

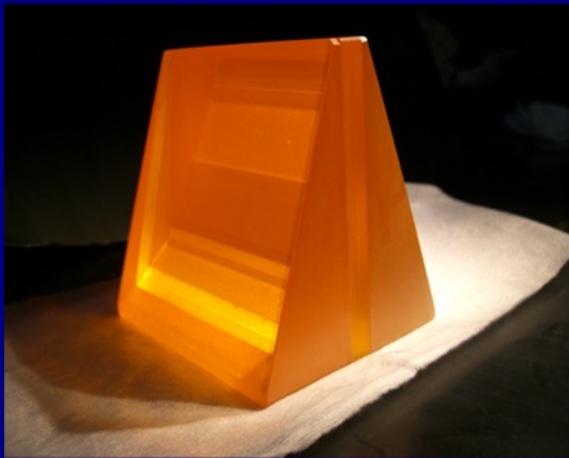
次世代観測装置用の新しい回折格子 VIII

海老塚 昇¹, 岡本 隆之², 山形 豊¹, 佐々木 実³,
西牧 真木夫⁴, 山本 和也⁴, 岡田 真⁴, 佐伯 和人⁵,
仲内 悠祐⁶, 田中 壺⁷, 服部 堯⁷, 本原 顕太郎⁸,
児玉 忠恭⁹, 尾崎 忍夫¹⁰, 青木 和光¹⁰

¹ 理化学研究所 光量子工学研究センター, ² 理化学研究所 石橋極微デバイス研究室,
³ 豊田工業大学 工学部, ⁴ ナルックス (株) 技術開発部, ⁵ 大阪大学 理学研究科,
⁶ JAXA/ISAS, ⁷ 国立天文台 ハワイ観測所, ⁸ 東京大学 天文学教育研究センター,
⁹ 東北大学 理学研究科, ¹⁰ 国立天文台 TMT推進室



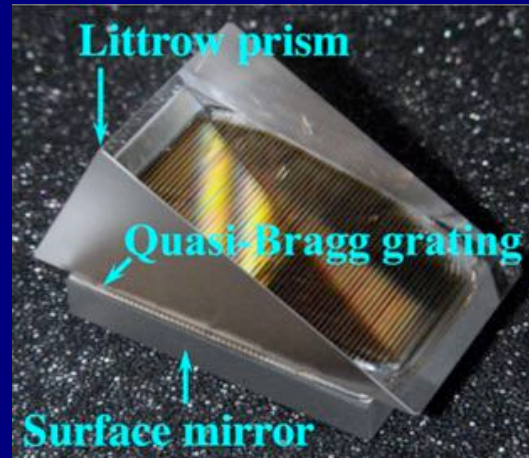
各種回折格子の開発



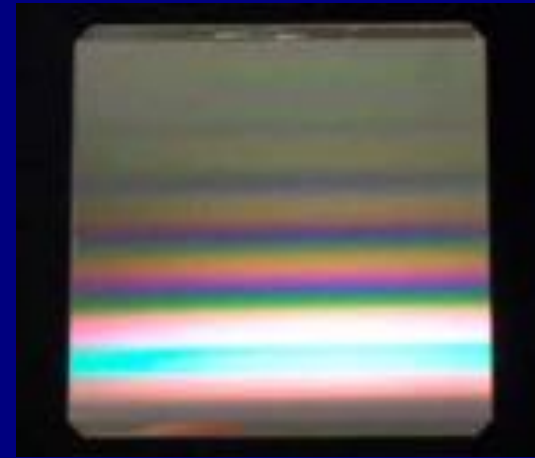
VPHグリズム



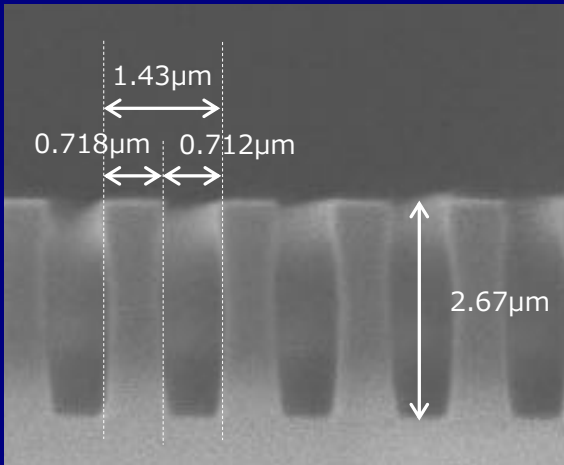
Quasi-Bragg (QB) grating



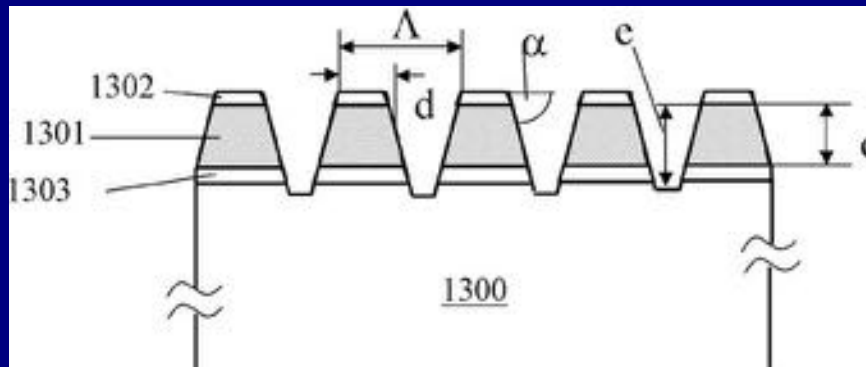
QB immersion grating



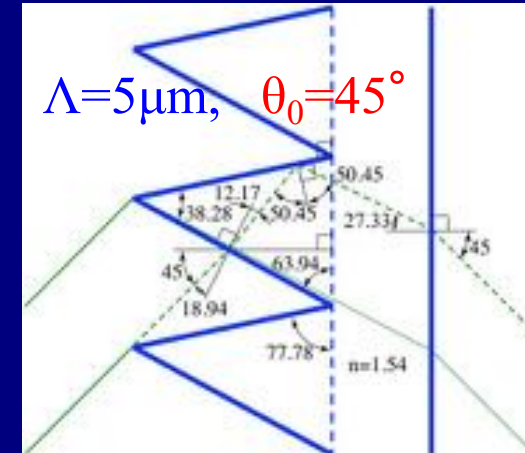
近-中間赤外線 Geグリズム



Volume binary (VB) grating

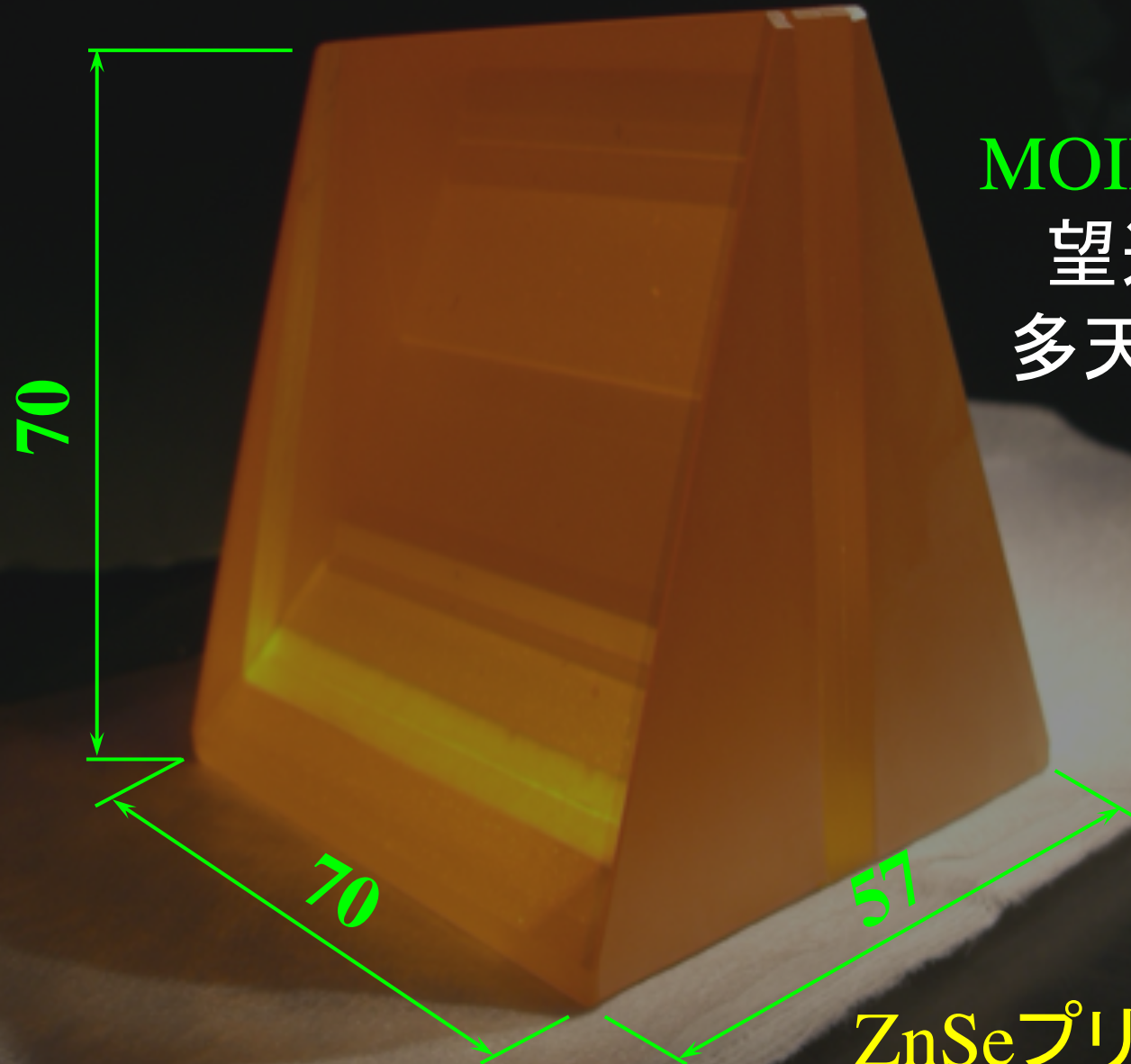


LightSmyth 透過型回折格子



Reflector facet transmission (RFT) grating

MOIRCS用高分散グリズム

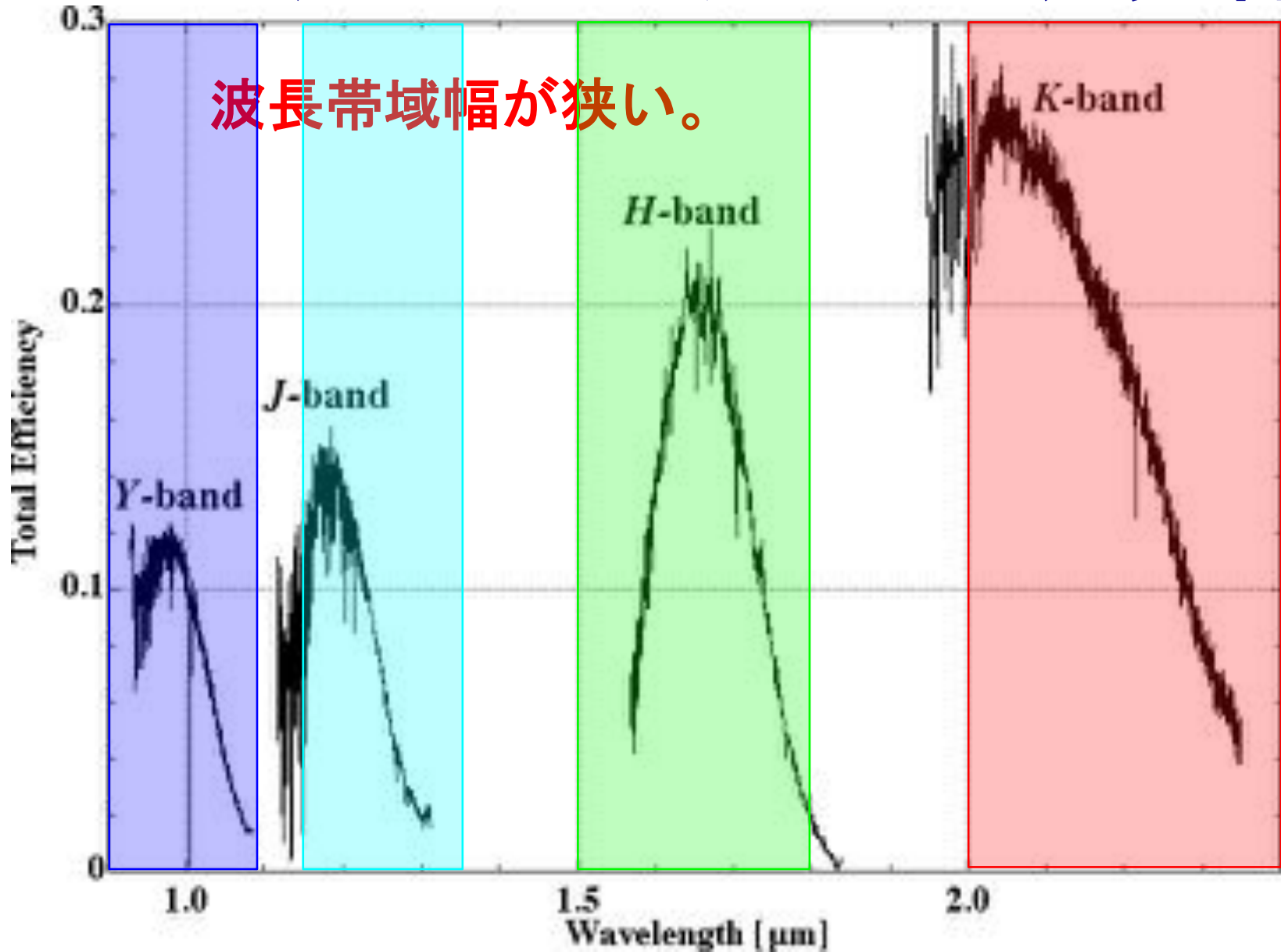


MOIRCS: 8.2mすばる
望遠鏡の近赤外線
多天体分光撮像装置

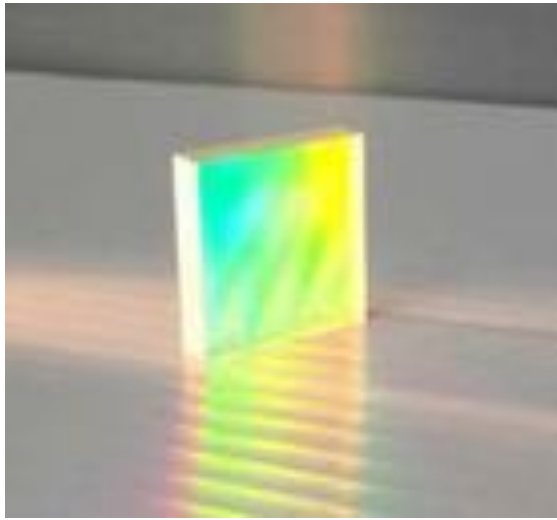
ZnSeプリズム+VPH grating

MOIRCS用VPHグリズムの分光特性

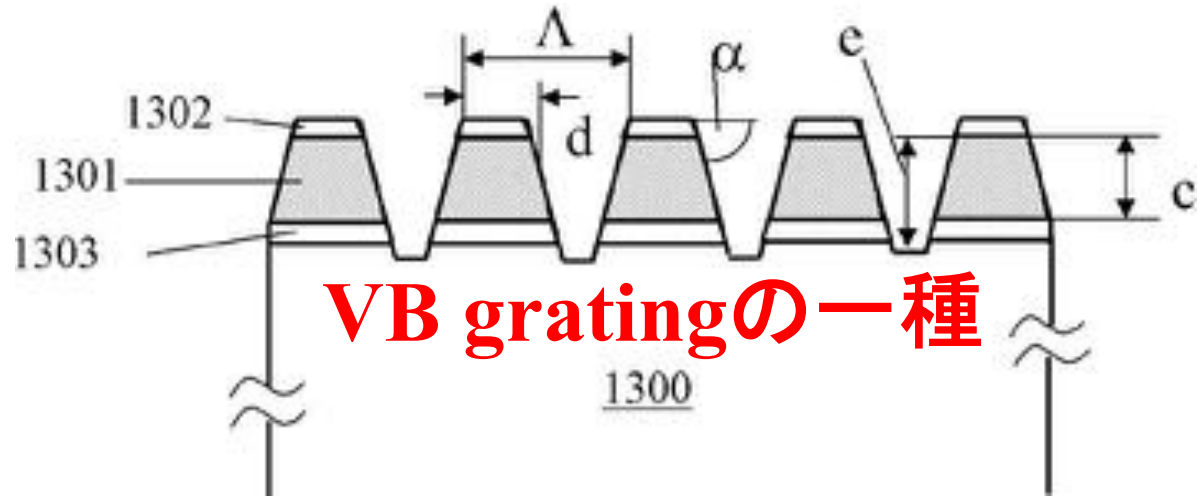
望遠鏡、光学系、検出器を含めた効率



LightSmyth社の透過型回折格子



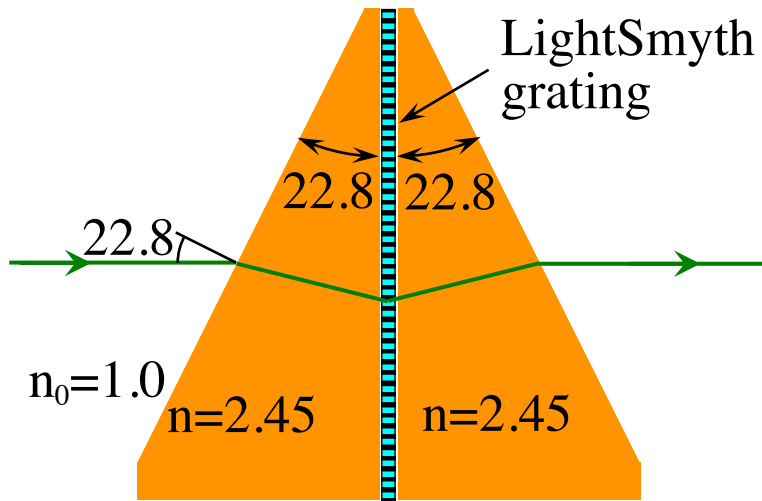
<http://www.lightsmyth.com/product/transmission-gratings-for-optical-communications/>



VB gratingの一種

1302: SiO₂ 1301: Si₃N₄
 1303: SiO_xN_y 1300: SiO₂

[US Patent: US 8,165,436 B2]

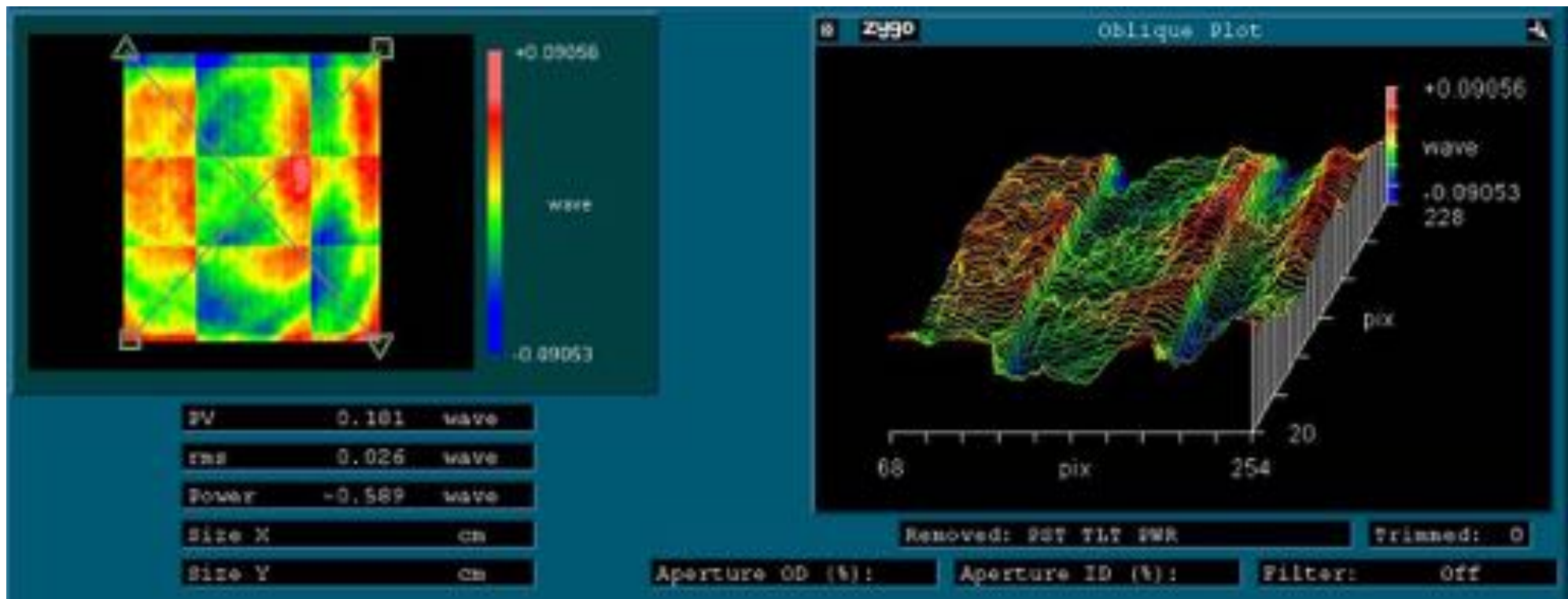
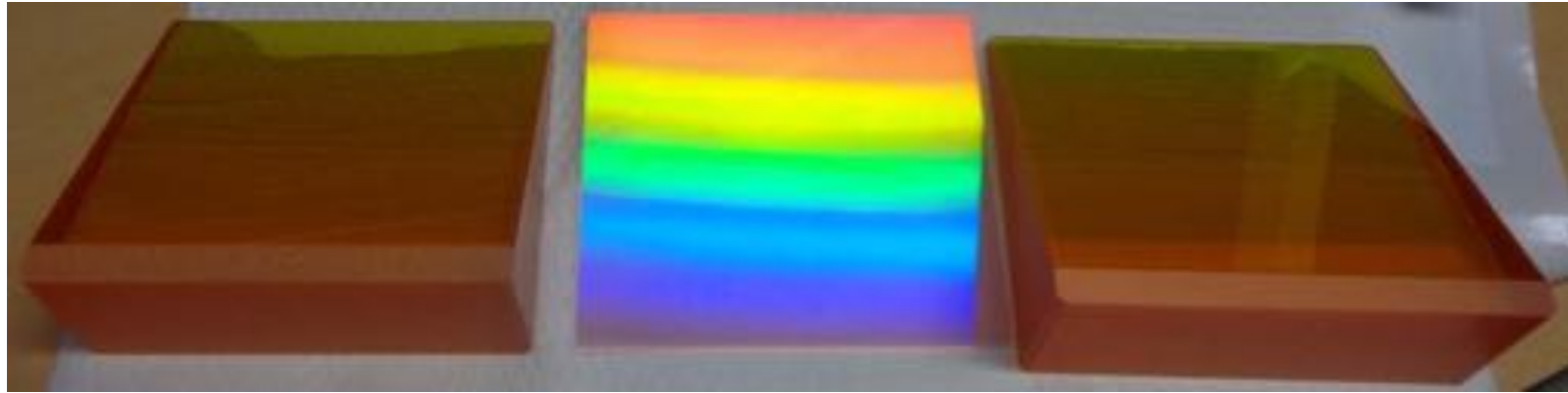


グリズムの概念図

製品概要

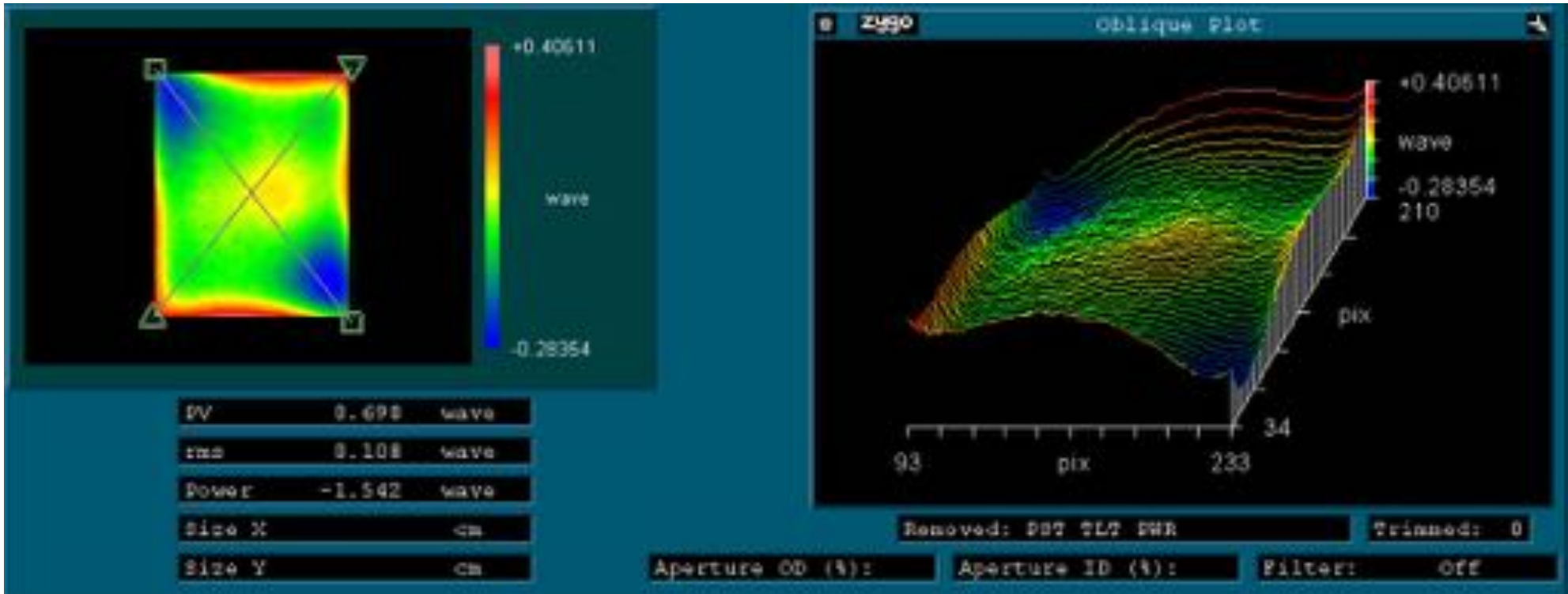
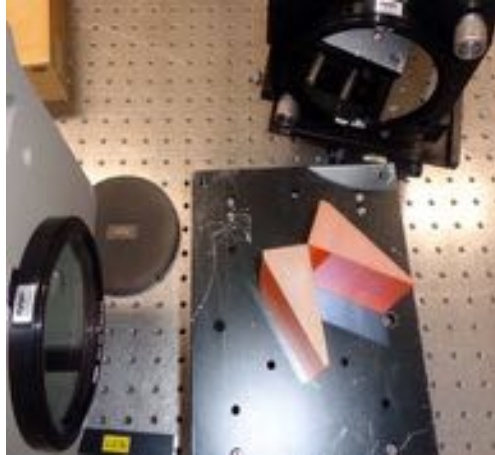
最大サイズ: φ130
 波長帯: 800~2,500nm
 入射角: 30~68°
 (ブラッグ角)

J band用gratingの波面



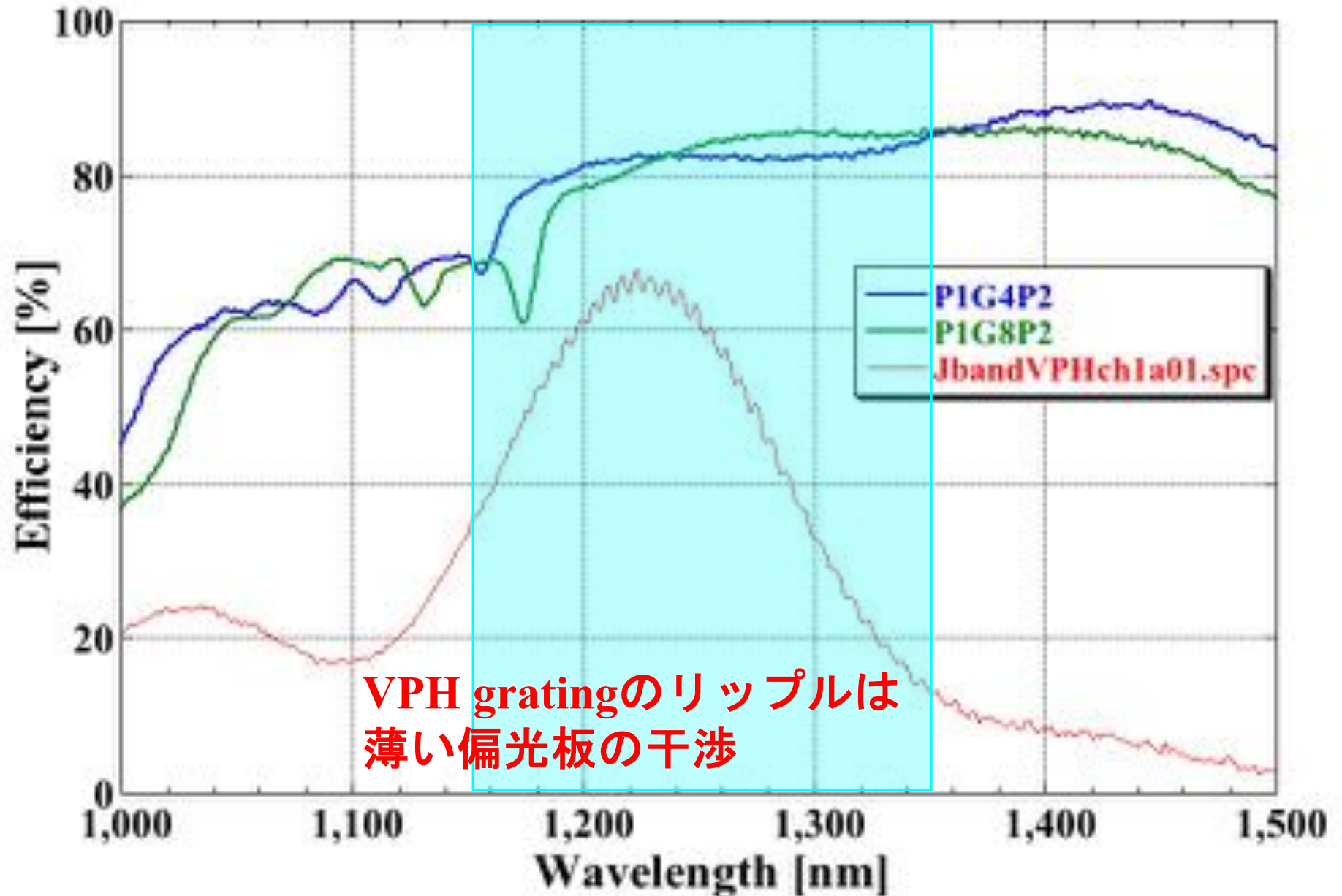
Grating #1605の波面

H band用Prismの波面

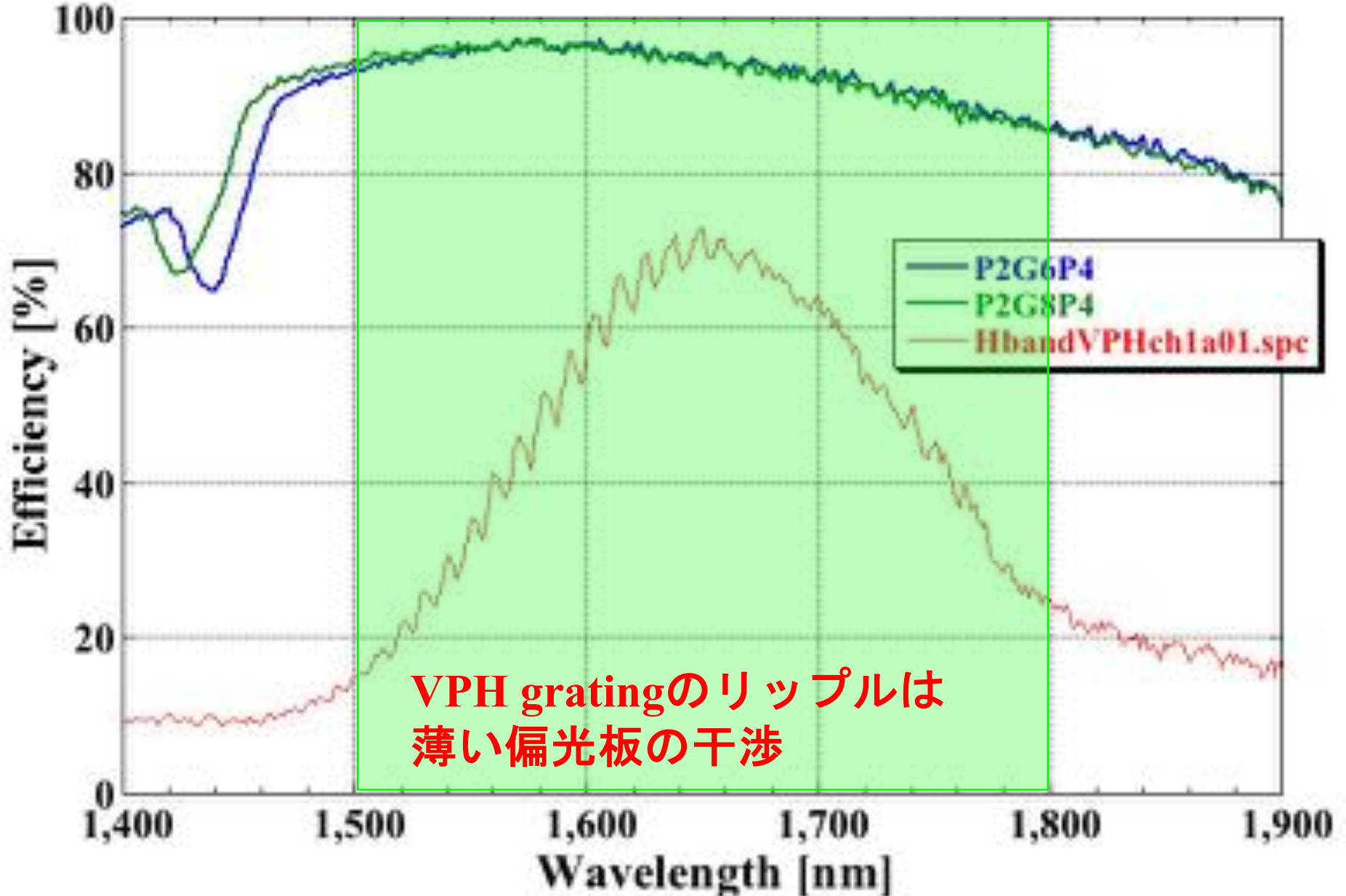


H band ZnSe prism No.3+No.5

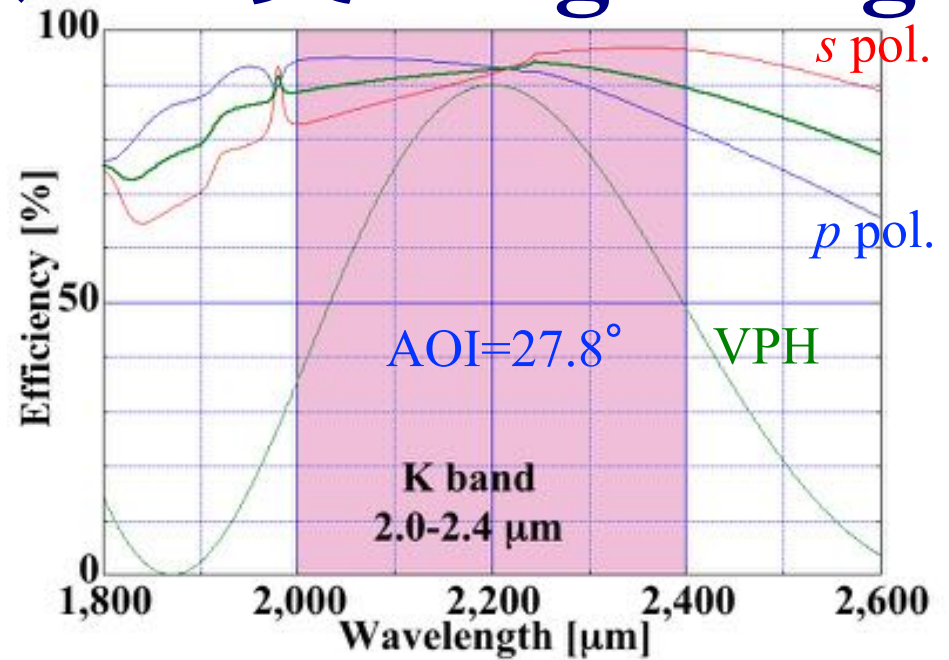
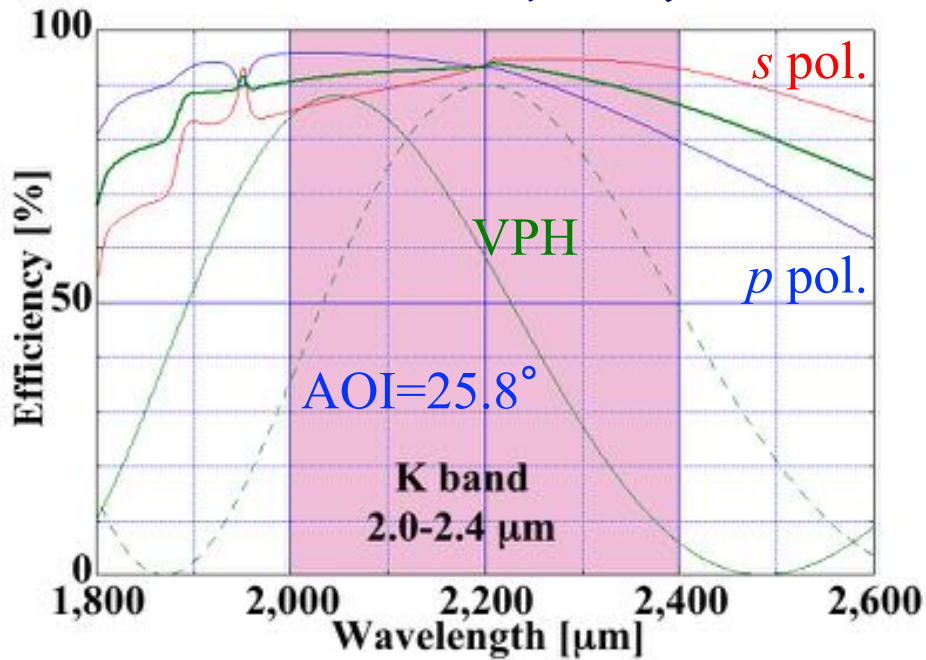
J band grismの回折効率



H band grismの回折効率



Kバンド グリズム用石英VB grating



MOIRCS K band grism

Size: 70 × 70 [mm]

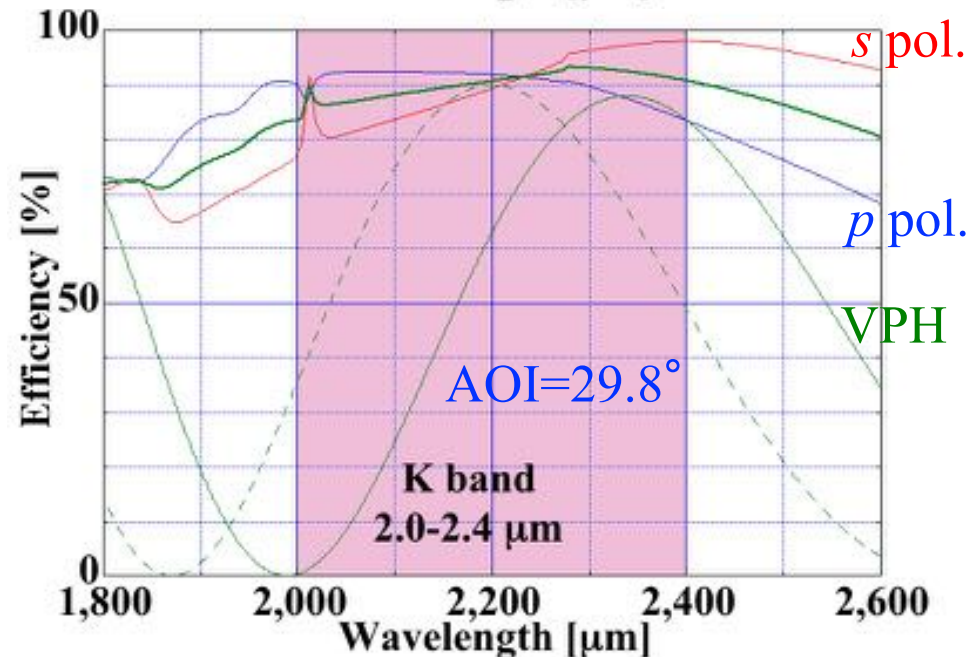
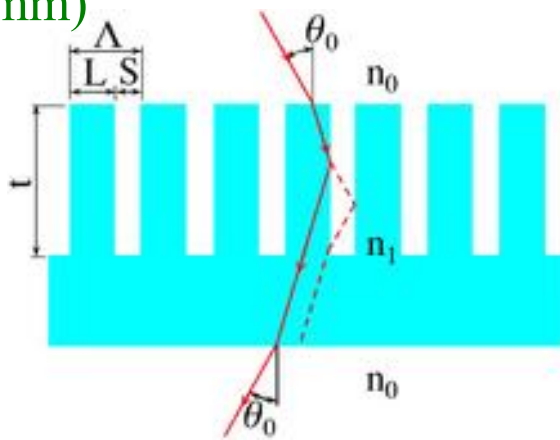
Material: Silica ($n=1.435$)

$\Lambda=2.36\mu\text{m}$ (423.7 g/mm)

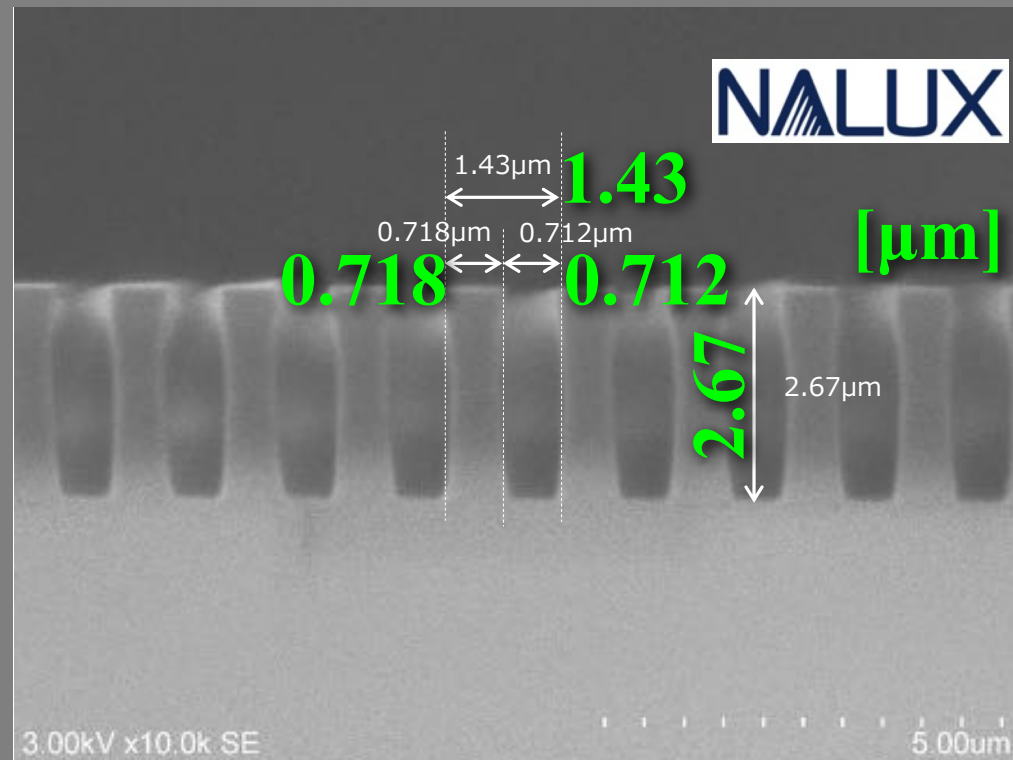
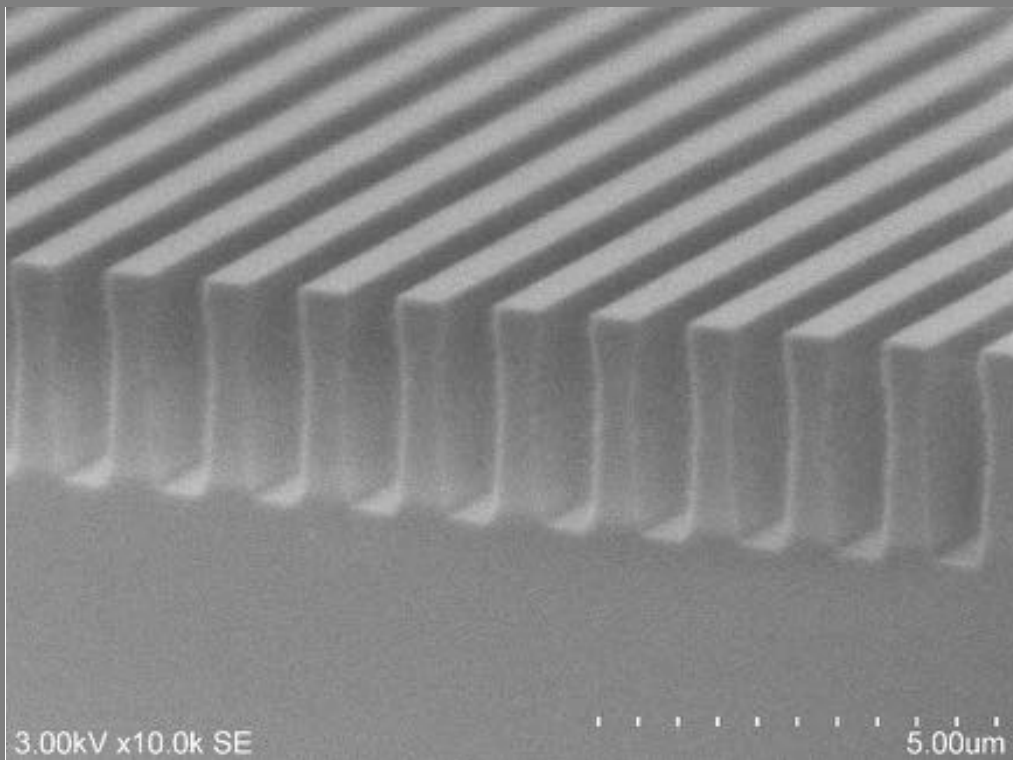
$t=4.25\mu\text{m}$

L&S=1:1

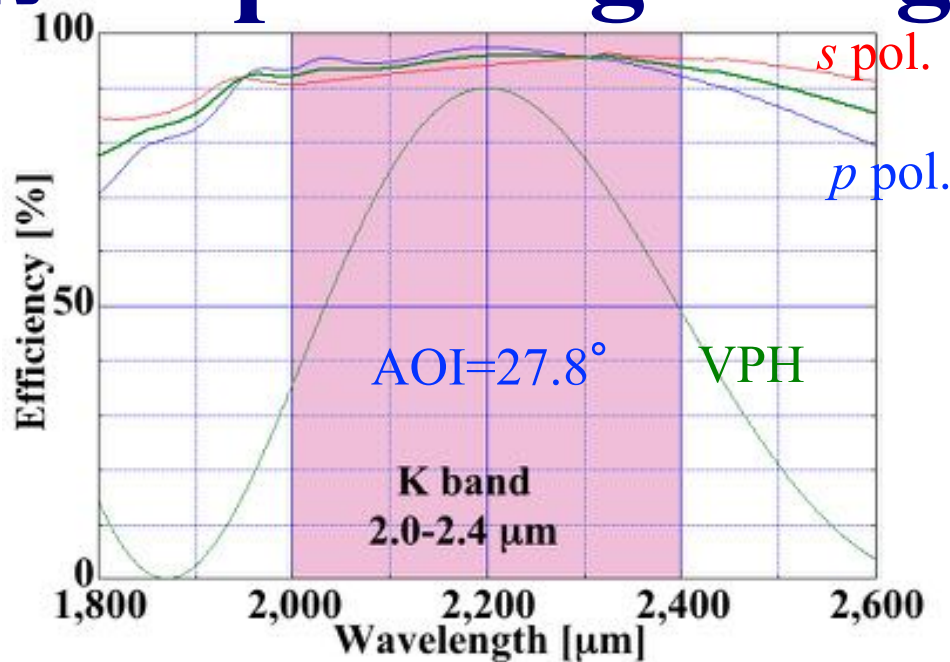
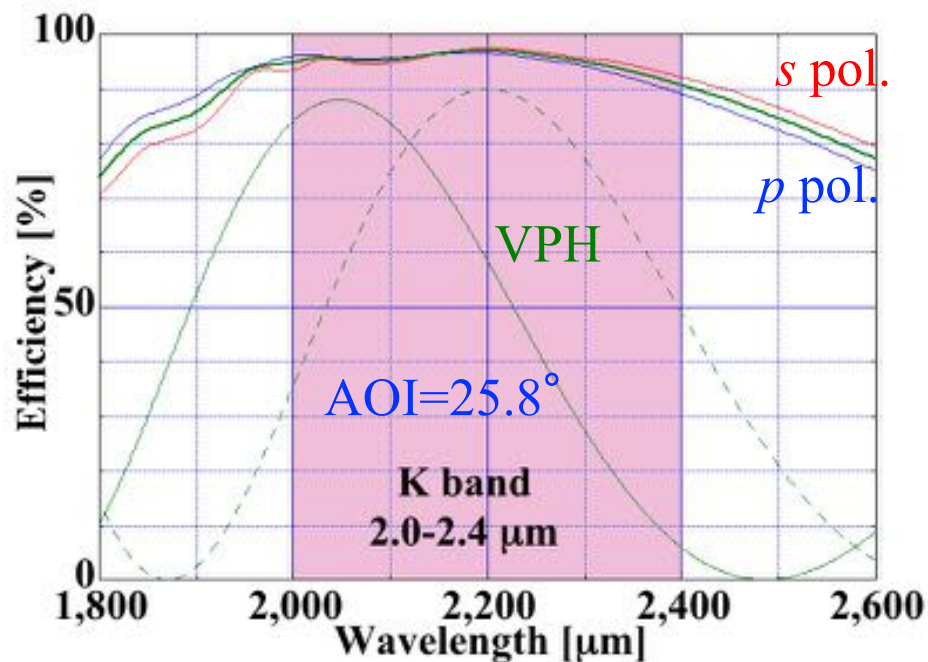
$\theta_0 = 27.8^\circ$



異方性ドライエッチングによる 石英VB gratingの直接加工



Kバンド グリズム用 Trapezoid grating



MOIRCS K band grism

Size: 70 × 70 [mm]

Material: Polymer ($n \sim 1.5$)

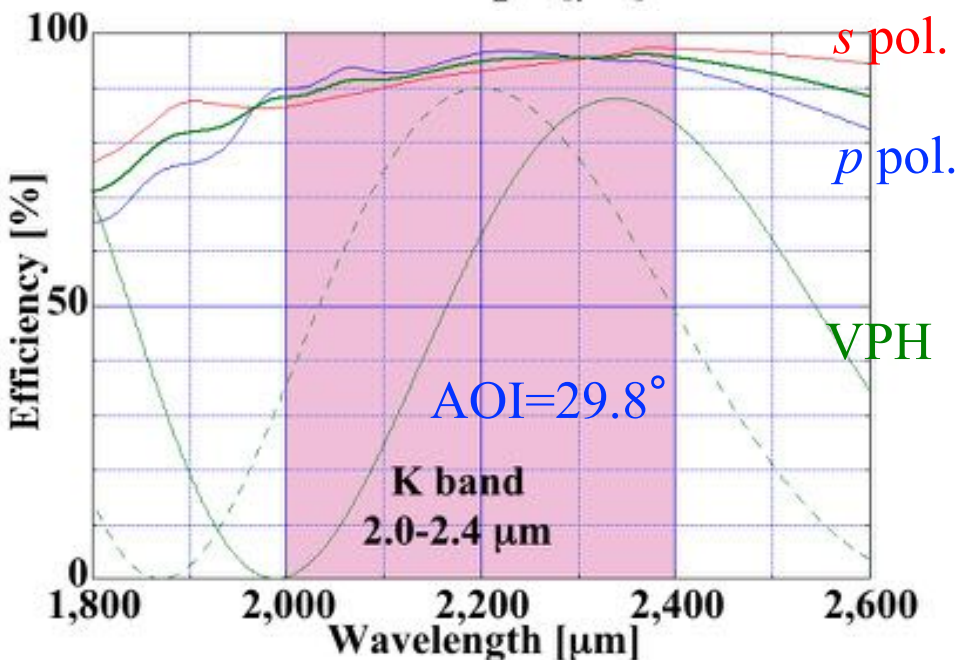
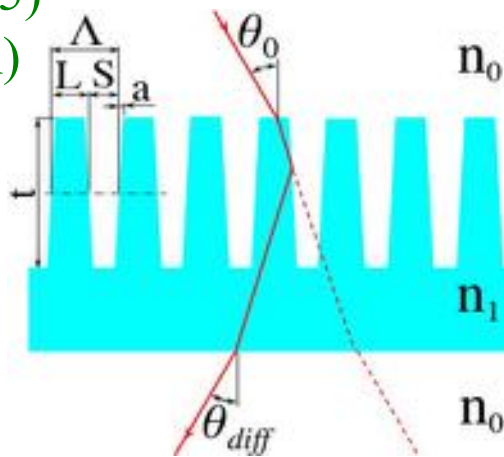
$\Lambda = 2.36 \mu\text{m}$ (423.7 g/mm)

L&S = 1.39:0.97 [μm]

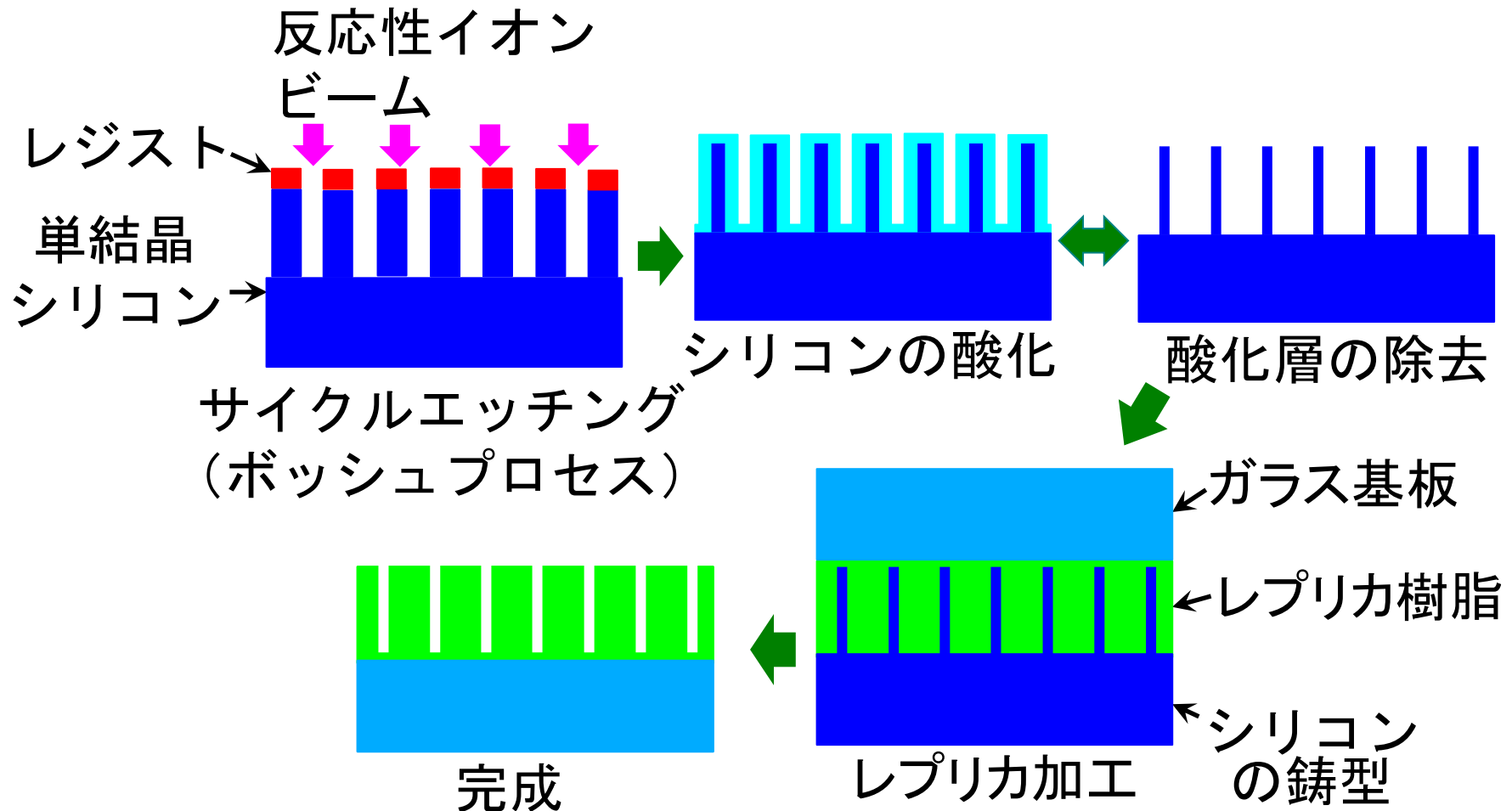
$t = 4.5 \mu\text{m}$

$a = 0.28 \mu\text{m}$

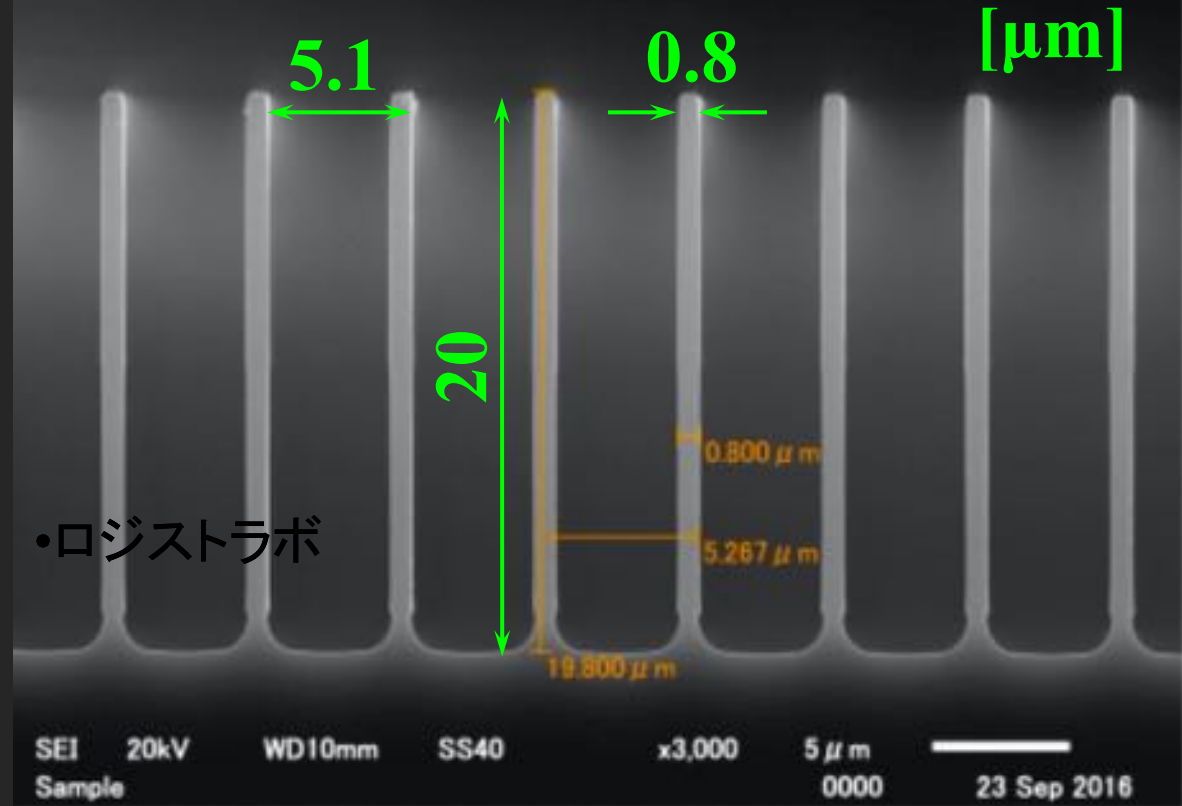
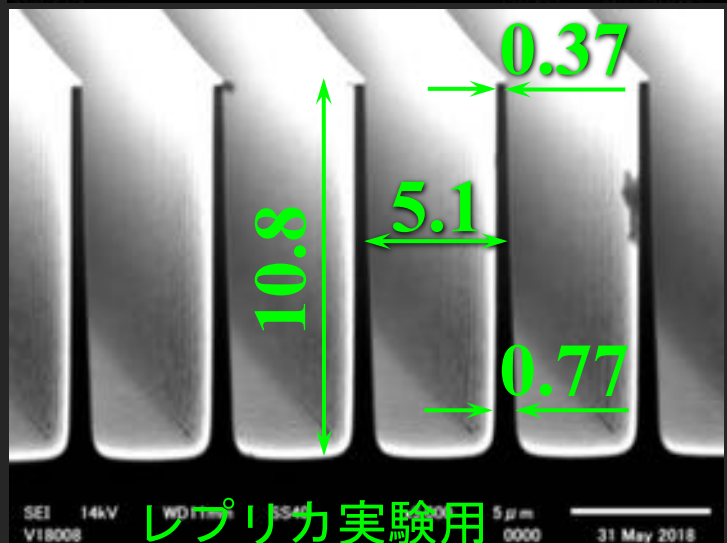
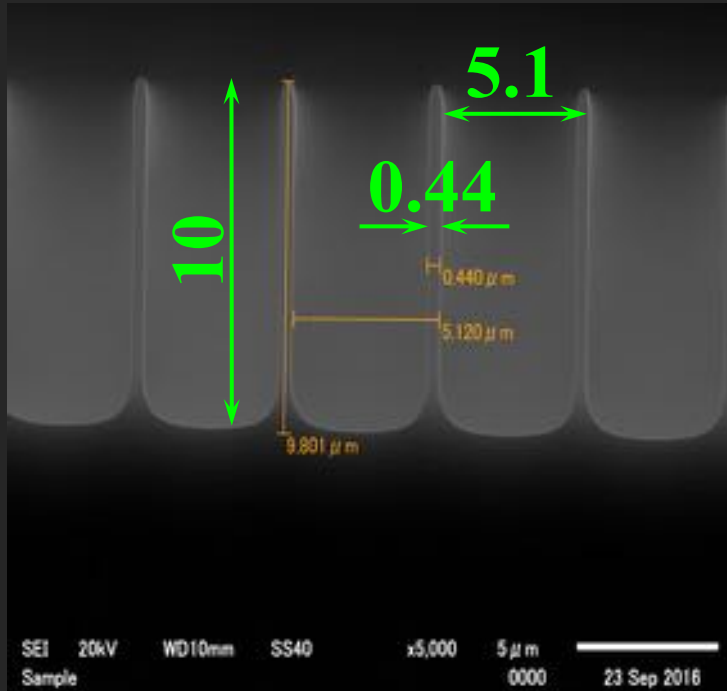
$\theta_0 = 27.8^\circ$



Trapezoid/VB Gratingのレプリカ加工



シリコンVB Gratingの鋳型の試作



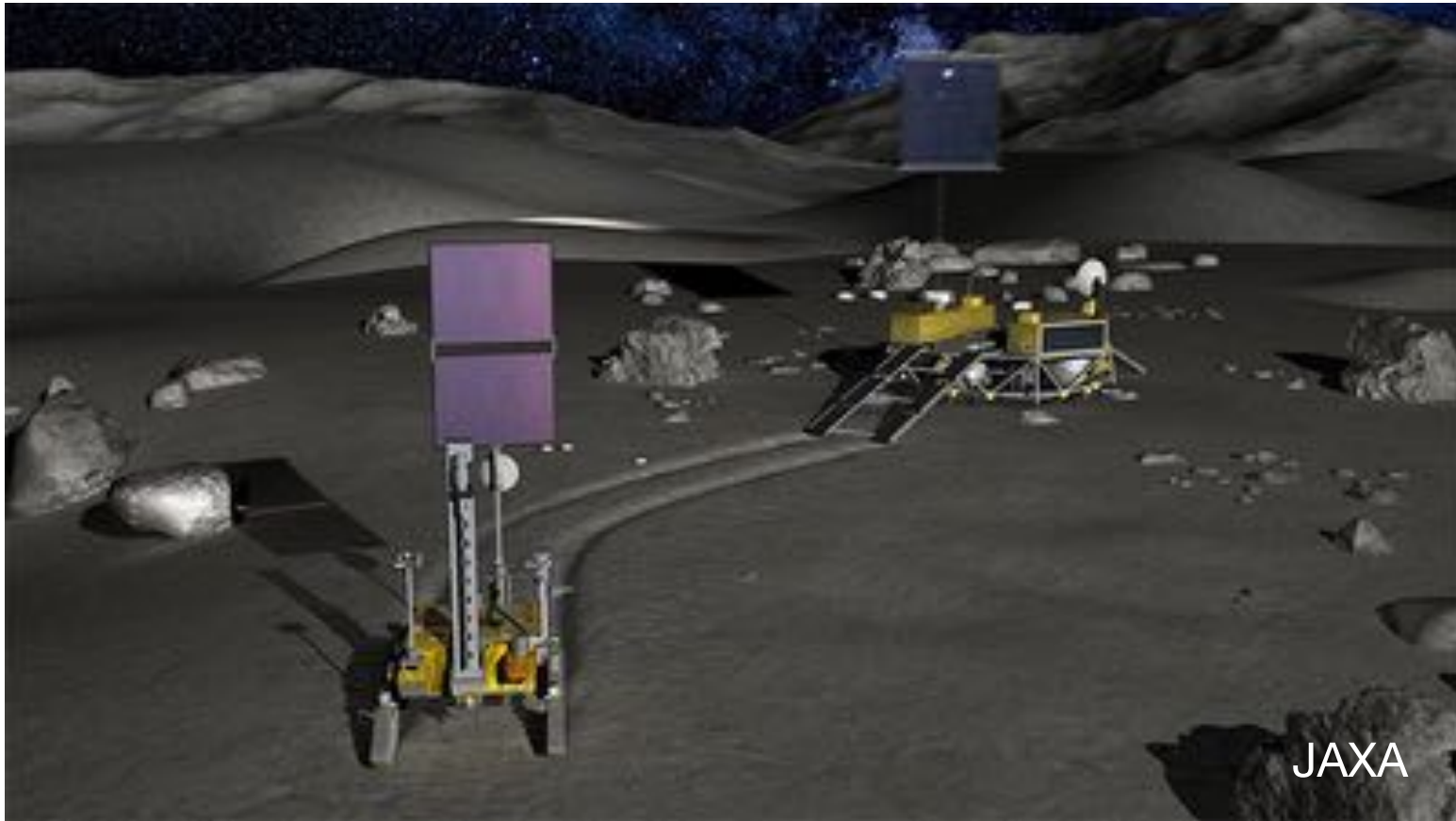
•ロジストラボ

豊田工業大学ナノテクノロジープラットフォームにおいて試作。

ALIS用VB gratingの開発

月極域探査計画 (LUPEX)

月の水資源が将来の持続的な宇宙探査活動に利用可能か判断するための探査



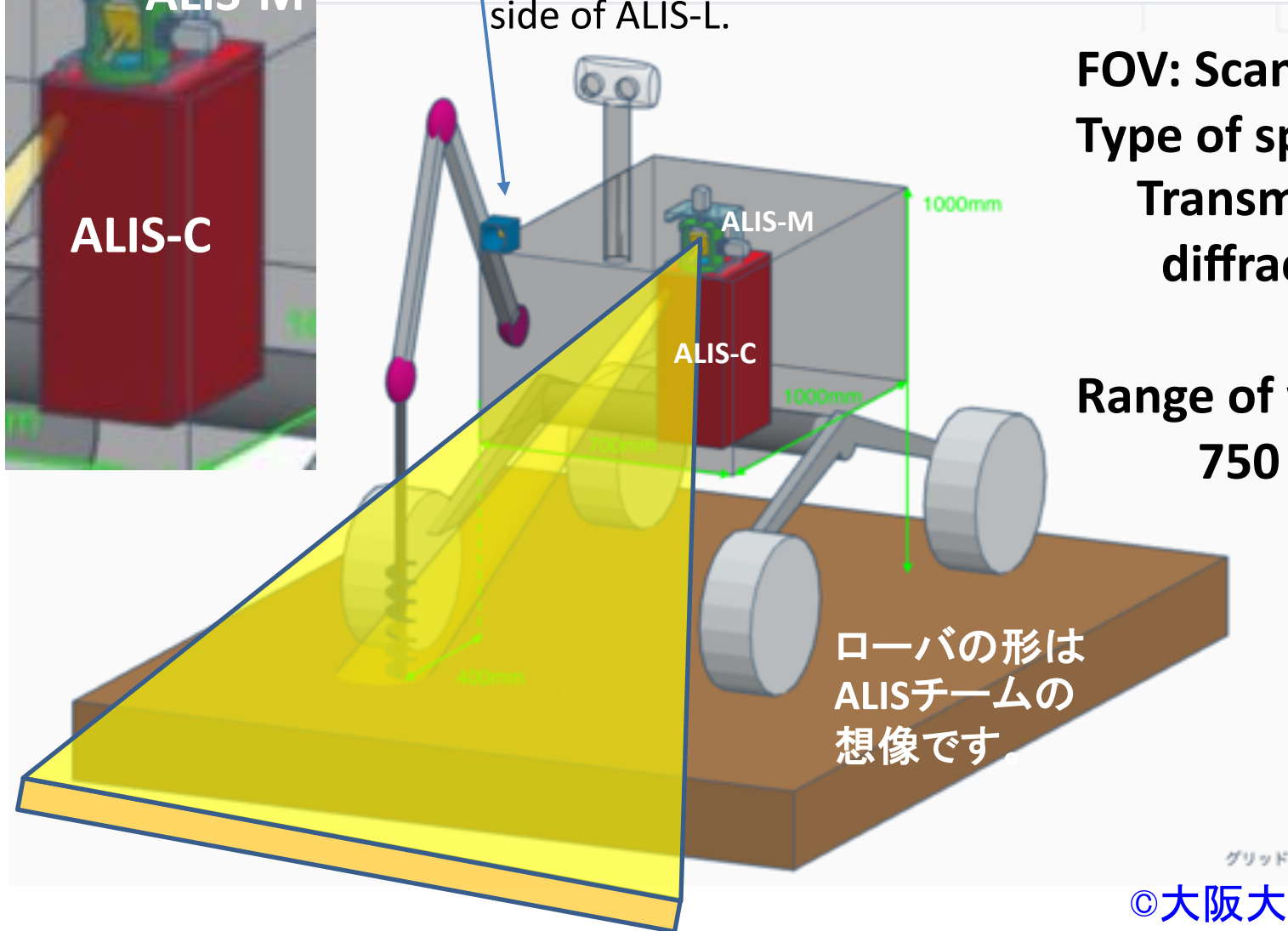
JAXAと、インド宇宙研究機関 (ISRO) との国際協働ミッション
2023年度以降の打ち上げを目指す。

©大阪大学 佐伯さんのスライド

Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS)

ALIS-L

ALIS-R is likely to be stuck on the side of ALIS-L.



IFOV:

2000 mm x 10 mm @ 5 m

FOV: Scan operation

Type of spectroscopy:

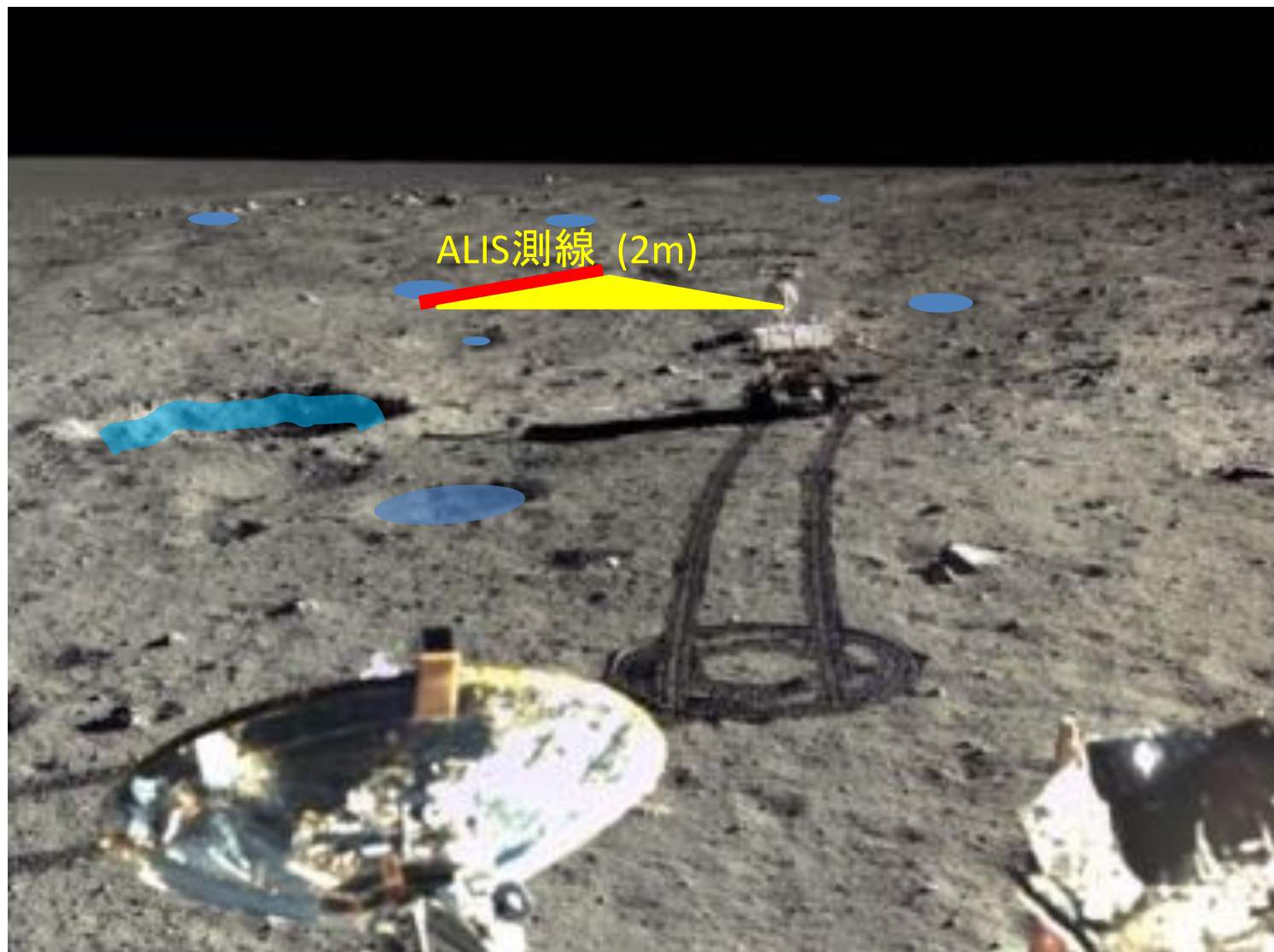
**Transmission type
diffraction grating**

Range of wavelength:

750 nm – 1650 nm

グリッドE

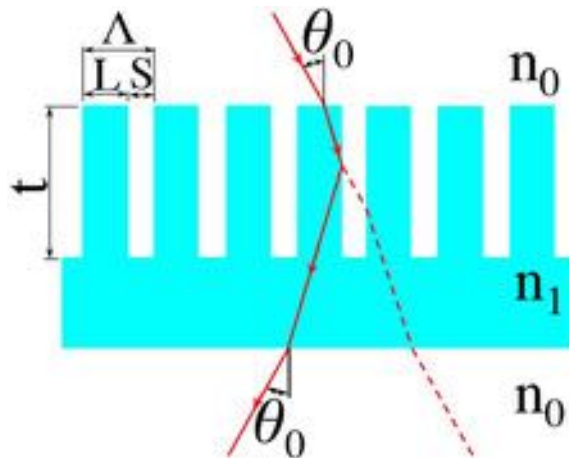
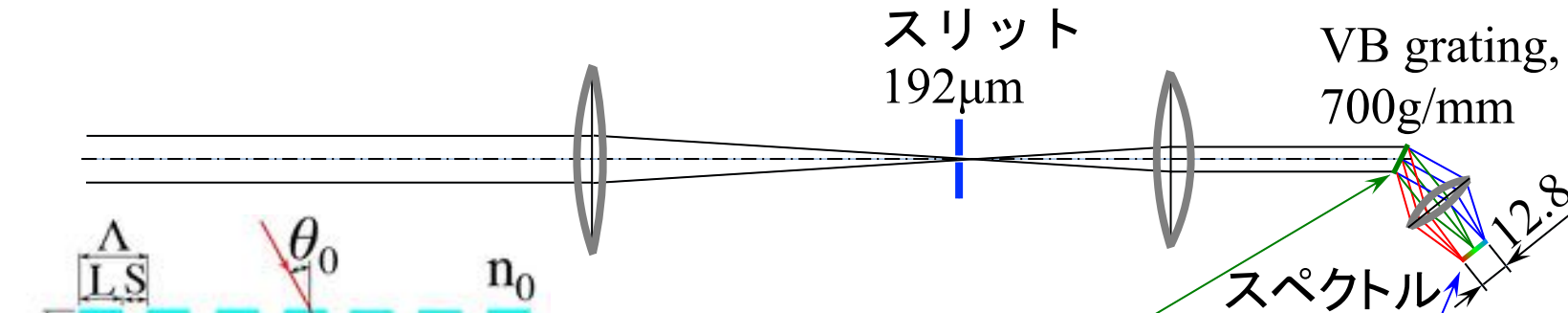
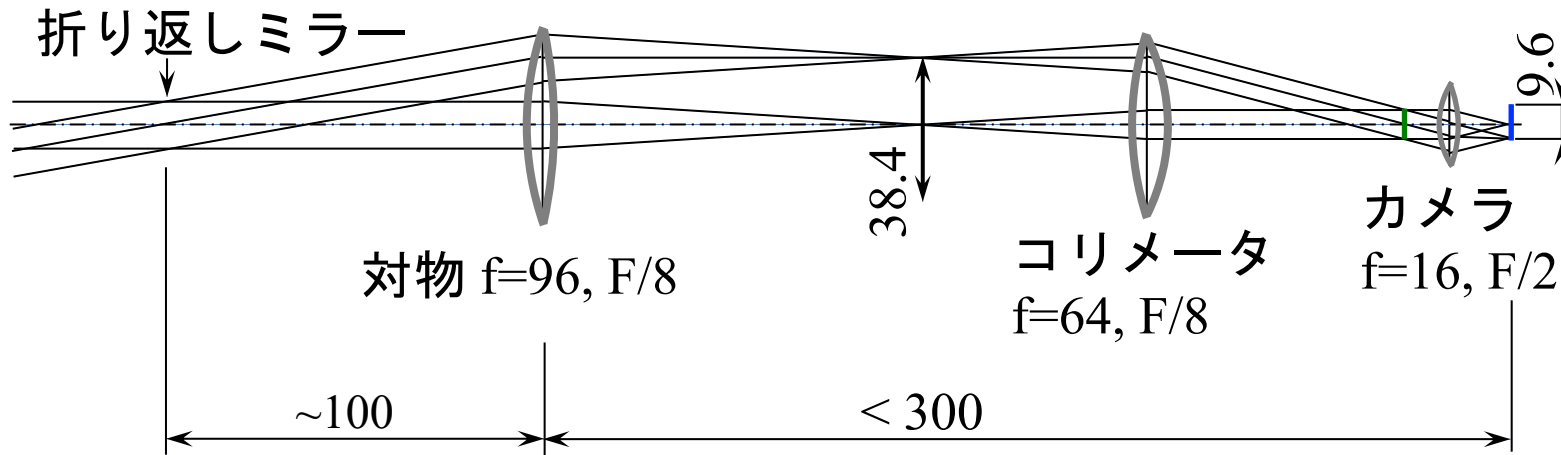
大雑把な氷の観測イメージ



一度に連続スペクトルが観測できるので、
永久影で光源を短時間点灯させて弱い吸収帯を探するという運用が可能

嫦娥4号の画像に加筆

ALISの光学系(700g/mm)

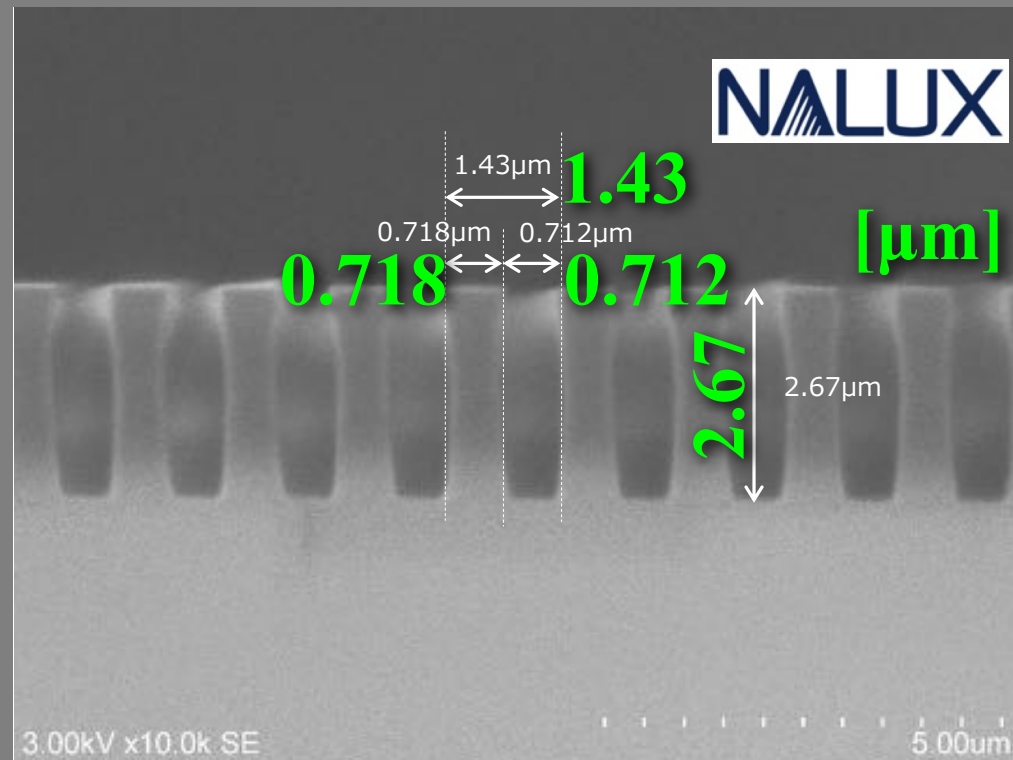
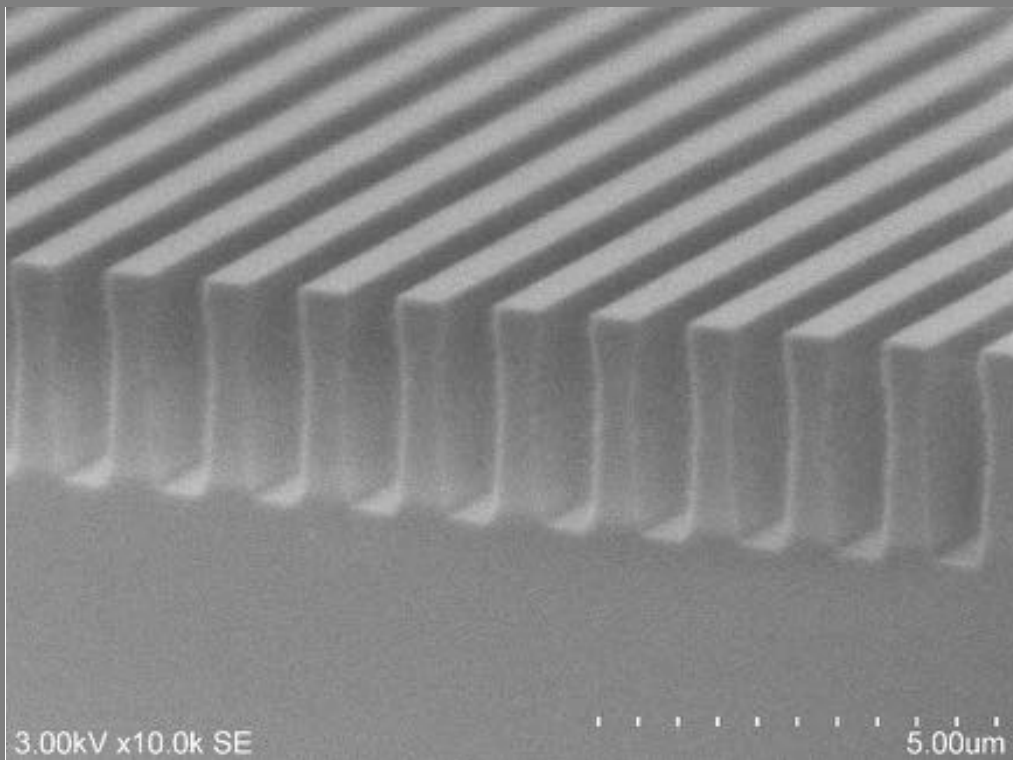


Volume binary (VB) gratingの概念図

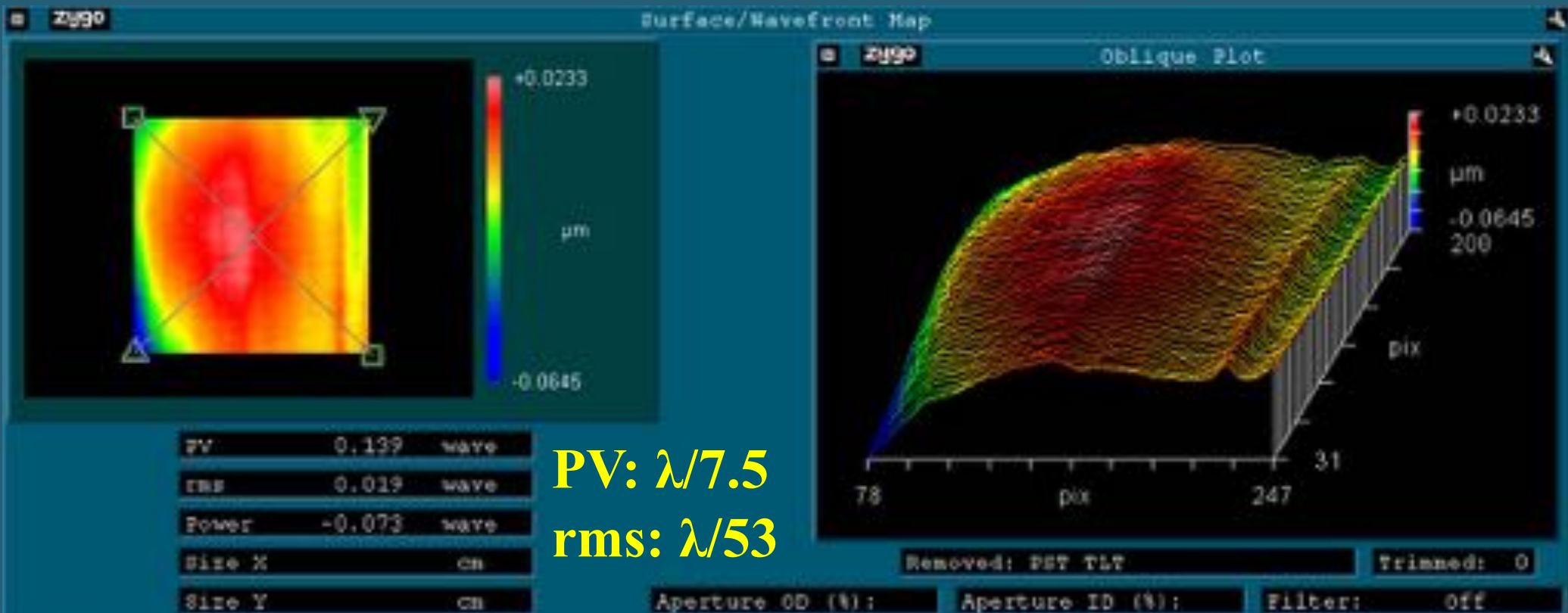
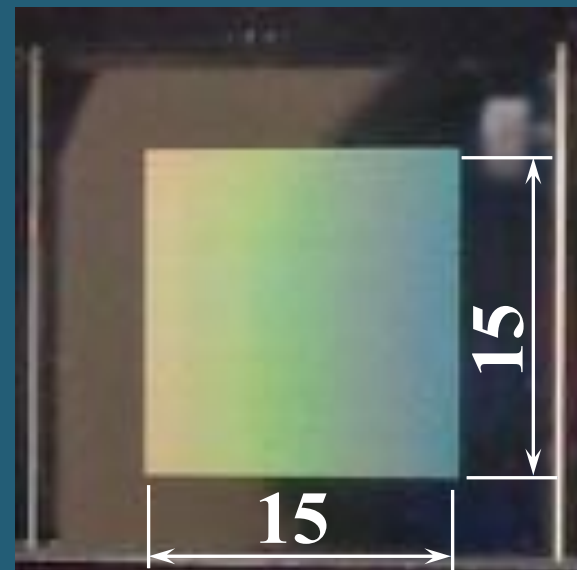
VB grating
 格子周期: $\Lambda=1.43\ \mu\text{m}$
 (700 g/mm)
 入射角 : $\theta_0=25.7^\circ$
 材質 : 石英
 有効径 : $4.44 \times 4\text{mm}$

検出器 : InGaAs
 画素数 : $640 \times 480\text{pix}$
 ピクセルサイズ : $20 \times 20\ [\mu\text{m}]$
 波長帯域 : $750 \sim 1,650\text{nm}$

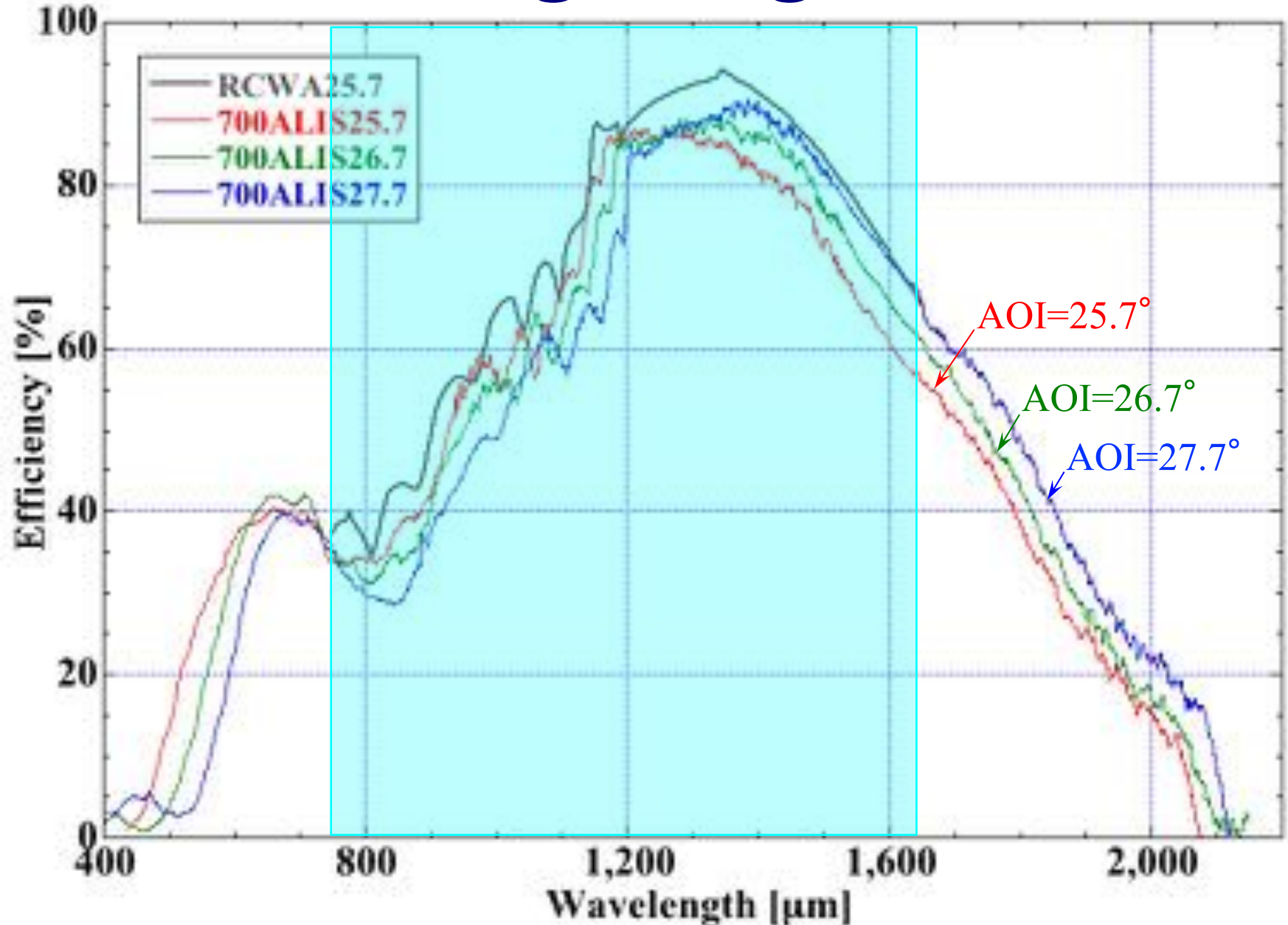
異方性ドライエッチングによる 石英VB gratingの直接加工



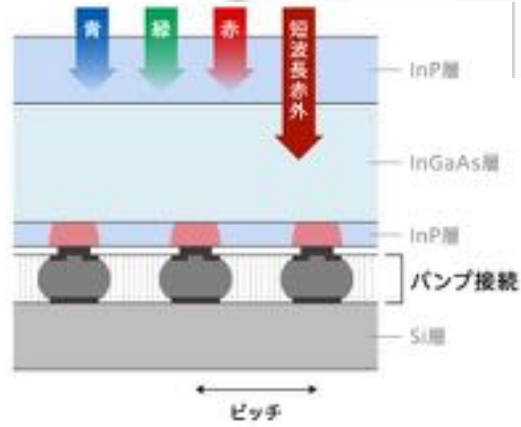
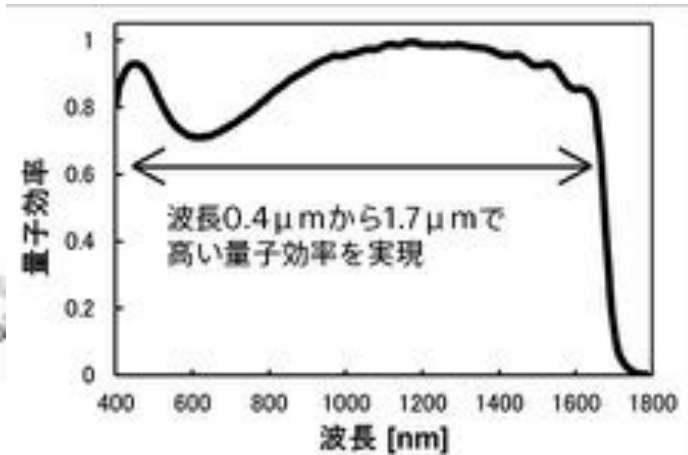
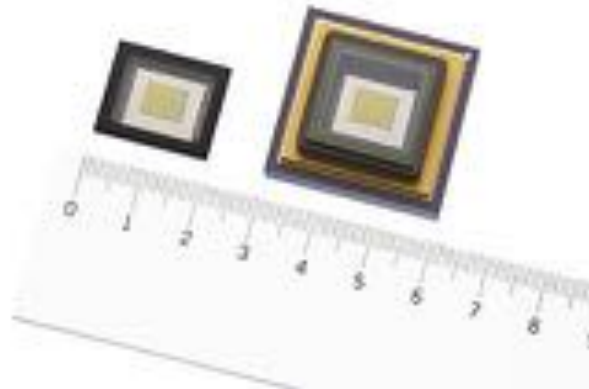
試作したVB grating の回折光の波面



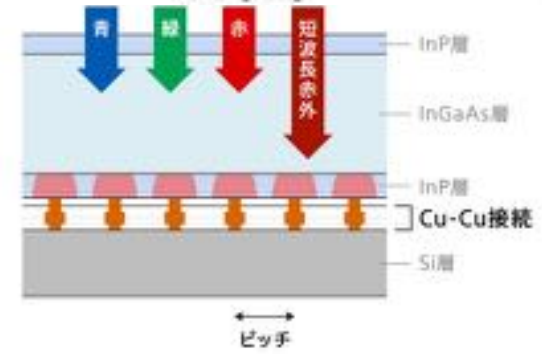
試作したVB gratingの回折効率



ALIS用InGaAs検出器の変更



バンプ接続の場合(従来)



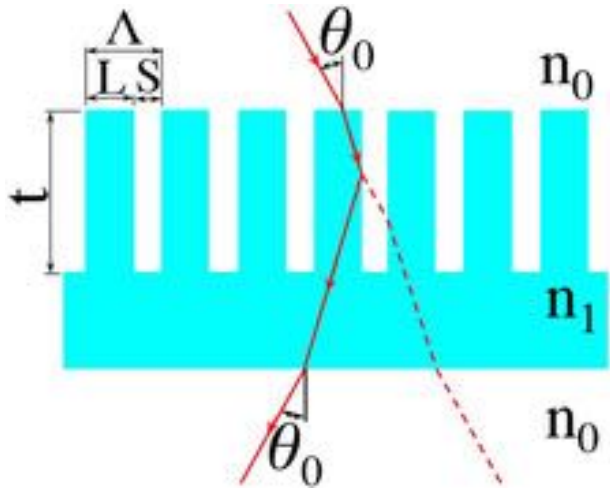
Cu-Cu接続の場合

[<https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/202005/20-036/>]

Xenics (20 × 20 [μm], 640 × 512 pix) → Sony (5 × 5 [μm], 1280 × 1024 pix)
→ レンズの設計・製作が困難

$\Lambda = 1.43\mu\text{m}$ (700g/mm) → $2.0\mu\text{m}$ (500g/mm)
→ 新しいVB gratingの製作方法を開発中。

500g/mmのVB grating



格子周期: $\Lambda=2.0 \mu\text{m}$ (500 g/mm)

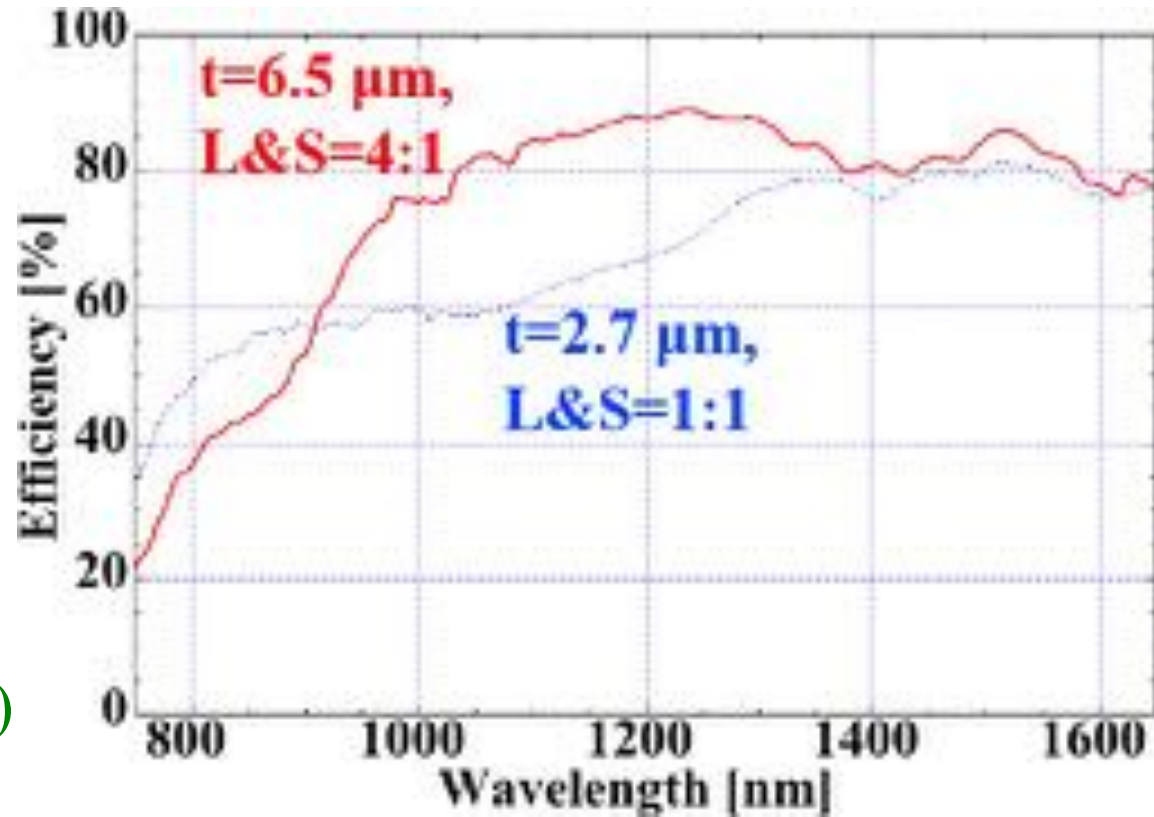
L&S : 1.6:0.4 [μm] (4:1)

溝の深さ: $t=6.5 \mu\text{m}$

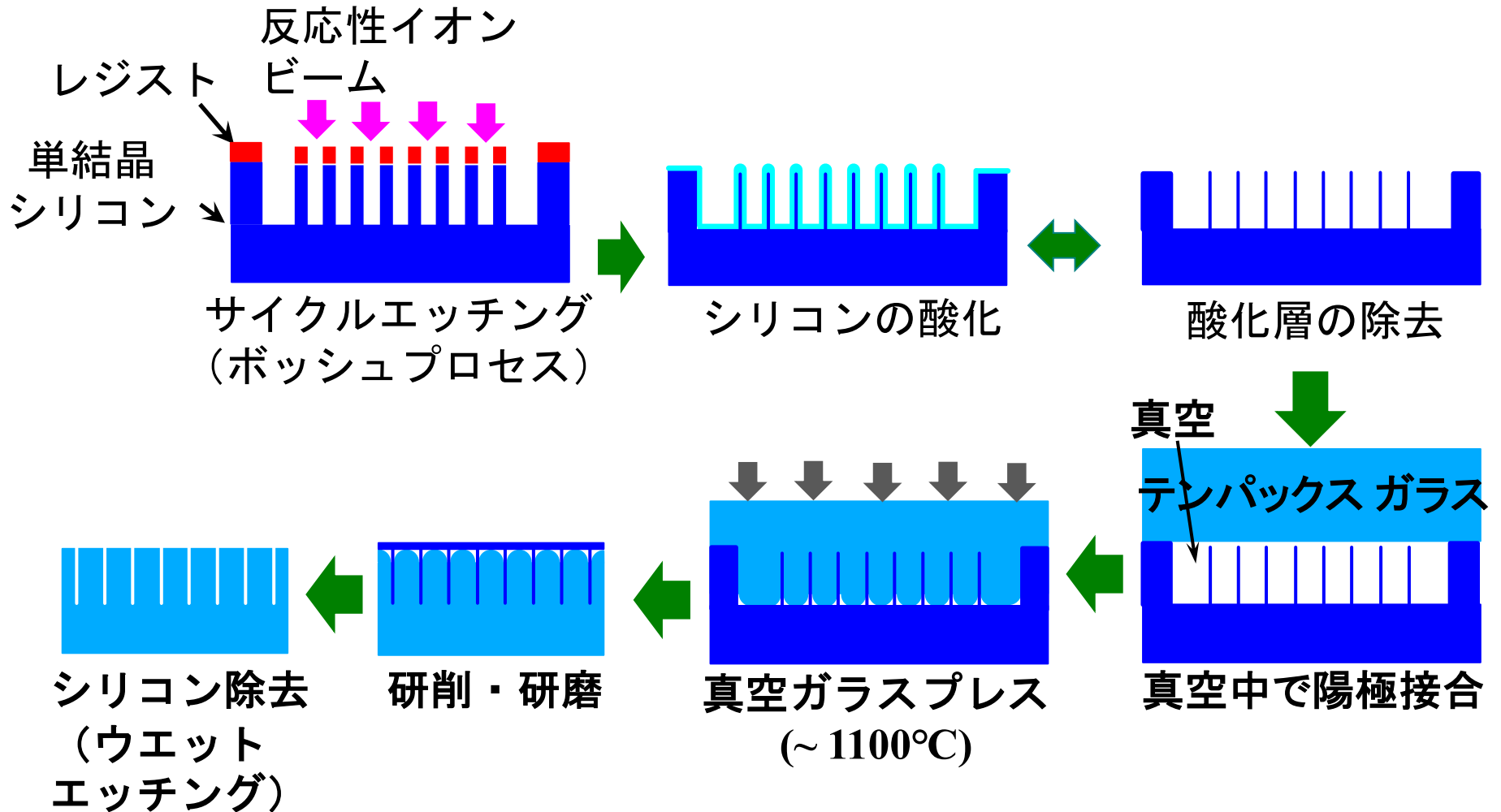
入射角 : $\theta_0=19.2^\circ$

材質 : テンパックス

有効径 : $6.46 \times 6.15\text{mm}$



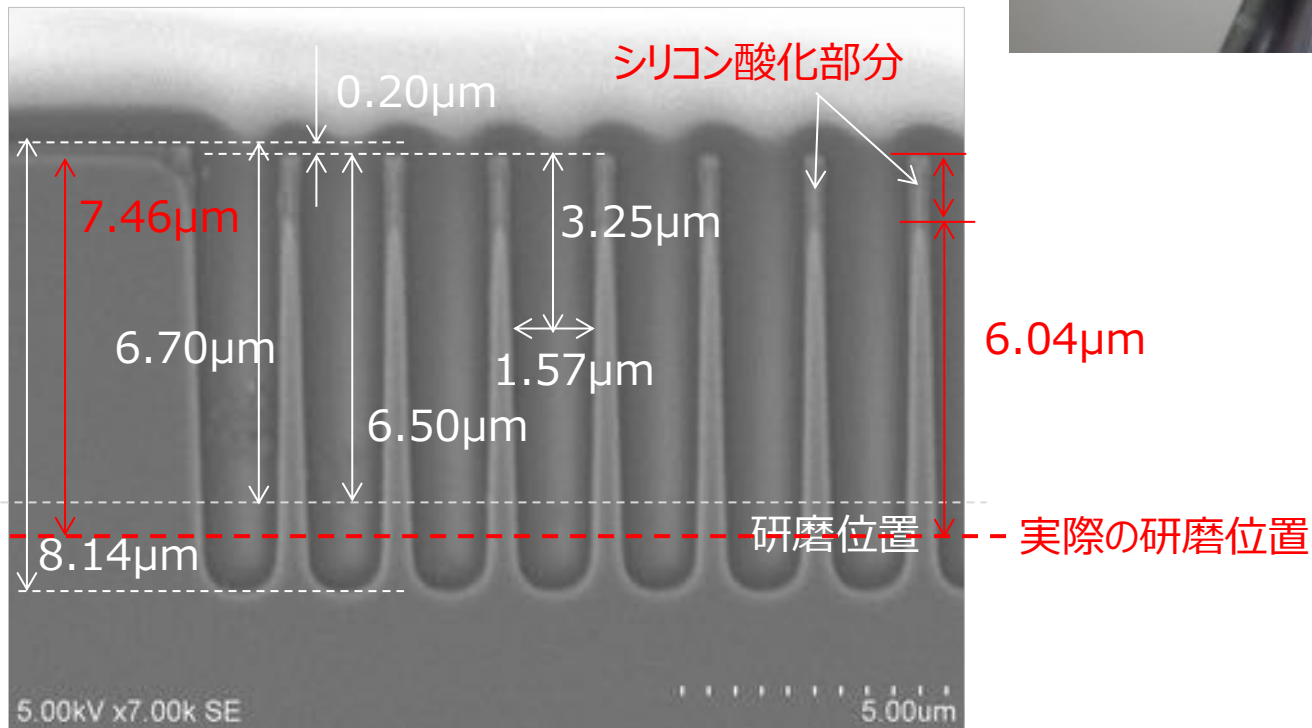
シリコンを鋳型としたテンパックス ガラスのVB gratingの製作方法



テンパックスガラスの Trapezoid grating



シリコンの酸化



ガラスの着色

まとめ

| | 最適回折次数 | Eff. [%] (λ - λ [μm]) | 開発状況 |
|--|--------|--|--|
| Volume phase holographic (VPH) grating | 1次 | ~90 → ~100 (0.32~2.4) | 感光性樹脂のVPHグリズムを8.2mすばる望遠鏡のFOCASやMOIRCS用等を開発。帯域幅が狭く、マルチスリットモードの場合に視野中心から離れたスリット位置の効率低下が問題。 |
| LightSmyth社のTransmission grating | 1次~ | ~98 (0.4~2.4) | MOIRCS高分散グリズムを開発 (VPHグリズムの後継)。 |
| Volume binary (VB) grating | 1次~ | ~95 (0.2~1000) | 月極域探査用に石英VB gratingを試作。テンパックス ガラスのVB gratingを開発中。MOIRCS高分散グリズム用に石英VB gratingを開発中 (VPHグリズムの後継)。 |
| Trapezoid grating | 1次~ | ~98 (0.2~1000) | MOIRCS高分散グリズム用を開発中 (TMTのWFOS用のプロトタイプ)。 |