

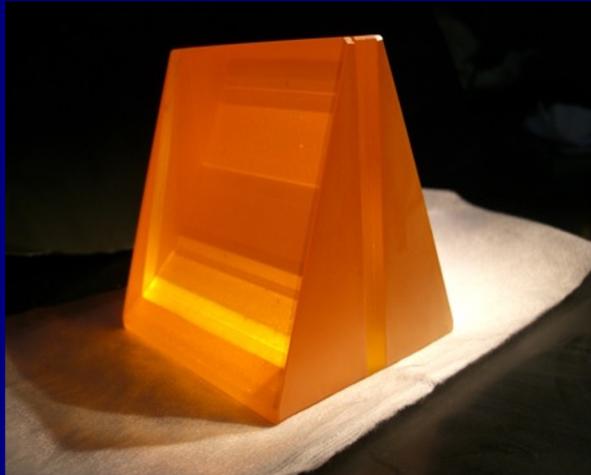
次世代観測装置用の新しい回折格子 IX

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, 仲内 悠祐⁵,
佐伯 和人⁶, 田中 壱⁷, 服部 堯⁷, 尾崎 忍夫⁸

¹ 理化学研究所 光量子工学研究センター, ² 元理化学研究所研究員,
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 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所,
⁷ 国立天文台 ハワイ観測所, ⁸ 国立天文台 TMT推進室



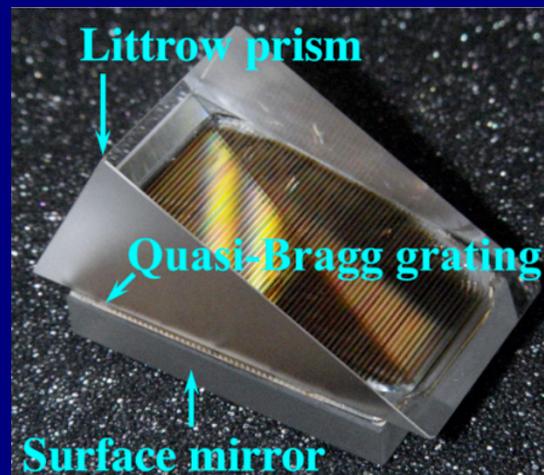
各種回折格子の開発



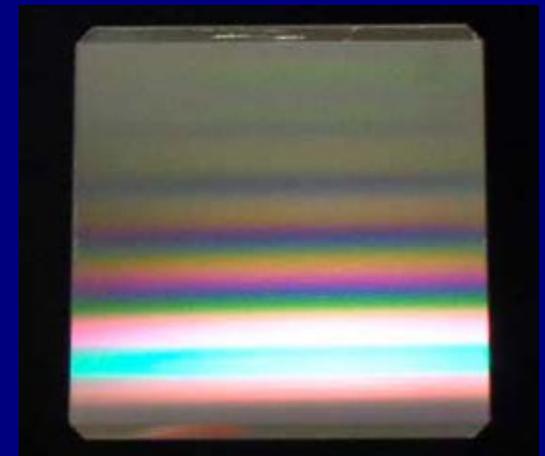
Volume phase holographic (VPH) グリズム



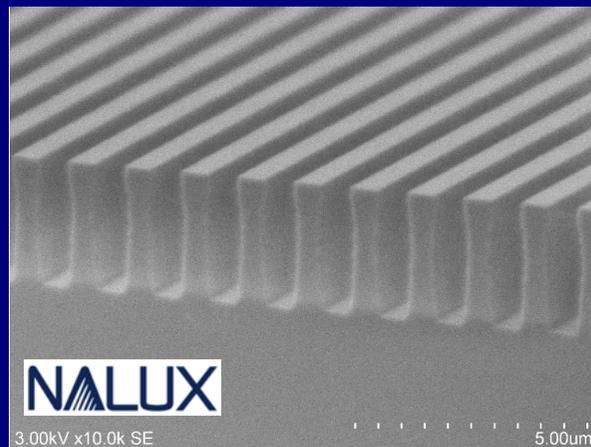
Quasi-Bragg (QB) grating



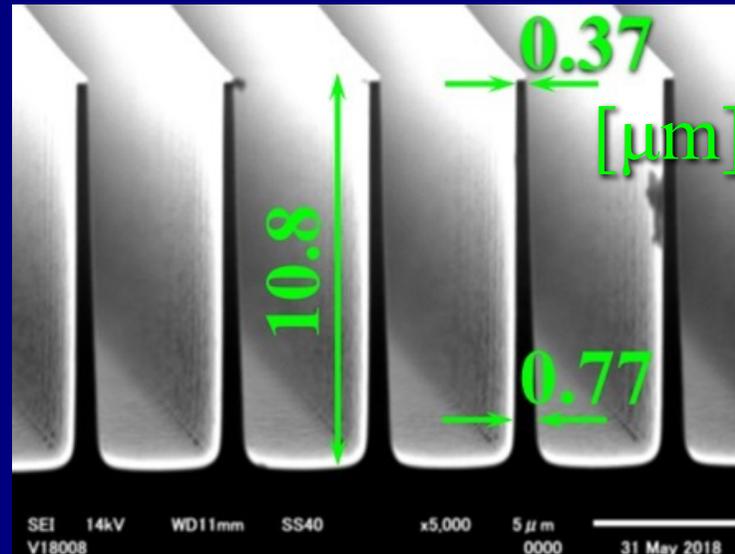
QB immersion grating



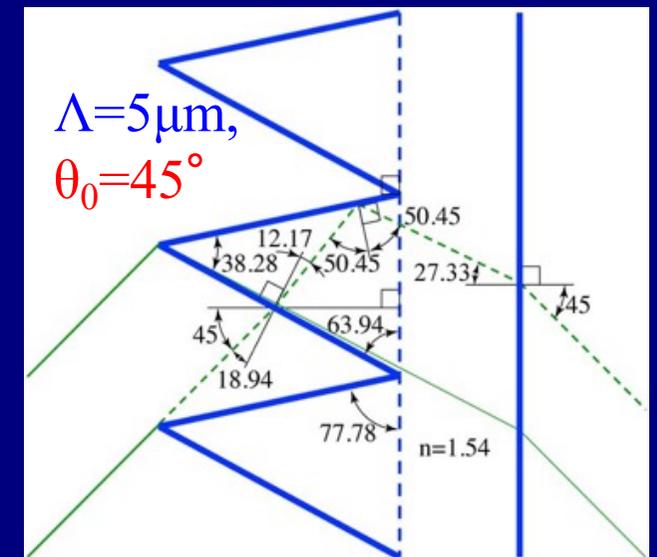
近-中間赤外線 Ge グリズム



Volume binary (VB) grating



Trapezoid grating

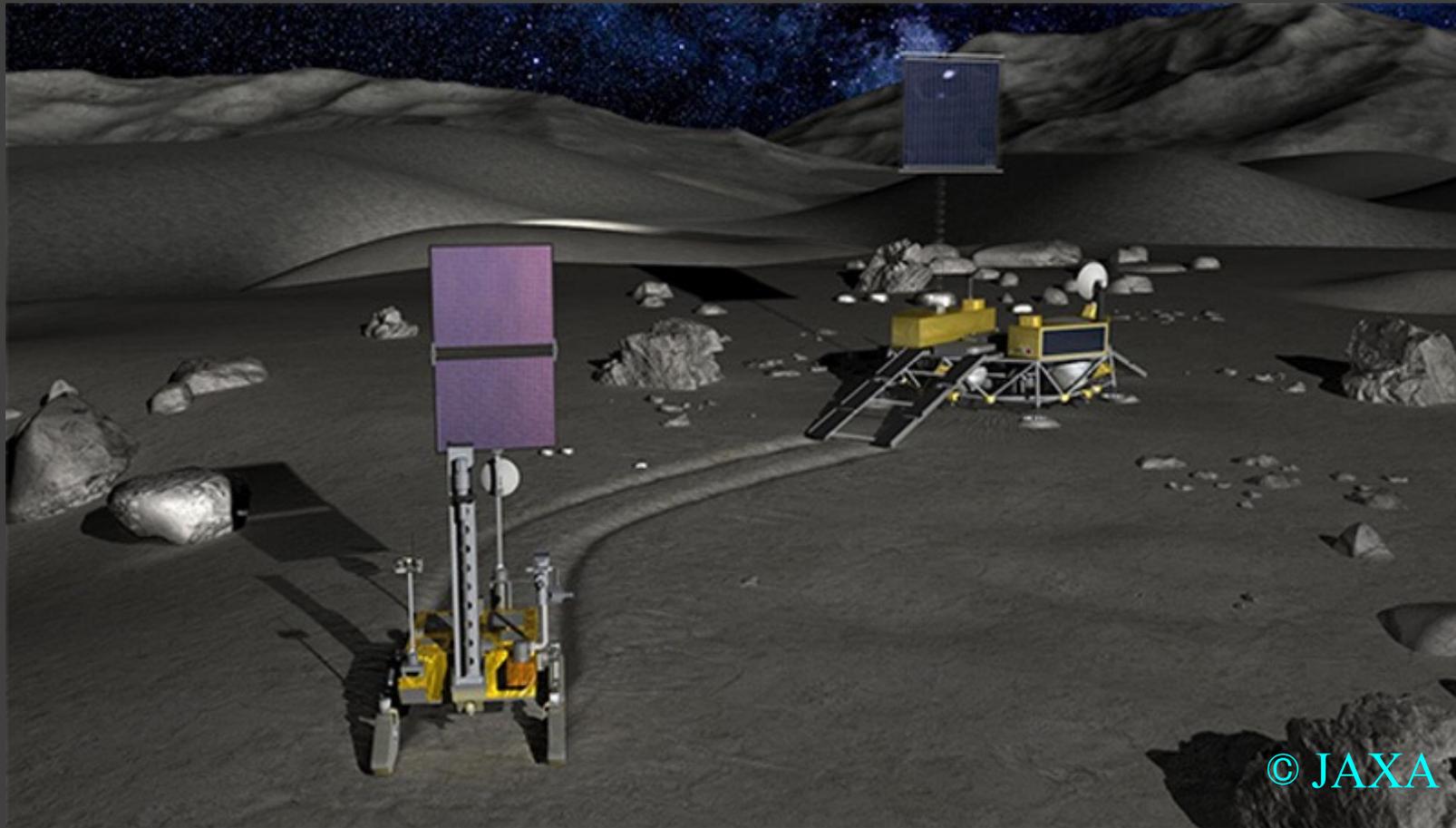


Reflector facet transmission (RFT) grating

ALIS用VB gratingの開発

月極域探査計画 (LUPEX)

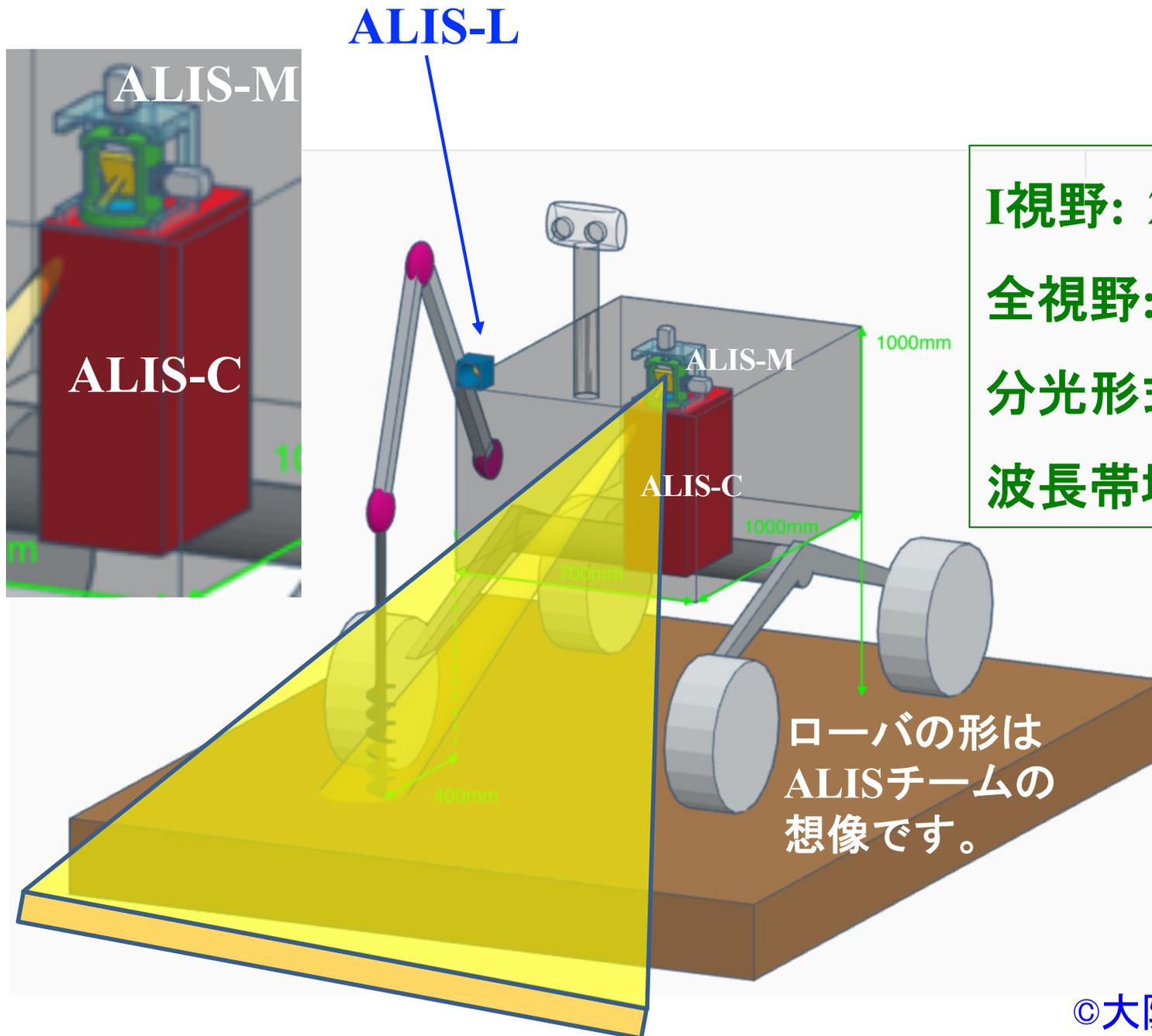
月の水資源が将来の持続的な宇宙探査活動に
利用可能か判断するための探査



JAXAと、インド宇宙研究機関 (ISRO) との
国際協働ミッション

©大阪大学 佐伯さんのスライド

Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS)



I視野: 2000 × 10 mm @ 5 m

全視野: 上下走査

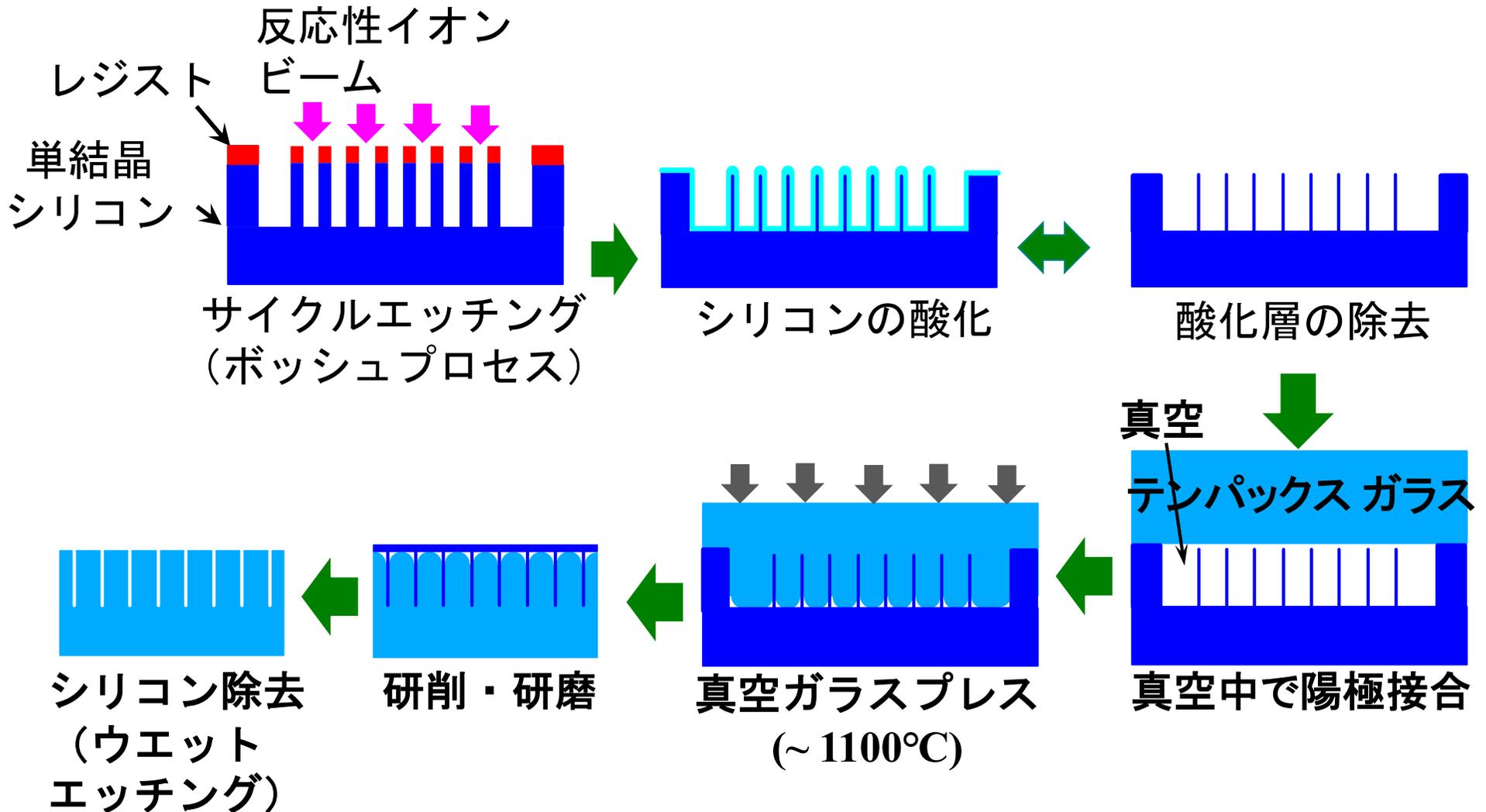
分光形式: 透過型回折格子

波長帯域: 750–1650 nm

ローバの形は
ALISチームの
想像です。

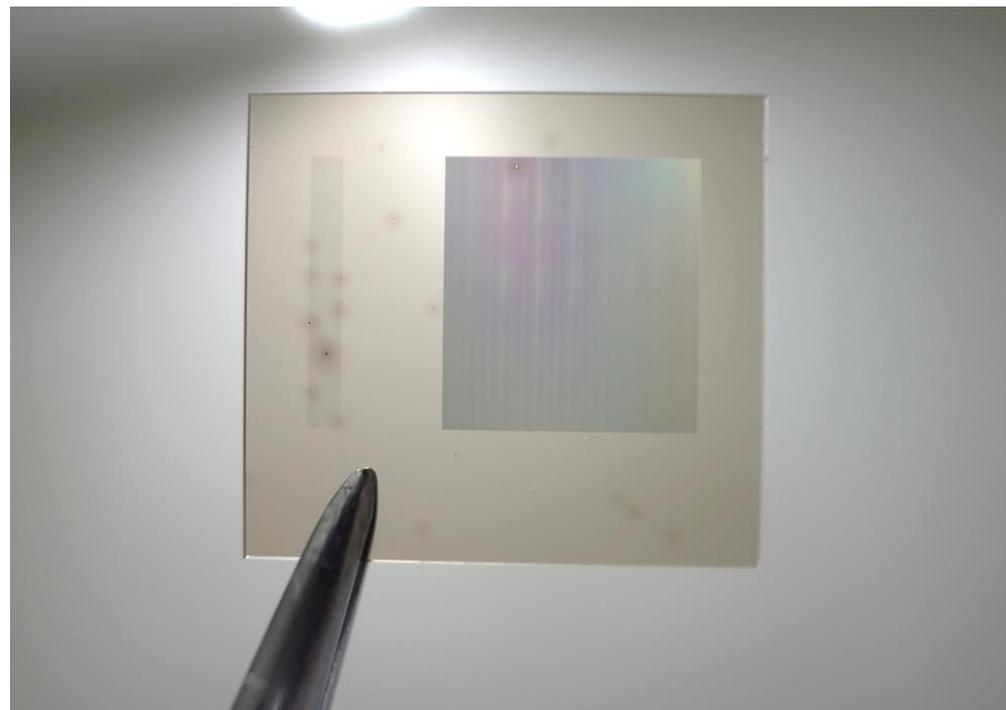
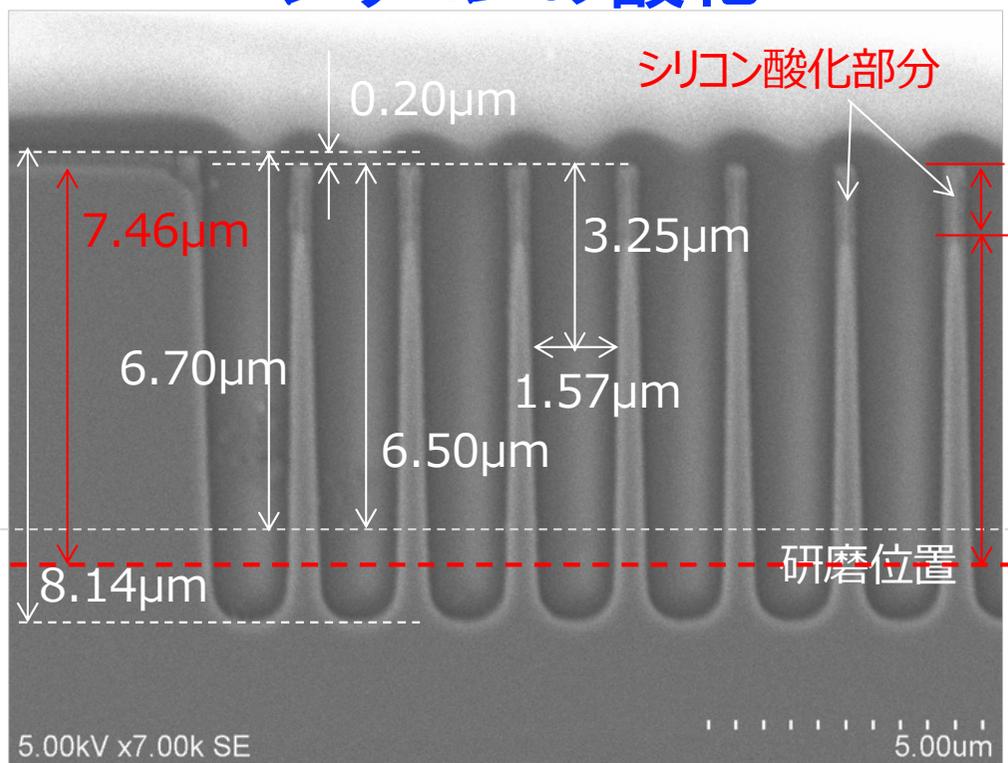
グリッドに

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



6.04 μm

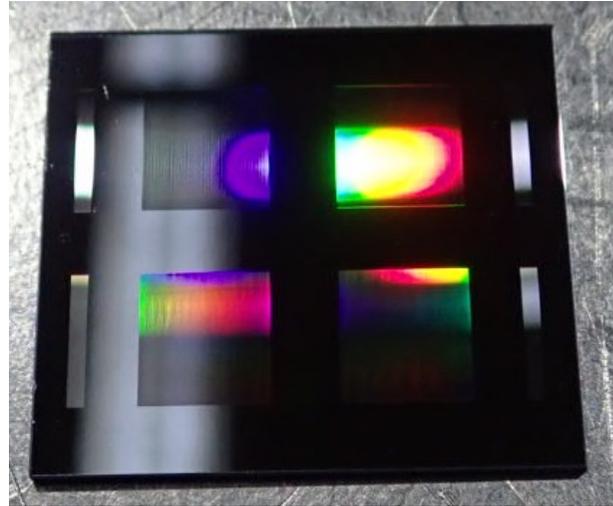
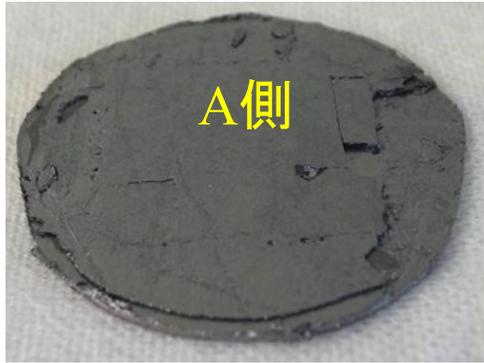
ガラスの着色

実際の研磨位置

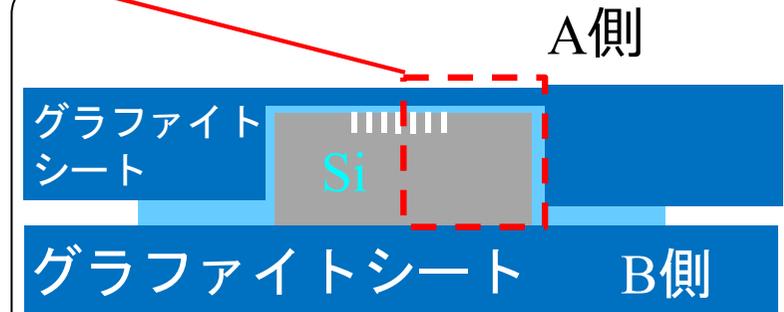
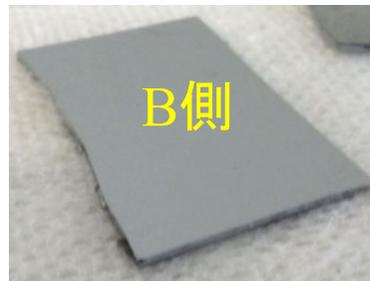
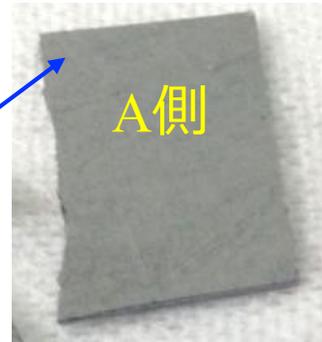
鋳込む温度を1100°Cから1,000°Cに下げる
ためにホットプレスの実験を実施。

金属技研 ホットプレス装置評価結果

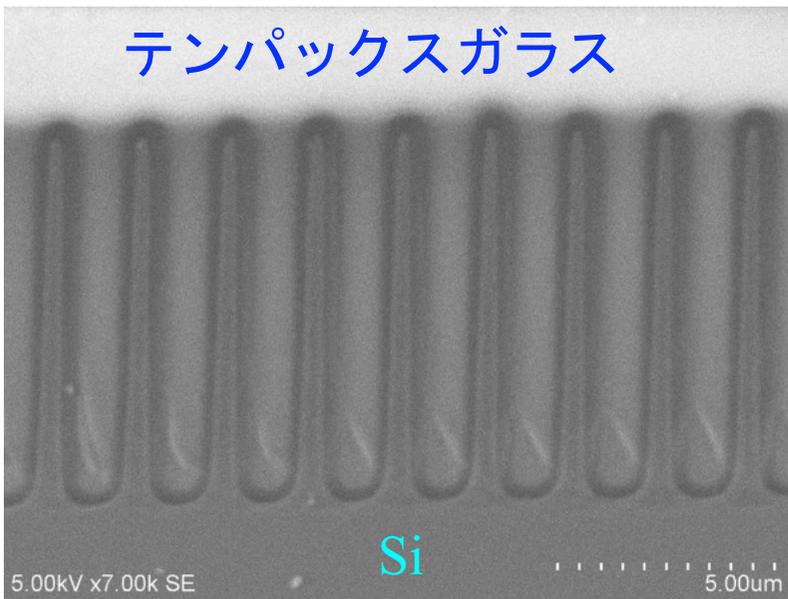
(外観)



金属技研の処理後
(ワーク周辺部を丸く
切り出した状態)

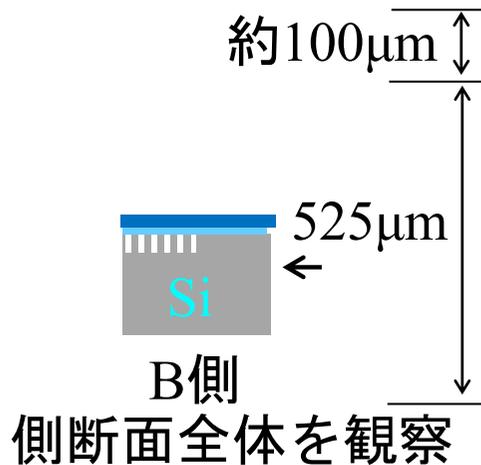


(SEM観察)

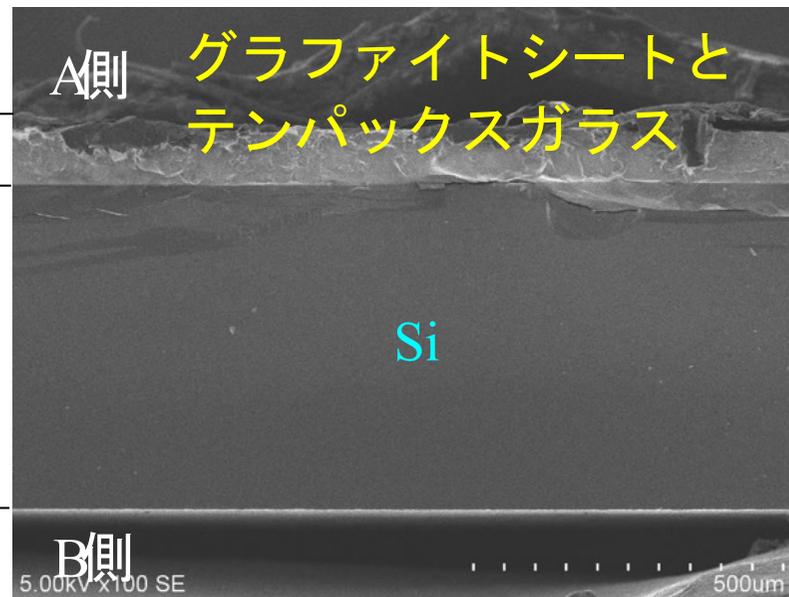


パターン部の断面SEM像

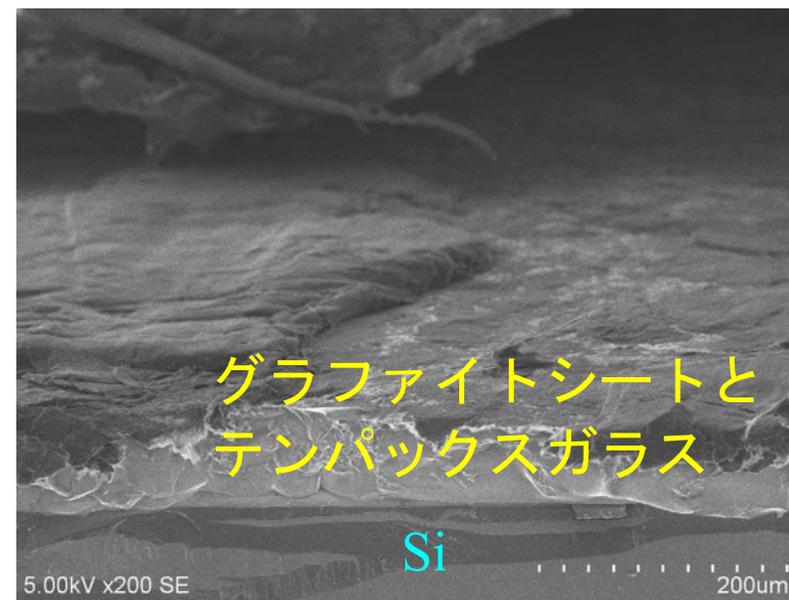
- ・ 1000°C × 10分の加熱処理でガラスが完全に埋め込まれていることを確認。
- ・ ガラスが薄くなり激しい凹凸ができたので、スペーサーの追加やガラス固着対策等が必要。



斜め上方から観察

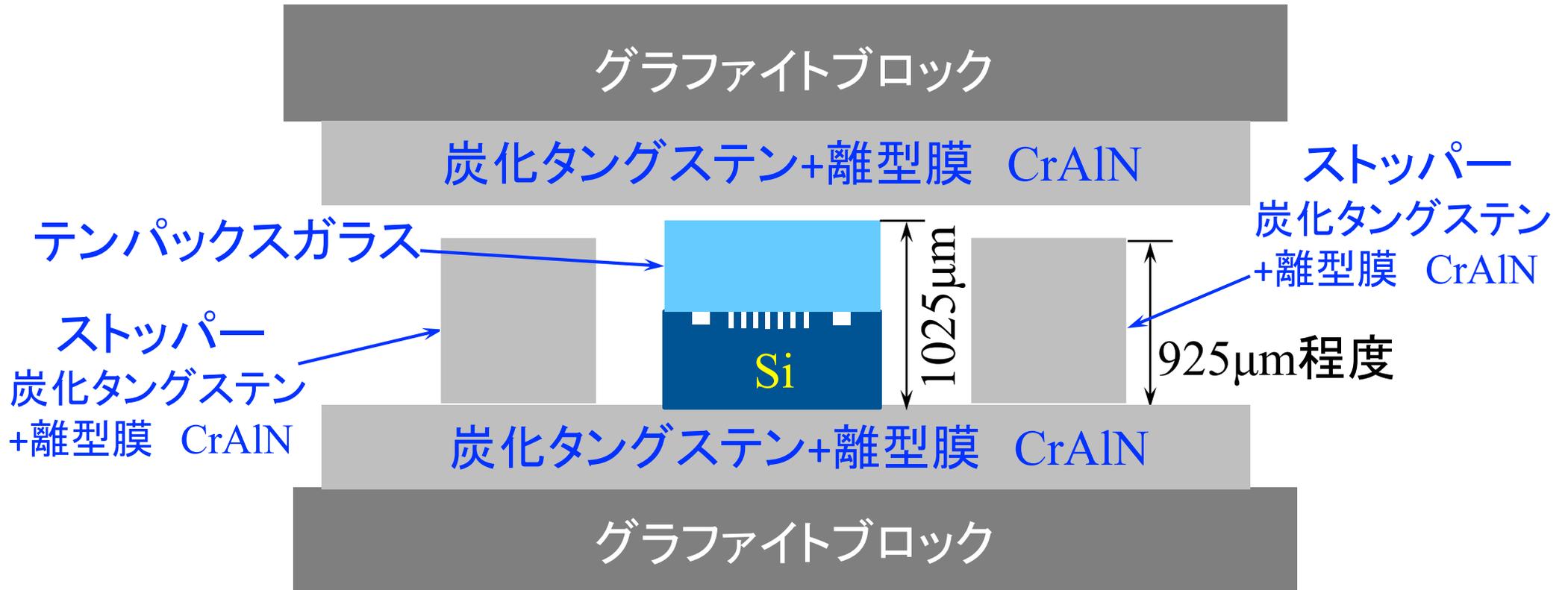


ウエハー全体の断面SEM像



ウエハー斜め上方からのSEM像

金属技研 ホットプレス対策案



Volume binary (VB) and trapezoid gratings for TMT WFOs



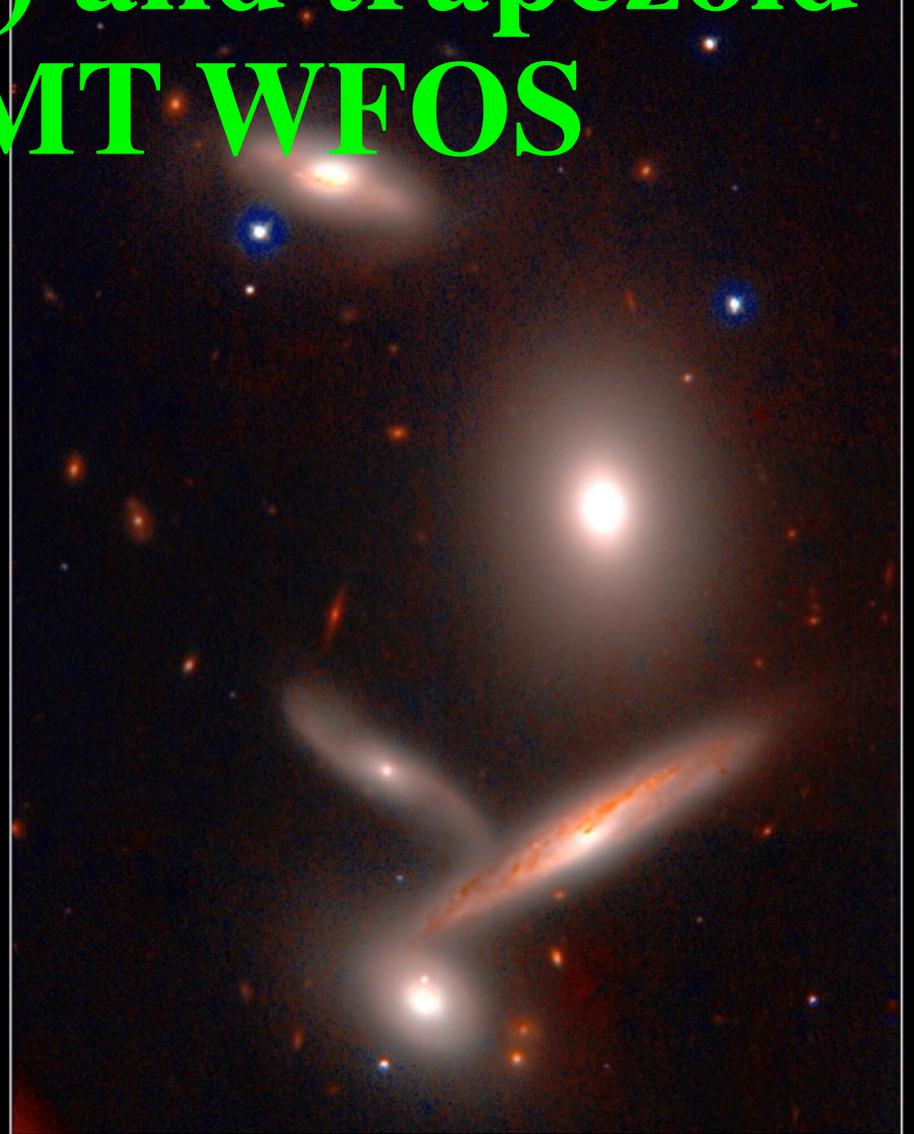
M 82 (NGC 3034)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

Copyright© 2000 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

FOCAS (B, V, H α)

March 24, 2000



Hickson Compact Group 40

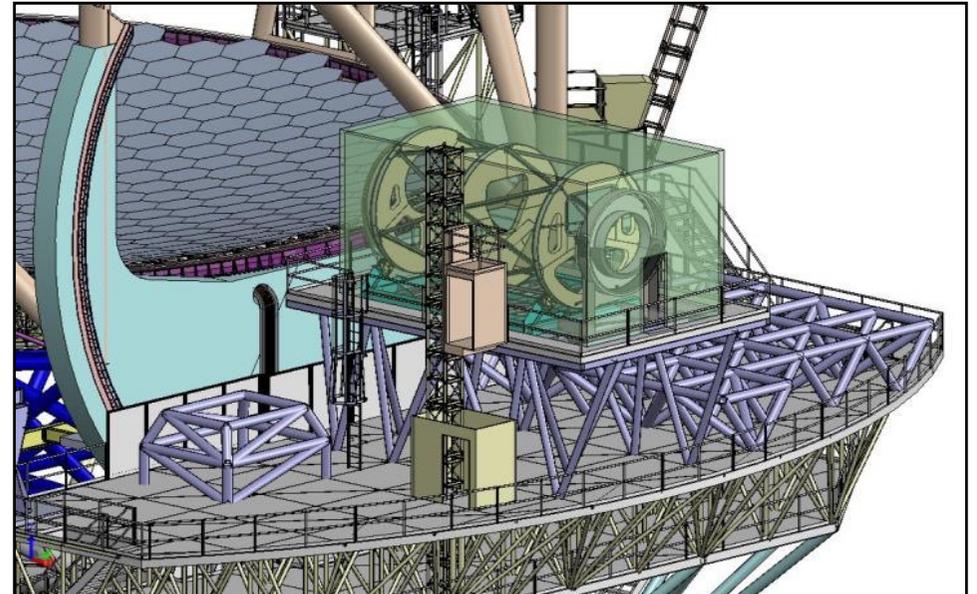
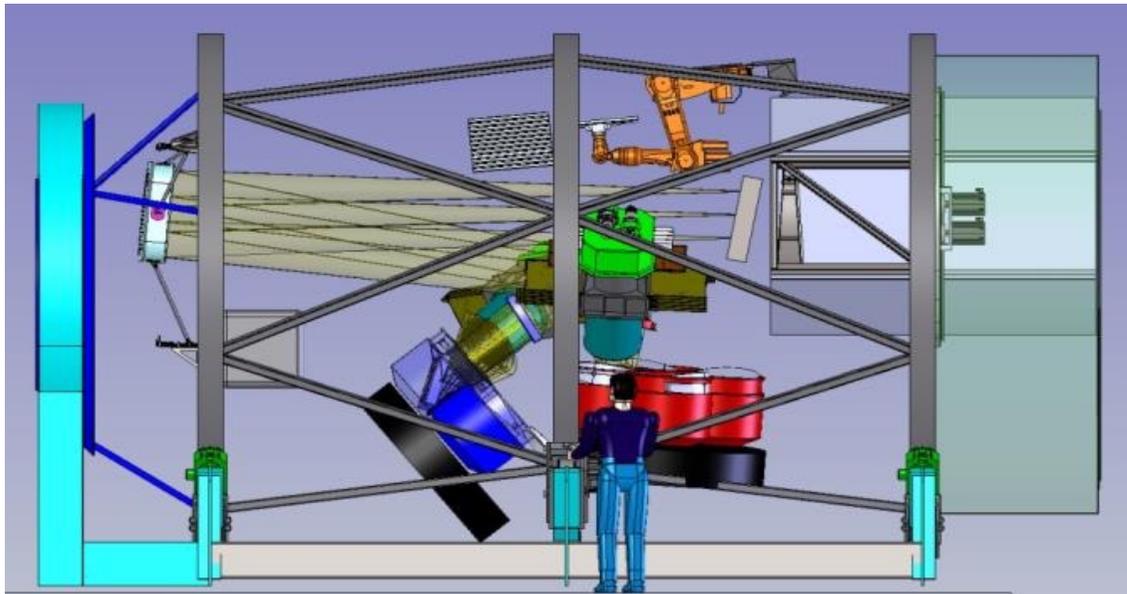
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

CISCO (J & K')

January 28, 1999

WFOS: Wide Field Optical Spectrograph

Telescope	: TMT (Thirty Meter Telescope)
Field of view	: $8.3 \times 3 \text{ arcmin}^2$ ($1,086 \times 392 \text{ mm}^2$)
Wavelength range	: 310 - 600 nm (Blue), 550 - 1000 nm (red)
Resolving power	: $R \sim 1,000, \sim 5,000, \sim 8,000$ (0.75" Slit)
Collimator f. length	: 4,500 mm
Camera lens f. length	: 600 mm
Pupil in spectrograph	: 300 mm
Detector format	: 12K \times 16K

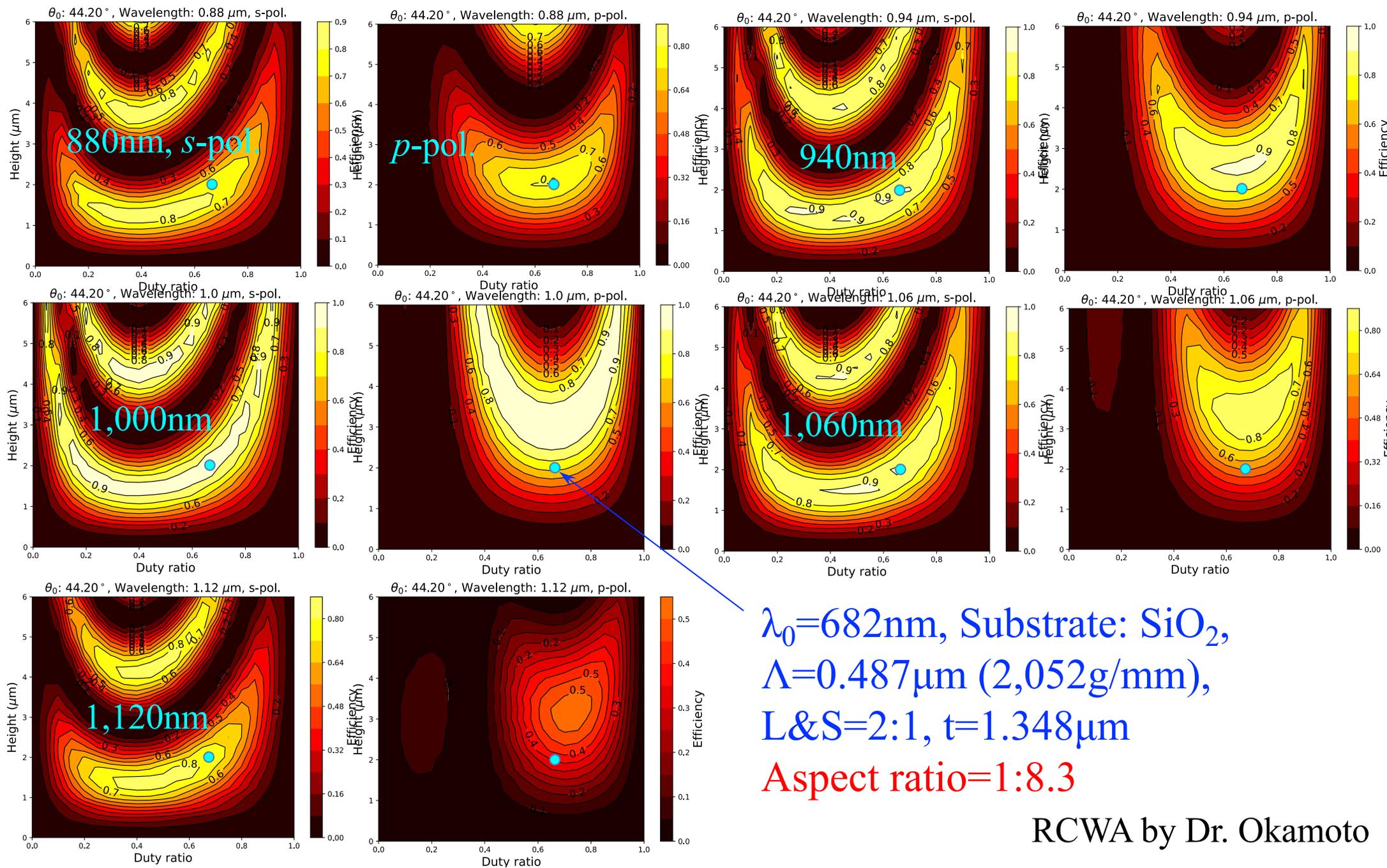


Gratings of WFOS

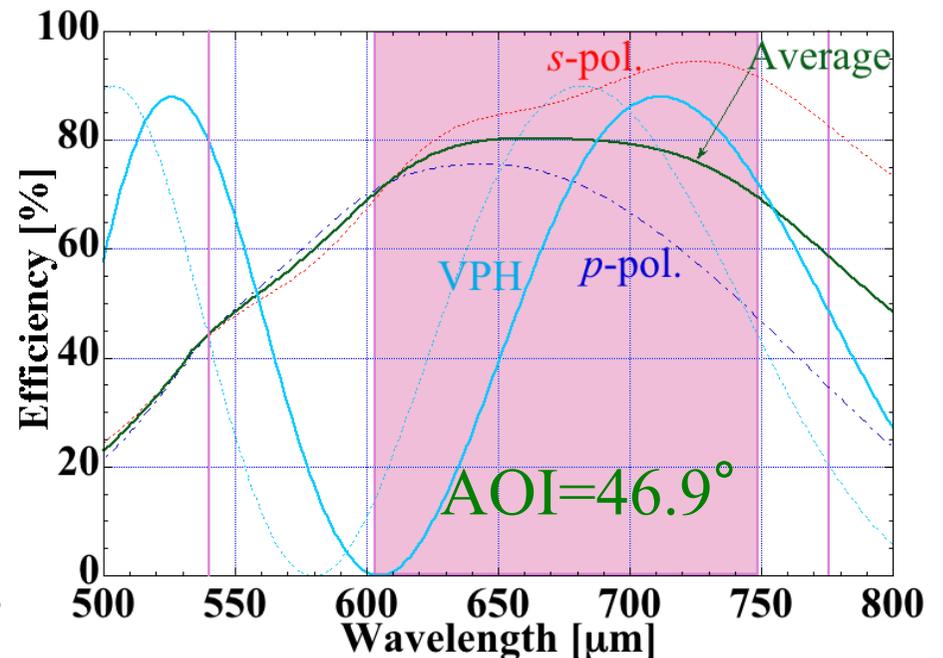
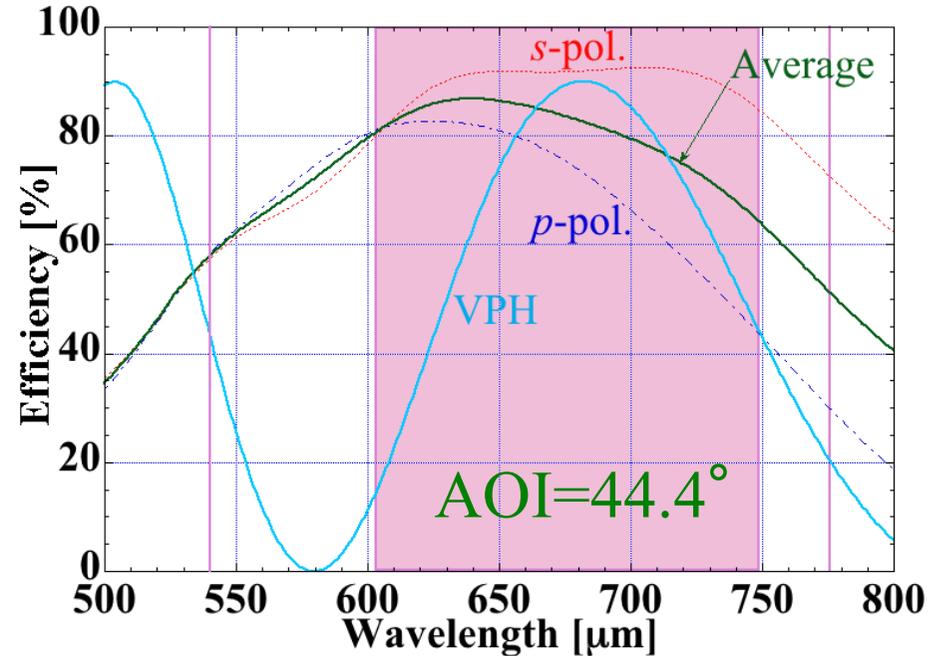
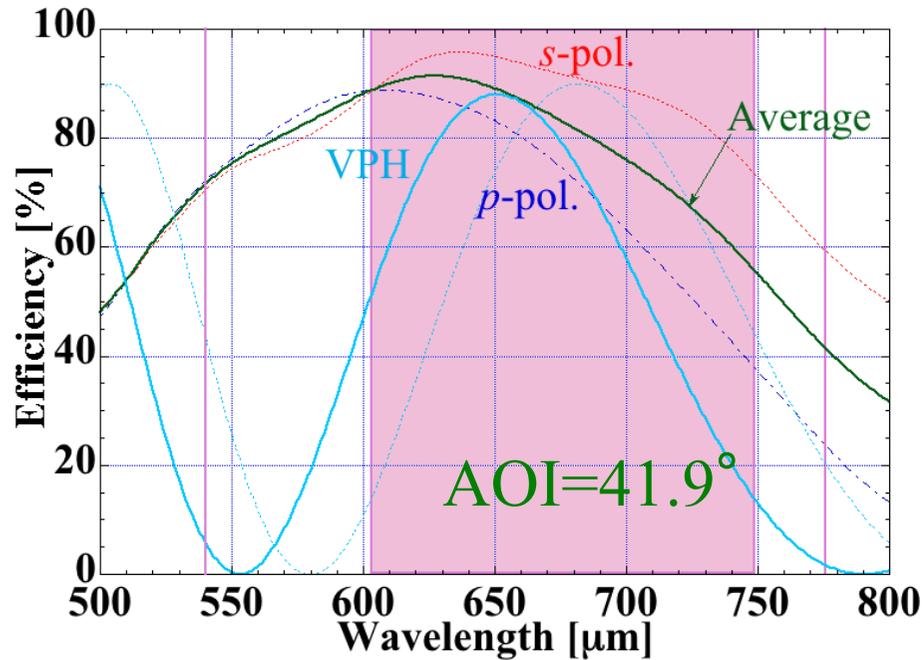
Item [g/mm]	Λ [μm]	Peak Wave [nm]	AOI*	Clear Aperture [mm ²]
B1210	0.83	393	15.9°	310x320
B2479	0.40	409	32.3°	310x370
B2700	0.37	494	44.0°	310x430
B3600	0.28	374	44.3°	310x430
R680	1.47	736	16.6°	310x320
R1392	0.72	722	32.0°	310x370
R1520	0.66	883	44.3°	310x430
R2052	0.49	657	44.4°	310x430

* Angle of incidence

VB Grating of High Dispersion



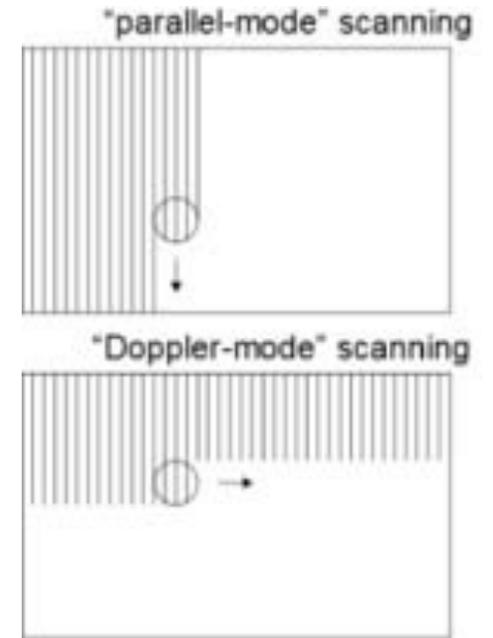
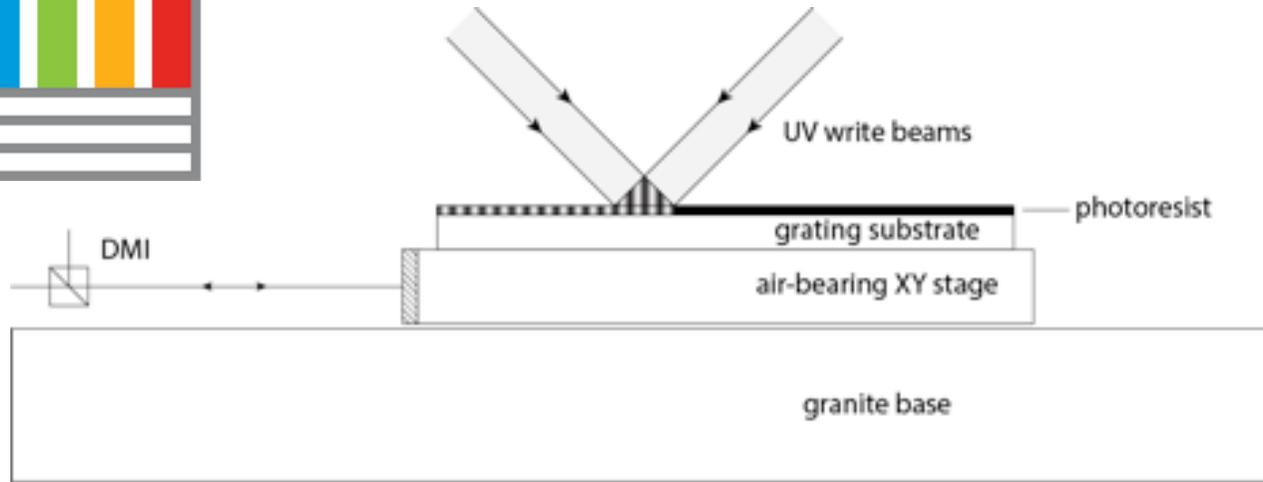
VB Grating of High R2052



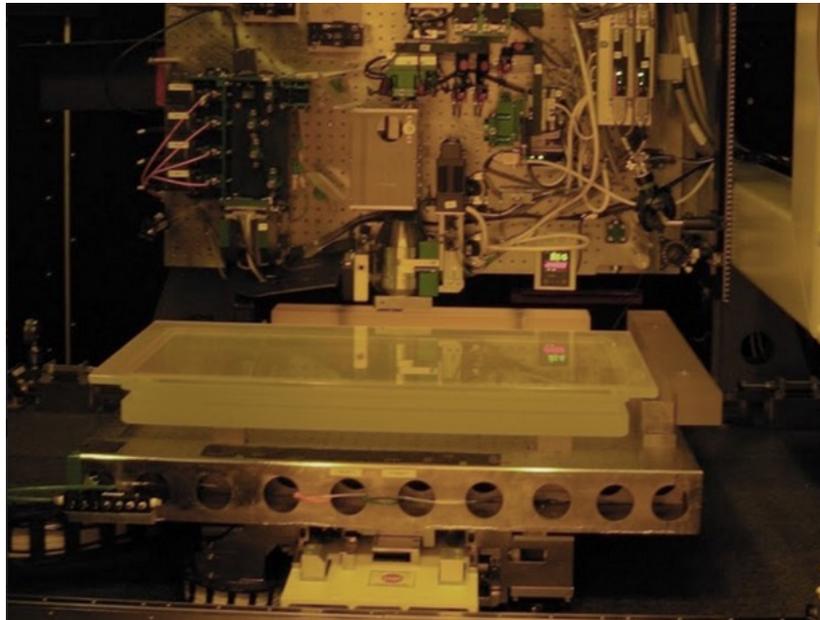
$\lambda_0=682\text{nm}$, Substrate: SiO_2 ,
 $\Lambda=0.487\mu\text{m}$ (2,052g/mm),
 $L\&S=2:1$, $t=1.348\mu\text{m}$
Aspect ratio=1:8.3



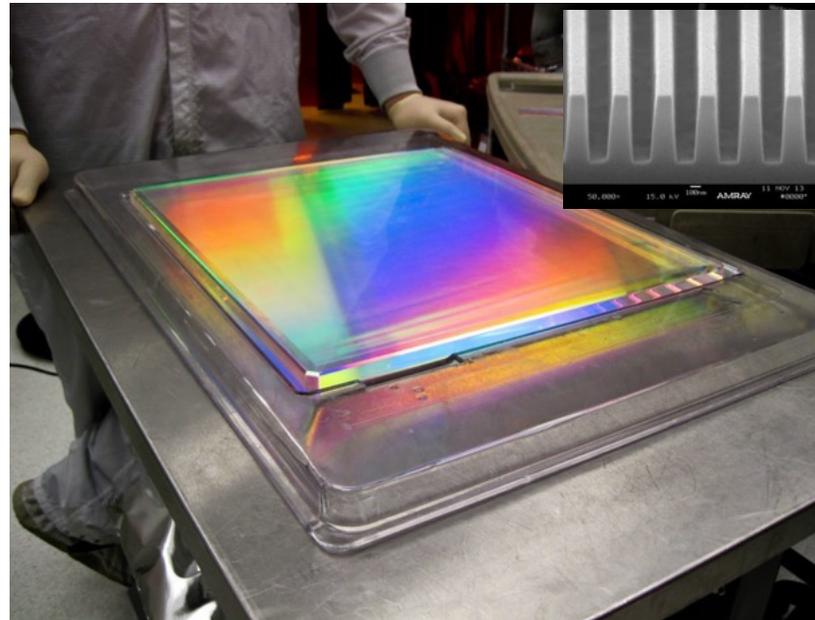
Plymouth Grating



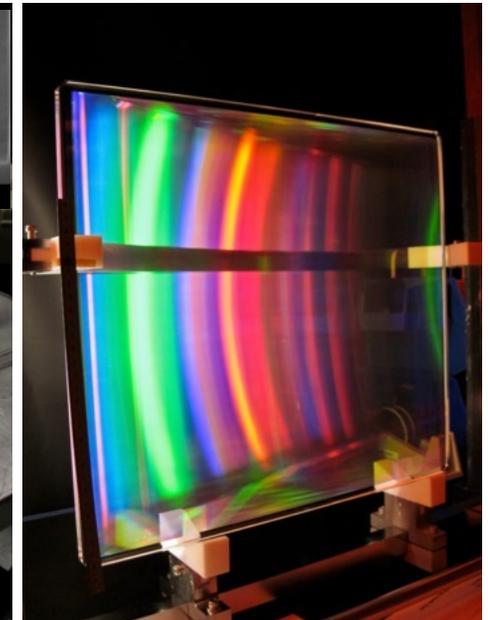
Nanorulerの概念図



Nanorulerによって回折格子の
パターンを描画



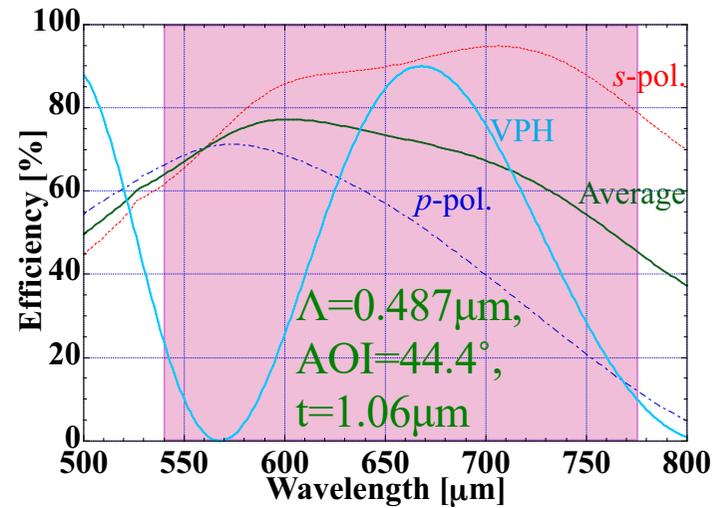
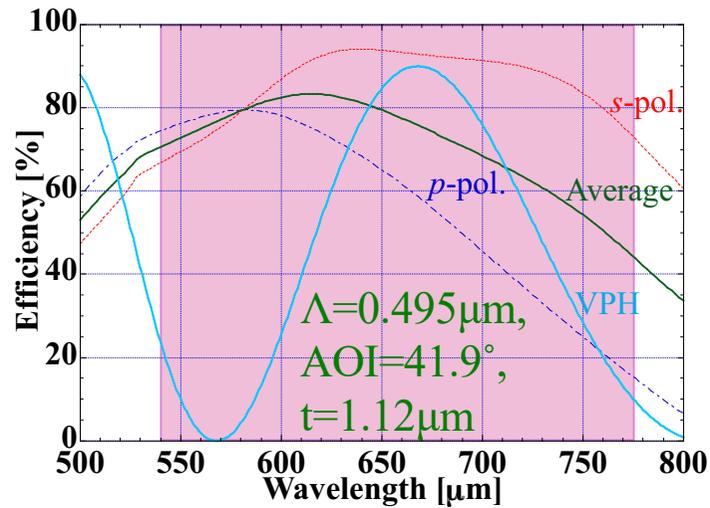
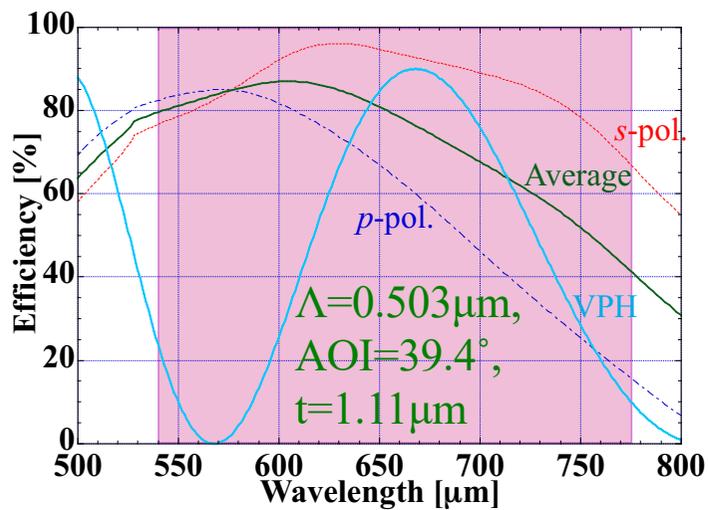
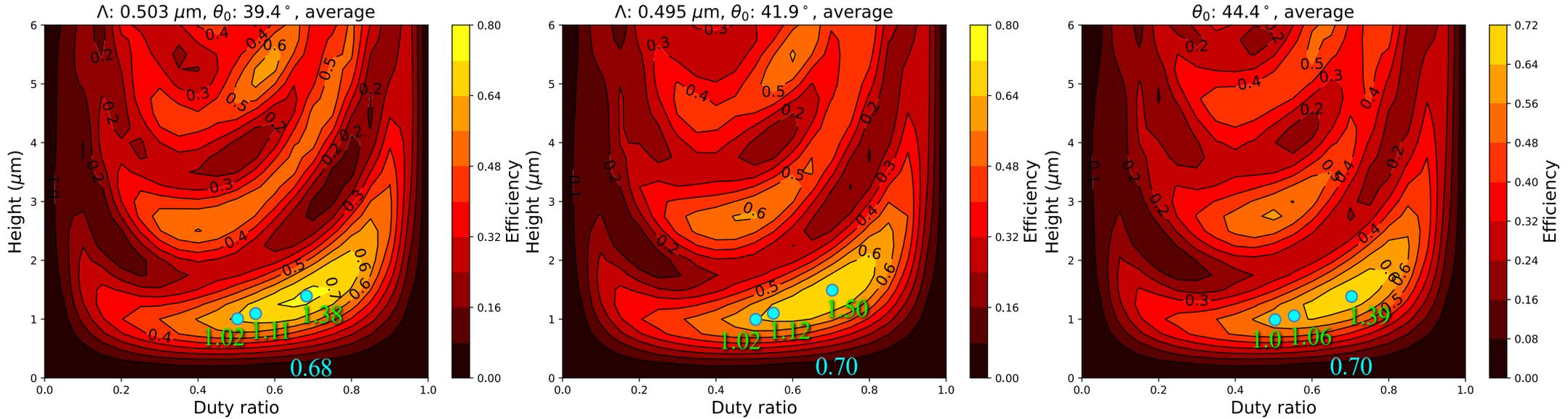
透過型回折格子



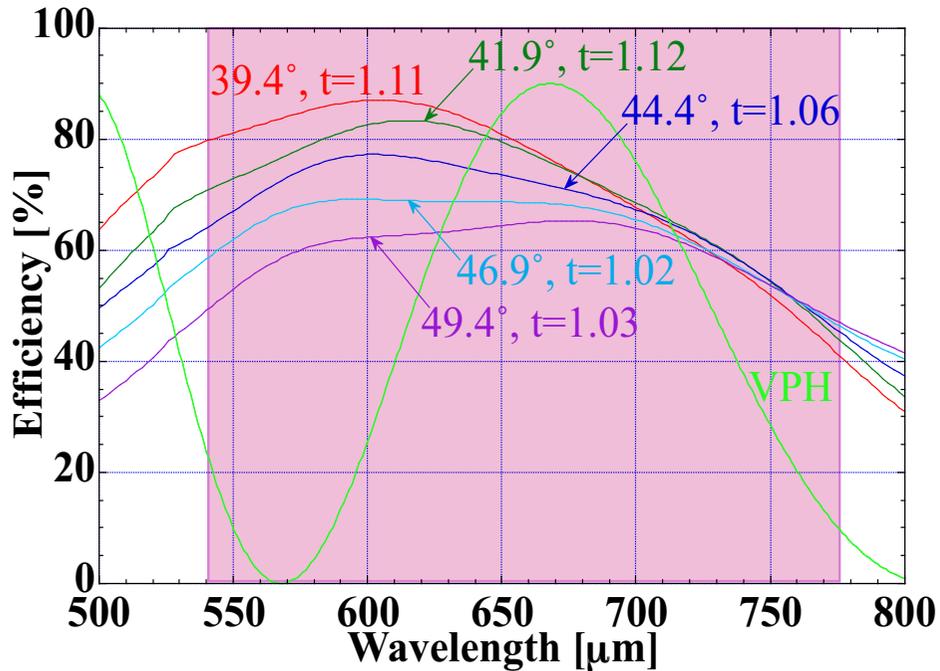
球面結像透過型
回折格子

<https://www.plymouthgrating.com>

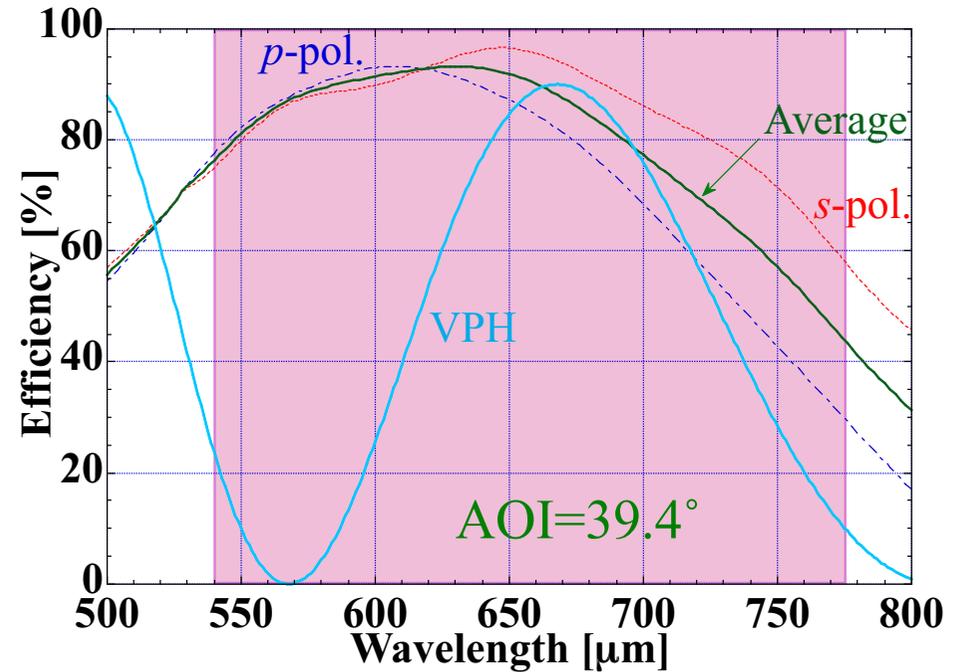
高分散VB grating (R=5,000)



高分散R2052 VB grating (R=5,000)



$\lambda_0=682\text{nm}$, Material: SiO_2 ,
 $\Lambda=0.503\mu\text{m}$ (1,988g/mm), AOI=39.4°
 $\Lambda=0.495\mu\text{m}$ (2,020g/mm), AOI=41.9°
 $\Lambda=0.487\mu\text{m}$ (2,052g/mm), AOI=44.4°
 $\Lambda=0.481\mu\text{m}$ (2,081g/mm), AOI=46.9°
 $\Lambda=0.474\mu\text{m}$ (2,109g/mm), AOI=49.4°
 L&S=55:45,
 Aspect ratio=1:4.9, 4.9, 4.8, 4.8, 5.1

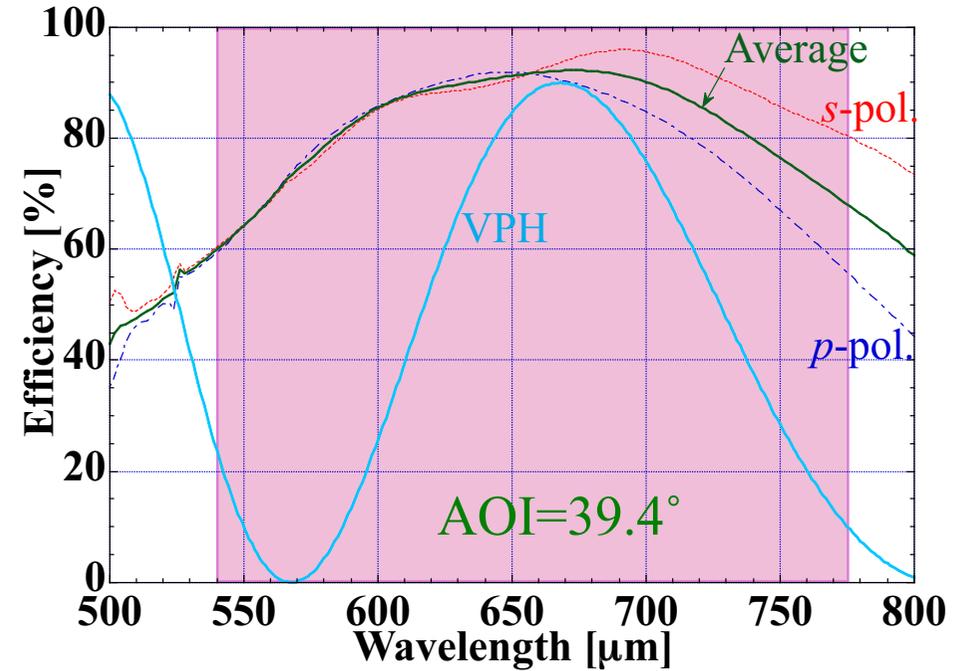
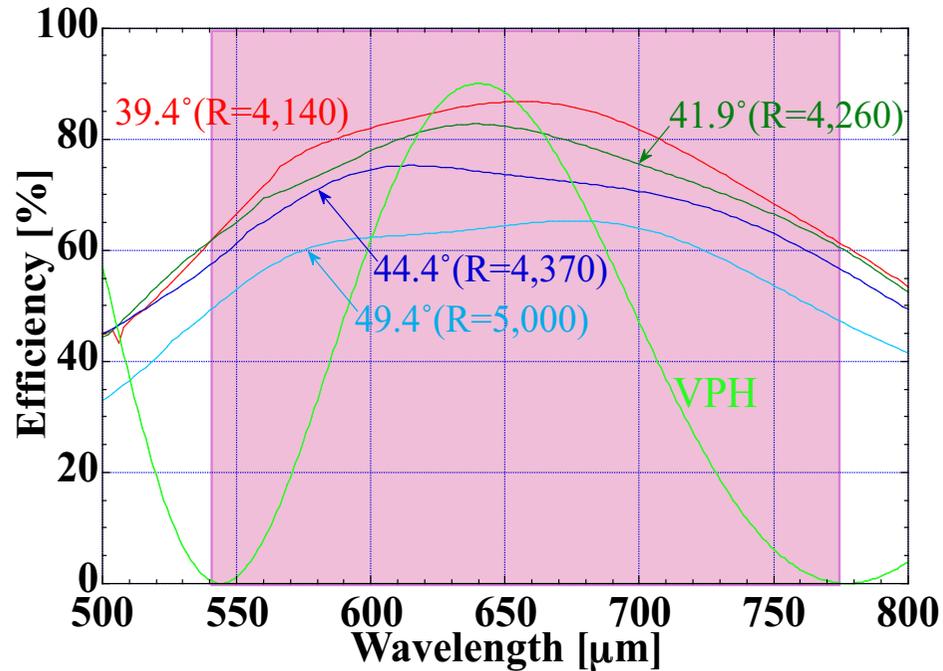


$\lambda_0=682\text{nm}$, Material: SiO_2
 $\Lambda=0.503\mu\text{m}$ (1,989g/mm)
 AOI=39.4°, L&S=68:32
 $t=1.39\mu\text{m}$, Aspect ratio=1:8.6

$$\theta = \sin^{-1}(0.682/0.4873 - \sin 44.4) = 44.4$$

$$0.4873 * \cos 44.4 = 0.348$$

高分散VB grating (R=4,140~5,000)



$\lambda_0=682\text{nm}$, Material: SiO_2 ,

$\Lambda=0.540\mu\text{m}$ (1,851g/mm), AOI=39.4°, R=4,140

$\Lambda=0.526\mu\text{m}$ (1,901g/mm), AOI=41.9°, R=4,260

$\Lambda=0.513\mu\text{m}$ (1,949g/mm), AOI=44.4°, R=4,370

$\Lambda=0.474\mu\text{m}$ (2,109g/mm), AOI=49.4°, R=5,000

L&S=55:45,

Aspect ratio=1:5.1, 4.8, 4.8, 5.1

$\Lambda=0.540\mu\text{m}$ (1,851g/mm),

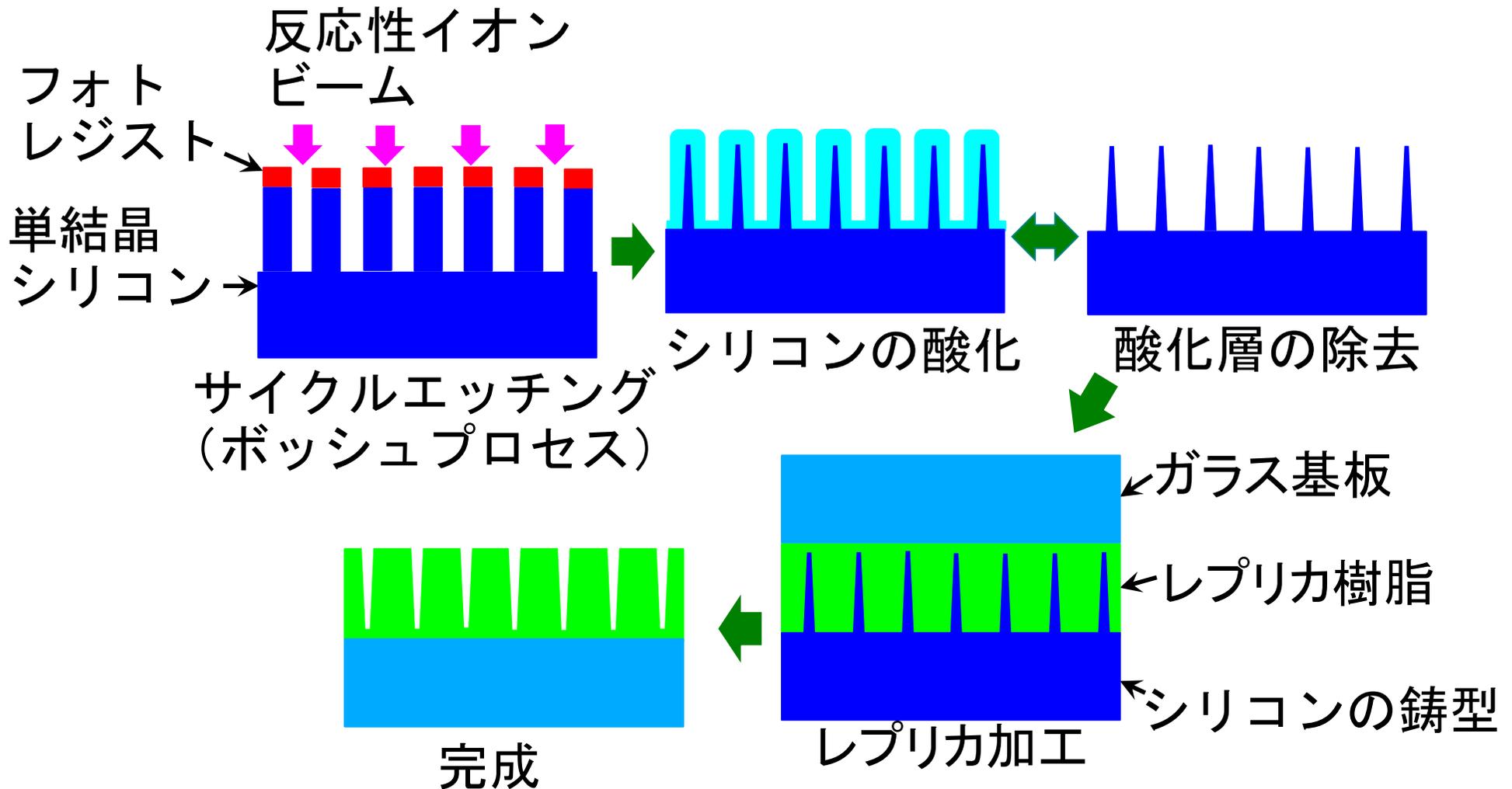
R=4,140

L&S=69:31,

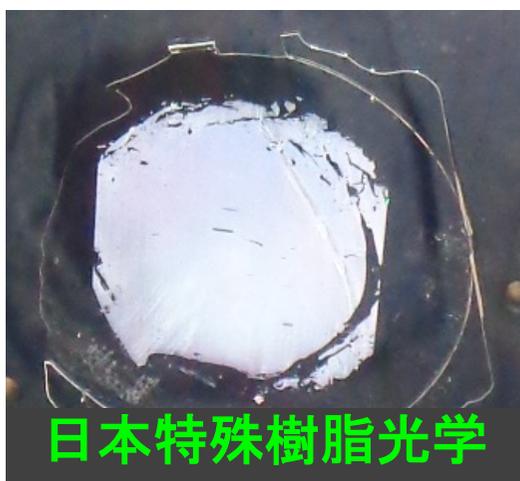
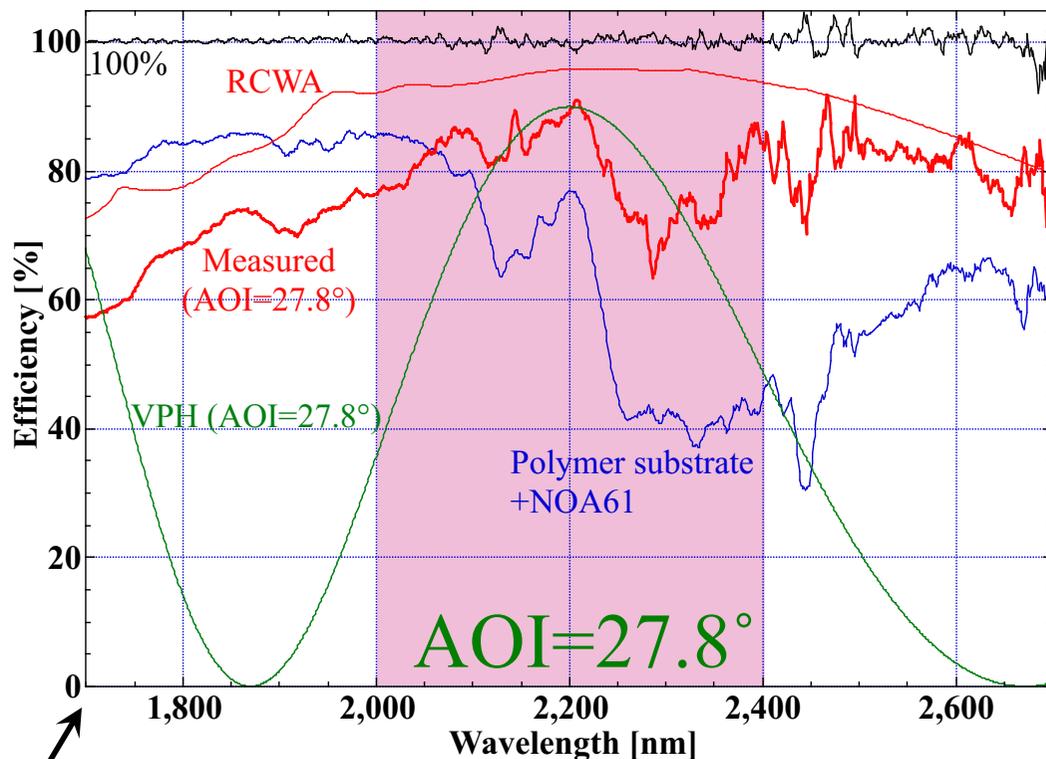
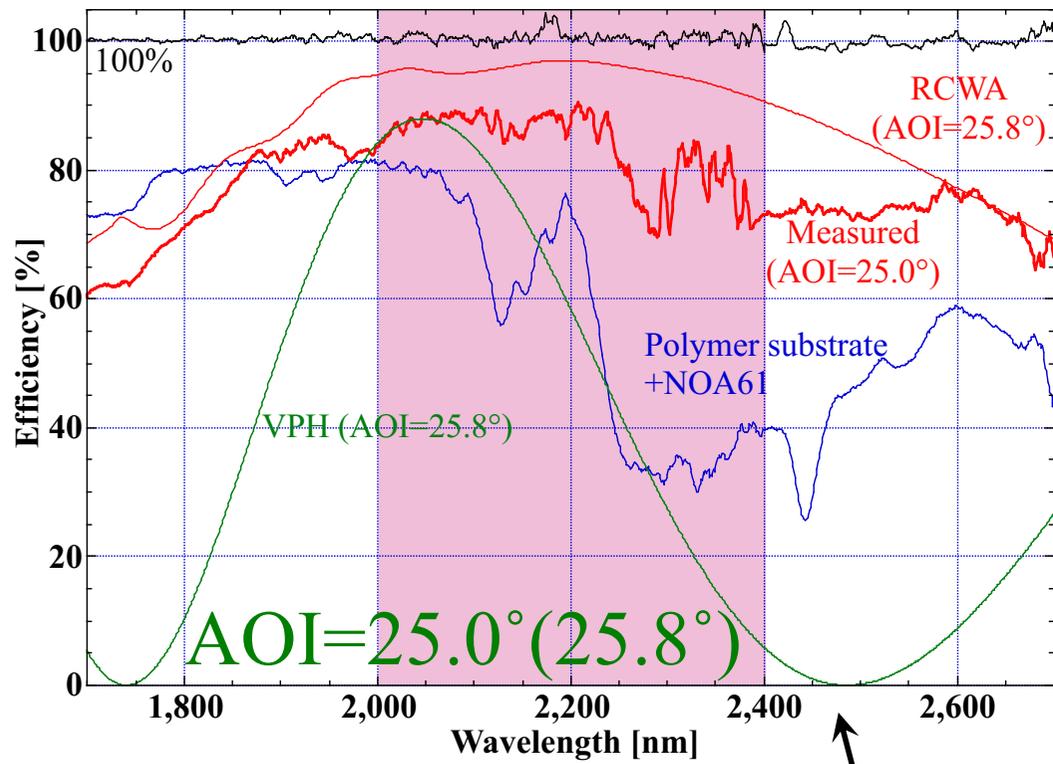
$t=1.47\mu\text{m}$,

Aspect ratio=1:8.8

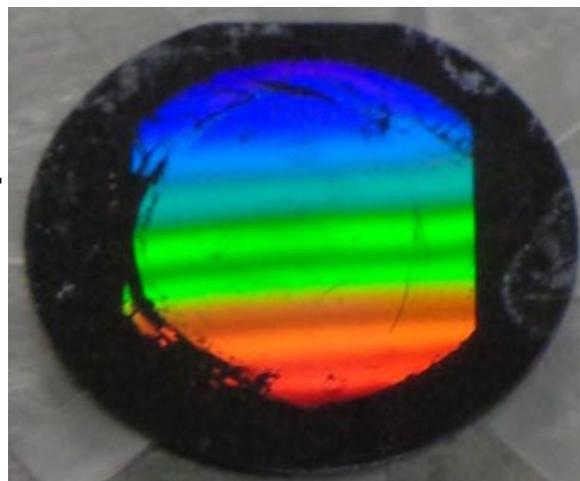
シリコンを鋳型にした Trapezoid gratingのレプリカ加工



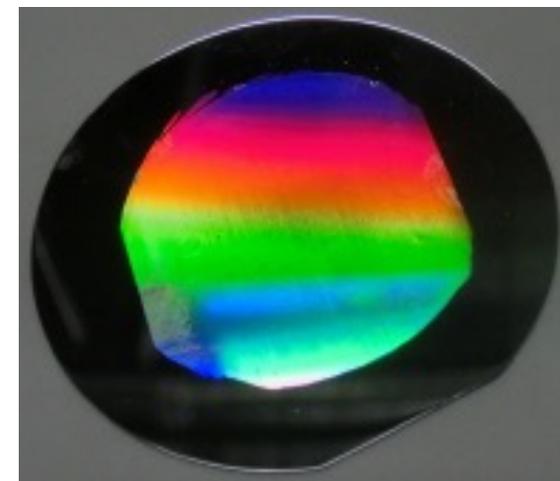
K band用Trapezoid gratingの開発



レプリカ



3/10, 2022



シリコン鋳型 5/17, 2022



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社の透過型回折格子	1次	~98 (0.4~2.4)	MOIRCS高分散グリズムを開発 (J, H band VPHグリズムの後継)。
Volume binary (VB) grating	1次~	~95 (0.2~1000)	ALIS用、MOIRCS K band VPHグリズムの後継用に石英VB gratingを開発。TMTのWFOS用にL:S=55:45のVB gratingの効率計算。
Trapezoid grating	1次~	~98 (0.2~1000)	月極域探査用にテンパックス ガラスのVB/Trapezoid gratingを開発中。TMTのWFOS用にシリコンを鋳型にしたTrapezoid gratingを開発中。