

共同研究契約報告書

平成29年4月 日

平成28年6月7日付「高効率高分散回折格子の開発」
研究代表者：先端光学素子開発チーム・研究員・海老塚 昇

上記共同研究契約について、下記のとおり報告いたします。

住 所： 埼玉県和光市広沢2番1号
名 称： 国立研究開発法人理化学研究所
代表者： 外部資金室長 大塚 健一 印

記

1. 成果報告書（別紙のとおり）
2. 使用実績報告書（別紙のとおり）

以上

成 果 報 告 書

1. 研究の実績

(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
Quasi-Bragg grating, VB grating	← VB gratingの試作 →						← VB gratingの試作 →					
	← Quasi-Bragg immersion gratingの試作 →											
液晶VPH grating	← 試作 →						← 樹脂手配 試作 →					
RFT grating, Hybrid grism	← RFT grating 効率計算 →						← Hybrid grism効率測定・計算 →					
	← レプリカ加工実験 →											
	← Hybrid grism金型の試作 →											
Si grism	← 試作(エンドミル) →			← 工具手配 →			← 試作 (フライカット) →					
回折格子測定装置の改造	← モータ交換 →											
	← ソフトウェア改修 →											

(2)研究の成果の説明

1. はじめに

TMT の第一期観測装置である可視光広視野分光撮像装置 WFOS は反射型エシエル回折格子を採用する計画であったが、光学系の仕様変更によって、コーリメータやカメラレンズの口径が当初設計のφ440mm より大きくなることが分った。口径がφ440mm より大きいレンズ用の硝材の入手が極めて困難であり、装置全体も大型化して大幅なコストの上昇が懸念されている。そのためにエシエルタイプの透過型高分散回折格子の開発が求められている。TMT 以外にも E-ELT や CFHT の後継望遠鏡の MSE (Maunakea Spectroscopic Explorer) 等にも、いくつかの可視光線の観測装置が提案されており、それらはサイズが 400×600~600×900 [mm]程度の透過型エシエルタイプ回折格子を使用する計画である。

エシエル分光法とは広い波長範囲を同時に計測するために高次の高分散回折格子と垂直分散素子としてプリズムあるいは1次の回折格子を組み合わせることで2次元検出器上にスペクトルを折り込む分光法である。透過型回折格子はコーリメータやカメラレンズの近傍に置くことができるためにコーリメータやカメラレンズの口径を小さくすることが可能である。従来のノコギリ歯形状の表面刻線型 (SR: surface relief) grating は、透過型の場合に回折角が大きくなるのに従い、臨界角による制限のために、格子の屈折率を大きくしなければならない。例えば、入射角および回折角が45°の場合に格子の屈折率が2.3以上必要であり、光学ガラスや樹脂等を利用できない。一方、屈折率が正弦波状に変調された Volume phase holographic (VPH) grating は1次回折光のSあるいはP偏光に対して最大100%の回折効率を達成可能であり、表面刻線型回折格子に対して数倍の大きな角度分散を達成できるために、8.2m ずばる望遠鏡をはじめ多くの天文学観測装置に搭載されている。しかし、VPH grating はSとP偏光の分光回折効率特性が異なるために、角度分散が大きくなると自然偏光等に対して高い効率を達成できなくなる上、高次回折光の効率が低く、エシエルタイプ分光器には不向きである。我々は TMT 戦略基礎開発経費等の支援を受けてエシエルタイプの透過型回折格子として Reflector facet transmission (RFT) grating や Quasi-Bragg (QB) grating, Volume binary (VB) grating を開発している。また、RFT grating のプロトタイプとして MOIRCS 用に高屈折率プリズムと格子が鋭角な SR grating を組み合わせた Hybrid grism や Birefringence VPH grating、QB immersion grating、シリコン Immersion grating 等を開発している。

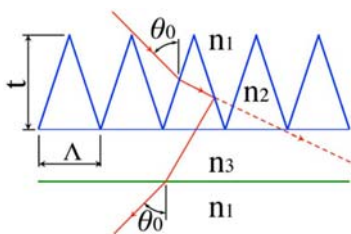


図1 Reflector facet transmission おける入射光線の経路。

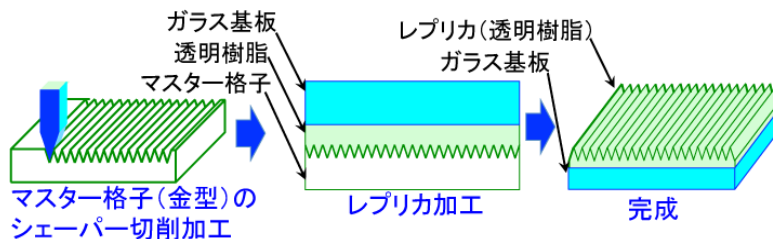


図2 図3 RFT grating およびハイブリッド・グリズム用 SR grating の加工方法。

2. Reflector facet transmission grating および Hybrid grism の開発

我々は図1のようにノコギリ歯形状の格子の一方の面から入射した光束が、もう一方の面で反射して格子の裏面の平面から回折光が出射する Reflector facet transmission (RFT) grating (特願 2016-072715, PTC/JP2017/13798) を考案した。RFT grating は格子において内部反射を利用して回折光を強める方向に光束を導くために格子の屈折率が小さくても大きな回折角にも対応することができる。

WFOS は5~8次あるいは8~13次の高次の高分散回折格子とプリズムまたは低分散回折格子を組み合わせさせて2次元検出器上にスペクトルを折り込むエシエル分光観測を行う。WFOS用の透過型エシエル回折格子を想定して、格子の屈折率が1.54、入射角および回折角が45°のRFT gratingについて、理研の岡本 専任研究員に依頼して、厳密結合波解析(RCWA)法を用いた数値計算によって回折効率を求めた結果、4次以上の高次回折光において80%程度の回折効率を達成できることがわかった。その場合の格子の頂角は38.3°である。

RFT gratingの製作方法として図2のような工程が考えられる。まず、刃先を格子形状と同じ角度の単結晶ダイヤモンドバイトを超精密加工装置に取り付けて無電解メッキのニッケル・リン合金のワークピースをシェーパー切削加工によって金型を製作する。金型に離型材を塗布して紫外線硬化型等の樹脂を滴下した後に平行平面基板を置き、基板側から紫外線露光を行ない、金型を剥離することによって完成する。しかし、WFOS用のRFT gratingは格子の頂角が35~44°と小さいため、金型やレプリカ加工の工程において困難が予想される。そこで我々は、8.2mすばる望遠鏡の赤外線観測装置MOIRCSの中分散グリズム(直視回折格子)用の透過型回折格子(格子の頂角が60°程度)を試作して、WFOSのRFT gratingを製作する場合の問題点を明らかにすることになった。

MOIRCS用の中分散グリズム(R1300グリズム)はKRS-5というTlBrとTlClの柔らかい混晶のプリズムにルーリングエンジンによって格子が直接刻線されたグリズムである。しかし、R1300グリズムは当初から回折効率が20~40%程度と低く、300Kから80Kの間のヒートサイクルを繰り返しているうちに表面に細かいクラックが発生してしまいさらに効率が低下してしまった。そのため図3のようなZnSeプリズム($n=2.45@1.65\mu\text{m}$, 頂角: $\alpha=23.8^\circ$)にレプリカ($n=1.52@1.65\mu\text{m}$)のSR gratingを組合せたハイブリッド・グリズムを開発することになった。このハイブリッド・グリズムは格子間隔が

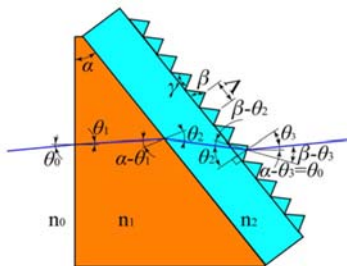


図3 ハイブリッド・グリズムの概念図。

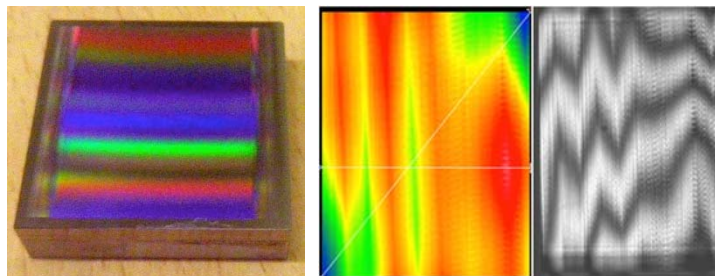


図4 ハイブリッド・グリズムのレプリカ実験用金型(サイズ: 50x50、左)と金型の波面、PV:0.89λ, RMS: 0.13λ(右)。

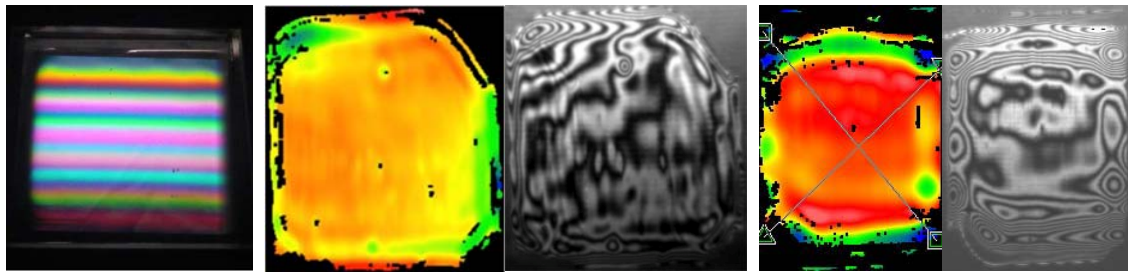


図5 ハイブリッド・グリズムのレプリカ(左)と1回目と2回目のレプリカの透過波面(中央と右)。

10.8 μm 、格子の頂角が $\gamma = 60^\circ$ 程度の鋭角になる。現在、我々チームの細島 研究員と竹田 技術員が、超精密加工装置に単結晶ダイヤモンドバイトを取り付けてシェーパー加工によって50 \times 50のレプリカ実験用の金型を試作した。図4は試作したハイブリッド・グリズムのレプリカ実験用金型とその回折光の波面である。波面精度はRMS: $\lambda/8@633\text{nm}$ 程度であり、可視光用の反射型回折格子用としても実用的な値である。ハイブリッド・グリズムは使用波長が0.8 μm 以上であり、透過型(反射型の1/4程度の精度)なのでこの金型は仕様を充分満足する。

次に大日本印刷社に依頼して、試作した金型を使用し、レプリカの加工実験を5回行った。1回目の試作品は透過波面精度が比較的良かった(図5中央、主面中央 $\phi 35$ においてPV=1.53 λ , 0.2 $\lambda\text{rms}@633\text{nm}$)が、スクラッチテストでは剥離が生じてしまった。2回目と3回目は透過波面がPV=2.6~4.2 λ , 0.3~0.5 $\lambda\text{rms}@633\text{nm}$ であり、外周部の波面が大きく乱れてしまった(図5右)。4回目は硬化収縮による変形を少なくするために中間型(フッ素系樹脂)を厚くしてレプリカ加工を行った結果、透過波面は比較的良かった(同、PV=1.2 λ , 0.13 $\lambda\text{rms}@633\text{nm}$)が、面積の数%に測定不能な大きな波面の乱れがあり、周辺が大きく剥離してしまった。1~4回目まではUV硬化型樹脂を使用した。5回目は硬化収縮が小さいシリカを混入した2液性の樹脂を使用した。しかし、カップリング剤を使用したにもかかわらず、大部分がガラス基板から剥離してしまった。大日本印刷社のレプリカ(ナノインプリント)加工において中間型としてフッ素系の樹脂を使用するが、中間型が薄い場合には樹脂の硬化収縮によって変形してしまい、厚い場合には硬化する樹脂に圧力がかからず、部分的に樹脂層が薄くなってしまふと考えられる。厚い樹脂によるレプリカ加工工程の改善を検討することになった。また、回折格子製造メーカーにもレプリカ加工を依頼する予定である。

1回目のレプリカ試作品について、回折効率を測定した結果、ピークの効率が45~50%程度であった(図6左)。RCWAを用いた数値計算(岡本 専任研究員)によって効率の分光特性を調べたところ波

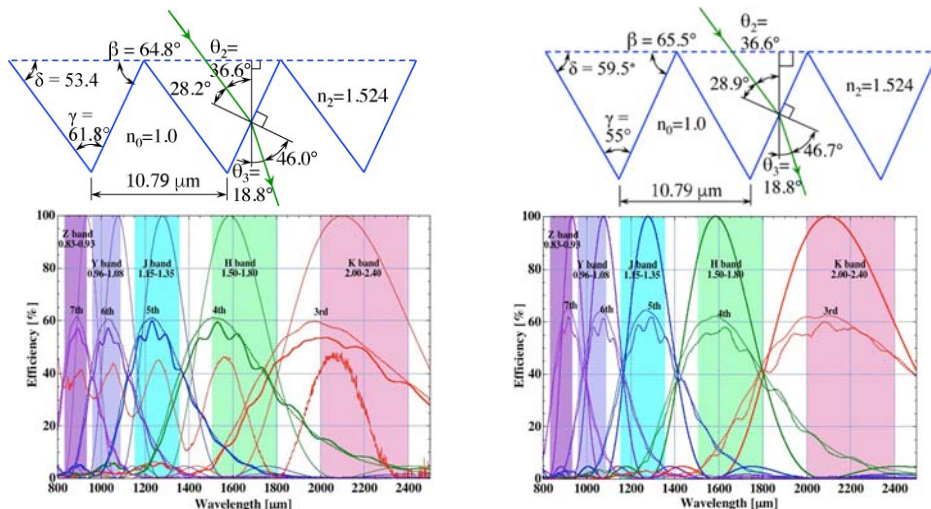


図6 幾何光学で設計された格子形状($\beta=64.8^\circ, \gamma=61.8^\circ, \theta_2=36.6^\circ$)のMOIRCS hybrid grismの回折効率(左)。波長帯域と回折効率を最適化した格子形状($\beta = 64.8^\circ \rightarrow 65.5^\circ, \gamma = 61.8^\circ \rightarrow 55.0^\circ, \theta_2 = 36.6^\circ$)の回折効率(右)

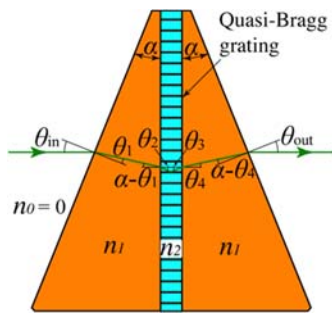


図7 QB グリズムの概念図。

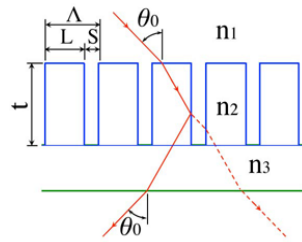
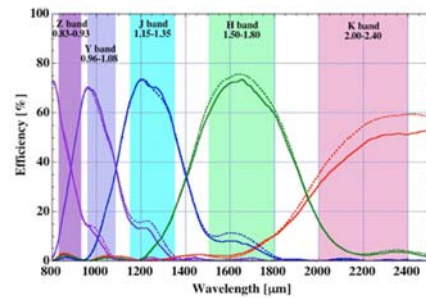


図8 VB grating の概念図 (左) および、MOIRCS のエシエル・グリズム用 VB grating の回折効率 (右、 $\theta_0=28.4^\circ$, $n_1=1.33$, $n_2=n_3=1.6$, $\Lambda=5.1 \mu\text{m}$, $L\&S=4.6:0.5 [\mu\text{m}]$, $t=16 \mu\text{m}$)。



長帯域がシフトしているために回折効率が低下していることがわかった。そこで、光束が出射する斜面の角度 (β) や格子の頂角 (γ) を変化させて効率の分光特性を調べたところ、図6右上のような格子形状 ($\beta=65.5^\circ$, $\gamma=55.0^\circ$) の場合に波長帯域と回折効率が最適であることがわかった。

3. Quasi-Bragg grating および Volume Binary grating の開発。

Quasi-Bragg (QB) grating は短冊状の金属膜あるいは低屈折率層がミラー面としてブラインドや鏡窓のように等間隔に整列した、新しい構造の透過型回折格子である。QB grating は RFT grating と同様に高次回折光において高い回折効率を達成できることが RCWA 法を用いた数値計算によって確認されている。図7のような QB グリズム (直視回折格子) は VPH グリズムと同様に、2 個のプリズムで QB grating を挟む構造にすることにより、高屈折率プリズムと回折格子の界面における臨界角の制限が緩やかであるために、高分散分光用に適しており、実用化されれば TMT 等の撮像観測装置用に有望な分散光学素子となる。まずは、nu-MOIRCS 用の高分散グリズムを開発することになった。

ULTIMATE Subaru の第一期観測装置として、nu-MOIRCS が予定されている。ULTIMATE Subaru は、すばる望遠鏡に新しい Ground layer adaptive optics (GLAO) を取り付け、広い視野において大気揺らぎによる波面誤差を補正して星像のサイズを小さくすることによって限界等級と空間分解能を向上させる計画である。nu-MOIRCS に搭載されるエシエル・グリズムは 3~6 次回折光のスペクトルを、垂直分散光学素子としての直視プリズムと組み合わせて、検出器上に折り込むことによって、0.8~1.8 μm の広い波長範囲を同時に高分散分光観測ができるようになり、その性能向上の鍵となる。

2015 年度までに東北大学との共同研究により金の常温接合によるミラー基板を積層する技術を確立した。さらにミラー基板のミラー面と反対の面をエッチングしてエンボスを形成させてスペーサとしたミラー基板を積層する技術を確立した。今年度前半までに積層されたミラー基板を積層して切断、研磨により QB grating の製作法の開発を完了した。しかし、ミラー基板の積層法では nu-MOIRCS の高分散グリズム用の透過型回折格子を製作することが困難である。

我々は RCWA 法を用いた数値計算によって、図8左のような QB grating のミラー面として低屈折率の媒質による全反射を利用する、すなわち QB grating として機能する高アスペクト比の Volume binary (VB) grating によって、高い回折効率を達成できることを見出し、開発することになった。図8右は nu-MOIRCS のエシエル・グリズム用の VB grating の回折効率である。

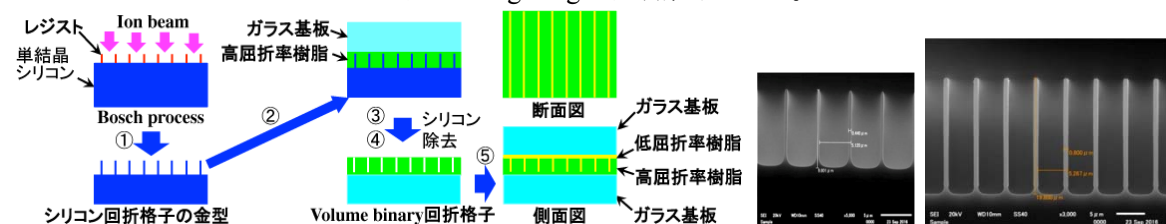


図9 高アスペクト比の VB grating の製作方法 (左) とサイクルエッチングにより加工された高アス

ペクト比のVB回折格子用のシリコン金型（格子周期 $\Lambda=5.1\mu\text{m}$ ）。中：高さ $t=10\mu\text{m}$ 、幅 $s=0.44\mu\text{m}$ 。
右： $t=20\mu\text{m}$ 、 $s=0.80\mu\text{m}$ 。

当初は図9左に示すような工程によってVB gratingを加工することを計画していた。そこで、豊田工業大学のナノテクノロジープラットフォームに技術代行を依頼して、まずはシリコンの高アスペクト比の金型の製作方法を開発することになった。これまでの試作により、サイクルエッチングの工程（Bosch process）においてエッチングガスおよびPassivation（側壁保護）ガスに酸素を僅かに入れ、クリーニングしながらエッチングと側壁保護を行い、かつエッチング量を少なくすることで、溝側面のスキヤロップ（エッチングサイクル毎に形成される凹凸）を40nm程度まで減らすことに成功した。さらに酸化処理によってシリコンの表面に厚さ約 $1\mu\text{m}$ の酸化膜を形成させた後、酸化膜のエッチングを行うと、シリコンの表面から酸素が拡散して酸化されている部分の壁面の両側が約400nmずつ除去される。この工程を数回繰り返すことによって、可視光においても散乱が少ない極めて滑らかな光学面を得ることができた。具体的にはLine & Spaceが $2.0\mu\text{m} : 3.1\mu\text{m}$ のマスクを用いてシリコン基板上にレジストを形成し、サイクルエッチングによって深さ $10\mu\text{m}$ と $20\mu\text{m}$ の溝を形成して、厚さ約 $1\mu\text{m}$ の酸化膜形成と除去を2回行った。その結果、図9中と右のように、それぞれ幅 $0.44\mu\text{m}$ と $0.8\mu\text{m}$ の壁面が極めて滑らかな格子が得られている。

図9左の工程においてシリコンの金型を除去することが困難であるために、検討の結果、シリコンを酸化して石英の格子とすることになった（特許出願予定）。しかし、図9中と右のシリコンの高アスペクト格子を酸化させたところ、格子がうねってしまった。その理由として酸化処理の1400Kから常温の300Kに戻す際に、線膨張係数が異なるために基板のシリコンが格子の石英より大きく収縮したためであると考えられる。その解決策として来年度には石英基板に多結晶石英を $20\sim 30\mu\text{m}$ 程度積層させた複合基板を使用した実験を計画している。

4. VPH grating および液晶のVPH gratingの開発

FOCASやMOIRCS用のVPH grismに使用した日本ペイント製のホログラム用感光性樹脂が10年ほど前に製造中止になり、入手できなくなった。他社製品を調べたところ、液体状での販売はされておらず、シート状で最低ロット（ $1\times 30\text{m}$ のロール3本）の価格が300万円程度であることがわかった。VPH gratingの試作には種類ごとに記録層の厚さを変える必要があるために、シート状の記録材料の場合には何種類も用意する必要があり、現実的には使用不可能である。そのため、市販の樹脂を混合してホログラム記録材料として利用できるか調査することになった。また、Birefringence VPH gratingは、ホログラム記録材料として液晶等の光学異方性媒質と等方生媒質、あるいは2種類の光学異方性媒質を組み合わせ、任意のブラッグ角において光学異方性媒質と等方生媒質の屈折率を調整してS偏光とP偏光の1次回折光の回折効率特性を一致させることによって、自然偏光や円偏光に対しても高い回折効率を達成できるようになる。

まずは3種類の紫外線（UV）硬化型の液晶をそれぞれ通常の液晶（1種類）と混合して、紫外線レーザー（ 325nm ）の二光束干渉計を用いた干渉露光によって厚さ $3\mu\text{m}$ のBirefringence VPH gratingの試作を行った。その結果、いずれの組み合わせでも回折光を観察することができた。3種類のうち最も回折効率が高いUV硬化型の液晶（ $n_o=1.55$, $n_e=1.72$ ）と通常の液晶（ $n_o=1.5$, $n_e=1.65$ ）について厚さ 10 と $20\mu\text{m}$ のBirefringence VPH grating（ $2,240\text{groove}/\text{mm}$ ）の試作した結果、厚さ $10\mu\text{m}$ の場合に図10左のように波長 450nm においてS偏光の回折効率が最大67%（P偏光は最大27%）を達成した。

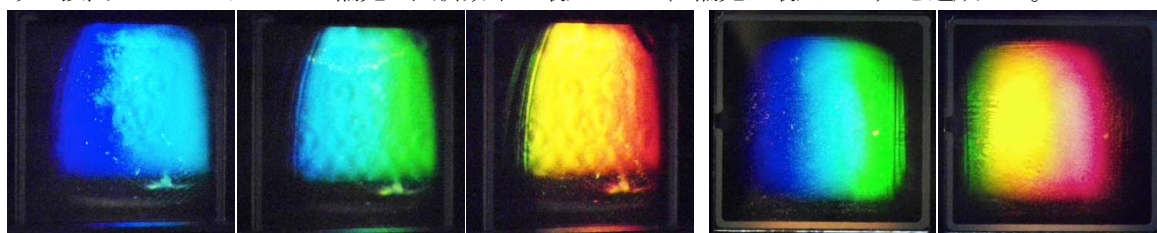


図10 液晶VPH gratingの回折光。左3枚：UV硬化型の液晶+通常の液晶（2,240groove/mm）。右2枚：可視光硬化型樹脂+UV硬化型液晶616 groove/mm）。

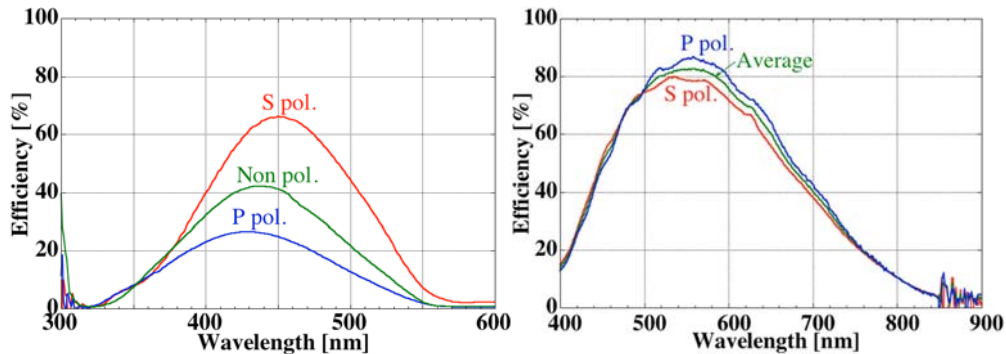


図10 液晶VPH gratingの回折効率。左：UV硬化型の液晶+通常の液晶。右：可視光硬化型樹脂+UV硬化型液晶

次に、可視光硬化型樹脂 ($n=1.51$) と UV 硬化型液晶 ($n_o=1.55, n_e=1.72$) を混合して、可視光レーザー (532nm) 二光束干渉計を用いた干渉露光によって厚さ 10 と 20 μm の Birefringence VPH grating (616 groove/mm) を試作した結果、厚さ 20 μm の場合に図 10 右のように回折効率は 80%程度を達成した。しかし、液晶が完全に配向している場合には、S と P 偏光のピーク波長が大きく異なるところ、S と P 偏光の効率特性がほぼ同じであることから、液晶の多くが配向していないと推察される。すなわち、液晶が $n=1.63$ 程度 (常光と異常光屈折率の自乗平均) の媒質として振舞っていると考えられる。

さらに、可視光硬化型樹脂 ($n=1.51$ 、エポキシ系) と 2 種類の UV 硬化型樹脂 ($n=1.4$ と 1.72、いずれもアクリル系) を混合して、可視光の干渉露光によって厚さ 10 と 20 μm の VPH grating (616 groove/mm) を試作した。その結果、 $n=1.4$ の UV 硬化型樹脂との組み合わせでは回折格子が形成されなかった。一方、 $n=1.72$ の UV 硬化型樹脂との組み合わせでは回折光が観察された。試作した VPH grism はサイズが小さい (20 \times 20) 上、回折効率のバラツキが大きいため、効率測定は行われていない。2017 年度により大きなサイズの VPH grating を試作して回折効率や耐環境性能等の評価を行う予定である。

5. QB immersion grating の開発

金の常温接合により厚さ 0.5mm の石英基板 60 枚を積層したブロックを 30 度傾けて切断した QB grating をリトロプリズム (60°, 30°の直角三角形) および表面反射ミラーと貼り合わせて QB immersion grating を試作した (図 11 左と中央)。リトロマウントの (入射光と回折光の角度が小さい) 分光光学系を組み、He-Ne レーザを光源として回折像を観察した。その結果、図 11 右のように、ピンホールの点像が回折次数の間隔より大きく、次数の分離ができなかったものの、回折高強度が集中 (ブレース) しており、Immersion grating としての機能を検証することができた。

基板の積層により可視光～近赤外線用の QB immersion grating を製作するのは困難であるが、中間赤外線や遠赤外線用にシリコンやゲルマニウムの QB immersion grating を製作するのは比較的容易であり、切削や研削により素材に直接階段状格子を形成する方法と比べて高い効率を達成できる可能性がある。

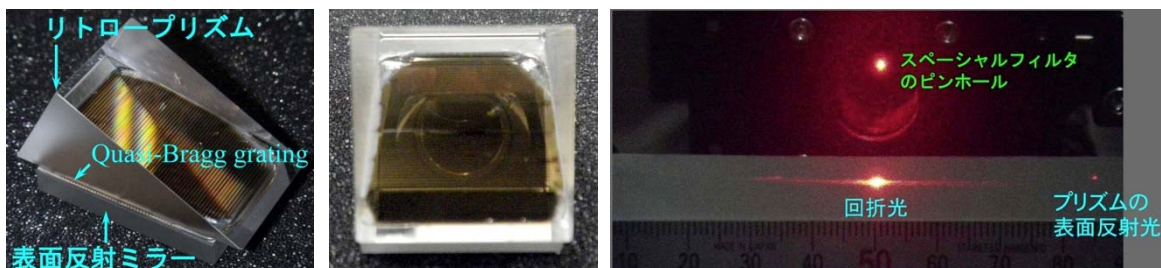


図 11 試作した QB immersion grating (左) とリトロプリズムの正方形の面から観察した QB grating によるカメラレンズの回折光 (中央)、QB immersion grating の回折像 (右)。

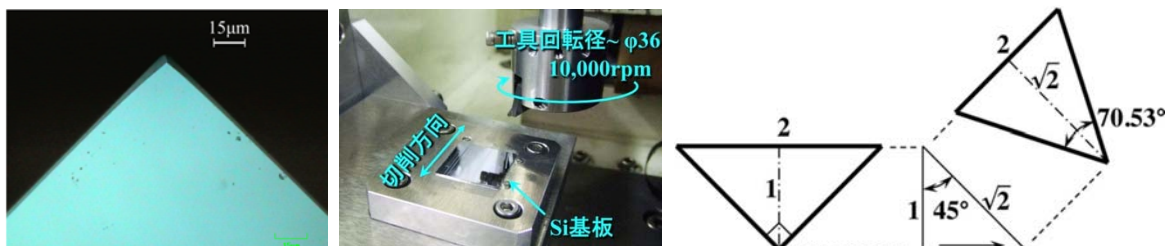


図 12 シリコンの溝加工後の工具の刃先 (左) と試験加工の様子 (中央)、負のすくい角の工具の先端角の説明図 (右)。

6. Si grism (Immersion grating) の開発

近赤外線用 Immersion grating のプロトタイプとして、2015 年度より TAO 望遠鏡の MIMIZUKU 用のシリコン grism の開発を行うことになった。昨年度には 60 枚刃の単結晶ダイヤモンド・エンドミルによってシリコン基板に V 溝加工を行った。その結果、エンドミルの側面と底面とのエッジ部分によって切削加工された面は比較的滑らかであるが、側面の歯の部分によって切削加工された面には脆性破壊が見られた。その原因として歯の稜部が曲面になっているために加工層を除去できず、押し潰しているためではないかと考えられる。改善策として、側面を研磨して歯の稜部に鈍角 (負のすくい角 : 脆性材料の切削加工に有効) のエッジを設けることが可能であるか検討したが、新しい工具を製作する場合と同等以上のコストがかかることがわかった。そのため、ゲルマニウムや CdZnTe 等の Immersion grating の製作に実績があるフライカットの工具 (負のすくい角の単結晶ダイヤモンドバイト) を採用することになった。

2016 年度末より、山形チームリーダーと竹田 技術員によって面取り付きのバイト (図 12 左) を用いて単結晶シリコン基板にフライカットの条件出しを行っている (図 12 中央)。現時点 (4/11) において、加工面が延性モード切削になり、図 14 左のように工具の刃先も磨耗や欠損等は見られない切削条件を見出した。今後、刃物自体が 45° のすくい角になるように取り付けるための、刃先角が 70.5° の工具 (図 12 右) を用いた場合の加工条件を調査した後に、実機用のシリコン・プリズムに V 溝加工を行う予定である。

7. 論文・学会発表・特許

1) 査読論文

- N. Ebizuka, et al., "Diffraction Gratings for the Latest Visible and Infrared Astronomical Observations", J. Jpn. Soc. Infrared Sci. & Tech. (日本赤外線学会誌), 26 (2), 32-39, (2017)
- N. Ebizuka, et al., "Novel diffraction gratings for next generation Spectrographs with high spectral dispersion", Proc. SPIE, 9912, 2Z1-2Z10, (2016)

2) 国際会議口頭発表

- N. Ebizuka, et al., "New Grisms for MOIRCS", ULTIMATE Subaru Sci. WS, 国立天文台 (三鷹), 2016 年 6 月 16, 17 日

3) 国際会議ポスター発表

- N. Ebizuka, et al. "Current Status of Novel Gratings for Next Generation Astronomical Instruments III", Subaru Users' Meeting FY2015, 国立天文台 (三鷹), 2017 年 1 月 19-21 日
- N. Ebizuka, et al., "Novel diffraction gratings for next generation Spectrographs with high spectral dispersion", SPIE Astronomical Telescope + Instrumentation, Edinburgh, UK, 26 June - 1 July 2016.

4) 国内会議口頭発表

- ・海老塚 昇 他, “次世代天文学観測装置用の新しい回折格子 IV”, 第6回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ, 国立天文台 (三鷹) 2016年11月24-25日
- ・海老塚 昇 他, “次世代天文学観測装置用の新しい高分散回折格子 II”, 第41回光学シンポジウム, 東京大学生産技術研究所, 2016年6月23, 24日
- ・海老塚 昇, “究極的な高分散透過型回折格子”, 新技術説明会, JST 東京本部別館ホール, 2016年5月31日

5) 国内会議ポスター発表

- ・海老塚 昇 他, “次世代観測装置用の新しい回折格子の開発状況”, 木曾広視野サーベイと京都 3.8m 即時分光によるタイムドメイン天文学の推進, 京都大学 2017年2月20-22日
- ・海老塚 昇 他, “8.2m すばる望遠鏡および次世代 30m 望遠鏡: TMT 用の新しい高分散回折格子 3”, 理研シンポジウム: 第4回 「光量子工学研究 —若手・中堅研究者から見た光量子工学の展開—», 理研鈴木梅太郎ホール, 2016年10月31日-11月1日
- ・海老塚 昇 他, “ファイバ分光器、平面導波路用の新しい回折格子”, コンテンポラリーオプティクス研究会, 電気通信大学, 2016年10月5日
- ・海老塚 昇 他, “次世代観測装置用の新しい回折格子 II”, 2016年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「共同利用と大規模観測の調和」, 国立天文台 (三鷹), 2016年9月26-28日

6) 特許

- ・PTC/JP2017/13798, 海老塚 昇, 岡本 隆之, 細島 拓也, 山形 豊, 尾崎 忍, “透過型回折格子、光導波路、ならびに透過型回折格子の使用方法および設計方法”, 2017年3月31日出願 (特願2016-072715)

使用実績報告書

1. 総括表

区分	費目	予算額 (円)	決算額 (円)	研究費の 充当額 (円)	備考
支出	設備備品費	800,000	0	0	レプリカ加工が当初の 予定より多くなったため、 予算計上したAFMは理研の 予算にて購入。
	消耗品費	1,300,000	3,111,558	3,111,558	
	その他の経費	1,900,000	887,825	887,825	
	合計	4,000,000	3,999,383	3,999,383	
収入	研究費の額	4,000,000	3,999,383		
	自己調達額	0	0		
	その他	0	0		
	合計	4,000,000	3,999,383		

2. 決算費目別内訳

(A) 支出

a 設備備品費

種別	仕様	数量	単価 (円)	金額 (円)	発注年月日	検収年月日	支払年月日	備考
別添のとおり								
計								

b 消耗品費

種別	仕様	数量	単価 (円)	金額 (円)	支払年月日	備考
別添のとおり						
計						

c その他の経費

種別	摘要	数量	単価 (円)	金額 (円)	発注年月日	検収年月日	支払年月日	備考
別添のとおり								
計								

(B) 収入

種別	摘要	金額 (円)	備考
研究費の額	国立天文台からの振込	4,000,000	
自己調達額		0	
その他		0	

計		4,000,000	
---	--	-----------	--

(注) 共同研究の実施に際し、収入を得た場合や取引相手先からの納入遅延金が発生した場合には、収入の欄におけるその他に計上すること。

