

ATC 施設利用・共同開発研究 成果報告書

国立天文台先端技術センター センター長 殿

2020年4月2日

下記のとおり施設利用の成果を報告します。

ふりがな： えびづか のぼる 代表者氏名：海老塚 昇	③所属機関，部局： 理化学研究所 光量子工学研究センター 先端光学素子開発チーム
研究課題名：すばる望遠鏡、TMT 用の新しい回折格子の開発	
利用期間：2020年4月1日～2021年3月31日	
利用者リスト 海老塚 昇 田中 壱（国立天文台 ハワイ観測所 RCUH 職員）	

研究開発の成果（ATC 施設利用との関連を具体的に記述してください。）

1. すばる望遠鏡 MOIRCS 用の新しい高分散グリズム

VPH (Volume phase holographic)グリズムの後継機として、東北大学の児玉教授が研究代表の科研費基盤研究 A における観測効率向上のために LightSmyth 社の VB 回折格子と ZnSe プリズムを組合せた 2 種類 (J バンド：1,150~1,350nm 用と H バンド：1,500~1,800nm 用) の高分散グリズムの開発を行った。すばる望遠鏡の MOIRCS 用に開発した VPH 高分散グリズムは帯域幅が狭く、J バンド用 VPH グリズムの効率はピークで 80%、帯域両端で約 30% (図 1 左)、H バンド用 VPH グリズムの効率はピークで 70%、帯域両端で約 10% である (図 1 右)。そのためマルチスリット観測の場合に視野の中心から離れた位置にスリットを開けると、帯域の両端の回折効率が大きく変動するためにスペクトルの解析に労力を要することがある。

LightSmyth 社が開発した多層構造の新しい VB 回折格子は最大回折効率 95%以上を達成でき、帯域幅が VPH 回折格子の 3~5 倍広い。J バンド用は既製の 900nm 帯用を流用したため最適ではなかったものの回折効率がピークで 85%、帯域全体で 60%以上であった (図 1 左)。一方、H バンド用は回折効率がピークで 95%以上、帯域全体で 85%以上であった (図 1 右)。

2. VB grating

TMT (Thirty Meter Telescope)や 8.2m すばる望遠鏡用として VB (volume binary) grating (厚い矩形回折格子)を開発している。VB 回折格子は L&S (line & space) を調整することによって s と p 偏光の効率をほぼ一致させることができ、1 次回折光に対しては VPH 回折格子と同等のピーク回折効率 (90%以上) かつ VPH 回折格子の数倍の波長帯域幅 ($2\lambda/3$) を達成することができる。RCWA の数値計算によって見積もられている。また、8 次以上の高次回折光に対して 80%以上のピーク回折効率を達成できると見積もられている。

豊田工業大学のナノテクノロジープラットフォーム (ナノテク PF) との共同研究により、図 2 の工程によって石英の VB 回折格子の開発を行っている。具体的には石英基板に薄いシリコンウエハを接合した SOQ (silicon on quartz) 基板を用いて、L&S が $2.0\mu\text{m} : 3.1\mu\text{m}$ のマスクを用いてシリコン側にレジストを形成し、サイクルエッチング (ボッシュ・プロセス) によって深い溝を形成して、酸化膜形成と除去を 1~2 回行い、高さが $16\mu\text{m}$ 、畝の幅が $0.5\mu\text{m}$ 程度で側面が極めて滑らかなシリコンの矩形格子を形成する。さらにシリコンの矩形格子のシリコン全体を酸化させて石英の VB 回折格子を製作する。

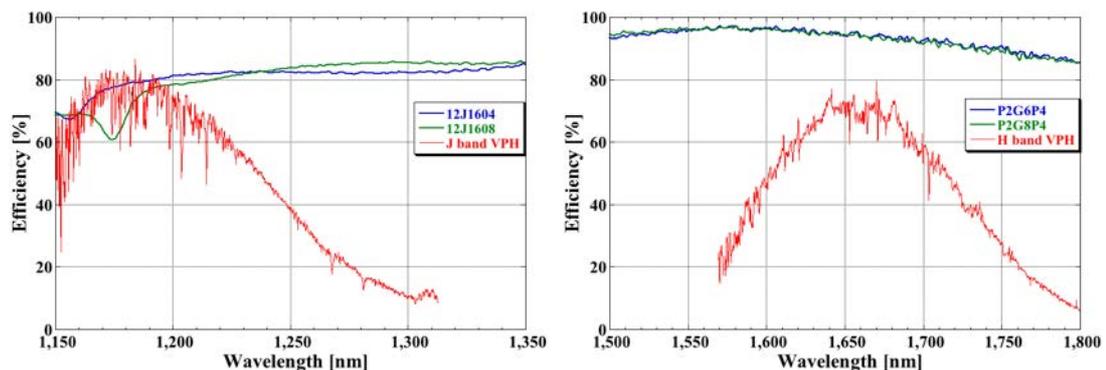


図 1 MOIRCS 高分散グリズムの回折効率。左：J バンド、右：H バンド。赤線は従来の VPH グリズムの効率実測値 (J バンドはオフセットスリット使用時)。

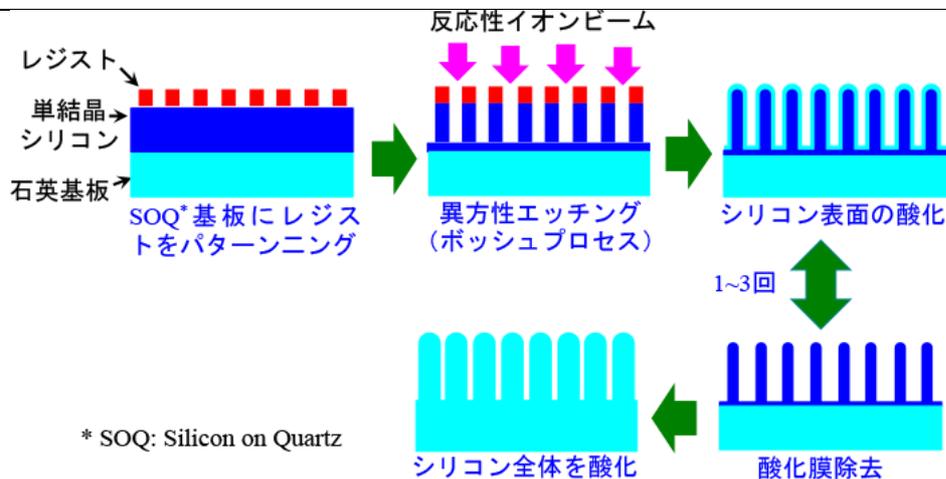


図2 シリコンのサイクルエッチングと酸化による石英 VB grating の製作方法。

SOQ 基板はナノテク PF において石英基板とシリコンウエハの接合を行い、業者にシリコン側の研磨を依頼した。SOQ 基板とシリコンウエハでは、プラズマによるエッチングの条件が大きく異なるために、試行錯誤の結果、SOQ 基板上にシリコンの矩形回折格子を製作する条件を見出した。このシリコンの矩形格子を酸化させ透明な石英の VB grating を得た (図3 左)。透明な部分にレーザーを照射して入射角 45°、回折角 45°近傍の回折光を観察した結果、ゴースト (水平方向) やフレア (垂直方向) が見られるものの、回折次数の位置に光強度が集中し、VB 回折格子として機能することが分かった (図4 左)。ただし、溝の深さが設計値の 16 μm に対して、10.5 μm であったため (図3 右)、回折光が特定の次数 (入射角 45 度の場合に 11 次) に集中していない (図4 左)。

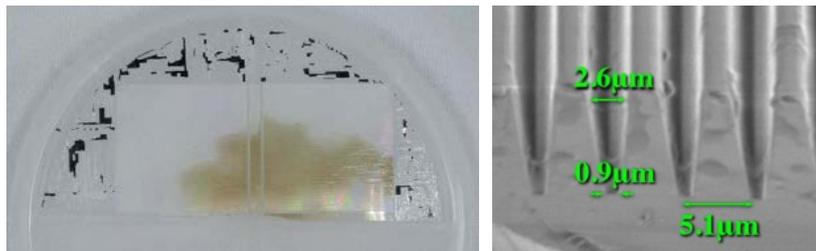


図3 試作した石英の VB grating (左) と格子の SEM 写真 (右)。

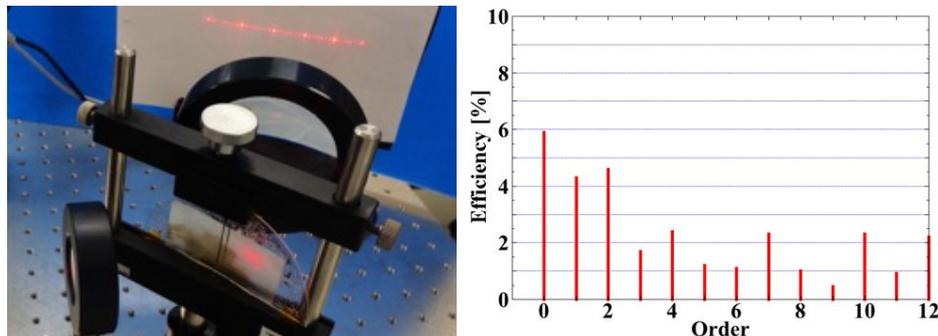


図4 石英の VB grating の回折光の観察 (左)、各次数の回折効率 (右)。

施設利用が謝辞等に記された学術論文など (資料を添付してください。)

審査付原著論文

- N. Ebizuka, T. Okamoto, M. Takeda, T. Hosobata, Y. Yamagata, M. Sasaki, I. Tanaka, T. Hattori, S. Ozaki, W. Aoki, "Novel gratings for astronomical observation," *CEAS Space Journal*, online publication, 2019, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12567-019-00287-3>.

総説

- 海老塚 昇 "回折格子の精密加工", 精密工学会誌 85, pp.1062-1066, 2019.

集録論文

- 1) N. Ebizuka, T. Okamoto, M. Sasaki, I. Tanaka, T. Hattori, S. Ozaki, W. Aoki, "Novel gratings of high dispersion and high efficiency II," EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2019 (DO2019), pp16-17 (USB), 2019.
- 2) 海老塚 昇, 岡本 隆之, 竹田 真宏, 細島 拓也, 山形 豊, 佐々木 実, 田中 壺, 服部 堯, 上塚 貴史, 尾崎 忍, 青木 和光, "次世代天文学観測装置用の新しい高分散回折格子 V", 第 44 回光学シンポジウム講演予稿集, pp101-104, 2019.

3) N. Ebizuka, T. Okamoto, M. Sasaki, I. Tanaka, M. Uomoto, T. Shimatsu “Novel gratings for astronomical observations fabricated by latest technologies,” *Proc. LBT-3D 2019 (6th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration)*, 22P-34 (USB), 2019.

先端技術センターの利用設備・実験室等の利用した物品を具体的に記入してください。(マシンショップへ依頼したリスト・利用した測定器・CAD等について記入してください。)

- UV3100PC 分光光度計
- Zygo GPI レーザー干渉計
- FTIR410 フーリエ変換赤外線分光光度計
- Nikon MM40 精密作業顕微鏡

先端技術センターの施設への要望等ありましたら、記入してください。