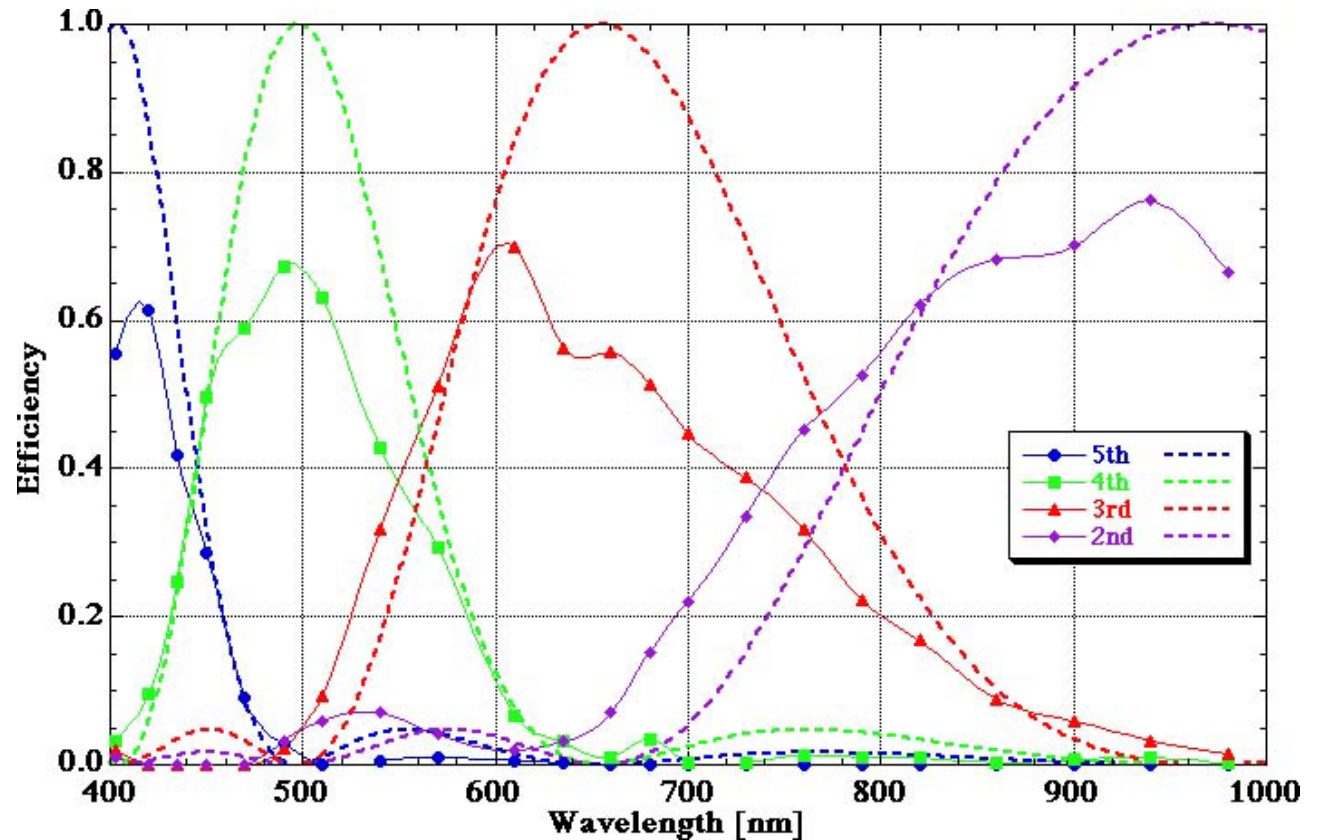
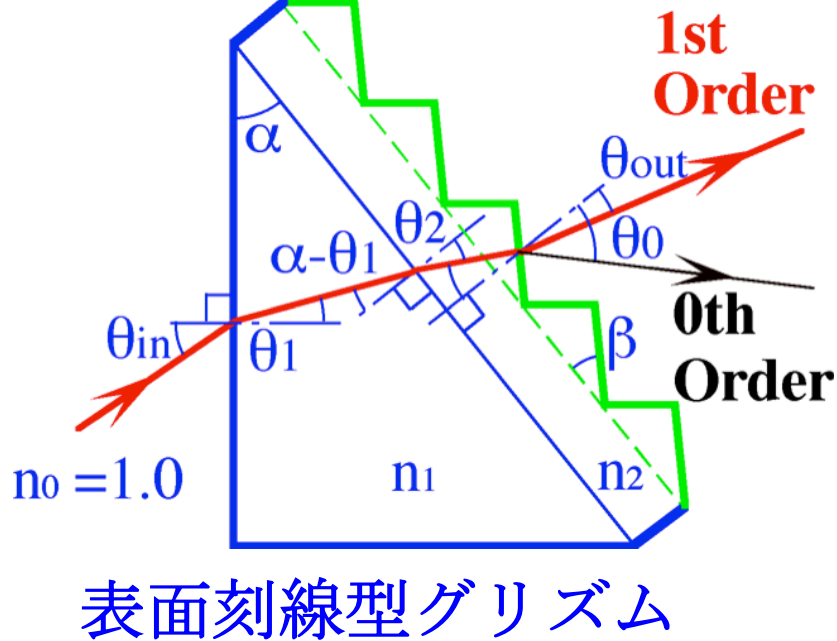


次世代観測装置用の新しい 回折格子の開発状況 II

海老塚 昇¹, 森田 晋也¹, 山形 豊¹, 平原 靖大², 佐々木 実³,
田辺 綾乃⁴, 橋本 信幸⁴, 青木 和光⁵, 高見 英樹⁵

¹理化学研究所 先端光学素子開発チーム,
²名古屋大学 環境学研究科 地球環境科学専攻,
³豊田工業大学ナノテクプラットフォーム,
⁴シチズンホールディングス (株) 開発部,
⁵国立天文台 光赤外研究部

Echelle Grating



透過型の高分散高次回折格子の開発が求められている。

FOCAS用Echelle grismの回折効率。ルーリングエンジンで製作された型からレプリカ。

開発中の回折格子

- **Volume phase holographic (VPH) grating** (実用化完了)
屈折率が正弦波状に変調された1次光用の厚い回折格子。
- **Volume binary grating**
溝と畝の比を変えることによってSとP偏光の特性を一致させる厚い矩形回折格子。1~十数次回折光用。
- **Birefringence Bragg binary (3B) grating**
液晶等の光学異方性材質によってSとP偏光の特性を一致させる厚い矩形回折格子。1~数次回折光用。
- **Quasi-Bragg grating**
ミラープレートを積層させた高次用の回折格子。結像機能を有する。
- **Immersion grating** (10 μm 帯において実用化済み)
光路が高屈折率媒質で充填された高分散回折格子。
- **Quasi-Bragg immersion grating**

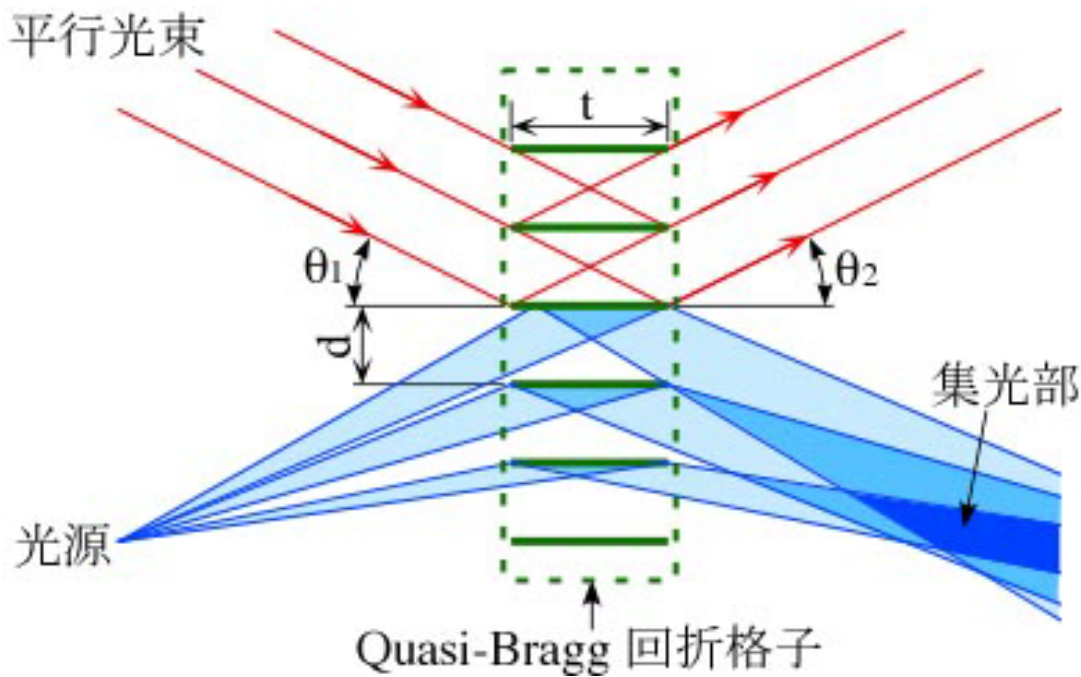
Quasi-Bragg grating



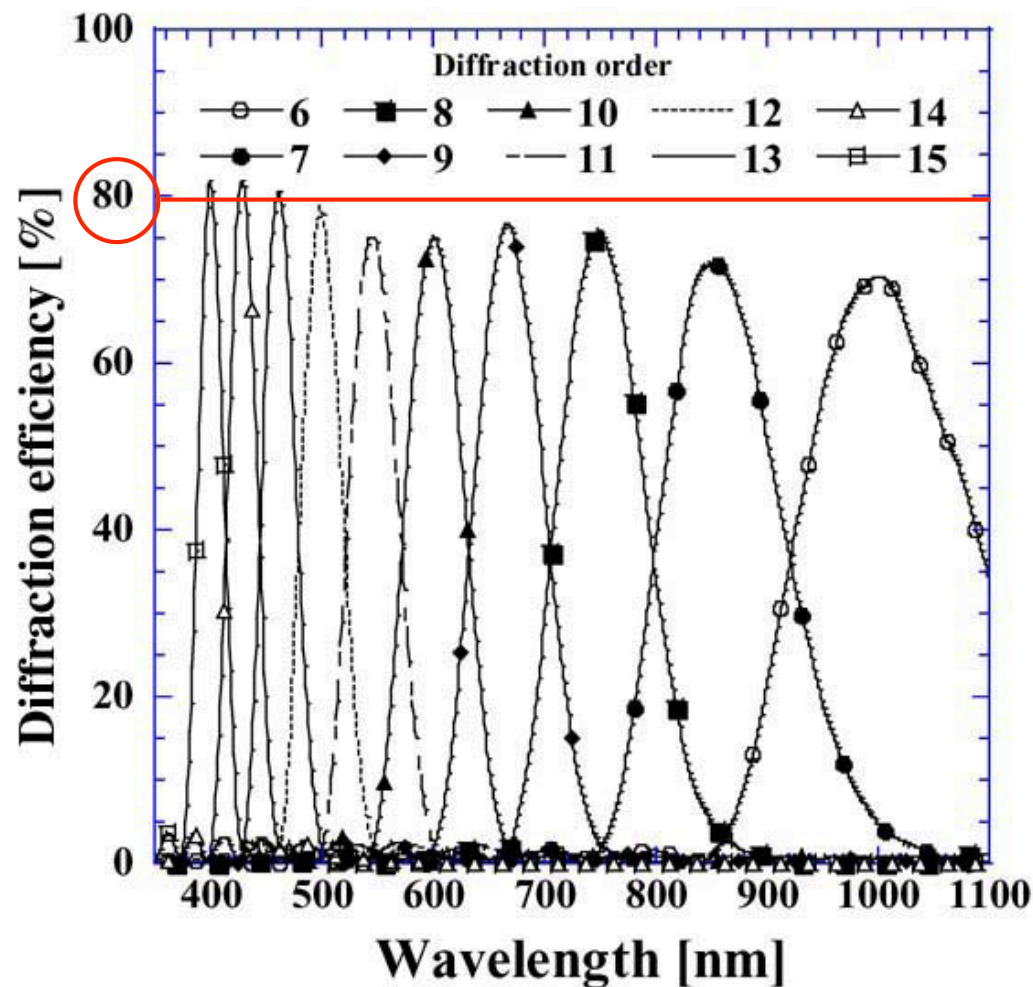
Echellegram

垂直分散素子と組合わせたEchelle分光器は2次元検出器を有効に利用できる。

Quasi-Bragg grating

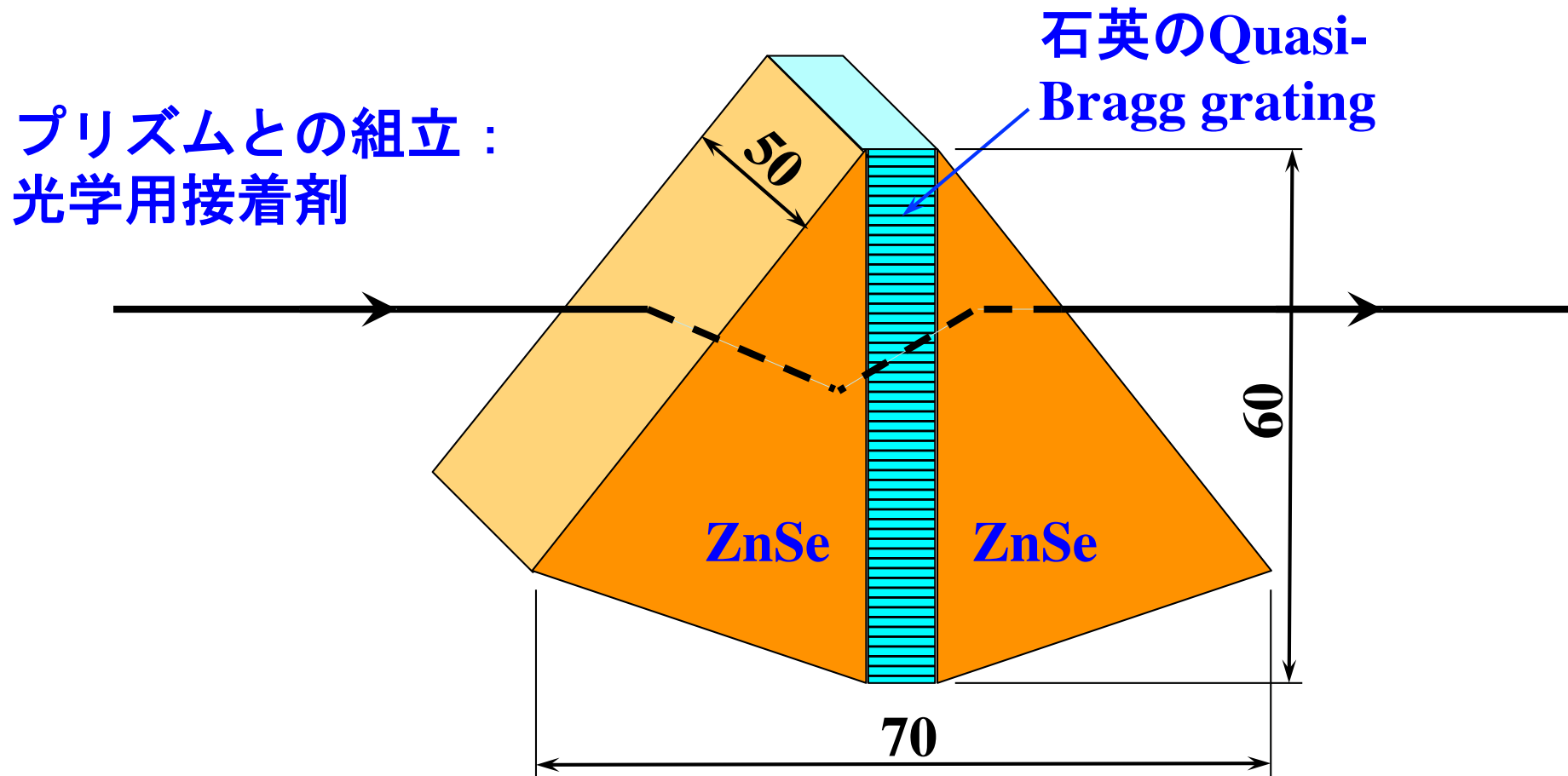


- 高次の回折効率が低い。
- 散乱損失が少ない。
- 結像機能を有する（上図、下の青い光線）。



Quasi-Bragg gratingの回折効率

Quasi-Bragg Grismの仕様

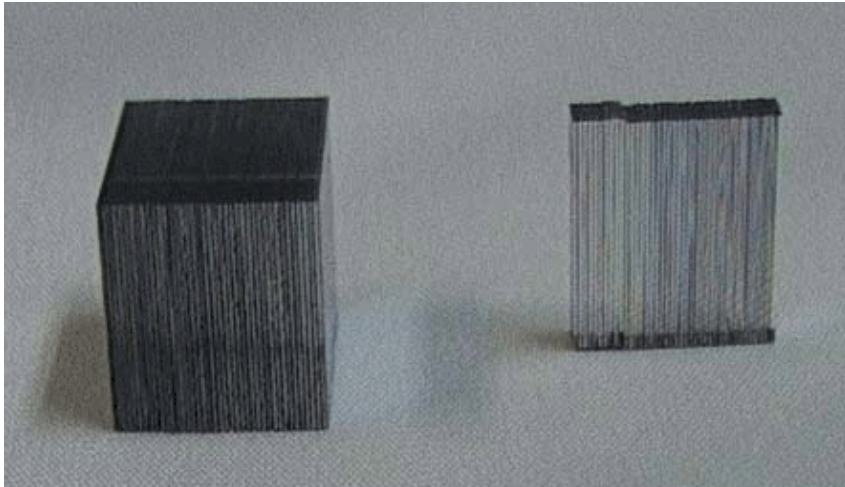


可視光 (360~1000nm), 近赤外線(1.0~2.5 μ m)用
材 質：石英, 光学ガラス等

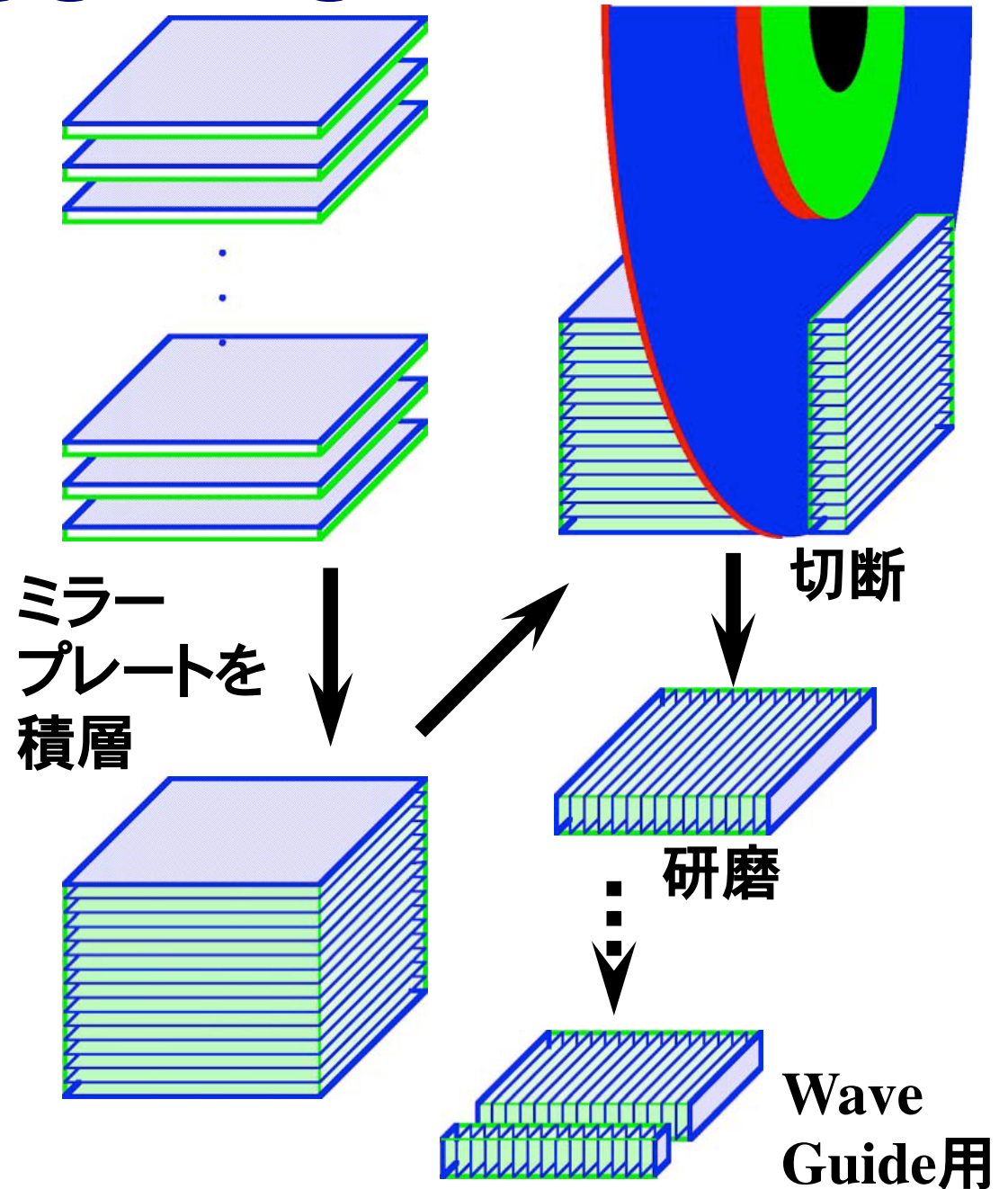
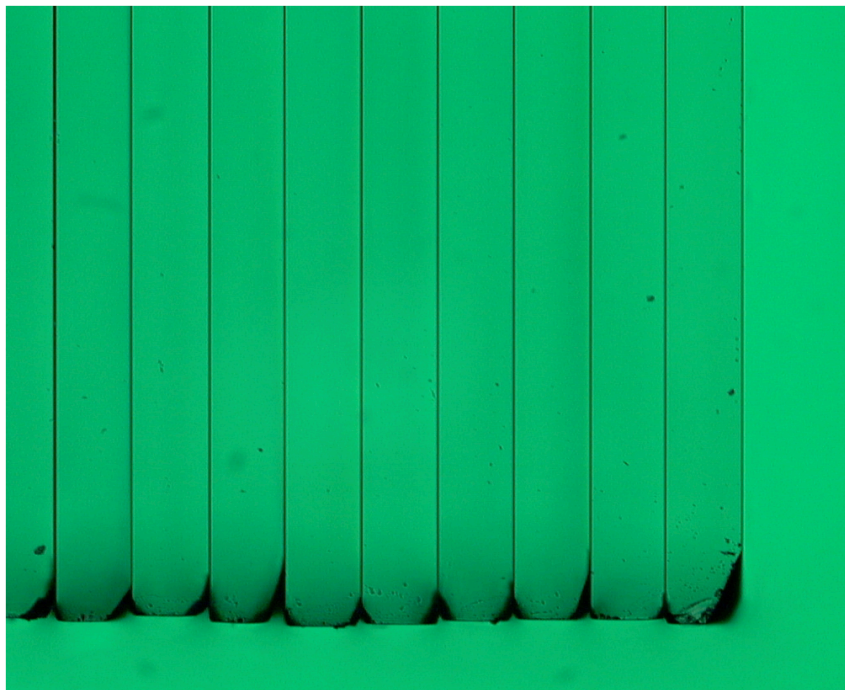
サイズ×層数：50×0.54×t0.2×350枚（石英）

周期誤差：100~500nm (P-V), 20~100nm (rms)

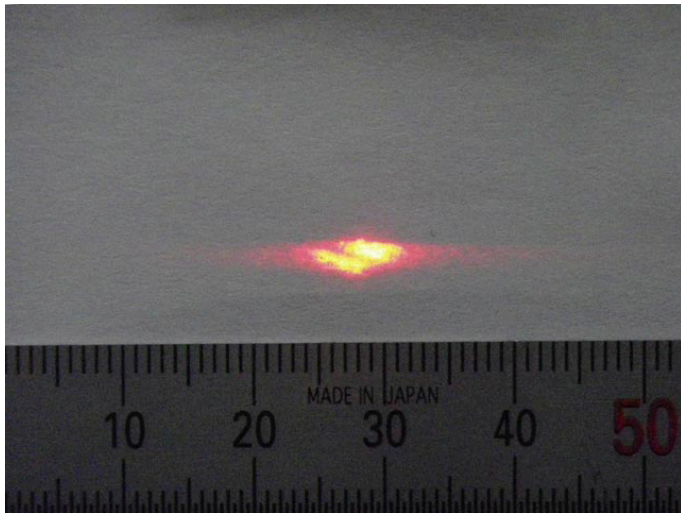
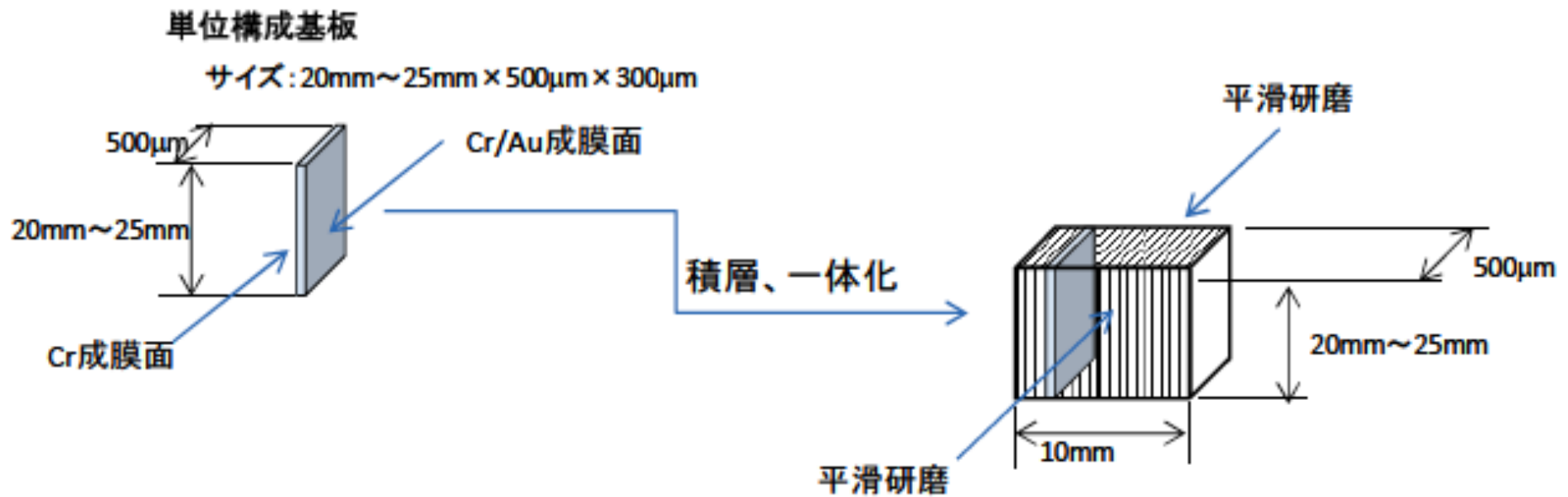
Quasi-Bragg gratingの試作1



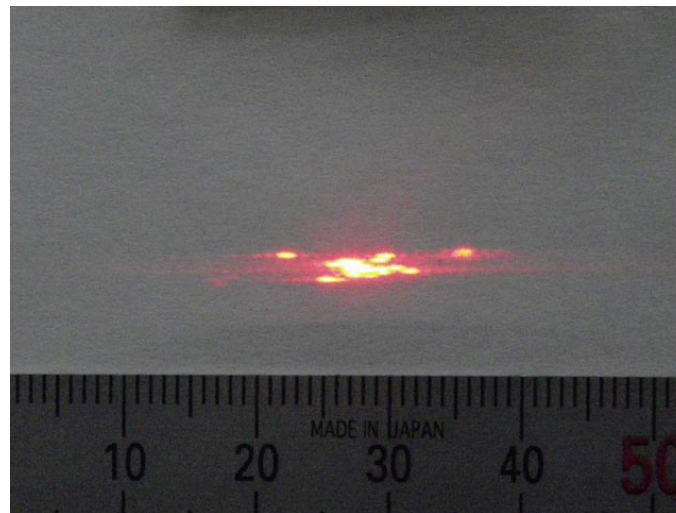
A: 10 x 10 x 0.2 x 40 枚 (左),
B: 1.5 x 10 x 0.2 x 40 枚 (右)



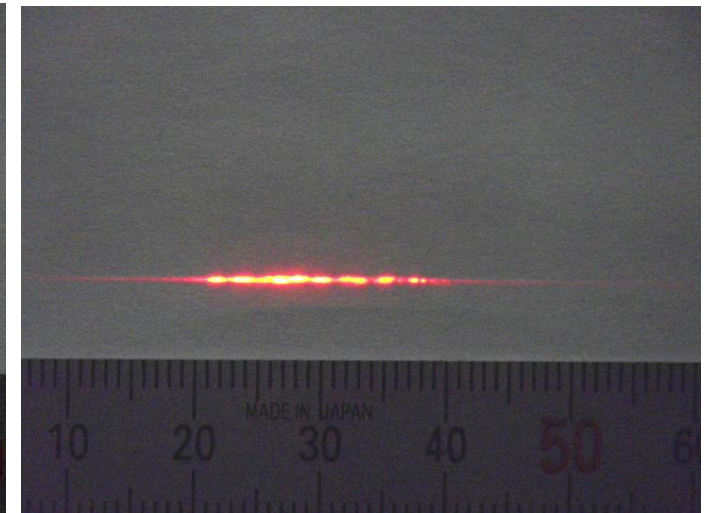
Quasi-Bragg gratingの試作2



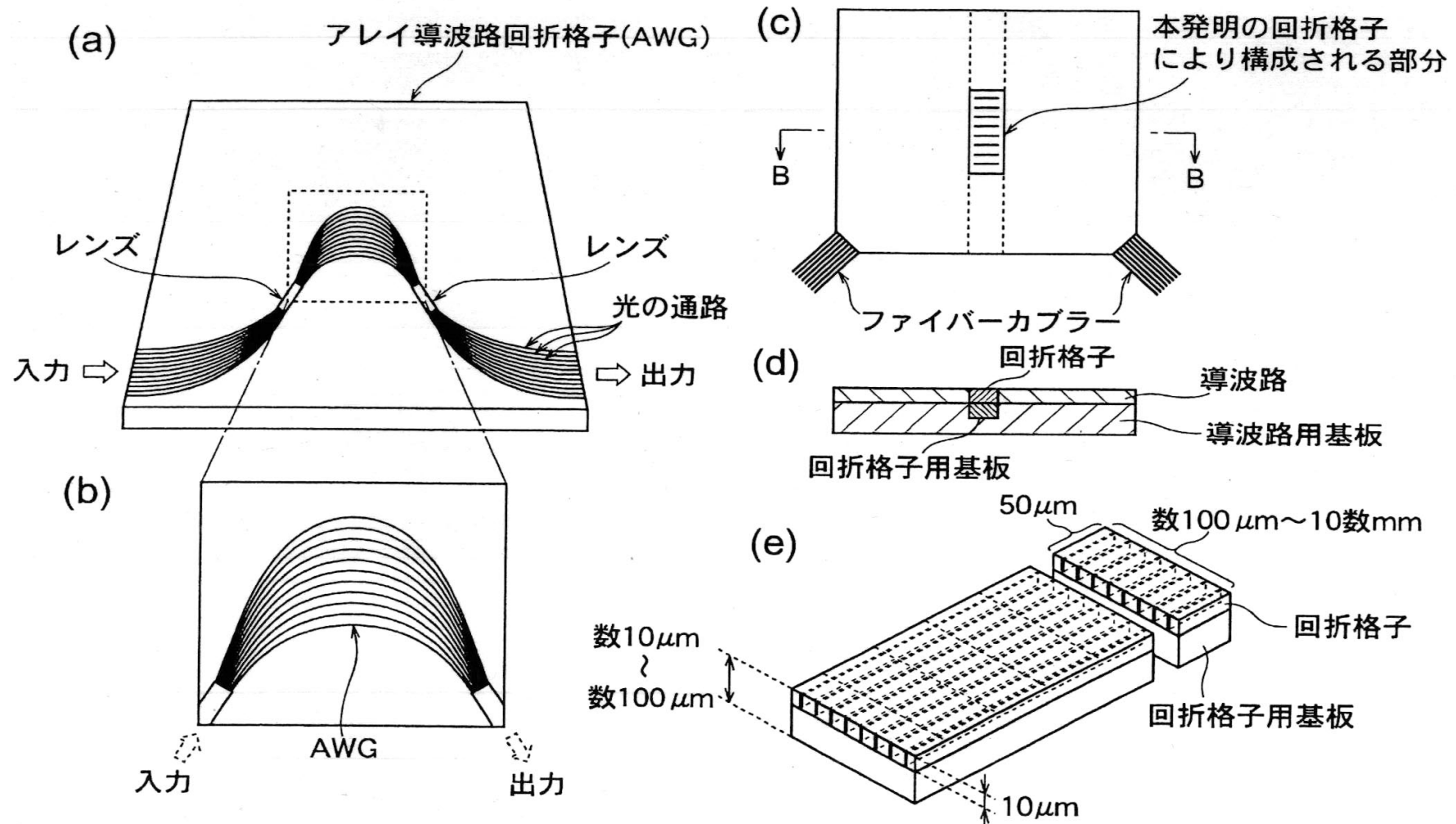
ガラスビーズを混入した
接着剤による積層



金とクロムの加熱加圧接合。
→金の常温接合。

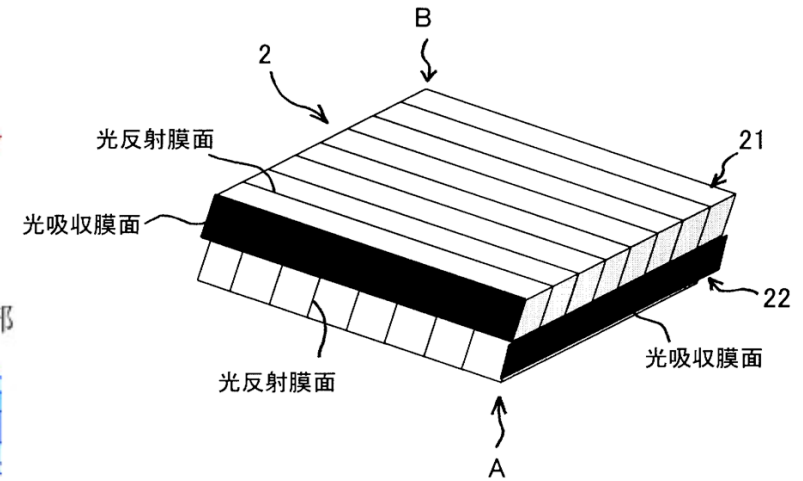
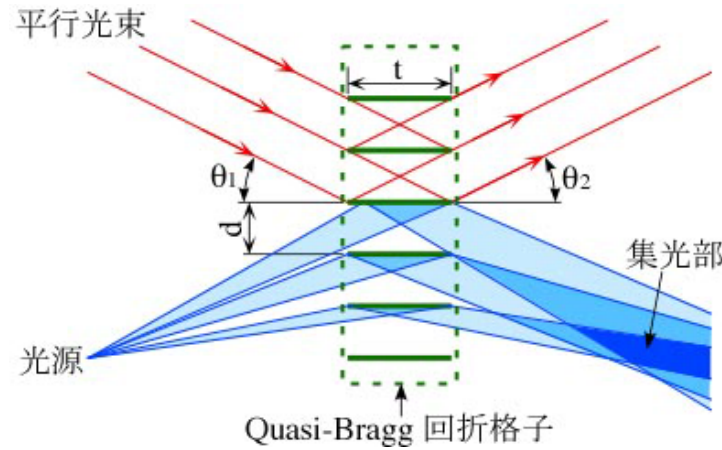
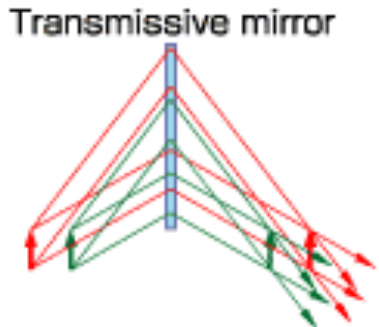
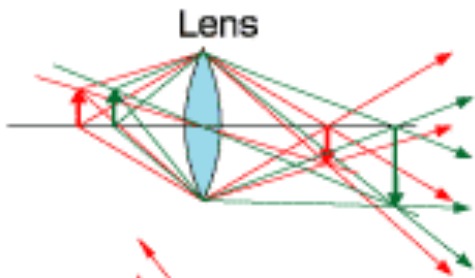


AWG (Array Waveguide Grating)と Quasi-Bragg grating

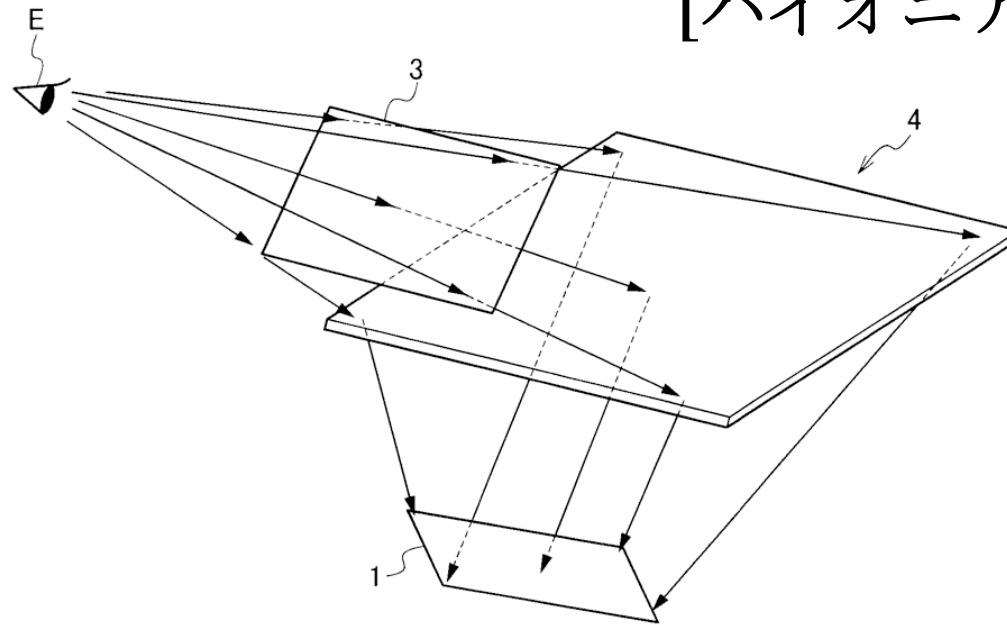


Quasi-Bragg gratingの波長混合・弁別素子は比較的小規模な光通信ネットワーク (LAN等) に利用できる。
[特許第4537318号]

Quasi-Bragg gratingによる結像



[パイオニア特許より]

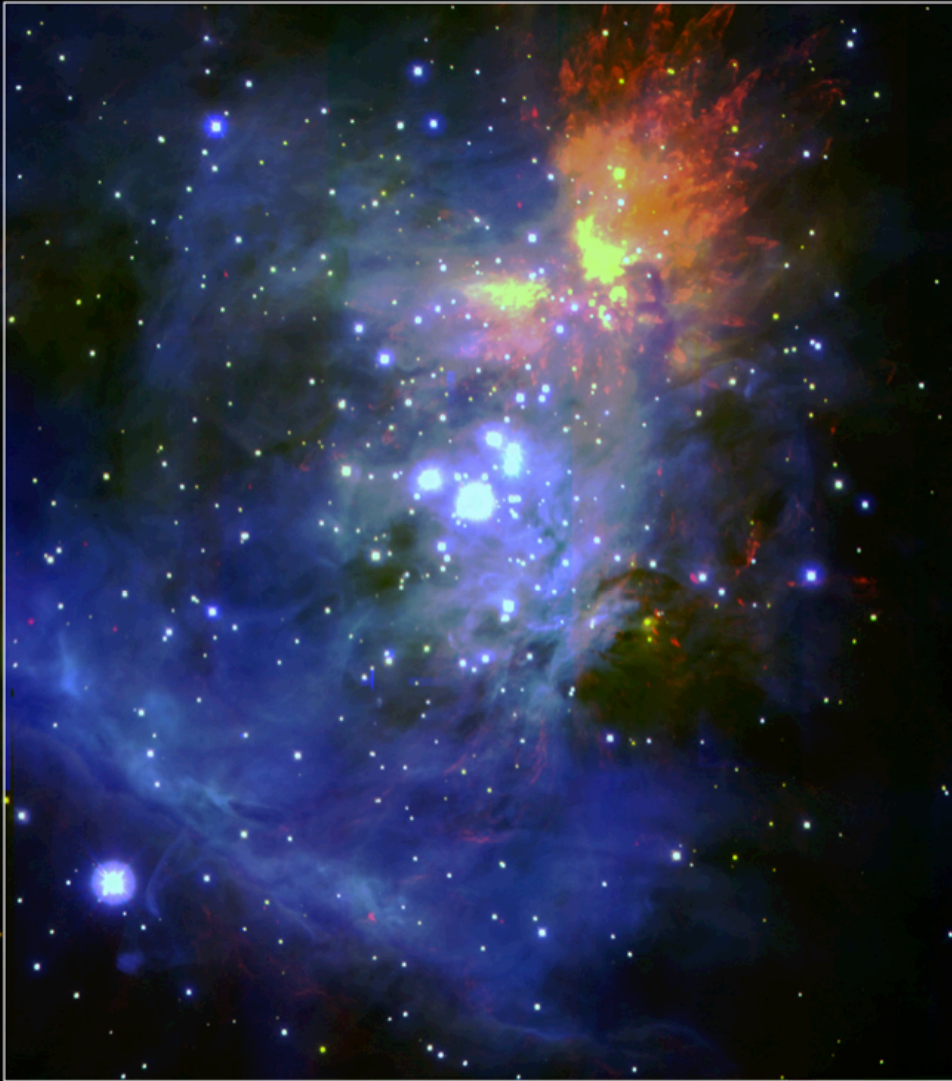


鏡やレンズとは異なる結像方式。

[NICTホームページより]

Quasi-Bragg gratingを直交させると2次元結像素子として機能。

Immersion Grating

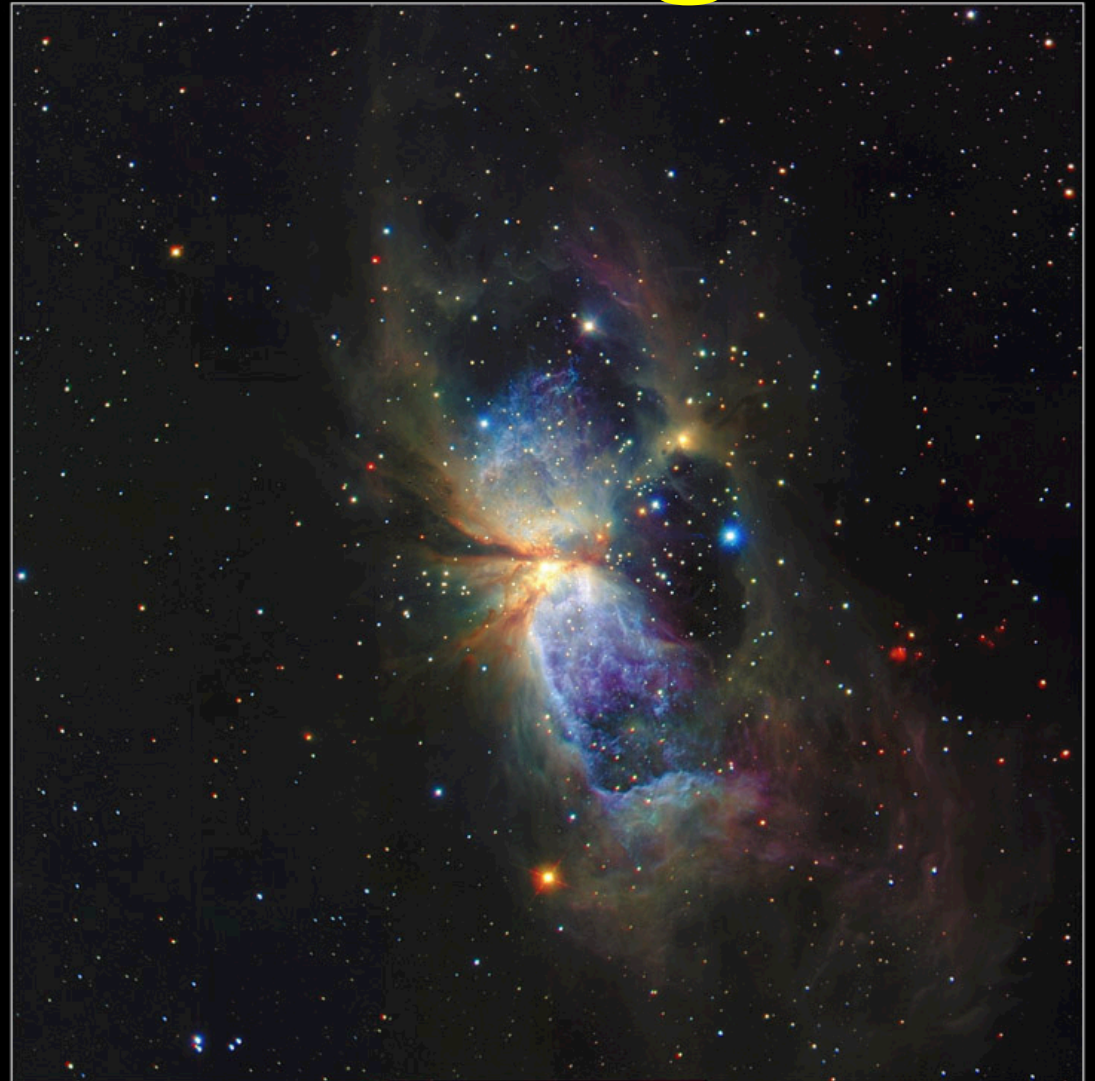


Orion Nebula

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

CISCO (J, K' & H₂ ($v=1-0$ S(1)))

January 28, 1999



Star-forming Region S106 IRS4

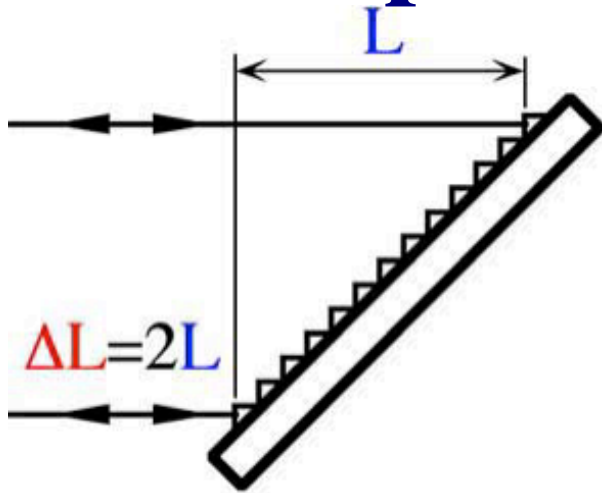
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

CISCO (J, H, K')

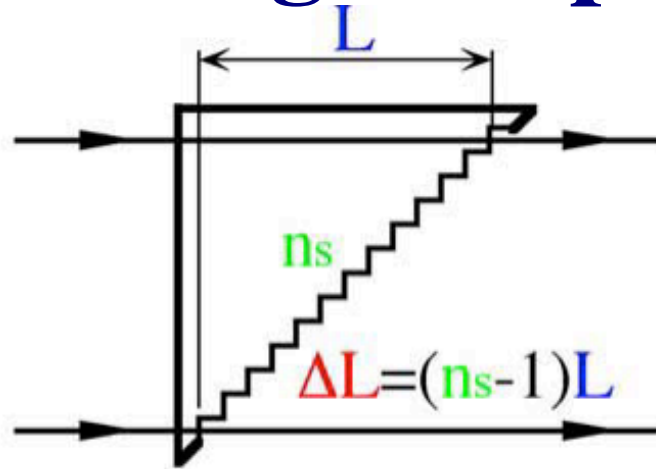
February 13, 2001

Copyright© 2001 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

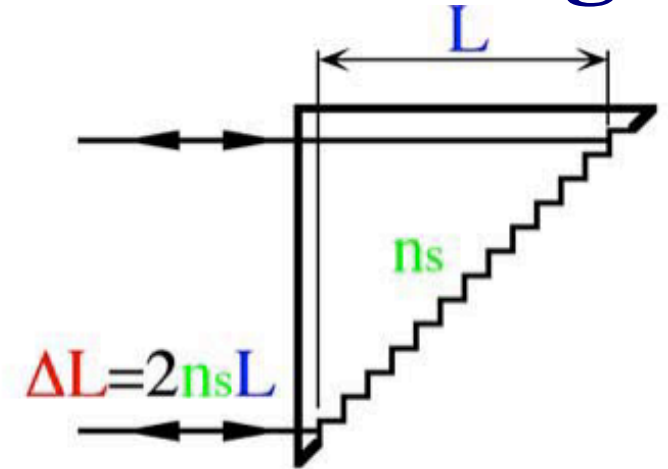
Development of High Dispersion Gratings



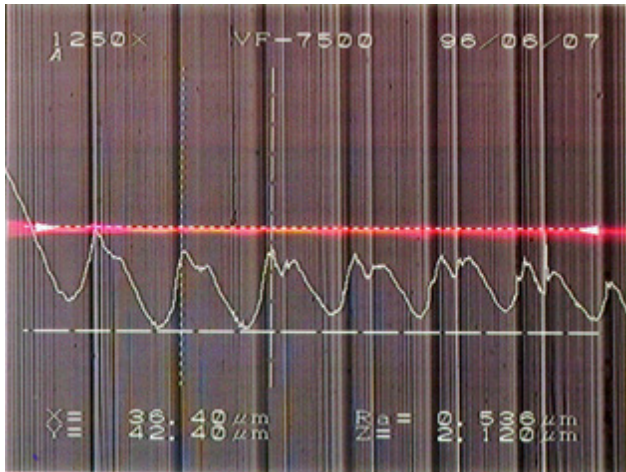
(a) Reflection grating



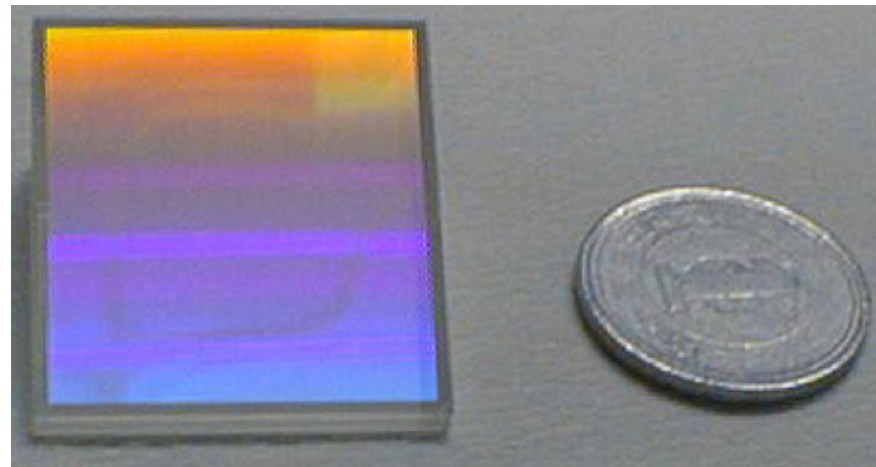
(b) Grism



(c) Immersion grating

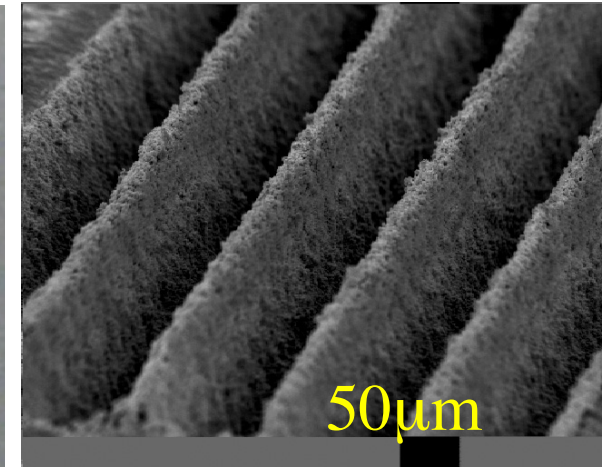


**LiNbO₃ (n = 2.3)
grating, 30 g/mm,
Dicing Saw**



**LiNbO₃ (n = 2.3) Grism,
444 g/mm, Ion etching**

(Ebizuka et. al. SPIE, 3355, 1998)

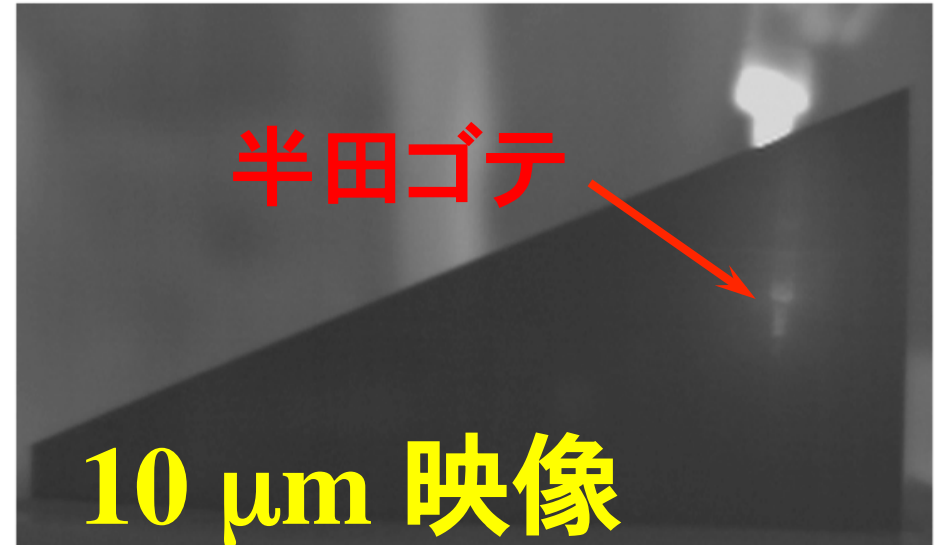


**Ge (n=4.0) grating,
Excimer Laser
Ablation**

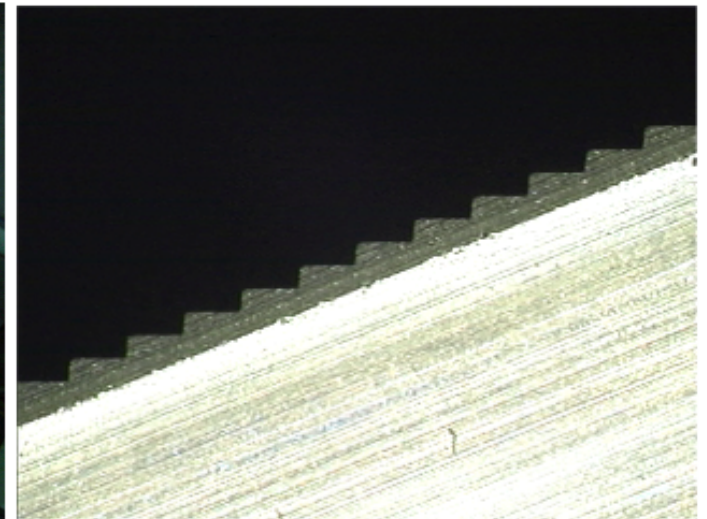
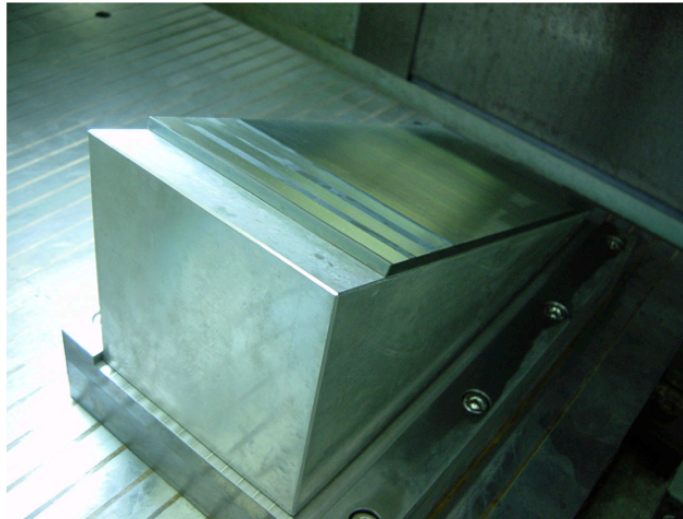
中間赤外線高分散分光器

- 暗黒星雲で合成される有機分子を研究するために波長 $10\mu\text{m}$ にて $R=\lambda/\Delta\lambda\sim 200,000$ 、分散素子の光路差 ΔL が 2m 以上必要。
- 中間赤外線天文観測装置は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。
- 従来の反射型回折格子では装置の体積が 100m^3 程度になってしまう。
- **Ge immersion grating**は装置の体積を $1/50$ 程度に小型化 (2m^3) できる。

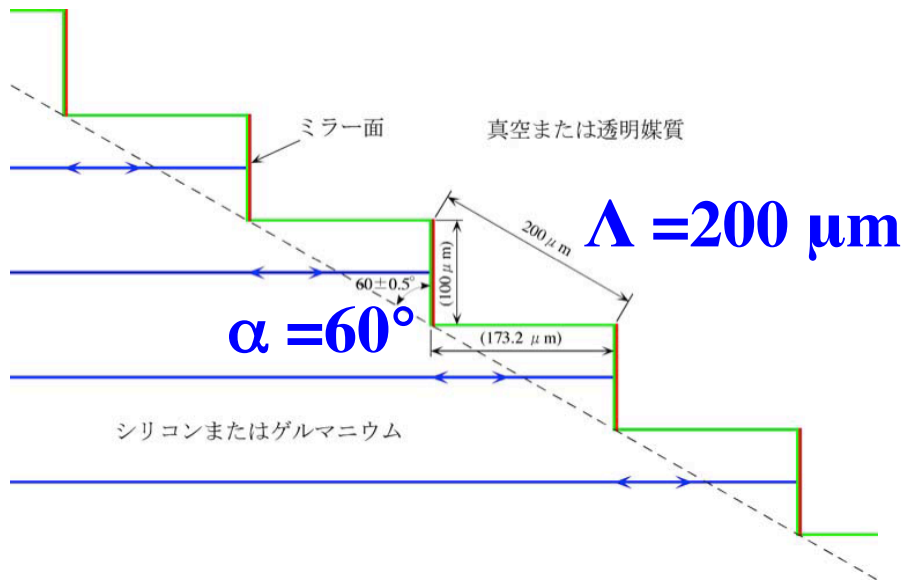
大型Immersion Gratingの試作



R \sim 200,000@10 μm , サイズ: 120 x 120 x 270 mm
→ 研削の場合の加工時間: 数 1000 時間?



Immersion Gratingの切削加工



研削加工では表面粗さとV溝底部のコーナーRを小さくできない。(R~10μm)
特に近赤外線用において性能低下の要因になる。

近赤外線用

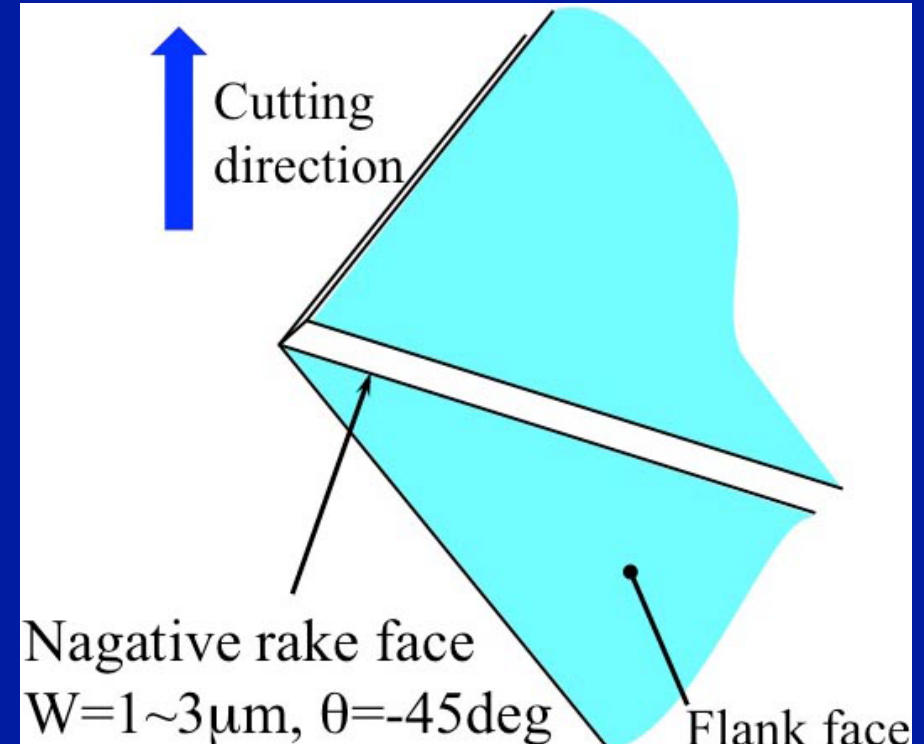
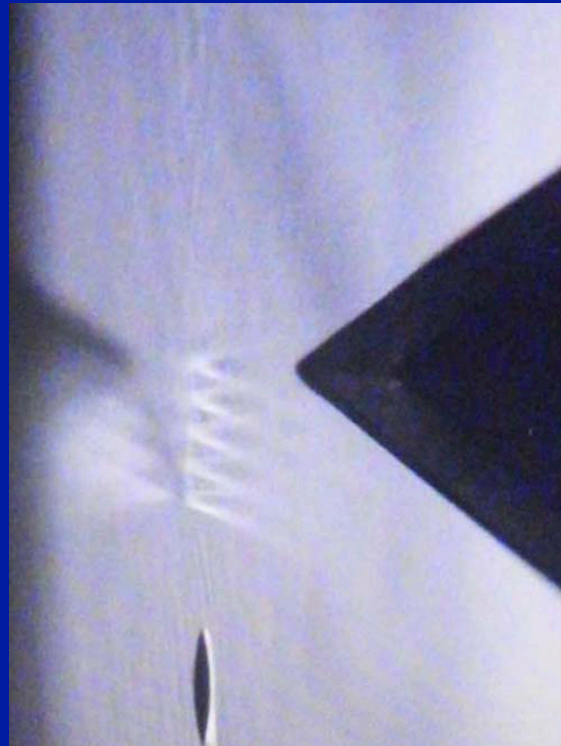
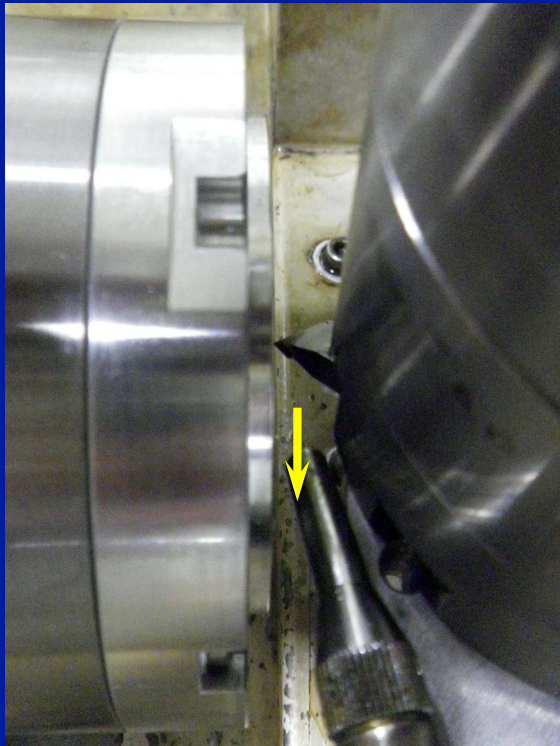
波長帯域 : 1 ~ 3 μm
材 質 : Si, ZnSe等
サ イ ズ : 30 × 30 × 75
格子周期 : $\Lambda = 100 \sim 200 \mu\text{m}$
ブレード角 : $\alpha = 60 \sim 70^\circ$

中間赤外線用

波長帯域 : 3 ~ 30 μm
材 質 : Ge, CdTe等
サ イ ズ : 120 × 120 × 300
格子周期 : $\Lambda = 600 \sim 1,000 \mu\text{m}$
ブレード角 : $\alpha = 60 \sim 70^\circ$

Ge, SiのV溝のダイヤモンド切削加工 1

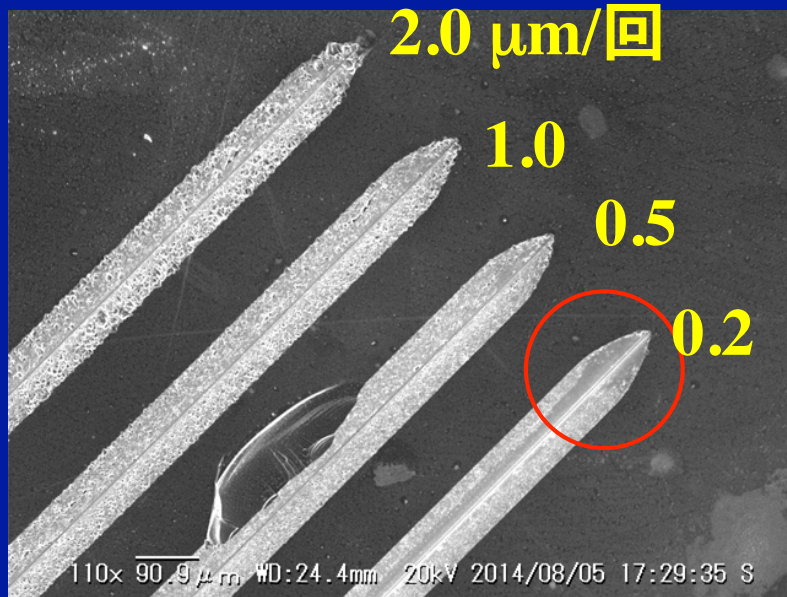
チャンファ付き剣バイトによるシェーパー加工



加工装置：東芝機械製 ULG100A

工 具：単結晶ダイヤモンドのチャンファ
(負のすくい角) 付き剣バイト

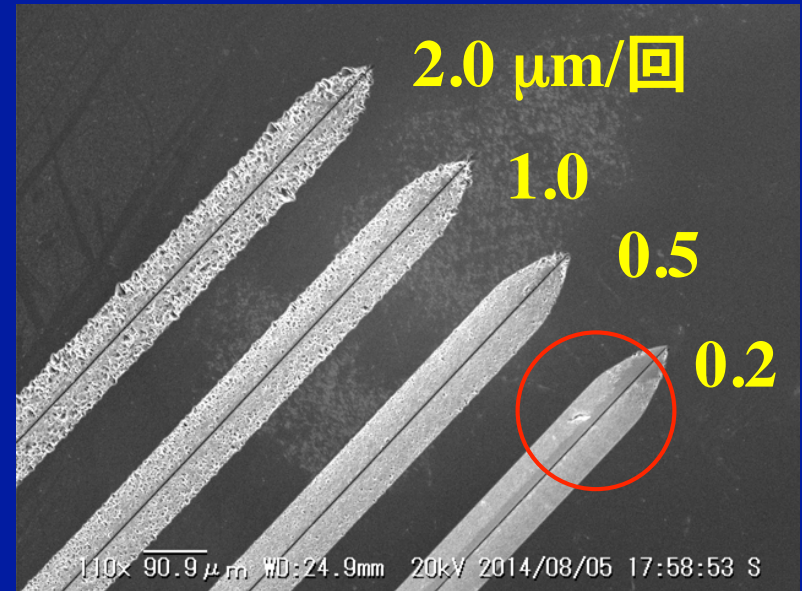
剣バイトによるシェーパー加工 1



切込み量

終端

Ge



Si

$\times 110$

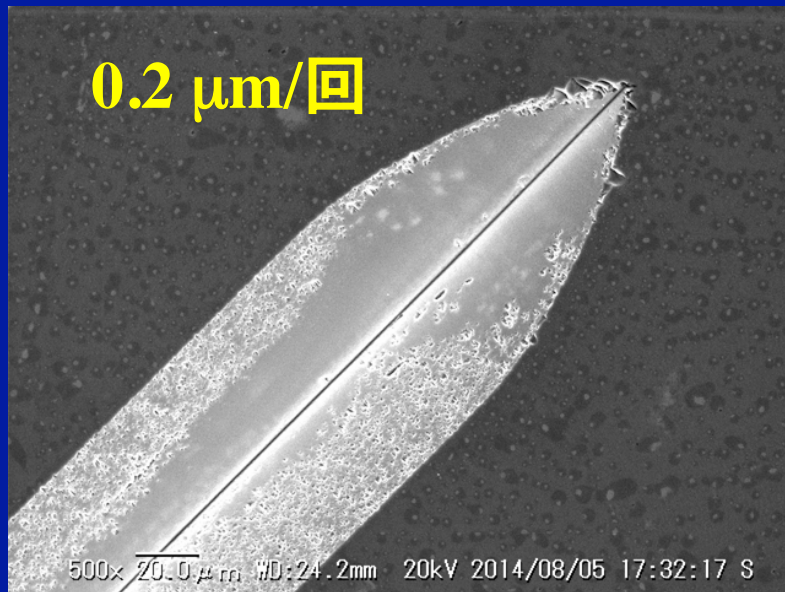


開始

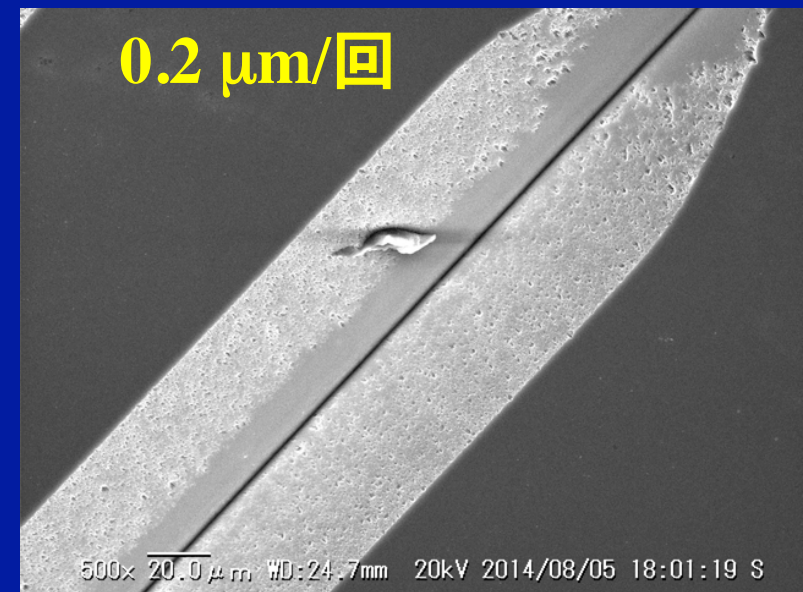


GeとSiに大きな相違が見られない。

剣バイトによるシェーパー加工 2

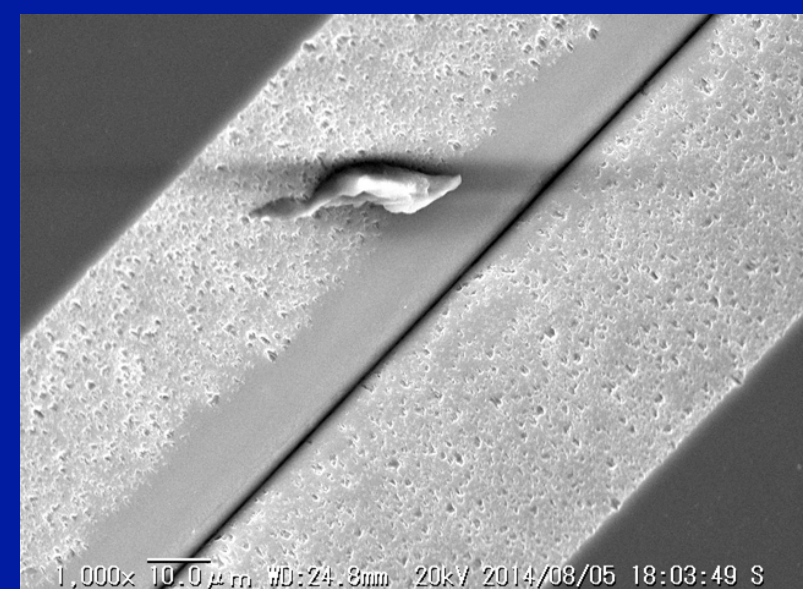
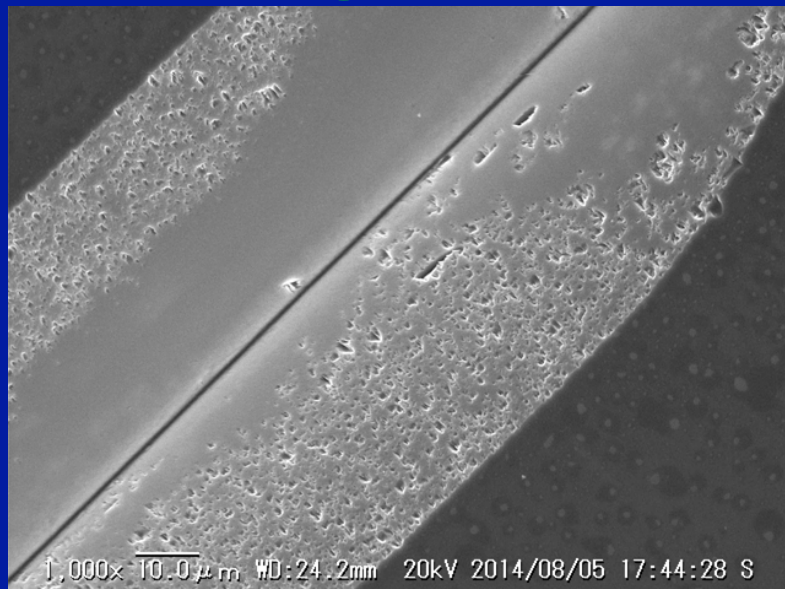


Ge



Si

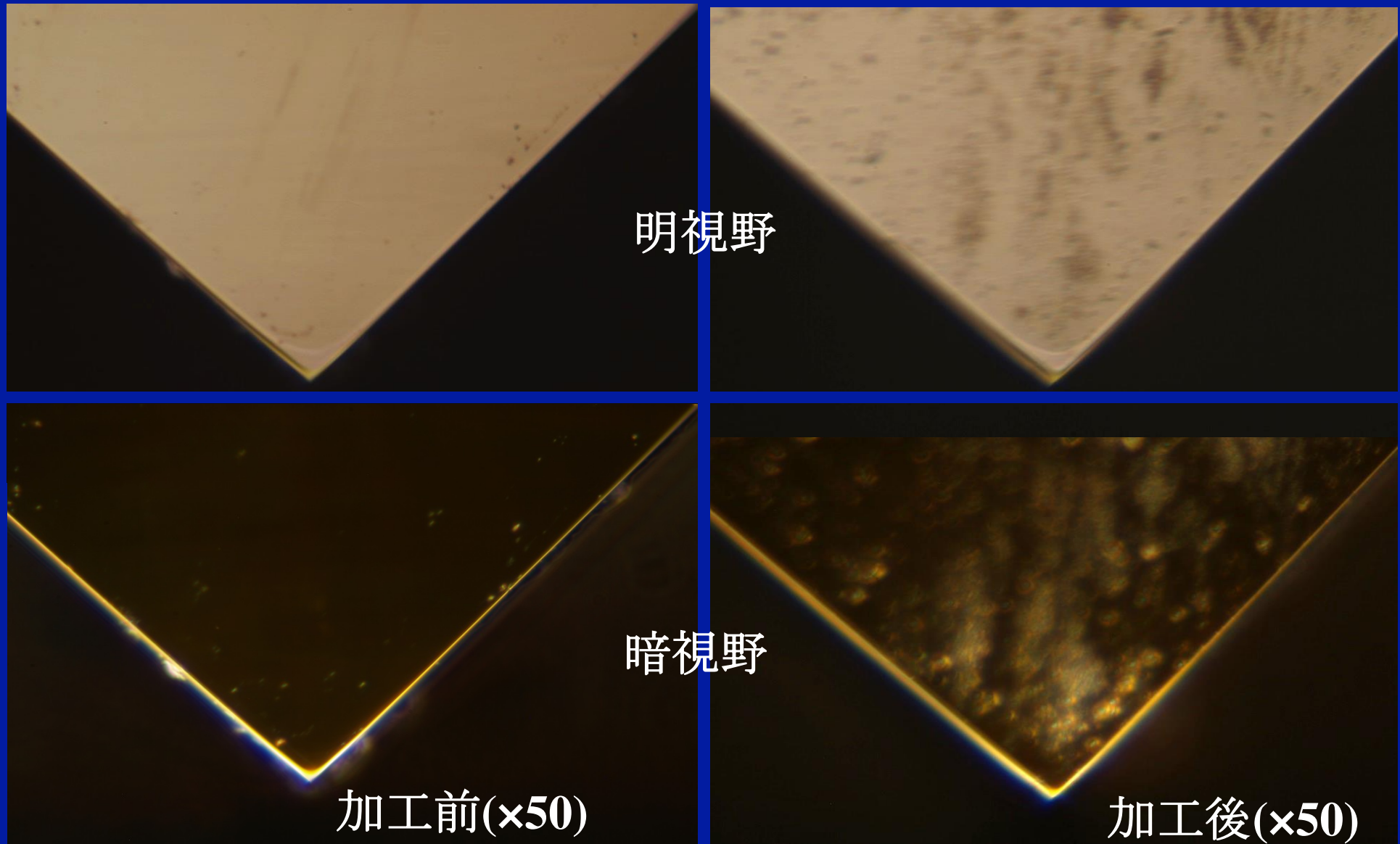
×500



×1,000

谷底が滑らかで、ふち近傍にムシレが見られる。

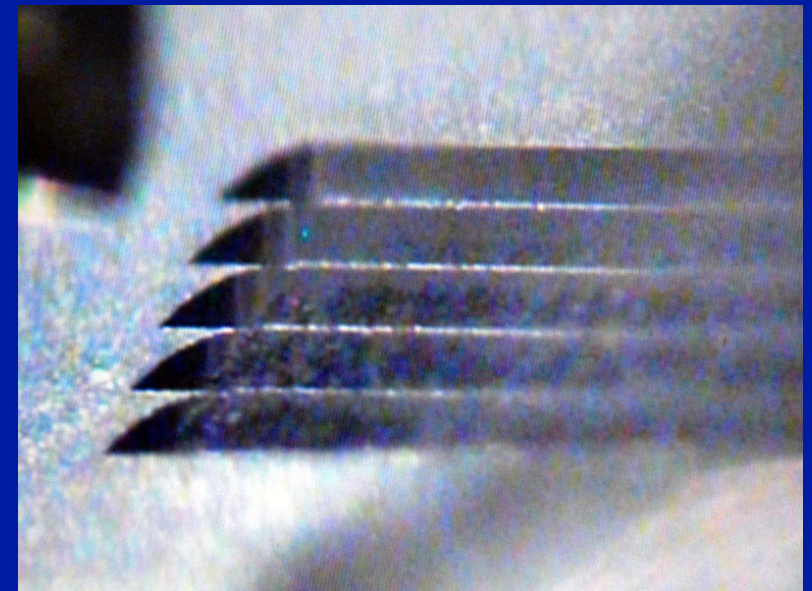
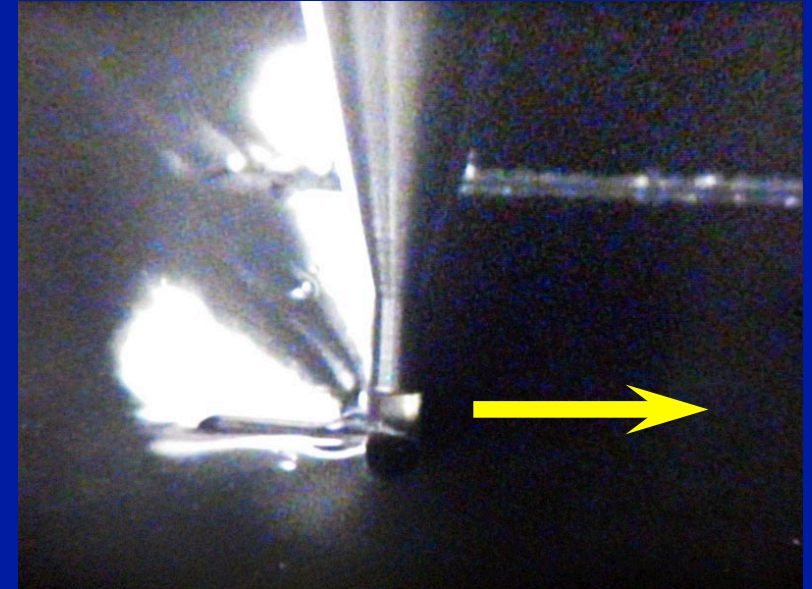
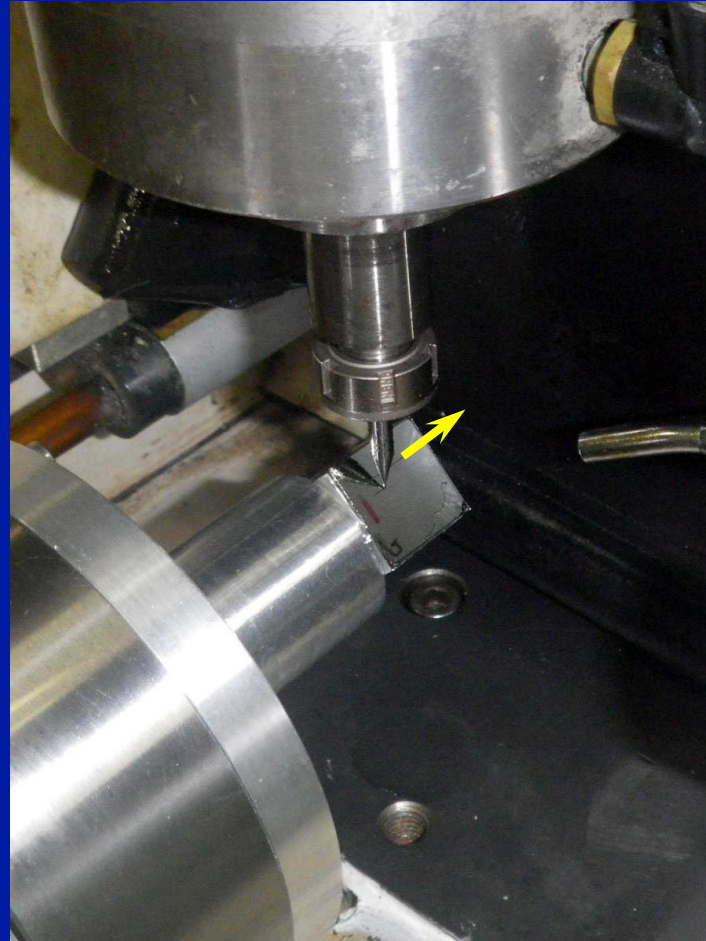
チャンファ付き剣バイトの刃先



この倍率においては刃先の摩耗を確認できない。

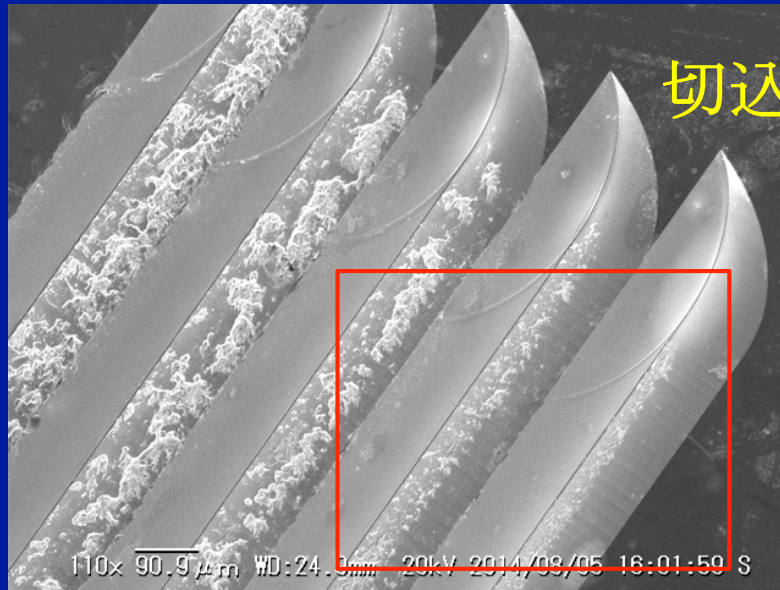
Ge, SiのV溝のダイヤモンド切削加工 2

単刃エンドミルによるフライカット

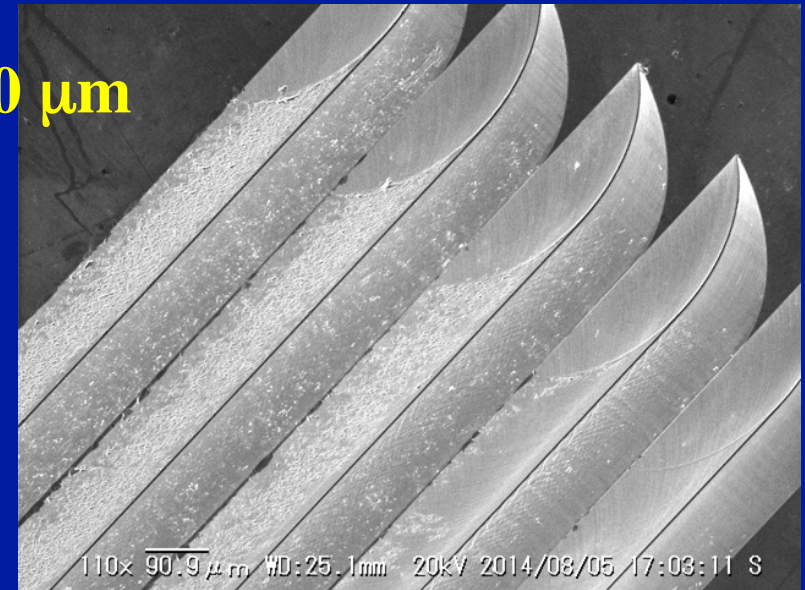


加工装置：東芝機械製 ULG100A
スピンドル回転：10,000 rpm
工具回転部直径： $\phi 1.0$

単刃エンドミルによるフライカット 1



Ge



Si

終端

$\times 110$

送り速度
[mm/min]

1.0

開始

2.0

1.4

1.0

0.7

0.5

0.7

0.5

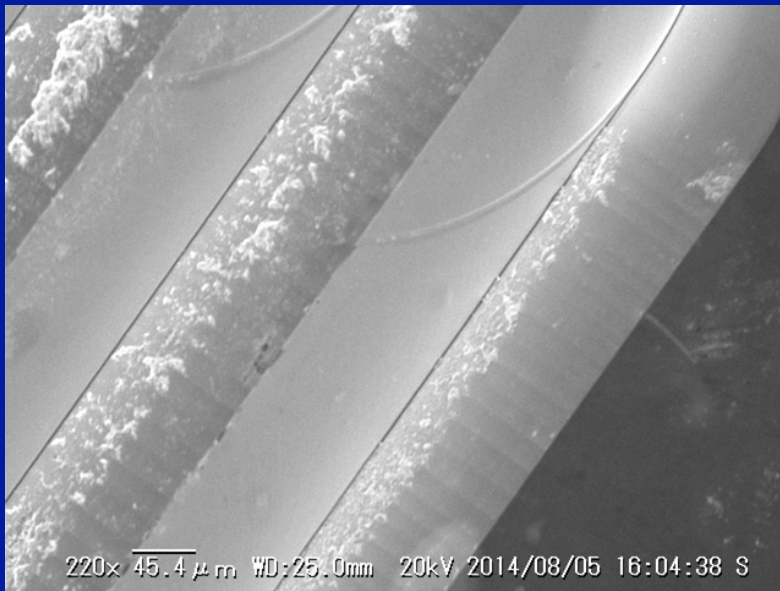
0.35

0.2

110x 90.9 μm WD:25.2mm 20kV 2014/08/05 17:08:10 S

塑性モードから脆性モードに移行する送り速度はGeがSiの2倍程度。

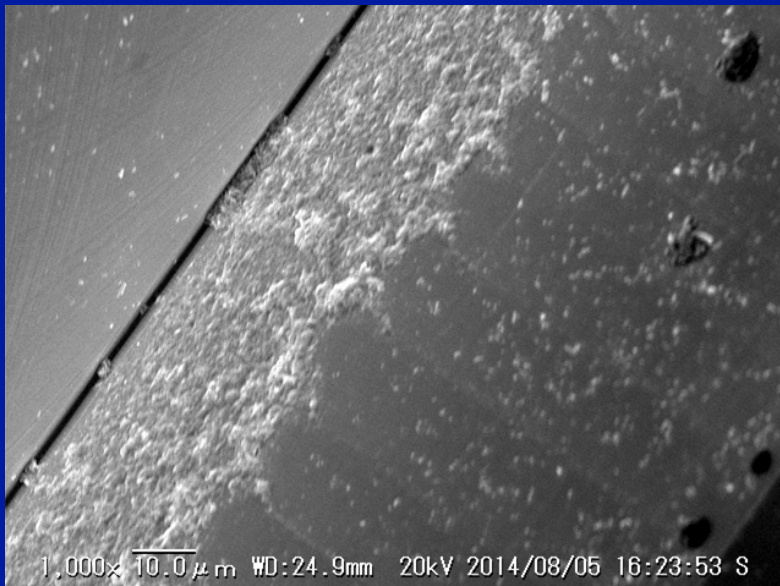
単刃エンドミルによるフライカット 2



Ge, 0.5 mm/min



Si, 0.2 mm/min

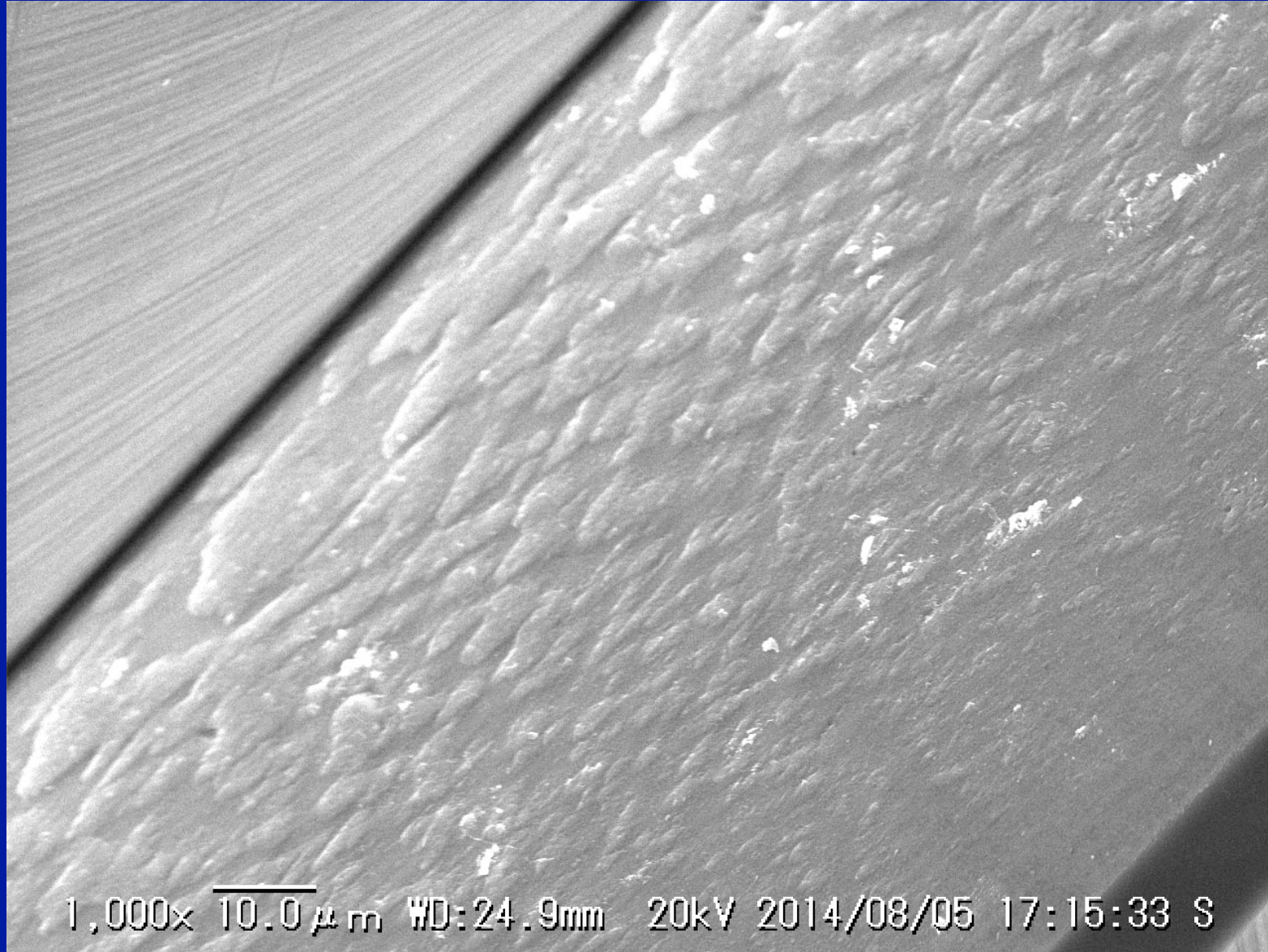


×1,000



全体に滑らかで、刃物側面側の谷底近傍に若干のムシレが見られる。

単刃エンドミルによるフライカット 3

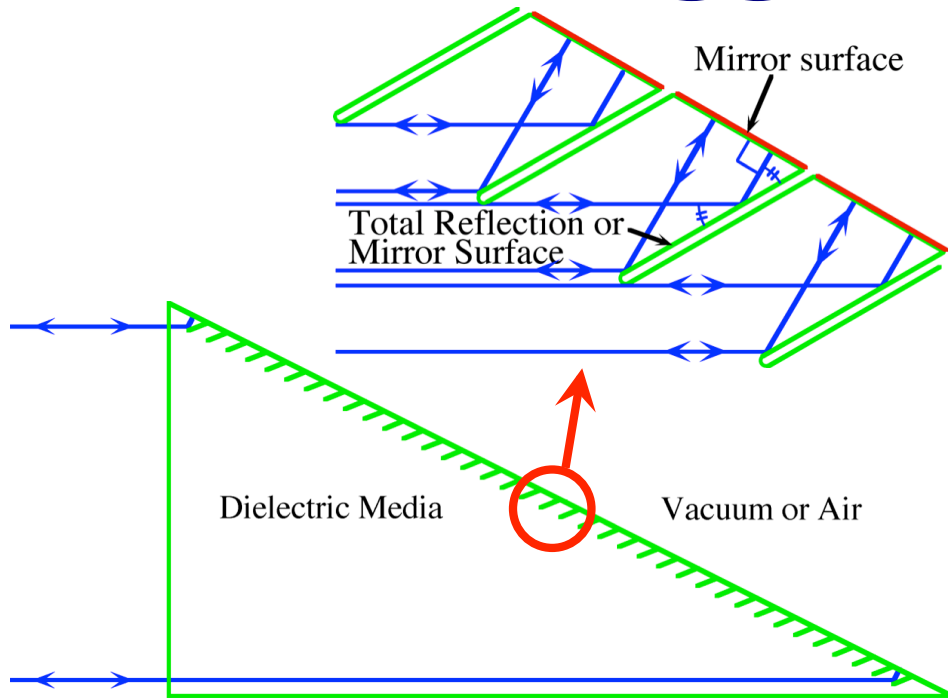


Si, 0.35 mm/min
刃物側面側にウロコ状のムシレが見られる。

× 2×1,000

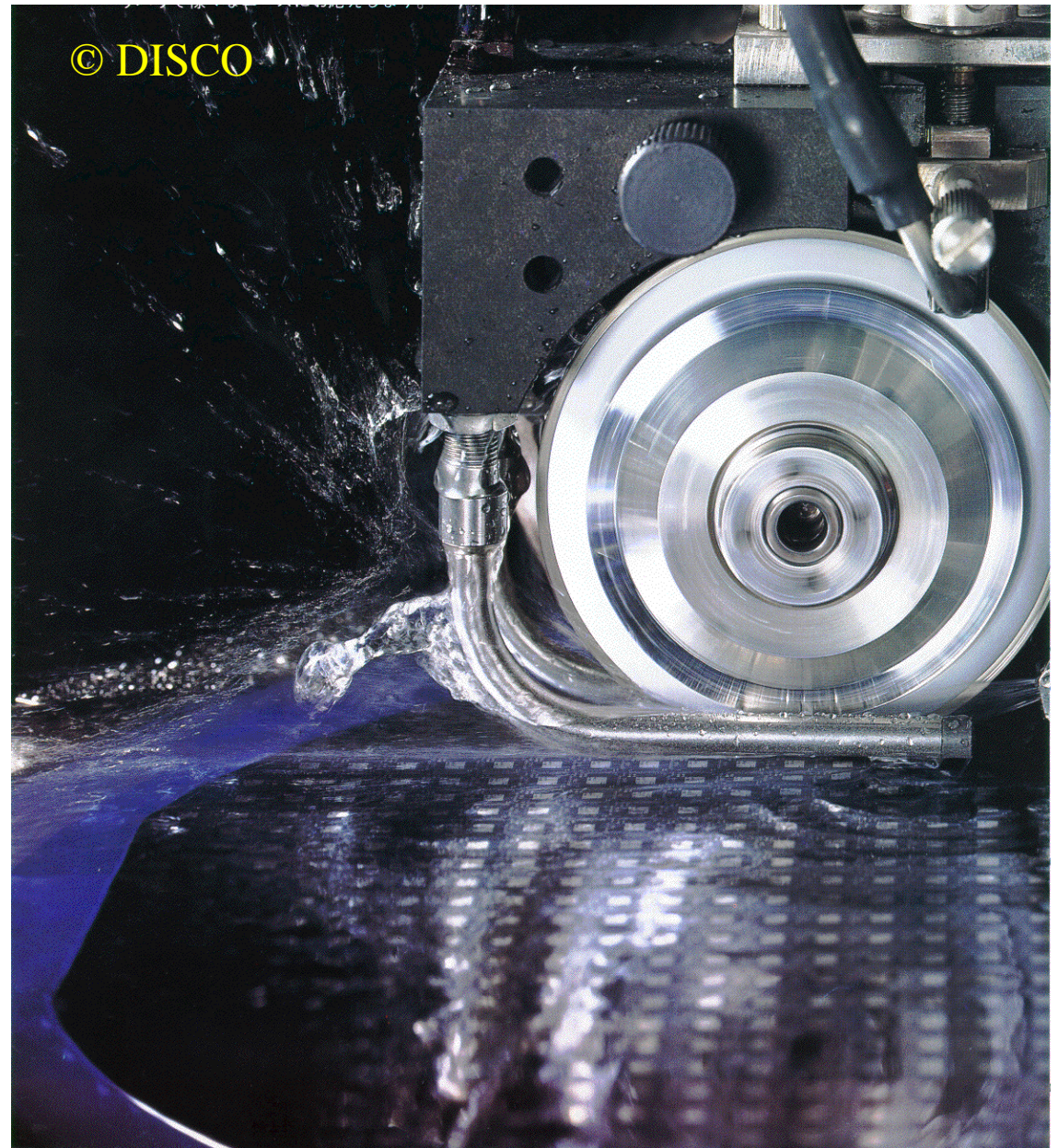
単結晶ダイヤモンド多刃エンドミルが有望。

Quasi-Bragg Immersion Grating



- ダイシングソーは表面仕上が滑らか。
- ツルーイングが容易。
- 実機: 120 x 120 x 270 mm の加工 → 数100 時間?

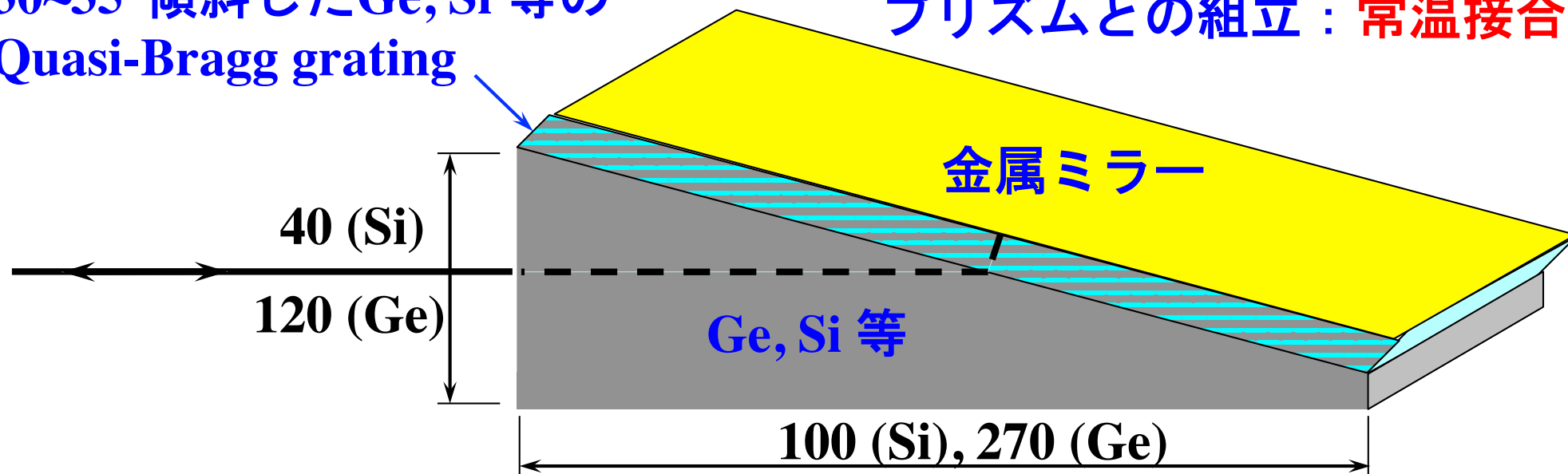
[Ebizuka et al., SPIE 6273, 2006]



Quasi-Bragg Immersion Gratingの仕様

30~35°傾斜したGe, Si等の
Quasi-Bragg grating

プリズムとの組立：常温接合?



1. 近赤外線用
(1~5 μm)

材 質：ZnSe, Si 等
サイズ, 層数：30 \times 0.20 \times t0.15 \times 400枚
周期誤差：30nm (P-V), 8nm (rms)

2. 中間赤外線用
(5~30 μm)

材 質：Ge, CdTe等
サイズ, 層数：120 \times 0.8 \times t0.6 \times 400枚
周期誤差：100nm (P-V), 30nm (rms)

まとめ

- Quasi-Bragg gratingは高次の回折効率が高い。
→金属ミラー基板の常温接合による積層が有望。
- Immersion gratingは分光観測装置を劇的に小型軽量化できる。
- 研削加工によるGe immersion gratingの実用化に成功。
- 単結晶ダイヤモンド工具の切削加工によるSiやGe等のImmersion gratingの加工を検討。→単結晶ダイヤモンド多刃エンドミルによる高速切削加工が有望。
- Quasi-Bragg immersion gratingのプリズムとQuasi-Bragg gratingの接合にも常温接合が有望。