

成 果 報 告 書

(1) 研究の実施日程

研究項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. WFOS用VB gratingの格子形状と入射角の計算					←	←	←	←	←			
2. シリコン鋳型のレプリカ						←	←	←	←	←	←	←
3. RFT gratingの開発									←	←	←	←

(2) 研究成果

1. WFOS 用 VB grating の格子形状と入射角の計算

TMT の WFOS 用として大面積 (450×320 mm) の VB grating の製造メーカを調査したところ、Plymouth 社は干渉露光を精密にステッチングするレジストのパターンニングにより大面積の VB grating の製造が可能であることがわかった。しかし、レジストを用いた石英のエッチング加工では溝の Duty cycle が 45% 以下と 55% 以上、溝のアスペクト比が 1:5 以上の格子の加工が困難である。そこで、RCWA による分光特性の計算によって、Duty cycle が 55%、溝のアスペクト比が 1:5 以下の制約条件において各入射角について最適な格子形状を調査した。

その結果、TMT の高分散回折格子 (分解能: $R=5,000$) の場合に、分解能を変えずに入射角を変えると、Littrow の条件 (44.4°) より入射角が小さいほど短波長の効率が向上し、逆に入射角が 49.4° の場合に帯域全体の回折効率の変化が少なくなることがわかった (図 1 左)。一方、帯域全体の回折効率の変化が小さくなる条件では入射角が小さいほど効率が向上するが、分解能が低下することがわかった (図 1 右)。この結果を国立天文台の尾崎 講師がレポートにまとめて、TMT WFOS のマネジメントチームに提出した。

1. シリコン鋳型を用いた VB/Trapezoid grating のレプリカ加工技術の開発

すばる望遠鏡の MOIRCS 用および TMT の WFOS 用の高効率かつ広帯域の透過型回折格子として、シリコン格子を鋳型にしてレプリカ加工あるいはインプリント加工によって樹脂の Trapezoid grating の製作方法を開発している。

豊田工大との共同研究により、Bosch プロセス (サイクルエッチング) のガス量の調節および酸化の工程で酸素ガスと水素ガスの量 (水蒸気量) を調節すると、側面のテーパ角を調整できると見込まれる。

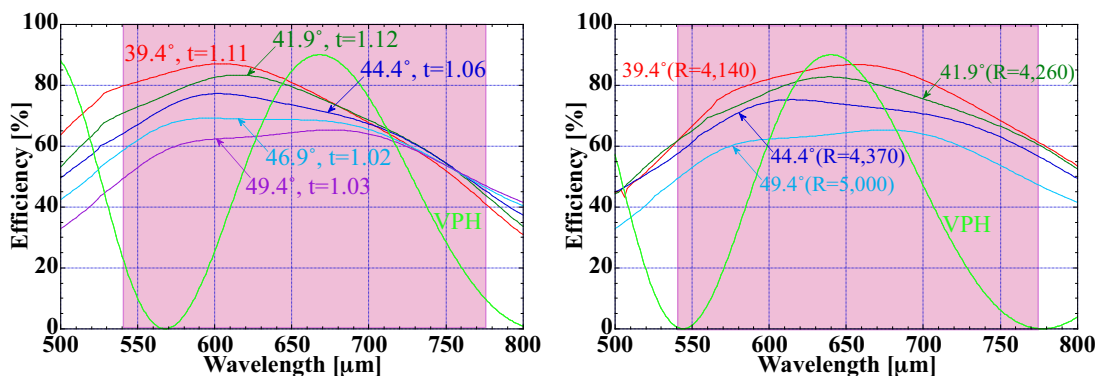


図 1 TMT 用の Duty cycle 55% の VB grating (分解能: $R=5,000$) の入射角を変えた場合の回折効率 (左) と帯域全体の回折効率の変化が小さくなる条件で入射角を変えた場合の回折効率と分解能 (右)。



図2 RFT grating の切削加工 (左)、格子の顕微鏡写真：真上 (中央)、断面 (右)。

現時点において Bosch プロセスの条件を変えても多くは垂直な溝になってしまう。一方、テーパーが形成される条件では底に針状のブラックシリコンが発生してしまうことがわかった。そこで Bosch プロセスによって垂直に溝を掘った後に、レジストを残した垂直な格子に異方性プラズマエッチングを行って格子形状がどのように変化するか調べる実験を行なっている。

3. RFT grating の開発

表面刻線型の反射型エシエル回折格子は s と p 偏光の分光特性が大きく異なるために帯域幅が狭い。また、表面プラズモンの影響により特定の回折次数の p 偏光の効率が大きく低下する。RFT grating は s と p 偏光の分光特性がほぼ一致しているために回折効率が高く、帯域幅が反射型の SR grating より広い。さらに格子に金属を使用しないために表面プラズモンの影響による効率の低下が起きない。我々は TMT の WFOS 用の分散光学素子として RFT grating の開発を進めていたが、WFOS の仕様変更のため、開発を中断していた。すばる望遠鏡の NINJA 等の高次回折光を利用したエシエル分光観測装置の開発が始まった。そこで、NINJA に RFT grating が搭載できないか検討されたが、開発途上であるために、従来の反射型の表面刻線型エシエル回折格子が採用された。

そこで、すばる望遠鏡や TMT の次世代観測装置用として RFT grating の開発を再開した。2022 年度は、日本特殊光学樹脂加工社に委託して、ダイヤモンド工具を用いた旋削加工による硬質樹脂の RFT grating の試験加工を行い、理想的な格子形状 (図2) の加工条件を見出し、本加工 (有効径 $20 \times 20 \text{ mm}$) を行った。今回試作した RFT grating の頂角は 38.3° である。

図3左は RFT grating (20 本/mm) とクロスディスパーザ (600 本/mm のグリズム) を組合せ、フォーサーズカメラに $f=40\sim150 \text{ mm}$ のズームレンズを取付けて撮影したエシエルグラムである。光源として白熱電球とピンホールの間には水銀放電管を置いて、連続スペクトルと輝線スペクトルを同時に撮影した。図3右は簡易的な He-Ne レーザの 632.8 nm における回折効率測定の配置である。その結果、入射角と回折角が 45° の次数 (112 次近傍) の効率が 60.7%、ピークの ± 1 次の効率が 13%、 ± 2 次の効率が 6 と 3% であった。これらの次数の効率を合計すると 95.7% であり、RFT grating は効率が高いことを実証できた。

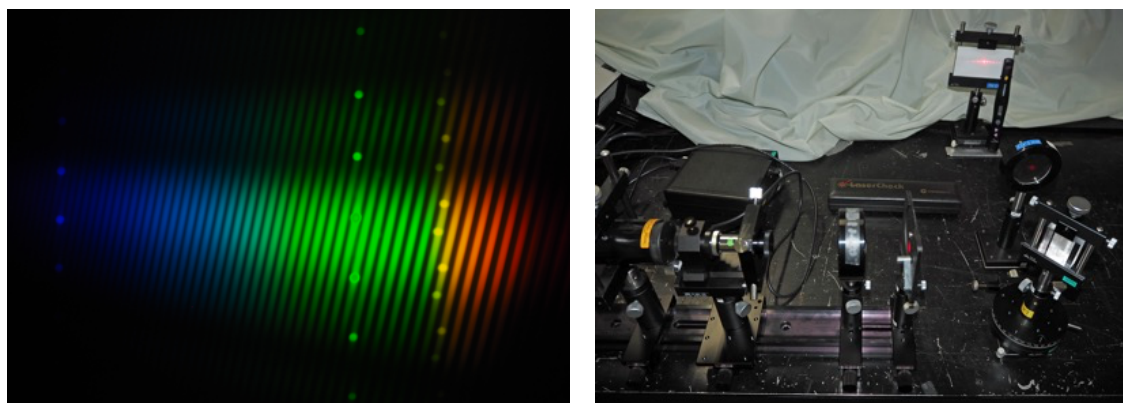


図3 試作した RFT grating (20 本/mm) とクロスディスパーザ (600 本/mm のグリズム) の組合せによるエシエルグラム (白熱電球と水銀放電管、左)、RFT grating の簡易的な回折効率測定 (右)。