

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. 樹脂のTrapezoid grating				溝のテーパ加工の試作									
2. RFT gratingの開発													
3. レーザ干渉露光				光学系の調整						光学系の調整			

(2) 研究成果

1. 樹脂の Trapezoid grating の開発

TMTのWFOS用の高効率かつ広帯域の透過型回折格子として、テンパックスガラスのシリコンウエハにサイクルエッチング (Boschプロセス) およびイオンミーリング加工、シリコンの酸化・酸化膜除去により製作された高アスペクト比のシリコン格子の鋳型にしてレプリカ加工によって樹脂のTrapezoid gratingの製作方法を豊田工大において開発している。予算が減額配分されたために、今年度は計画の推進を減速させる予定であったが、豊田工大における実験の進展が見られた上に、WFOSマネージメントチームから進捗の問合せがあったため、この開発項目を2023年度に推進することとした。

サイクルエッチングのエッチングと保護膜堆積の比率、レジストマスクを細く削る酸素ガス比の調節により、側壁のテーパを調整できると見込まれていた。しかし、豊田工大において様々な条件を試した結果、多くの場合に溝が垂直になってしまい、テーパ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狙いの構造にならなかった。そこで、サイクルエッチングの後にイオンミーリング加工の工程を追加した結果、図1のように溝にテーパをつけられるようになった。

現在、Trapezoid gratingの最適化のために格子のLine and space (L&S) およびテーパの角度調整を行い、大型化を図るために、ナルックス (株) が東北大学のナノテク融合技術支援センターの設備を利用してレプリカ加工実験用のシリコン鋳型の試作を行っている。

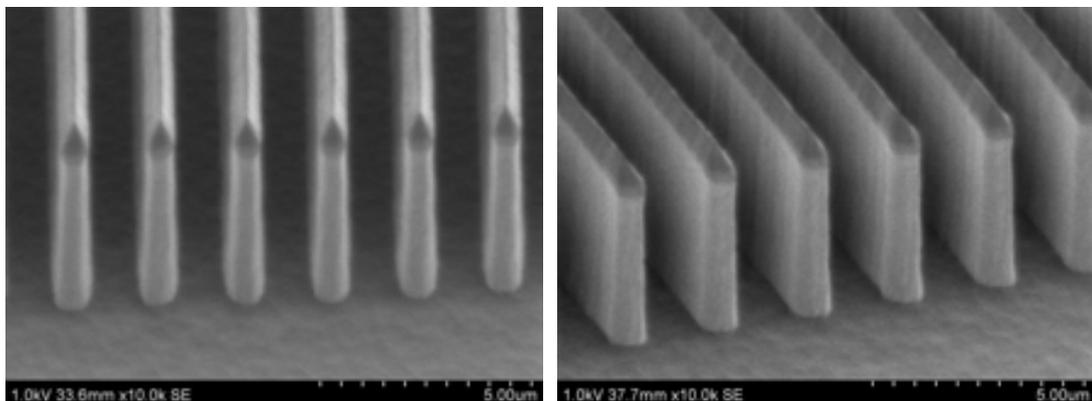


図1 Trapezoid grating のシリコン鋳型の走査型電子顕微鏡写真。サイクルエッチング: 5 µm + イオンミーリング: 355nm。佐々木教授 (豊田工業大学) 提供。

2. RFT grating の開発

2022 年度に硬質樹脂の RFT grating (頂角 38.3°, 20 本/mm) を、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切削加工によって試作した。まず、バリが生じないような加工条件を見出し、その加工条件で本加工 (加工径: 20×35mm) を行った。

自前の回転アーム式の回折効率測定装置によって 630~640 nm の回折効率を測定した。図 2 のように RCWA による数値計算では入射角と回折角が 40° のピーク次数 (102 次近傍) の効率が 84.4%、±1 次の効率が 0.9% と 2.7%、±2 次の効率が 1.3 と 9.9% であった。エシェルグラムの解析に使用される 0 次と ±1 次の効率を合計すると 88.0% である。一方、測定値はピーク次数の効率が 56.5%、±1 次の効率が 4.5 と 10.9%、±2 次の効率が 1.3 と 9.9% であった。ピーク次数の実測値は RCWA の 2/3 程度であるが、0 次と ±1 次の効率を合計すると約 82% であり、RCWA と近い値である。また、0 次と ±1 次、±2 次の効率を合計すると約 92% であることから、試作した RFT grating は散乱等による損失が小さいことが分かった。なお、RCWA と測定値の違いはサンプルサイズが小さく、回折広がりによりピーク近傍の次数に効率が分配されたと考えられる。

研究計画に記載されてるサイズが 50×35mm の RFT grating の試作については、樹脂の Trapezoid grating の開発に予算を振分けたために業者に依頼することができず、理研においてはマシンタイムと人工不足のため、実施できなかった。なお、業者に依頼した場合の見積価格は税込 1,144,000 円であった。

3. レーザ干渉露光

研究計画に記載されてるレーザ干渉露光によるフォトレジストのパターンニングおよび、感光性樹脂の VB grating の加工については、今年度は樹脂の Trapezoid grating の開発に予算を振分け、集中したため、大きな進展がなかった。干渉露光光学系の仮組を行った。

4. 成果報告

- 1) 海老塚 昇, 岡本 隆之, 細島 拓也, 竹田 真宏, 山形 豊, 佐々木 実, 安部 正真, 仲内 悠祐, 佐伯 和人, 西牧 真木夫, 山本 和也, 西尾 幸暢, 磯貝 桂介, 大塚 雅昭, 田中 壱, 東谷 千比呂, 服部 堯, 尾崎 忍夫, 青木 和光, “天文学観測および宇宙探査用の新しい透過型回折格子 III,” 第 28 回 天体スペクトル研究会集録, (2024), in press.
- 2) 海老塚 昇, 岡本 隆之, 細島 拓也, 竹田 真宏, 山形 豊, 佐々木 実, 仲内 悠祐, 佐伯 和人, 西牧 真木夫, 山本 和也, 西尾 幸暢, 岡田真, 田中 壱, 服部 堯, 東谷 千比呂, 尾崎 忍夫, 青木 和光, “次世代天文学および月・惑星探査機の観測装置用の新しい透過型回折格子,” 第 48 回光学シンポジウム予稿集 (2023) p72-77.

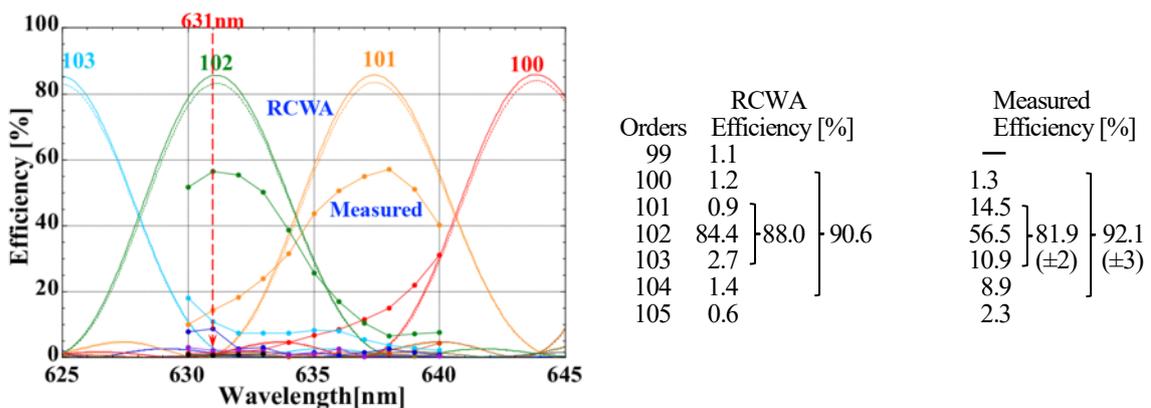


図2 RFT grating の回折効率 (頂角: 38.3°, 格子周期: $\Lambda=50\mu\text{m}$, 入射角: 40°)。右の表は波長 631 nm (左の図の赤の波線) における数値計算 (RCWA) と実測値