

## すばる望遠鏡観測装置用分散素子の開発

=深い格子のグリズムおよびImmersion Gratingの製作法=

文部省国立天文台 海老塚 昇・家 正則・佐々木 敏由紀  
東海大学 若木 守明

### 緒言

CCD等の半導体素子技術の進歩に伴い、紫外線から赤外線領域の大フォーマット量子型撮像検出器（固体撮像素子）を用いた新しい天文観測用撮像装置や分光装置が次々と開発され、多数の大きな成果をあげている。固体撮像素子は写真乳剤や熱検出器等の撮像素子と比較して量子効率が高く、その出現により望遠鏡の口径を何倍も大きくすることに匹敵するような暗い天体を観測することが可能になった。最近は4,000×2,000画素のCCD検出器等も製品化され、撮像観測装置により広い天域を短時間で観測することができる。一方、分光観測装置は検出器の大フォーマット化に伴い、暗い天体をより高い波長分解能 ( $R = \lambda / \Delta \lambda$ ) で同時により広い波長帯域を観測することができるようになり、その分散素子に求められる性能はより一層厳しくなった。

分光学においてはフーリエ分光法やレーザ分光法等の新しい高分解能分光法が次々と開発されている。しかし、天文学においては限界等級(SN比に依存)等の利点により、依然として回折格子が最も重要な分散素子である。回折格子の性能は分光観測装置の命であると言っても過言ではない。これまで天文学者の要求に応え、様々なグリズムやImmersion Grating等の新しい回

折格子が開発されている（図1）。しかし、現行の回折格子製作法は8.2mすばる望遠鏡等の次世代8~10mクラス望遠鏡用観測装置の分散素子に求められる性能を必ずしも満足することができなくなりつつある。特に可視光線 (0.3~1.0 μm<sup>(注1)</sup>)、近赤外線 (1.0~5.0 μm<sup>(注1)</sup>) 用の高分散グリズム（図1(b)）や中間赤外線 (5.0~30 μm) 用のImmersion grating（図1(c)）を製作するための新たな技術開発が必要とされている。新しい回折格子の開発において半導体等、微細加工において優れた設備、生産技術を有する日本の貢献が世界的に期待されている。

### 1. グリズムおよびImmersion gratingの原理および特徴

#### (1) グリズム

グリズムとは任意の次数、任意の波長を直進させるようにプリズムの斜面に回折格子が刻まれた分散素子のことである（図2）。撮像観測装置の平行光束部分（瞳絞りや干渉フィルタ等を置くために必要）にグリズムを組み込むことにより、簡単に分光観測を行うことができるようになる。さらに、エ

注1：天文学の場合、人の目の可視領域ではなく、一般的にSi検出器の感度領域を指して可視光線と呼ばれている。同様に1.0 μmより長波長側のInSb検出器感度領域は近赤外線と呼ばれている。

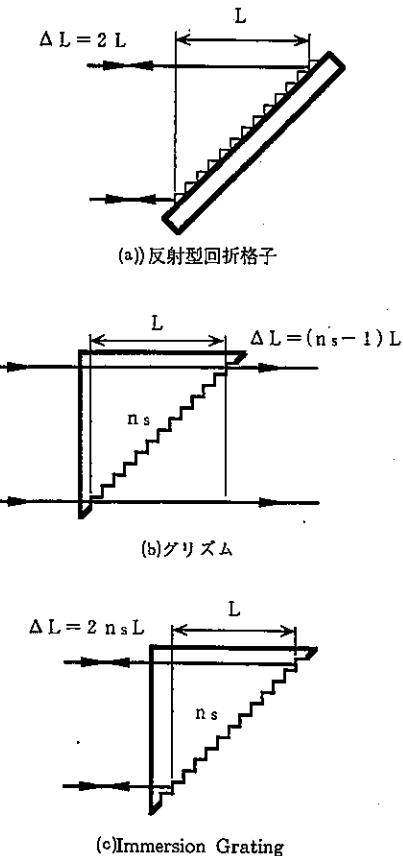


図1 各種回折格子 (ΔLは上光線と下光線の光路差。分散素子の理想分解能はΔLに比例する)

シェル(Echelle)タイプと呼ばれる高次回折光を利用した高分散グリズムおよび次数分離用垂直分散素子(Cross-disperser)として1次回折光の低分散グリズムあるいは直視プリズムを組み合わせ、一度に広い波長範囲を高い波長分解能で観測することができる（図

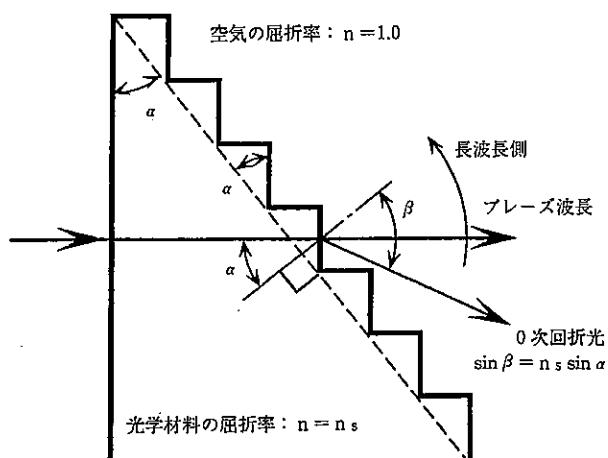


図2 グリズムの原理

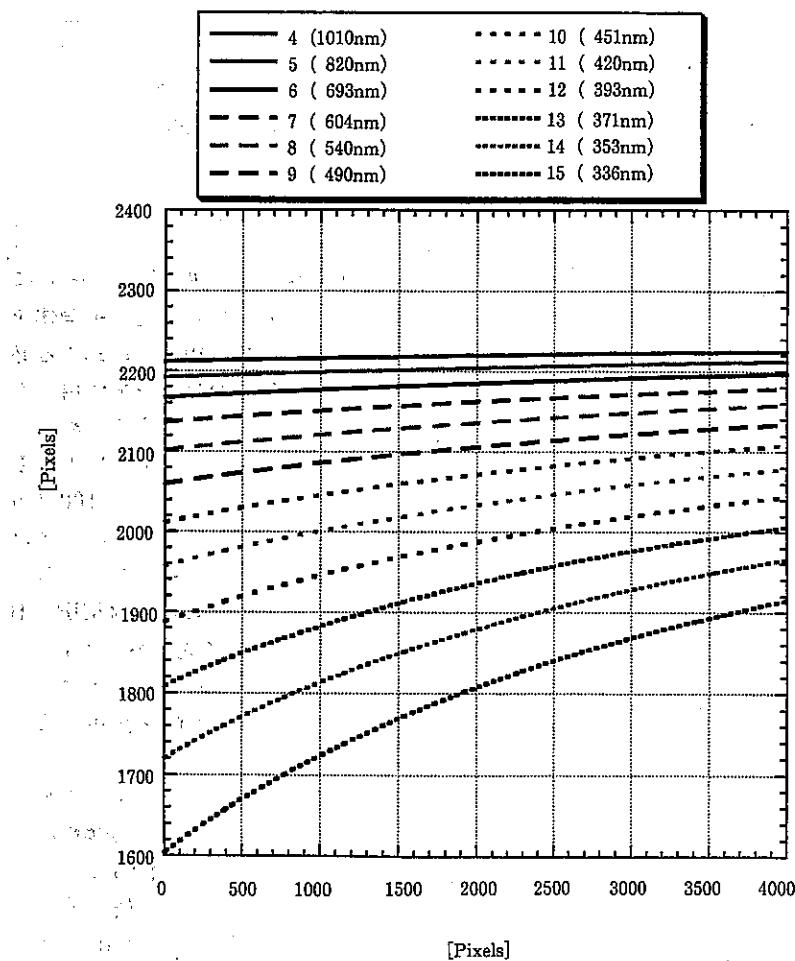


図3 FOCAS超高分散グリズムと直視プリズム（クロスディスパーザ）を組み合わせた時の検出器（4,000×4,000画素CCD）上におけるスペクトル分布（エシェルフォーマット、縦軸拡大）

3)。

グリズムを用いた低～中分散 ( $R=$ 数百～数千) 分光観測装置は性能が同

等な反射型回折格子（図1(a)）を用いた観測装置よりも一般に小型でかつ光学素子の点数を少なくすることが可能

であるために、重量や寸法に制限がある観測装置において広く利用されている。

### (2) Immersion grating

Immersion gratingとは光路を透明媒質で満たした反射型回折格子のことである（図1(c)）。同一形状のImmersion gratingは媒質の屈折率に比例した角度分散が得られる。例えばゲルマニウムは1.6～20 μmにおいて屈折率が約4.0なので真空中に置かれた同一形状の反射型回折格子に対して4倍の角度分散を得ることができる。また、同じ角度分散を得るために $\frac{1}{4}$ のサイズで済む。

## 2. すばる望遠鏡観測装置用グリズムおよびImmersion grating

国立天文台は2000年の春に完成を目指してアメリカ合衆国ハワイ州のハワイ島マウナケア山頂に口径8.2mのすばる望遠鏡を建設している<sup>(1)</sup>。すばる望遠鏡の第一期観測装置として可視光線から中間赤外線において様々な天文観測を行うため、表1のような7台の観測装置が開発されている<sup>(2)</sup>。

表1に示されているようにFOCAS、CIAO、IRCS撮像モードおよびOHSの分散素子としてグリズムが用いられる。また、将来的にIRCSは分光モードにシリコンImmersion Gratingを組み込むことを予定している。さらに第二期観測装置の候補である中間赤外線高分散分光器（MIR-HDS、仮称）はゲルマニウムImmersion Gratingを採用する計画である。しかし、以下に挙げるグリズムおよびゲルマニウムImmersion Gratingは既存の方法による製作が困難であり、我々はその実現のため新しい回折格子製作法の開発を行っている。

### (1) FOCAS用超高分散およびCIAO分光モード用グリズム

FOCAS用超高分散グリズムはEchelleタイプのグリズムを採用し、直交分散素子として直視プリズム等と組み合わ

表1 すばる望遠鏡第一期観測装置

装置名	略称 (焦点)	検出器 (画素数×個数)	観測波長 [μm]	分散素子の種類	個数	分散素子の使用目的
主焦点広視野 CCDカメラ	Suprime-Cam (主焦点)	Si CCD (4,000×2,000×10)	0.35~1.0			
微光天体分光 撮像観測装置	FOCAS (カセグレン)	Si CCD (4,000×2,000×2)	0.35~1.0	超低分散グリズム 低~高分散グリズム 超高分散グリズム+CD*	1 7** 1	マルチスリットモード用*** ロングスリットモード用 詳細未定
ステラコロナグラフ (+補償光学)	CIAO (カセグレン)	InSb (1,000×1,000×)	0.9~5.2	低、中分散グリズム 高分散グリズム	2 1	撮像モード用 分光モード用
近赤外線分光 撮像装置	IRCS (カセグレン)	InSb (1,000×1,000×2)	0.9~5.2	低~高分散グリズム エシェル格子+CD*	3 1	撮像モード用 分光モード用
中間赤外線冷却分光 撮像観測装置	COMICS (カセグレン)	Si : As (320×240×7)	8.0~22	反射型回折格子	1	分光モード用
可視用高分散分光器	HDS (可視ナスマス)	Si CCD (4,000×2,000×2)	0.3~1.2	エシェル格子 CD*	1 2	赤用、青用
近赤外線OH夜光 除去分光器	OHS (赤外ナスマス)	HgCdTe (1,000×1,000×1)	0.9~2.4	反射型回折格子 低、高分散グリズム	2 各2	OH夜光除去用**** 分光用

\* CD : Cross Disperser (次数分離用垂直分散素子)。

\*\* 低分散用1個、中分散用2個、高分散用4個。

\*\*\* マルチスリットモードとは多数の天体の位置に合わせてスリットを開けたマスクを焦点面に置いて同時に多数の天体のスペクトルを観測するモードのことである。

\*\*\*\* OH夜光とは大気中のOHラジカルの輝線スペクトルのことと、近赤外線に多く現れ、撮像観測や低分散の分光観測において観測限界等級を低下させてしまう。そこで高分散の分光器により一旦、マスクミラー上にスペクトルを結像させ、OH夜光の輝線をマスクで覆い除去した後、再び高分散の分光器に戻して白色の天体像を結像させる。その像を撮像あるいは低分散の分光観測を行う。

せた場合、350nm~1000nmの波長帯を同時にR>10,000の分光観測を行うことができる(図3)。このグリズムは格子の深さが数μmになる。また、ホルダーのサイズ的な制限(□120×110mm)により、屈折率が1.9以上の光学材料を基板として使用する必要がある。現状ではサイズがφ100×100mm程度の素材が入手できる高屈折率の可視用光学材料はニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>: LN, nd=2.30)あるいは硫化亜鉛(ZnS, nd=2.37)に限られる。一方、CIAO分光モード用グリズム<sup>(3)</sup>もホルダーのサイズ等の制限により、屈折率が2.0以上の光学材料に溝の深さが数μmの回折格子を直接加工する必要がある。

高屈折率光学材料を用いた複合型光学素子は接合面の臨界角が問題になる。例えば基板が屈折率2.3、接着剤が屈折率1.5の場合に臨界角は約40°であり、波面に対してそれ以上の角度を持つ接合面には、その接着剤が使用できない。さらに、赤外線天文観測用の光学素子は通常、液体窒素温度近傍で使用されるために素材の膨張率の相違により接

合面が剥離を起こす恐れがあり、光学素子は一体型であることが望ましい。

我々は斜入射イオンビームエッチング法等、既存の回折格子の直接加工法につき実験を行った結果、いずれの場合も溝が深い回折格子については理想形状を得ることが困難であり、新たな回折格子の製作方法を開発する必要があることが分かった。

## (2) MIR-HDS用ゲルマニウム

### Immersion Grating

MIR-HDSは低温(10~100°K)の暗黒星雲にある分子の振動等を観測するために、波長10μmにてR~200,000を達成することを目標に設定している。このような波長分解能を達成するための分散素子は光路差ΔL(図1)が2m以上必要である。一般的の計測では波長10μm近傍においてR~10,000を越えるような測定はフーリエ分光器が多く用いられる。しかし、地上から行う天文観測の場合、フーリエ分光器は熱雑音や大気輻射のゆらぎの影響のために全天で数1,000個程度の明るい天体しか観測できないと見積もられている。

中間赤外線の天文観測装置は輻射による雑音を減らすために光学系全体を真空容器に収めて数10°Kに冷却する必要がある。反射型回折格子を使用した場合、R~200,000を達成するためには回折格子のL(図1)が1m以上必要である。装置全体では巨大(100立方メートル程度)になってしまい、すばる望遠鏡には取り付けられなくなる恐れがある。そのため我々はMIR-HDSの分散素子として光学系のサイズを1/4に縮小することが可能なゲルマニウムのImmersion Gratingを採用することを検討している。

従来、R~200,000を達成するために必要な大きなサイズ(Lが250mm以上)の良質なゲルマニウムを得ることができず、回折格子の加工も困難であった。近年、東京電子冶金社がφ150×100の良質なゲルマニウム結晶を製造することに成功し、2~3年後にはφ300×60~100の良質な結晶も製造できる見通しである。格子の加工方法としてはエキシマレーザによる回折格子製作法が有望である。

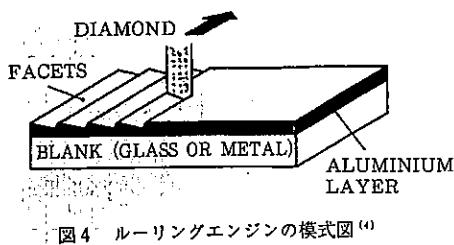


図4 ルーリングエンジンの模式図<sup>(4)</sup>

### 3. 従来の回折格子の加工法

#### (1) ルーリングエンジン

単結晶ダイアモンドツールにより格子の塑性加工を行う、反射型回折格子の最も一般的な製作方法である(図4)。しかし、透過型回折格子の場合はKRS-5(TlBrとTlIの混晶)および一部の樹脂以外のガラスや結晶材料に格子を直接加工することは困難である<sup>(5)</sup>。さらに、この方法は溝が深い(1 μm以上)透過型回折格子の製作が困難である。また、KRS-5は良い面精度が得られない上、内部散乱があるために可視光線用としては効率等の点で問題がある。一方、多くの樹脂は赤外線領域に吸収があり、使用できない。

IRCS撮像モード用グリズムは基板材料としてKRS-5を使用し、この方法にて製作されている。

#### (2) ダイヤモンド切削

NCフライス盤のような超精密ダイヤモンド加工装置を用いて基板に格子を切削(脆性)加工する回折格子製作法である。この方法は比較的深い格子(1 μm以上)加工が可能である。ただし、透過型の場合、樹脂以外の光学材料は直接加工が困難である。詳しくは本特集②('98年4月号掲載予定)の山形氏等(松下電器産業)の記述をご覧いただきたい。

我々はCIAO撮像モード用グリズムをこの方法により製作した。このグリズムは基板材料としてフッ素系赤外線透過樹脂(旭硝子製、サイトップ)を使用し、ナルックス(株)において超精密ダイヤモンド加工装置を用いた格子の直接加工が行われた。このグリズムの

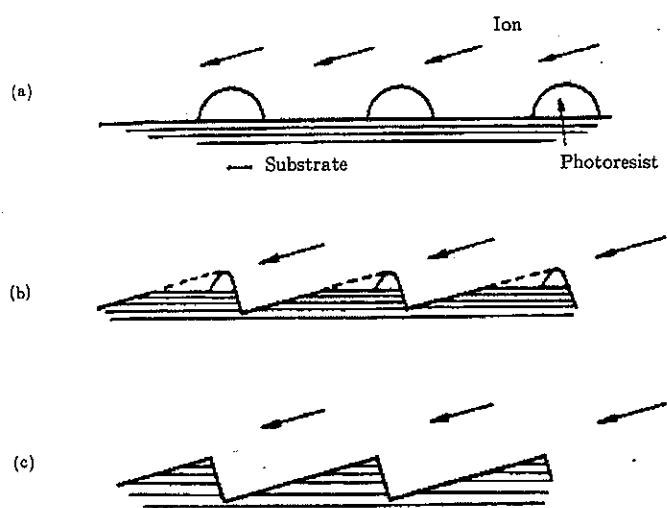


図5 斜入射イオンビームエッティング法<sup>(6)</sup>(基板上にフォトレジストを塗布し、レーザ干渉縞(ホロラム)または電子描画のコンタクトマスクをレジストに露光する。レジストを現像することにより、基板上にレジストの格子を形成する。イオンビームエッティング装置によりドライエッティングを行い、基板に格子を転写する。この時レジストの厚味を調節し、斜めにイオンビームを照射することによりブレーズ格子を得ることができる)

回折効率を測定したところ、2次光(2.4 μm)において約65%、3次光(1.6 μm)および4次光(1.2 μm)において70%という結果が得られた。

#### (3) 斜入射イオンビームエッティング法

ホログラム法あるいはリソグラフにより基板上に作られたレジスト(樹脂)格子をマスクとして、基板に対して斜めにイオンビームエッティングを行うことにより、ブレーズド格子を加工することができる<sup>(6)</sup>。詳しくは本特集②('98年4月号掲載予定)の佐野氏(島津製作所)の記事をご覧いただきたい(図5)。この加工法は基板材料の制約が比較的少なく、ガラスや結晶等の難加工材の加工が可能であるために紫外線および可視域用のグリズムの加工法として普及している。しかし、格子の溝が深い(1 μm以上)場合、塗布できるレジスト厚の制限により、理想的な三角形の格子形状に加工することが困難になる。

FOCAS低~高分散グリズムは基板材料として石英あるいはBK-7を使用し、この方法にて製作する予定である。

佐々木等は岡山天体物理観測所91cm望遠鏡用偏光撮像分光装置(OOPS)のグリズムをこの方法にて製作した<sup>(7)</sup>。

このグリズムは基板材料としてBK-7(nd=1.52)を使用し、頂角が24.42°、格子間隔が2.5 μm(400本/mm)である(図6)。レジストはホログラム法にて加工された。1次光(550nm)の回折効率は約60%であった。

我々はFOCAS超高分散およびCIAO分光モードグリズムの製作法を検討するためにOOPS用高分散グリズムの試作を行った<sup>(8)</sup>。このグリズムは基板材料としてLNを使用し、頂角が23.15°、格子間隔が2.25 μm(444本/mm)であり、可視光は2次光(889本/mm相当)を使用する。レジストはリソグラフにて加工された。塗布できるホトレジストが必要とされる半分程度の厚さであったために格子の深さが浅く、回折効率は1次光(1,100nm)約45%、2次光(580nm)約15%であった。

その解決策として金属をレジストとして垂直入射イオンビームエッティングにより加工された深い矩形格子に斜入射イオンビームエッティングを行うことにより、所望の深さを持つ格子が加工できると考えている。この方法はレジストと基板のエッティングレートが等しく、格子形状の制御が容易になるために、より理想形状に近いブレーズド格

子を加工できると期待される。

#### (4) レプリカ

可視用低～中分散グリズムの最も一般的な加工方法であり（図7）、既製のマスターングレーティングが型として使用できる場合は安価である。ただし、基本的に樹脂を使用するため、 $2.7 \mu\text{m}$ よりも長波長の赤外線用には向きである。

FOCAS用極低分散グリズム、OHS分光用グリズムはこの方法で製作される予定である。

#### (5) 異方性エッティング

結晶材料について、軸方位によりエッティングレートが異なることを利用した回折格子の製作方法である（図8）。この方法により加工された近赤外線用シリコンImmersion Gratingは実用化されている<sup>10)</sup>。しかし、シリコンの場合は格子の頂角が $70^\circ$ であり、グリズム（通常は頂角 $90^\circ$ が理想）として使用すると光量の損失や迷光が生じる。また、現時点入手できるゲルマニウムは結晶欠陥が多く、異方性エッティングによる回折格子の加工は格子形状が乱れてしまうために困難である。

## 4. 新しいグリズムおよびImmersion gratingの加工法

### (1) イオンビームエッティングによるレプリカ回折格子の転写

ルーリングエンジン等により製作されたプレーズド格子の金型を用いて基板上にレプリカ格子をプレスし、イオンビームエッティング法により格子を基板に転写する（図9）。この方法はガラスや結晶等の難加工材に深い格子（ $1 \mu\text{m}$ 以上）の加工を施すことができる期待されている。

我々はFOCAS用超高分散およびCIA O分光モードグリズムの製作法として、この方法の開発を行っている。

### (2) エキシマレーザによるブレーズド回折格子の加工

エキシマレーザを用いたホログラム

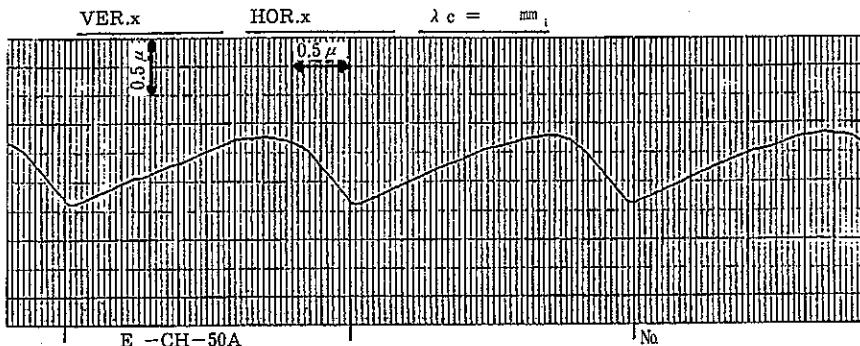


図6 OOPS用グリズムの格子形状<sup>11)</sup>（触針式、スタイラス径 $0.4 \mu\text{m}$ にて測定（島津製作所））

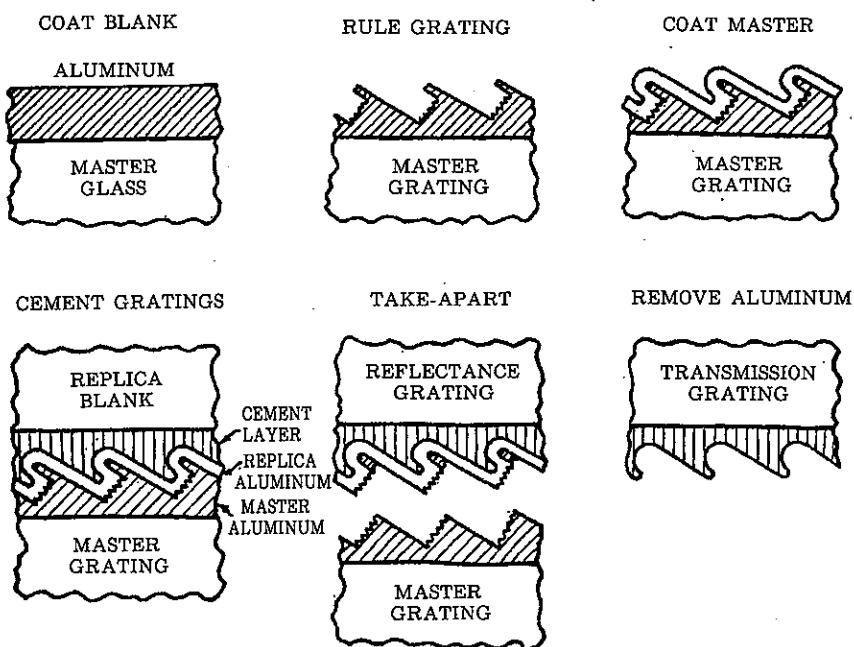


図7 透過型レプリカ格子の製作方法<sup>10)</sup>。（上中：ルーリングエンジン等にてマスターングレーティングを作成。上右：マスターングレーティングに離型剤を塗布し、アルミを蒸着。下左、下中：樹脂を塗布したガラス基板等にアルミの格子を転写。下右：アルミを除去）

法より回折格子を加工する技術は光ファイバや導波路等の微小光学部品に応用されている。詳しくは本特集の和田氏等（フジクラ）や本特集②（'98年4月号掲載予定）の佐藤氏（三菱電機）の記事をご覧いただきたい。ただし、この加工法は格子間隔が広く、溝が深い回折格子の加工には向きである。

ここで述べるレーザ加工は図10のような装置を用いて、四角（菱形または洋風形）のマスクを対角線に沿って走査することにより、ブレーズド格子や

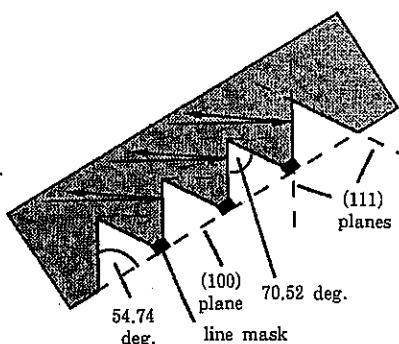


図8 異方性エッティングにより製作されたシリコンImmersion gratingの結晶格子面<sup>10)</sup>

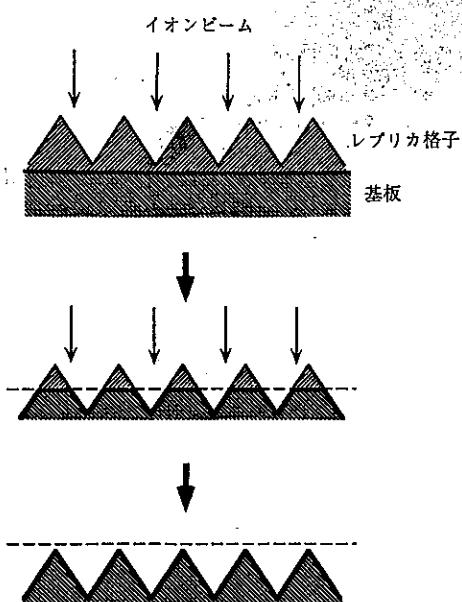


図9 イオンビームエッティングによるレプリカ格子の転写

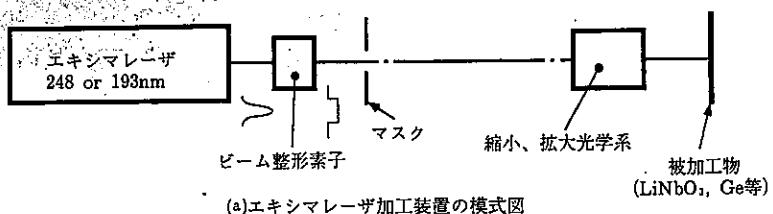
四角錐アレイ等を加工する技術である<sup>⑩</sup>(図11)。この加工方法は材料の制約がほとんどなく、ゲルマニウムのように結晶欠陥が多い素材や多結晶の場合でも比較的滑らかな加工面を得ることができる。その上、加工速度が速く、安価である。すでにこの方法による遠赤外線(30~300 μm)用回折格子の加工技術が開発されており、中間赤外線用ゲルマニウムImmersion Gratingの製作方法としても有望である。ただし、格子間隔が5 μm以下の加工が困難であり、加工面が粗いために現時点では可視光~近赤外線用回折格子としては向きである。

我々はこの方法を用いたMIR-HDS用ゲルマニウムImmersion Gratingの開発を行っている。

### (3) Binary型回折格子と斜入射イオンビームエッティング法の組合せ

Binary型回折格子(Binary=2進数)とはBinary OpticsまたはMultilevel gratingとも呼ばれ、格子間隔が異なる複数枚のマスクを用いて加工された階段状の格子のことである(図12)。

Binary型グリズムは出射面の波面が $\lambda/4$ 程度以下であれば比較的高い回折効率が得られる。ただし、この方法は



(a)エキシマレーザ加工装置の模式図

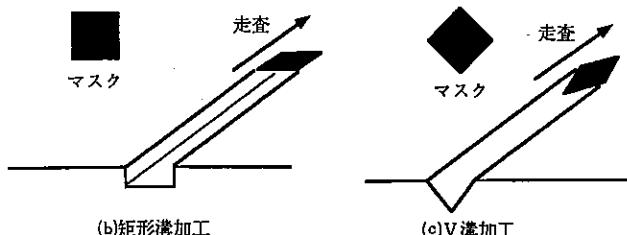


図10 エキシマレーザによる格子の加工 ((a)エキシマレーザ加工装置。ガウアンビームから均質強度の面分布に整形されたビーム中にマスクを置き縮小光学系により非加工物に投影。(b)V溝加工)

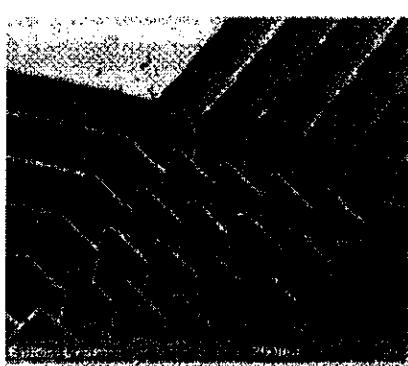


図11 菱形のエキシマレーザパターンを走査して得られたV溝およびピラミッド型突起<sup>⑪</sup>(exitech社、英国)

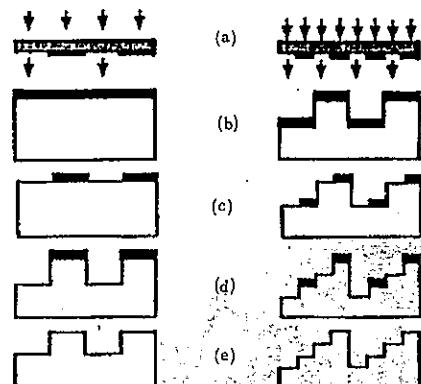


図12 Binary型回折格子の製作法<sup>⑫</sup> ((a)マスク、(b)レジスト露光、(c)現像、(d)エッチング、(e)レジスト除去)

回折効率を高くしようとするとエッティング回数を増やす必要があり、コスト的に不利になる。例えば基板の屈折率1.5、格子の開口幅、段差とも5 μm(格子間隔7 μm)のグリズムの場合、波長1 μmにおいて格子面の光路差を $\lambda/4$ 以下にするためには4~5枚程度のマスクが必要である。

我々はBinary型回折格子の凹凸を斜入射イオンビームエッティング法により除去する方法をMIR-HDS用ゲルマニウムImmersion grating製作法の候補として検討している。この方法は3.(3)節で述べた矩形格子を斜入射イオンビームエッティングによりブレーズド格子に加工する方法の発展型と考えるこ

とができる、より深い溝の回折格子が加工できると期待している。

## おわりに

天文観測用の光学系や光学素子は市販の光学製品と比べるとユニークなものが多く、要求される性能や加工精度等が高くて厳しい。とはいっても、天文観測用に開発された光学系や計測手法が科学計測や工業試験等の広い分野で応用された技術も多数ある。歴史的にもSer F.W. Herschelによる赤外線の発見、J. Fraunhoferによる回折格子の発明、A.J. Angstrom; A.A. Michelson等による新しい回折格子の考案等、分

光学や光学の発展に貢献した天文学者は枚挙にいとまがない。逆に新しい技術を取り入れたことにより、天文学の大きな成果を出した望遠鏡や観測装置の例も数え切れないほどある。今さら言うまでもなく、科学者や技術者が切磋琢磨することにより、新しい発見や発明の引き金になっている。我々が開発している高性能なグリズムやImmersion gratingも様々な分野における応用が可能である。また、その加工技術も精密光学素子開発に貢献できるものと期待している。

### 謝辞

本研究は平成9年度文部省科学研

費補助金（基盤研究(B)(2)）（課題番号09559018）および平成9年度国立天文台研究推進経費により行われている。本研究の推進にあたり理化学研究所半導体工学研究室の青柳 克信博士、日黒多加志博士、ナルックス(株)の北川清一郎代表取締役をはじめスタッフの方々、(株)トプコン研究所の堀 信男氏、藤野 誠氏に多大なるご協力をいただいている。

#### <参考文献>

- (1) N.Kaifu, Proc. SPIE, 2871, 24-29 (1996)
- (2) M.Iye, H.Ando, N.Kashikawa, S.Miyazaki, T.Nishimura, K.Noguchi, M.Otsubo, T.Sasaki, K.Sekiguchi, M.Sekiguchi, H.Takami, N.Takato and W.Tanaka, Proc. SPIE, 2871, 1057-1069 (1996)
- (3) M.Iye, M.Tamura, N.Ebizuka, Y.Ito and K.Murakawa, Proc. SPIE, 2871, 1365-1372 (1996)
- (4) Jobin Yvon社技術資料, Diffraction Gratings
- (5) L.Weitzel, A.Krabbe, H.Kroker, N.Thatte, L.E.Tacconi-Garman, M.Cameron and R.Genzel, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 119, 531-546 (1996)
- (6) 青柳克信・難波進・応用物理、45、657-662 (1976)
- (7) 佐々木敏由紀・湯谷正美・清水康広・倉上富夫・国立天文台報、2、545-556 (1995)
- (8) N.Ebizuka, M.Iye and T.Sasaki, "Optically Anisotropic Crystalline Grisms for Astronomical Spectrographs", to be published by Appl. Opt. 37 (1998, Feb. 1)
- (9) W.A.Rense, Space Science Reviews 5, 234-264 (1966)
- (10) G.Wiedemann, ESO Conf. Proc. 40, 305-308 (1992), G.Wiedemann and D.E.Jennings, Appl. Opt. 32, 1176-1178 (1993)
- (11) P.T.Rumsby, E.C.Harvey and D.W.Thomas, Proc. SPIE, 2921, 684-692 (1996)
- (12) Photonics社Design and Applications Handbook pp.H-372 (1995)

### 【筆 者 紹 介】

海老塚昇



（昭和35年7月17日生・神奈川県出身）  
文部省国立天文台 光学赤外線天文学・  
観測システム研究系 研究員  
〒181-0015 東京都三鷹市大沢2-21-1  
TEL:(0422)34-3710  
FAX:(0422)34-3608  
<趣味> 硬式テニス・バドミントン  
<定期購読誌・紙>  
天文月報・分光研究・Physics Today

他

<家族構成> 両親・祖母・妹  
<主なる業務歴および資格>  
昭和58年3月、東海大学工学部光学工学科（赤外線望遠鏡の開発）卒業。  
昭和58年度、東海大学工学部光学工学科研究生（真空赤外線分光器の開発）。

昭和59年4月～平成2年1月、東洋通信機(株)に勤務（水晶製光学部品の開発）。

平成4年3月、東海大学工学研究科光工学専攻博士課程前期（マルチチャンネルフーリエ分光器の開発）修了。

平成7年3月、総合研究大学院大学数物科学研究所天文科学専攻博士課程後期修了。

平成7年3月、総合研究大学院大学（新型マルチチャンネルフーリエ分光器の開発）博士（学術）学位取得。

平成7年4月～、国立天文台研究員（主にグリズムおよびImmersion gratingの開発）。

資格：1.電話級アマチュア無線技師免許、2.普通自動車免許、3.X線作業主任者免許。

#### 家 正則

文部省国立天文台 光学赤外線天文学・  
観測システム研究系 教授

〒181-0015 東京都三鷹市大沢2-21-1  
TEL:(0422)34-3703  
FAX:(0422)34-3608

#### 佐々木敏由紀

文部省国立天文台 ハワイ観測所 助教授  
650 North A`ohoku Place, Hilo, Ha

waii 96720, U.S.A

TEL:+1-808-934-5081

FAX:+1-808-934-5984

#### 文部省国立天文台

<代表者名> 小平佳一

<本社住所>

〒181-0015 東京都三鷹市大沢2-21-1

TEL:(0422)34-3600

FAX:(0422)34-3690

ホームページ : <http://www.nao.ac.jp>

<従業員数> 定員283人（平成9年度）

<事業内容および会社近況>

国立天文台は、我が国における天文学研究のセンターとして第一線の宇宙観測施設を全国研究者の共同利用に供するとともに、共同研究を広く組織し、また国際協力の窓口として、天文学および関連分野の発展を目指す大学共同利用機関です（平成9年度国立天文台パンフレットより抜粋）。

#### 若木守明

東海大学 工学部 光学工学科 教授  
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117  
TEL:(0463)58-1211 内線4429  
FAX:(0463)59-2594