを一体化し、キャリジ内に一体構造型円弧切り欠き支点による縮小レバーと平行バネを組み合わせた方式のものを試作した。Fig. 1 (a) に試作したキャリジの主要部を示す。A, A' にピボット軸受をもち、 $\overline{AA'}$  に軸を通し、この軸に直角にカッターが取り付けられている。これに対し B, B' にピボット軸受をもち、同様に取り付けられたカッターを微動させる。すなわち、黒の太い矢印の部分にピッチ 0.3 mm のネジを取り付けて、その動きを縮小して  $\overline{BB'}$  を同方向に動かす。同図 (b) はこのステージの機構図で3段の縮小レバーにより 1/436 に縮小していることを示している。このキャリジは大きさ  $120 \times 125 \text{ mm}^2$ 、6 mm 厚のリン青銅板を用い、加工は歪みの入らないよう放電加工で行なった。

Fig. 2 はルーリングエンジンへ取り付けられたキャリジの写真を示す。キャリジの剛性不足を補うため、5 mm 厚の真鍮板で周囲を囲っている。またカッターの微動位

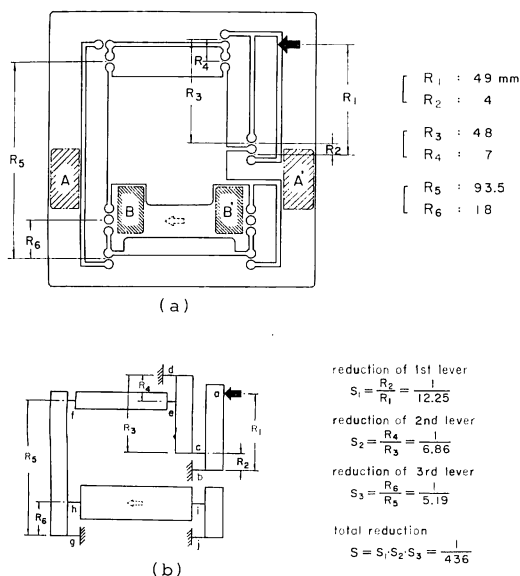


Fig. 1 Schematic diagram of the diamond cutter carriage with micropositioning stage. (a) over view, the cutters are attached to the axis of  $\overline{AA'}$ , and  $\overline{BB'}$ . (b) illustrating the motions of its levers.

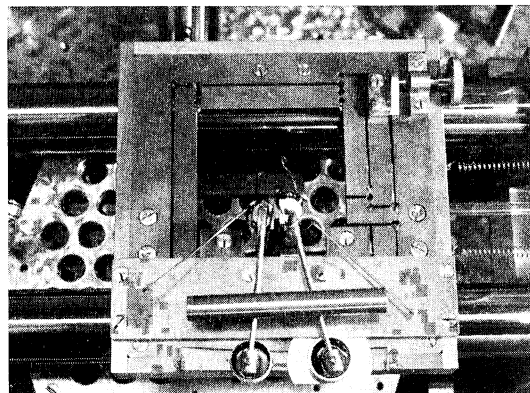


Fig. 2 Photograph of the diamond cutter carriage.

置きめ後、これをロックする真鍮板が付加されている。

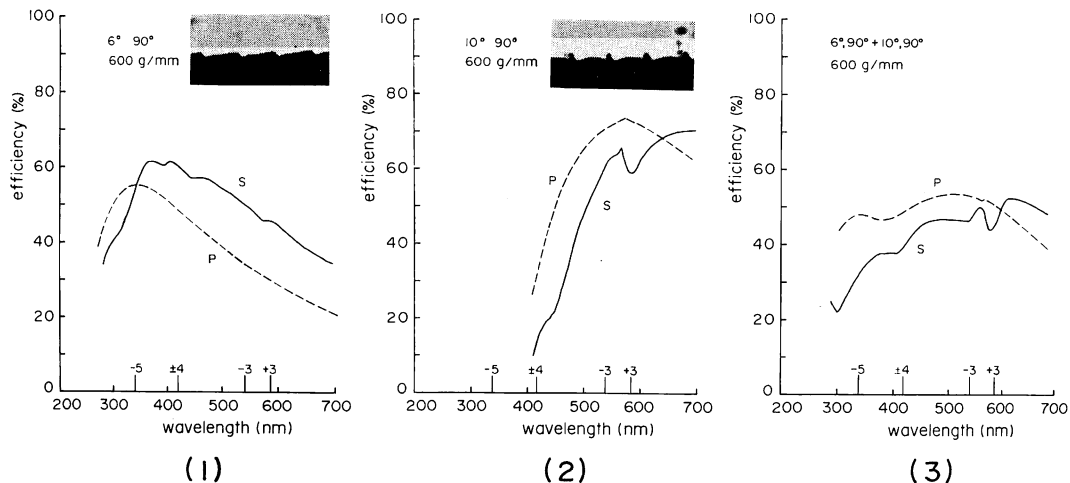
このキャリジは機構が簡単であり、微調の再現性もよく、実験の結果  $0.1 \mu\text{m}$  以下の微動調整を容易に行なうことができた。

## 3. 二波長にブレースした回折格子の特性

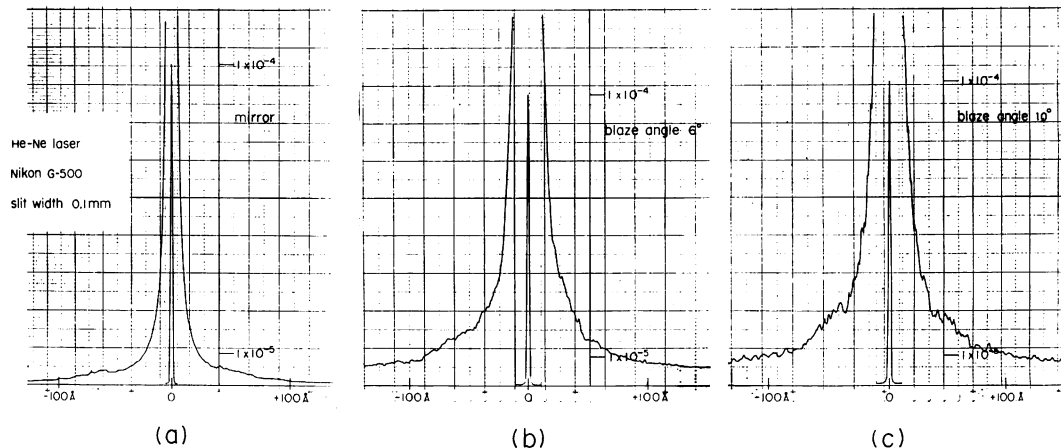
使用波長  $\lambda$  より格子定数  $d$  が大きく  $\lambda/d < 0.2$  の範囲にある格子ではアノマリーがなく、また偏光による回折効率の差異もない<sup>3)</sup>が、可視域を中心とした分光装置では明るさと分散を大きくしたいため装置を小形化し、分散素子は普通 600 本/mm 以上の格子が使用される。そこでわれわれは 600 本/mm の格子について実験した。また、分光系の配置によりアノマリーの生ずる波長位置も決まる<sup>5)</sup>が回折効率の測定装置の配置上入射角と回折角とのなす角は  $15^\circ$  にとつてある。

使用したカッターはブレース角  $6^\circ$ 、 $10^\circ$  の2種で 600 本/mm に刻線したときのブレース波長はそれぞれ 350, 580 nm であり、この波長位置付近にアノマリーがある。

まず二波長にブレースした格子の特性と比較するため、従来型の格子となるよう1枚のブランク上を2分し、それぞれ  $6^\circ$  および  $10^\circ$  のブレース角で 600 本/mm に刻線した。すなわちカッターは各1本ずつ刻線動作を行なわせた。Fig. 3 にその結果を示す。  $6^\circ$  および  $10^\circ$  の個々の部分の回折効率と SEM による断面形状をそれぞれ (1) と (2) に示した。図で P は入射光の電気ベクトルが格子の溝方向に対し平行な成分の偏光、S は垂直成分の偏光を入射させて測定した。なお、図は1次の回折光についての測定であり、波長軸上に passing off order とレーリー波長を示した。(1) は回折効率が低く、(2) はランドがあり山がもり上がっている。ブレース波長付近にアノマリーが顕著に見られ、これは溝形状が正常な



**Fig. 3** First order efficiency curves of the conventionally ruled gratings with 600 grooves/mm. The insets show scanning electron micrographs of the groove profiles. Efficiencies were measured at a constant deviation angle of 15°. Electric vector of P polarization is parallel to the groove and S polarization is perpendicular. Passing-off orders are marked on the abscissa. (1) 6° blaze angle grating, (2) 10° blaze angle grating, and (3) average of both gratings.



**Fig. 4** Stray light levels at the foot of the 6,328 Å line of a He-Ne laser in a Nikon G500 monochromator. (a) mirror, (b) grating of **Fig. 3**(1), and (c) grating of **Fig. 3**(2).

鋸歯状より大きくずれているため生じている。これらは故意にカッターの方向調整をくずしたため生じたもので、従来機械刻線において得られる溝形状とは異質なものとなっている。ここでは溝形状の山の部分が回折効率、迷光、アノマリー等に大きく影響を与えることを強調するため、後述の二波長にブレイズさせる格子の刻線においては十分なカッターの調整の必要がないことを示すため取り上げている。(3)は両者の全面的回折効率を測定したもので(1)と(2)の平均的なものをして

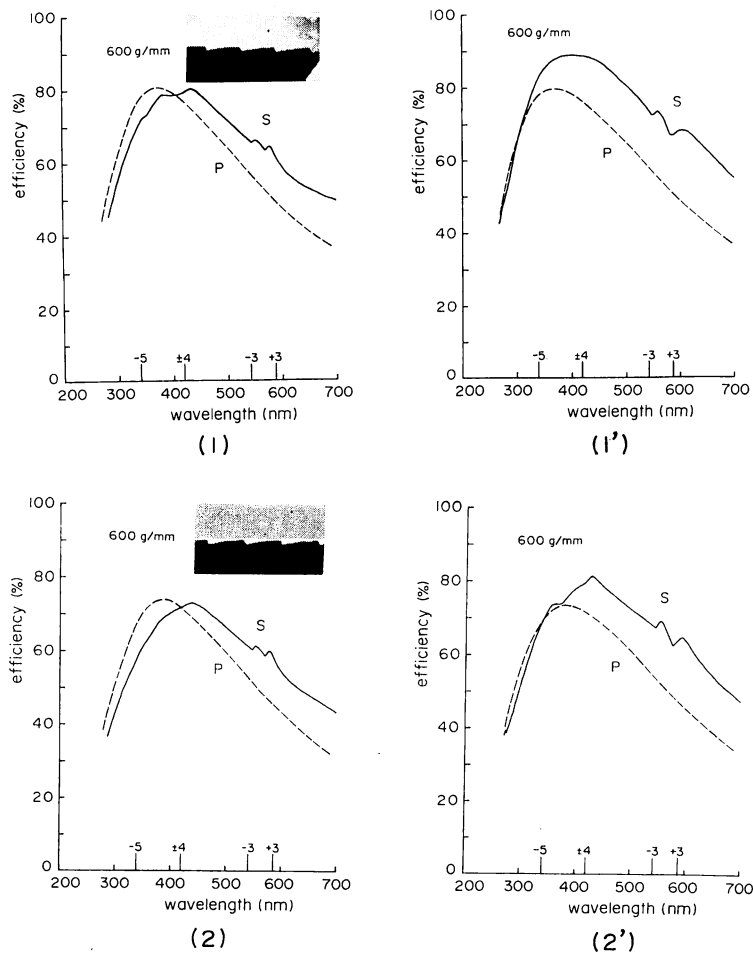
いる。

**Fig. 4**は**Fig. 3**に示した格子の迷光を測定した結果である。ここでは1本のスペクトル線について回折で決まる理想的な線幅およびその広がり、迷光のため主線付近で広がり、さらに透過光の変動として現われる、いわゆる near stray light を調べた。分光器はニコン G500、入口および出口スリット幅は 0.1 mm である。光源は He-Ne レーザーの 6,328 Å を用い、その透過光のピーク値を1と規格化して図示した。測定は主線波

長を中心に  $\pm 100 \text{ \AA}$  の波長範囲とした. (a) は比較のため回折格子を同面積の平面鏡とおきかえたときの Fraunhofer pattern で測定系の装置幅に相当する. (b) と (c) はそれぞれ Fig. 3 の (1), (2) の格子による迷光である. 両者ともかなりの迷光レベルをもち、とくに (c) では刻線溝形状の特異なことによる効果が大きく、 $\pm 100 \text{ \AA}$  離れた位置でも  $1 \times 10^{-5}$  程度の迷光レベルとなっている.

次に二波長にブレイズした回折格子の効率と断面形状を Fig. 5 に示す. 最初  $10^\circ$  で効力した溝の山の部分を  $6^\circ$  のカッターで再度成形するという形で刻線した. すなわち、Fig. 3 の (2) に示した山のもり上がった状態

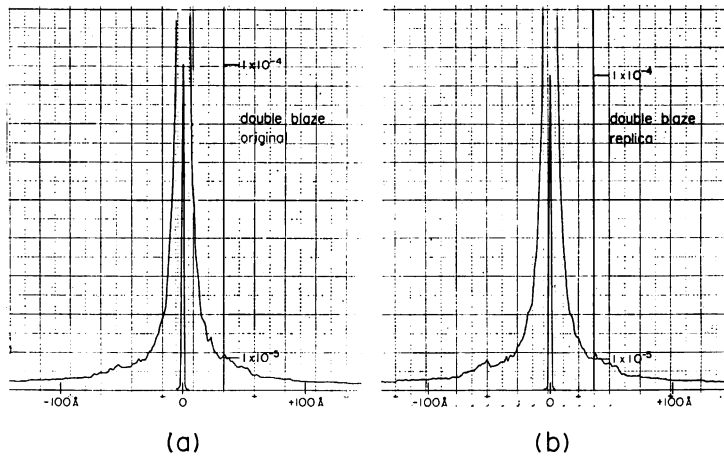
の溝を  $6^\circ$  のカッターがつぶす形をとっている. 図で (1) と (2) の違いは、1本の溝中での  $10^\circ$  および  $6^\circ$  にブレイズさせた部分の割合を 1:1 となるよう  $6^\circ$  のカッターのみを刻線ごとに再調整し、刻線の再現性を見たもので、効率のピーク値で約 7% の開きが出たが、数枚の刻線例の中ではここに示した範囲内での一致が見られている. (1), (2) とともに SEM の写真から 1本の溝中で 2個のブレイズ角をもつ溝となっていることが認められる. また、回折効率の曲線からアノマリーが軽減され、高効率を示す波長範囲も広がり、Fig. 3(3) で示したものと異なり改善されている. (1'), (2') は (1), (2) からそれぞれレプリカを取ったもので、溝の山と谷を反転



**Fig. 5** First order efficiency curves of the double blazed gratings and their replica.

Blaze angles are  $6^\circ$  and  $10^\circ$ . The insets show scanning electron micrographs of the groove profiles.

(1), (2): original gratings, (1'), (2'): replica gratings made from (1) and (2), respectively.



**Fig. 6** Stray light levels at the foot of the 6,328 Å line of a He-Ne laser in a Nikon G500 monochromator. (a) double blazed grating and (b) replica grating made from (a).

させた場合の回折効率を示す。一般にオリジナル格子からレプリカをとり使用されることから、その影響を調べた。オリジナル格子と比べて大差ないが平均効率は良くない。

**Fig. 6** は **Fig. 5**(1), (1') に示した格子の迷光の測定結果を示す。(a)はオリジナル、(b)は(a)のレプリカ格子によるものである。**Fig. 4**(b), (c)と比べて主線の広がりも僅少で、迷光レベルが低くなり、平面鏡の場合に近づいている。迷光においても二波長にブレースすることにより改善されている。

#### 4. ま と め

1本の刻線溝形状を2本のダイヤモンドカッターにより成形することで二波長にブレースした新しいタイプの回折格子を試作した。二波長にブレースさせるため、2本のカッターを、それ専用のキャリジを試作して取り付けた。もしも1本のカッターで二波長にブレースするようなカッターの研磨ができれば使用することも考えられるが、研磨技術に問題があり、ほぼ不可能に近いことから本方法を採用した。本方法の利点として、このキャリジは1本の溝中における2本のカッターの相対位置を容易に再現性よく変更することができる。したがって二波長にブレースさせる割合を任意に選ぶことができる。ま

た、異なる溝本数の格子にも容易に適用できることがあげられる。さらにこのキャリジで2本のカッターの間隔を大きくとることにより、従来のマルチパート型刻線の刻線も可能である。すでに述べたように機械刻線によるエシレット型格子では溝の山の部分の形状が回折格子としての特性に大きく影響する。本研究では、1本の溝中でその形を変えることで特性の改善をはかるべきと考え実験を行なった。その結果、本方法によりアノマリーが軽減され、高効率を示す波長範囲が広く、かつ迷光レベルの低い回折格子を得ることができた。

なお本研究は昭和 56, 57 年度総合研究(A) (課題番号 56350002) の組織の中で行なったもので費用および活動の面で援助をいただいたことを付記して謝意を表すものである。

#### 文 献

- 1) 高島幸史：昭和 55 年度後期総合研究(A)報告書 (1981) 36.
- 2) K. Takashima: Jpn. J. Appl. Phys., **16** (1977) 645.
- 3) E. G. Loewen, M. Nevière and D. Maystre: Appl. Opt., **16** (1977) 2711.
- 4) 高島幸史, 細田滋則: 分光研究, **28** (1979) 30.
- 5) J. E. Stewart and W. S. Gallaway: Appl. Opt., **1** (1962) 421.