

天文学観測および宇宙探査用の 新しい透過型回折格子 III

塚老海 昇¹, 岡本 隆之², 細畠 拓也¹, 竹田 真宏¹, 山形 豊¹,
木々佐 実³, 西牧 真木夫⁴, 山本 和也⁴, 西尾 幸暢⁴,
小西 真広⁵, 松林 和也⁵, 櫛引 洸佑⁵, 本原 顕太郎^{5, 6}

¹ 理化学研究所 光量子工学研究センター,
³ 豊田工業大学 工学部,
⁵ 東京大学 天文学教育研究センター,

² 元理化学研究所,
⁴ ナルックス (株) 技術開発部,
⁶ 国立天文台 先端技術センター



Volume Binary (VB) Grism for z-J band of SWIMS



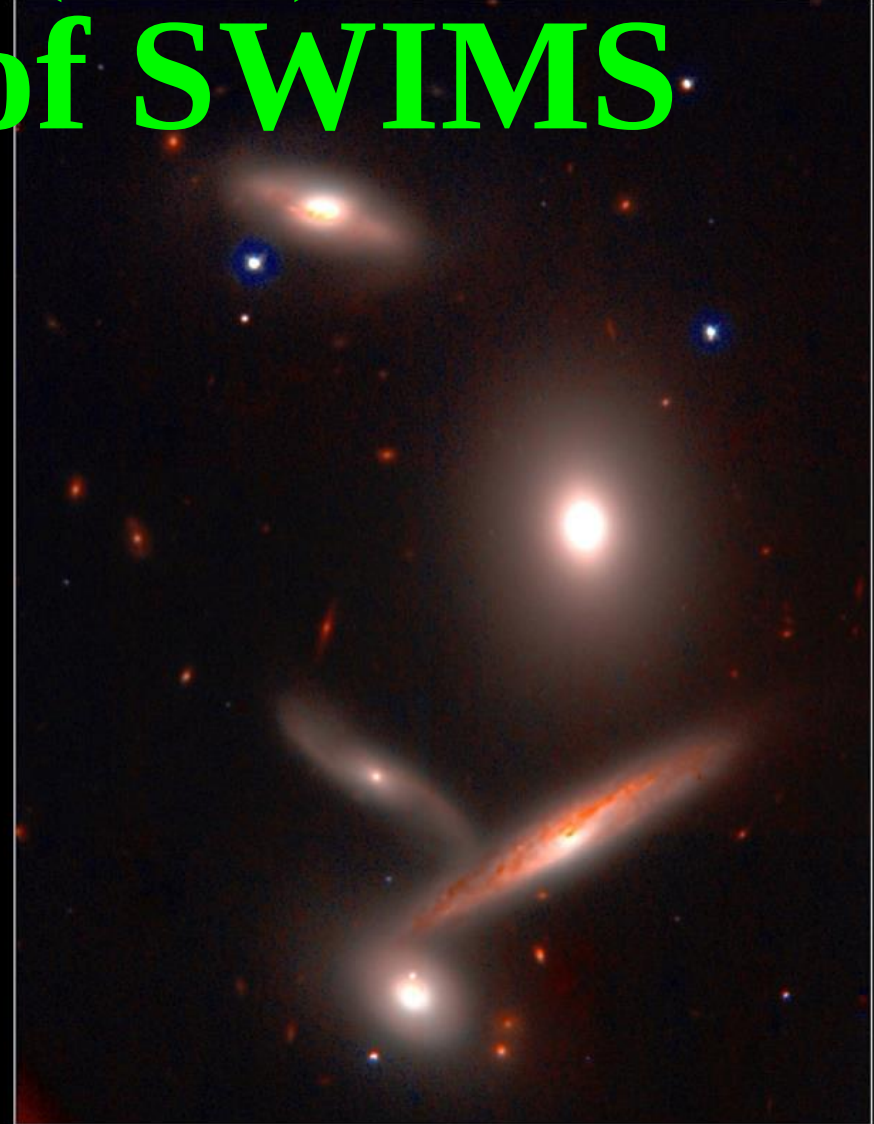
M 82 (NGC 3034)

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



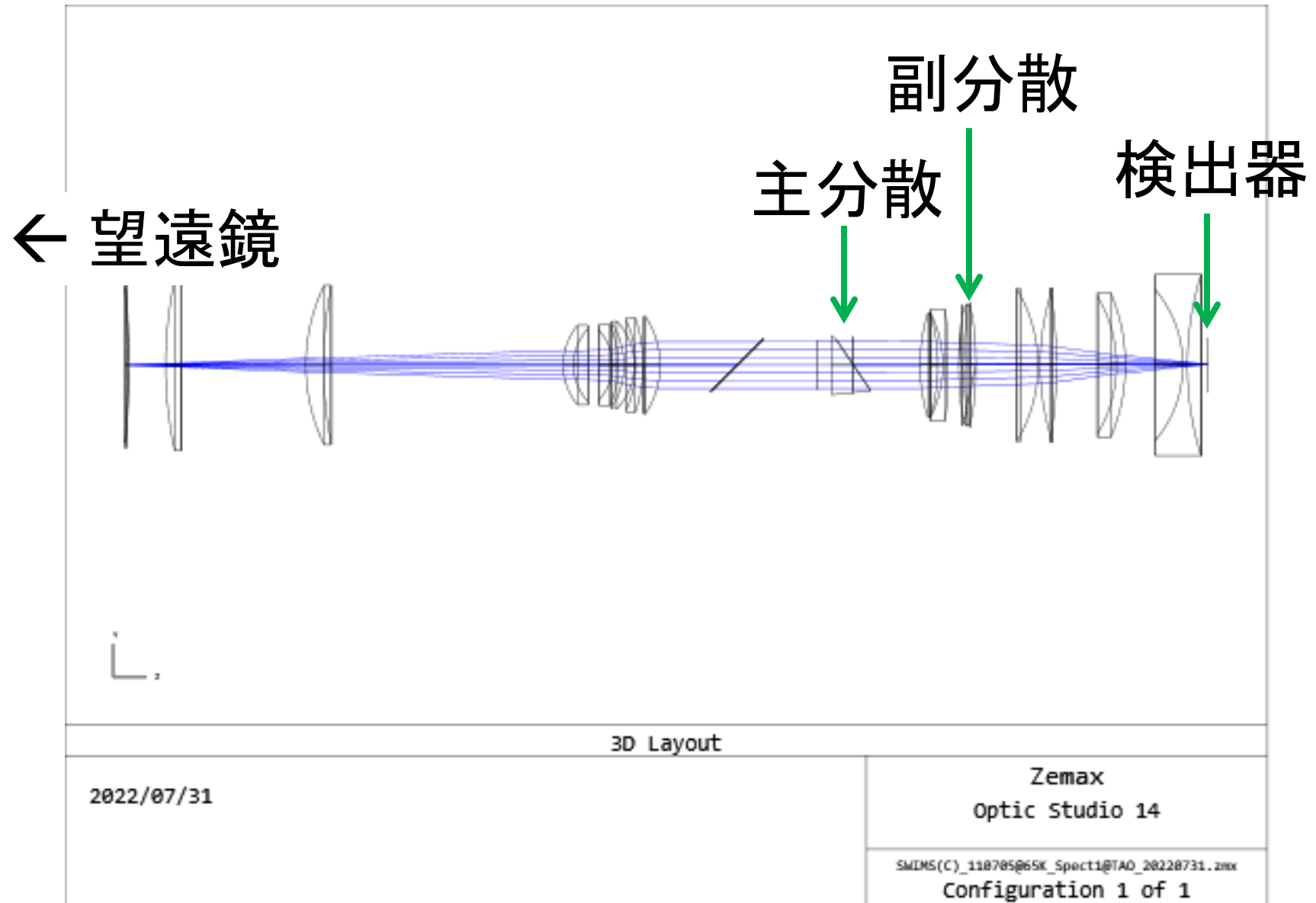
Hickson Compact Group 40

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

CISCO (J & K')

January 28, 1999

SWIMSの光学系 (blue arm)

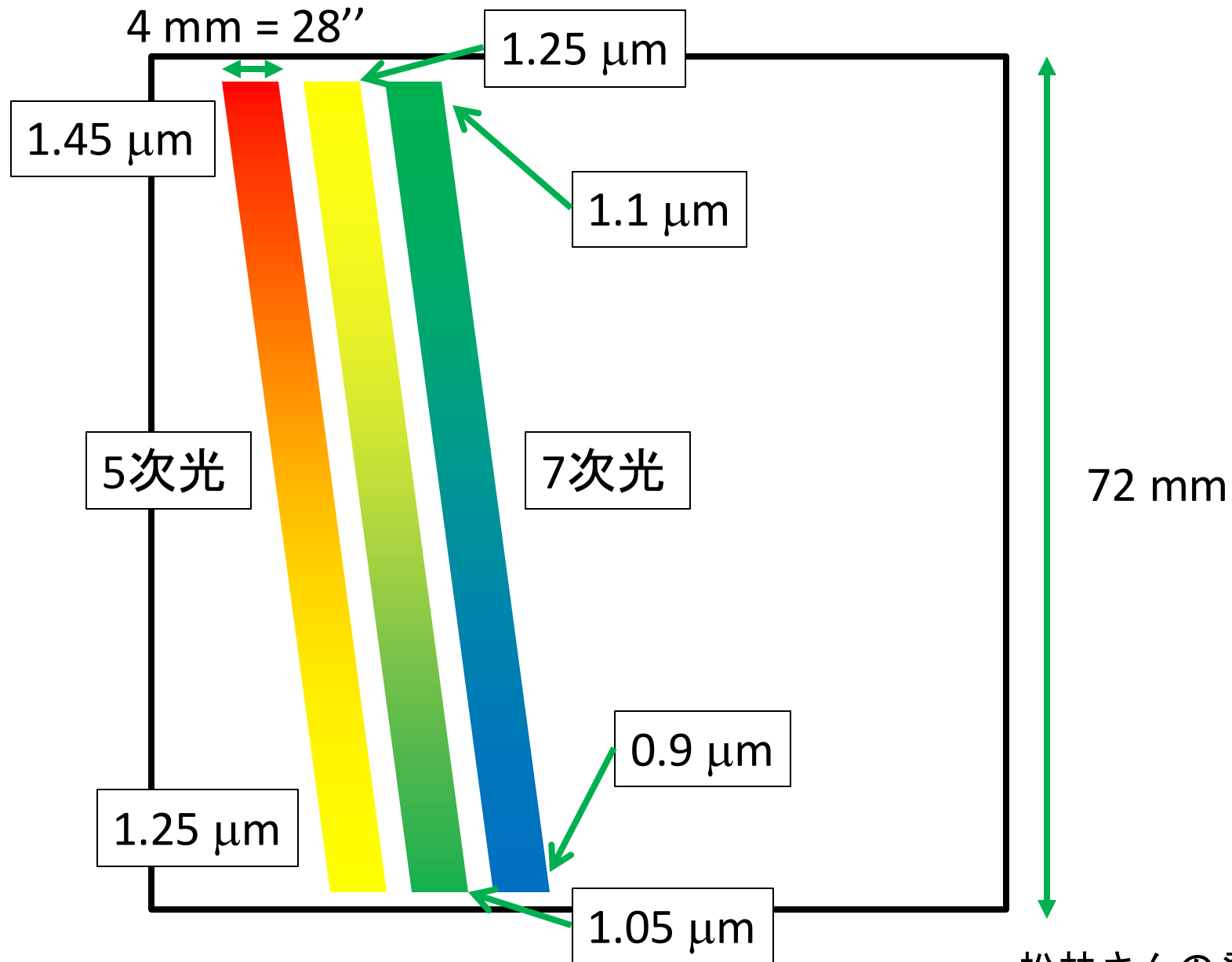


分散素子パラメータ

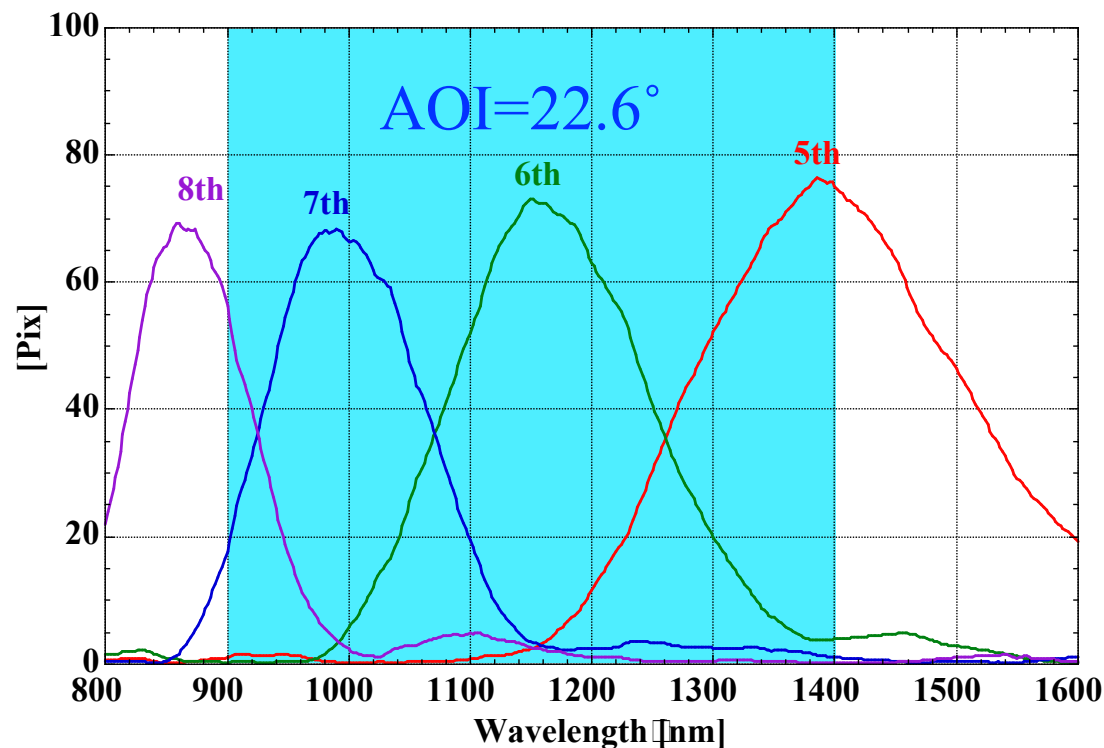
arm	Blue (z-J band)		Red (H-K band)	
	主分散	副分散	主分散	副分散
材質	ZnSe			
溝密度 [本/mm]	120	90	80	90
頂角角度 [度]	34	6	39.5	6
厚さ [mm]	53.3	11.7	57.2	11.7
次数	5-7	1	5-8	1
サンプリング [Å/pix]	0.619	6.78	0.894	6.77
波長分解能 (※)	~4,600		~5,300	
スリット長さ	~28 arcsec		~35 arcsec	

※スポットサイズを4 pixelと仮定

スペクトル @検出器面 (blue)



樹脂のVB grating, AOI=22.6°



VB grating

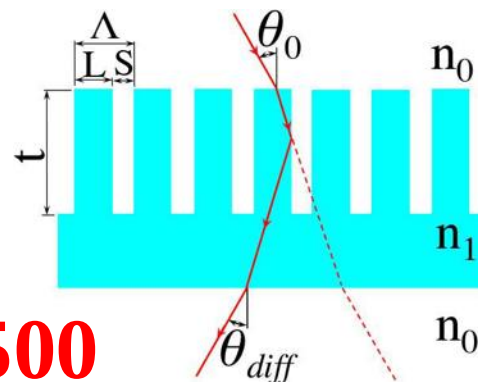
$n_1=1.551@1,150 \text{ nm}$ (NOA61)

$\Lambda=9.0\mu\text{m}$ (111.1 lp/mm)

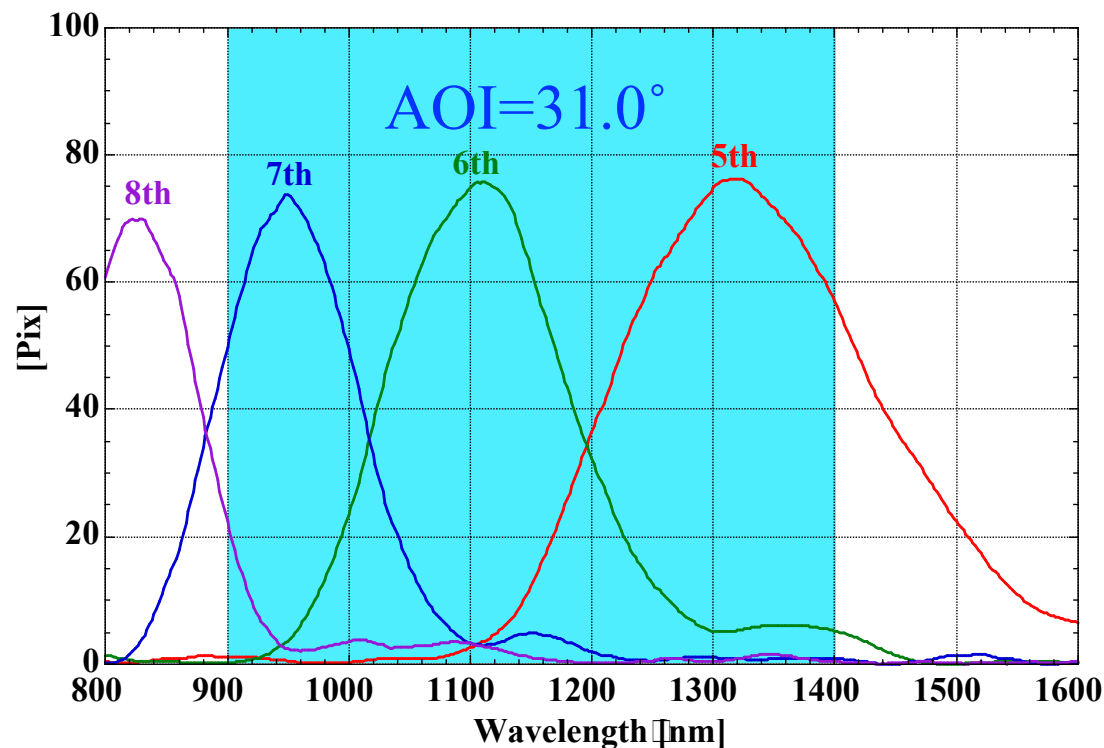
L&S=19:1, $t=30 \mu\text{m}$

Aspect ratio=1:66.7

R=3,500



樹脂のVB grating, AOI=31.0°



VB grating

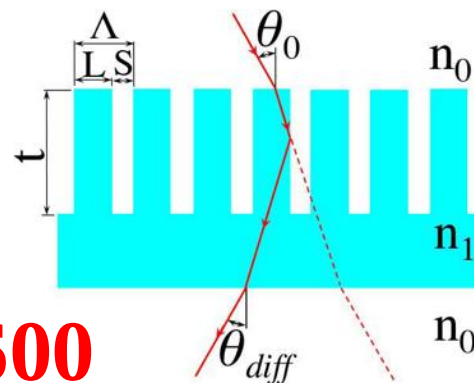
$n_1=1.551@1,150\text{ nm}$ (NOA61)

$\Lambda=6.4\mu\text{m}$ (156.3 lp/mm)

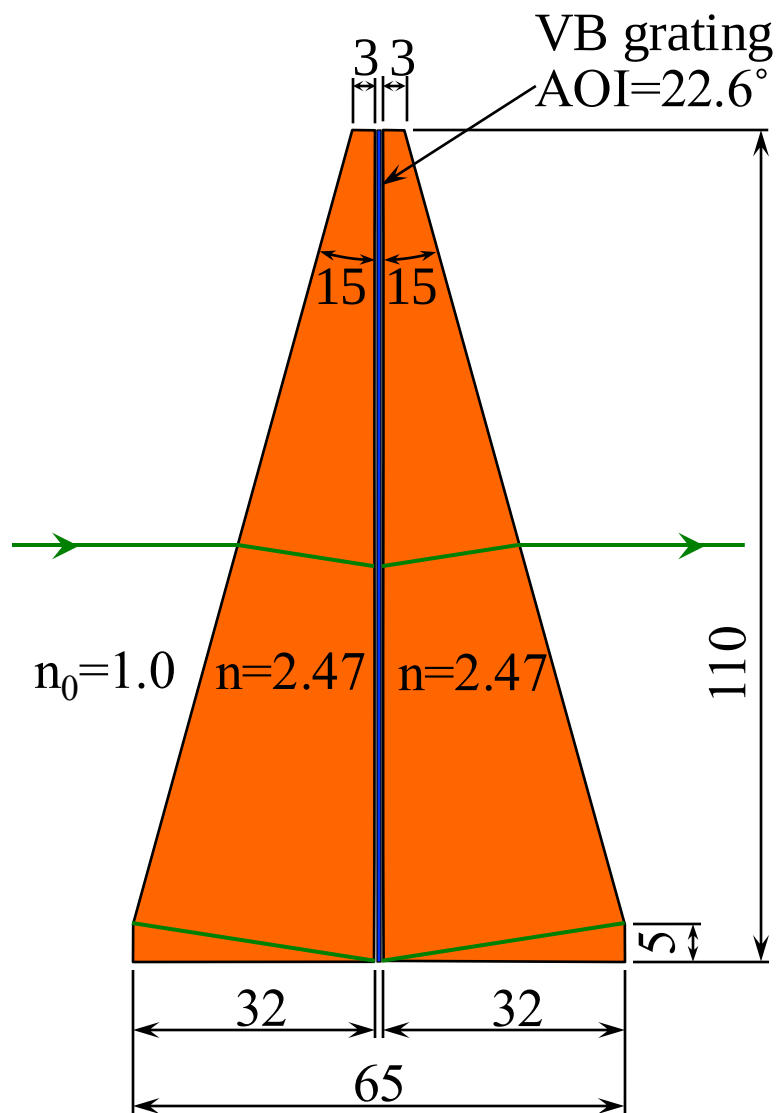
L&S=19:1, $t=16\mu\text{m}$

Aspect ratio=1:50

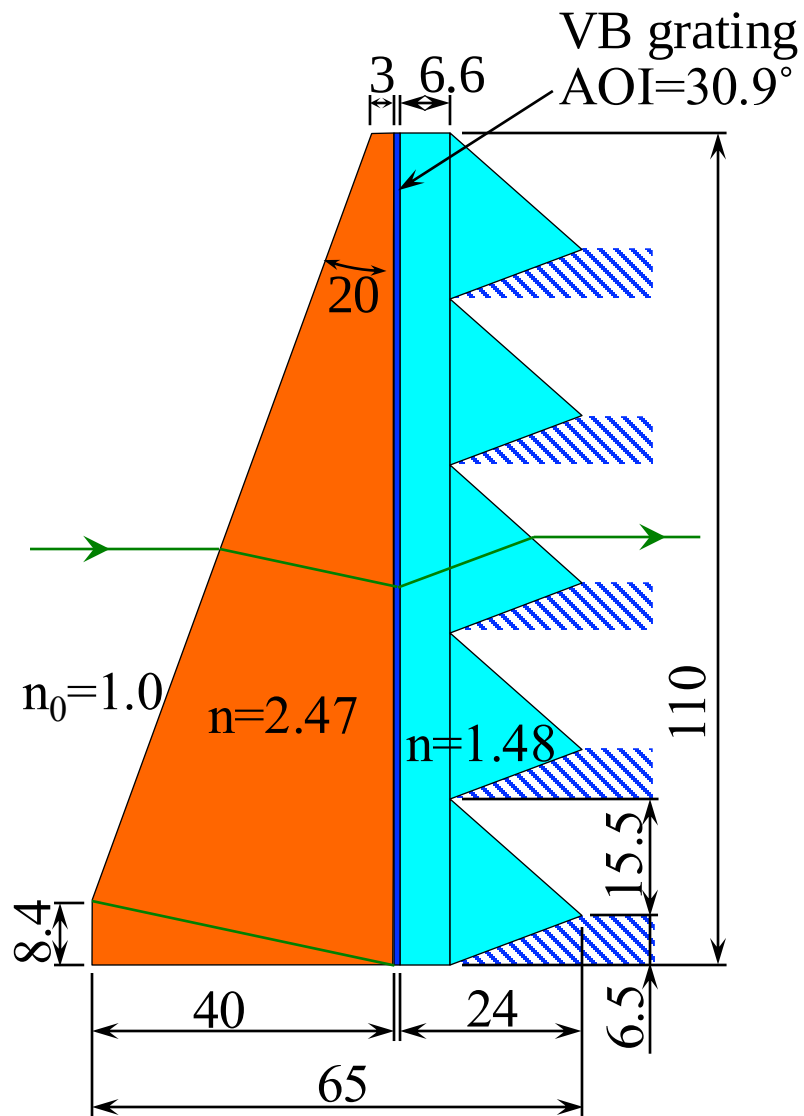
R=4,600



SWIMS z-J band グリズム

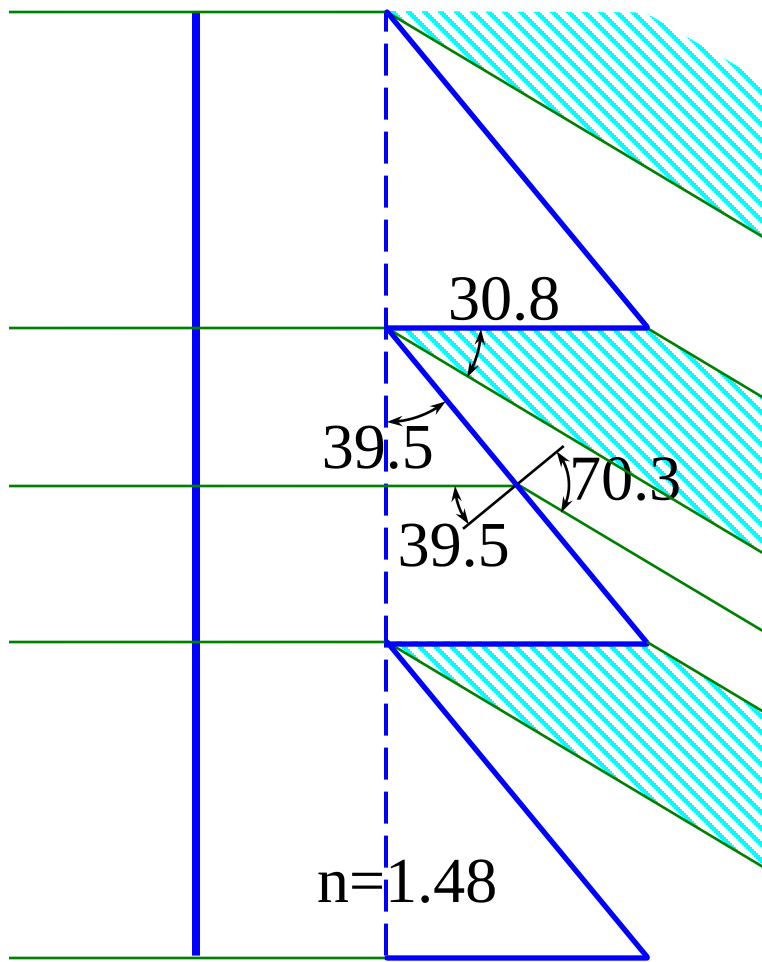


R=3,500

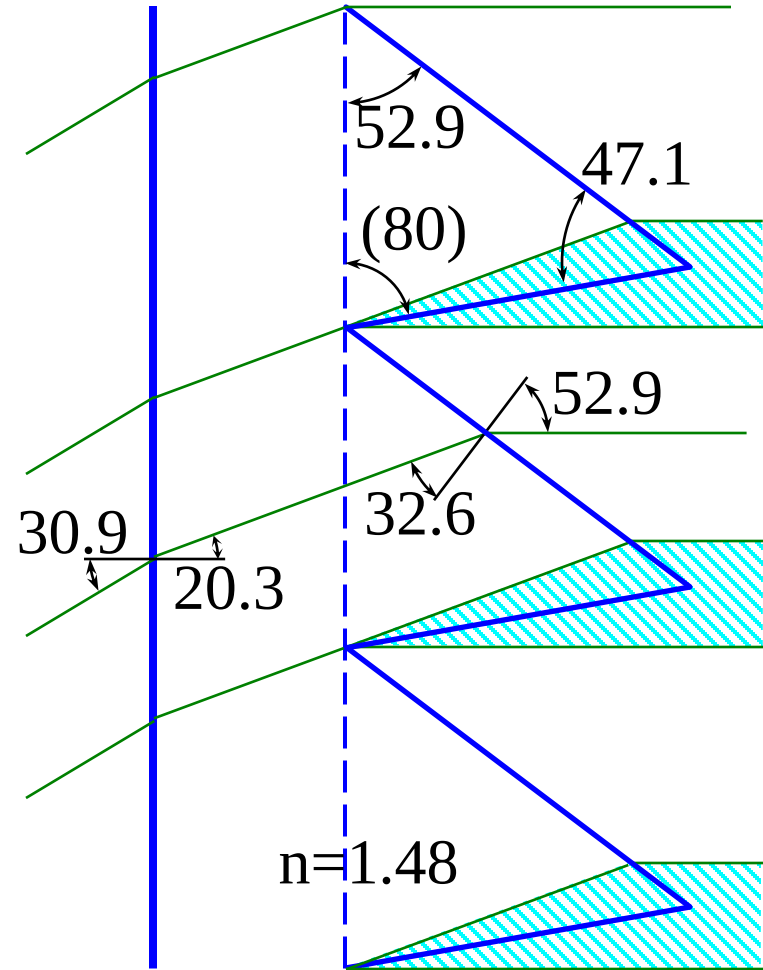


R=4,600

グリズム用プリズムアレイ

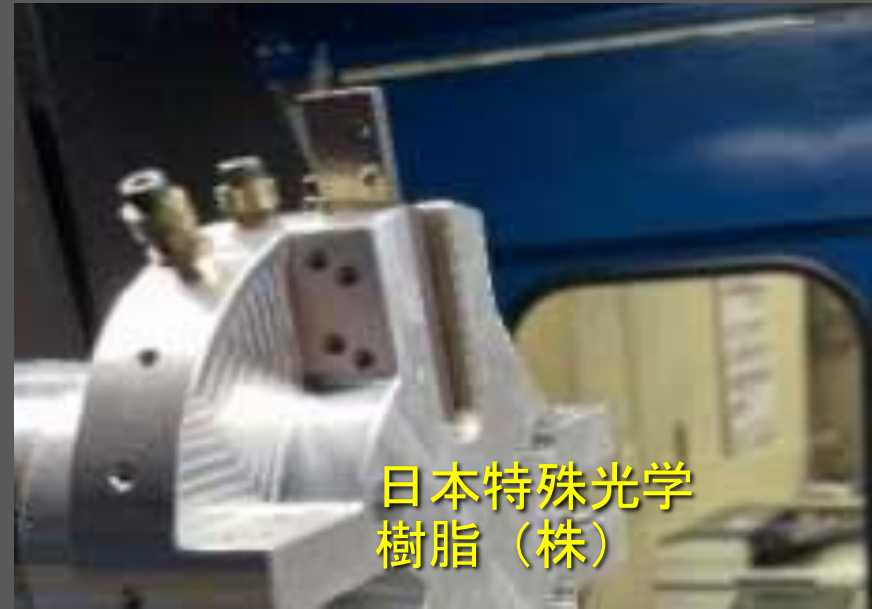
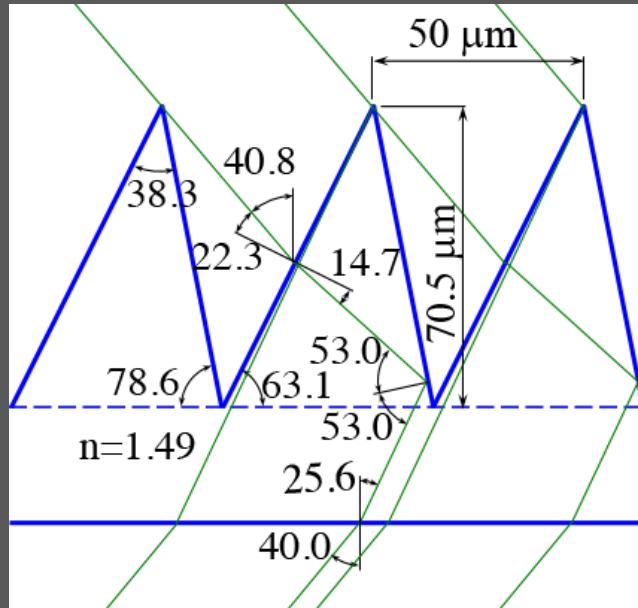


入射側用



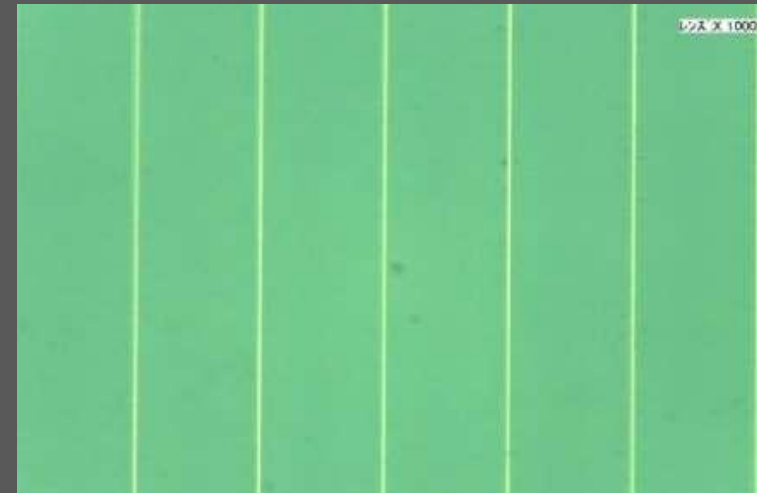
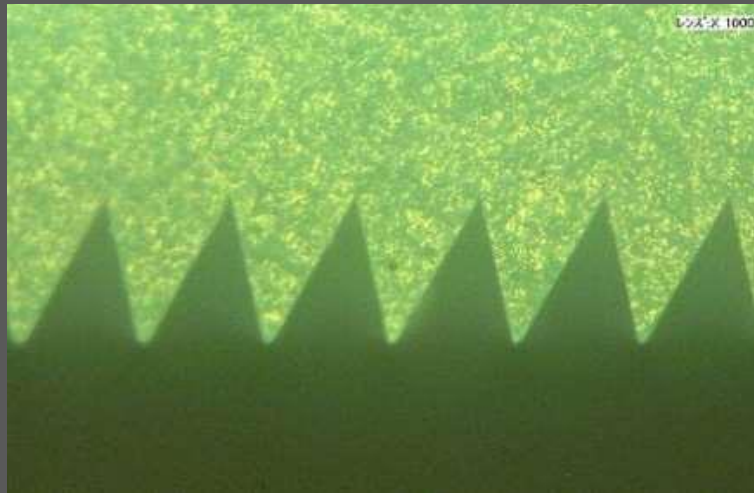
出射側用

硬質樹脂のRFT gratingの試作



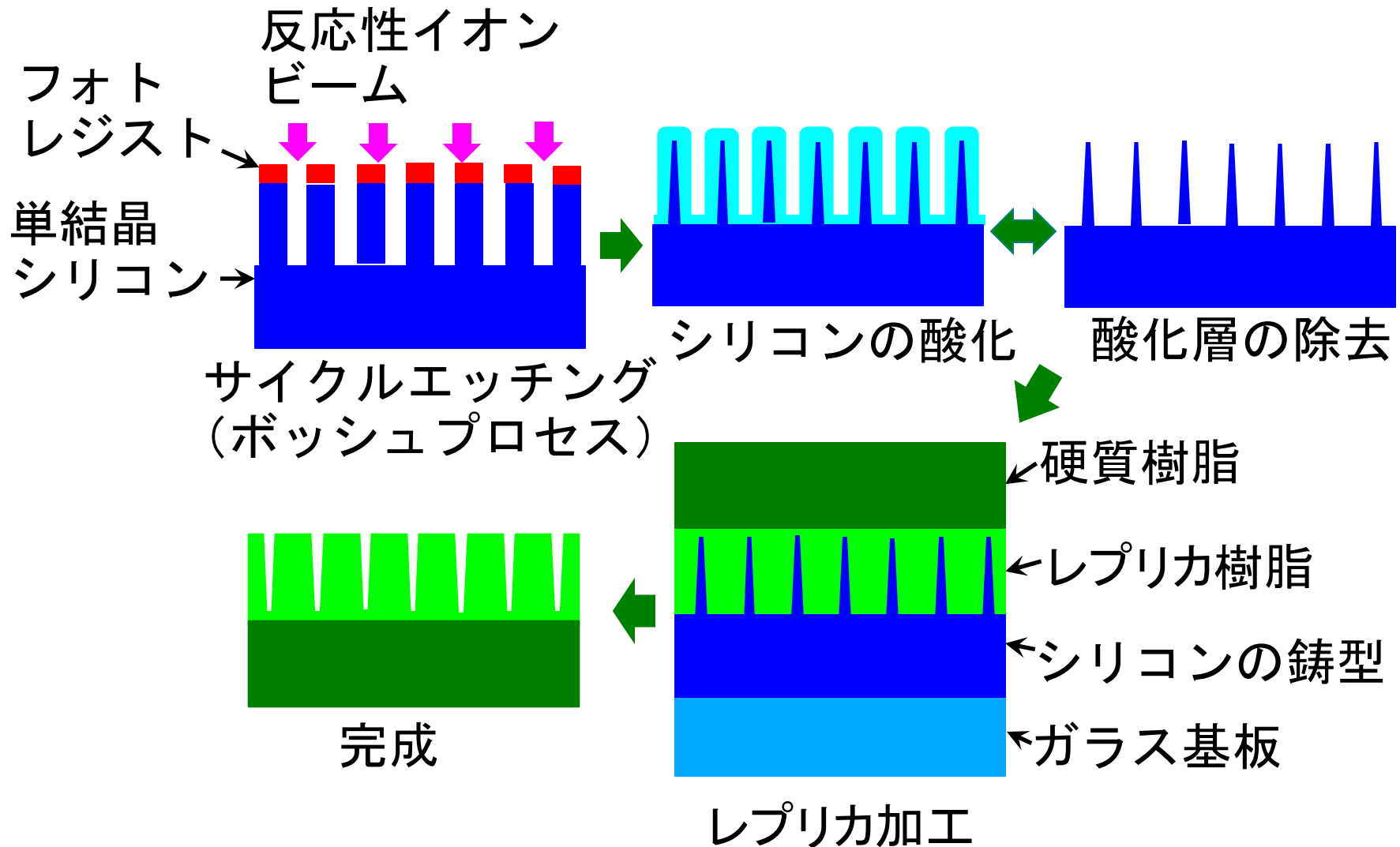
日本特殊光学
樹脂（株）

RFT gratingの仕様 (左)、硬質樹脂のフライカット加工 (右)。

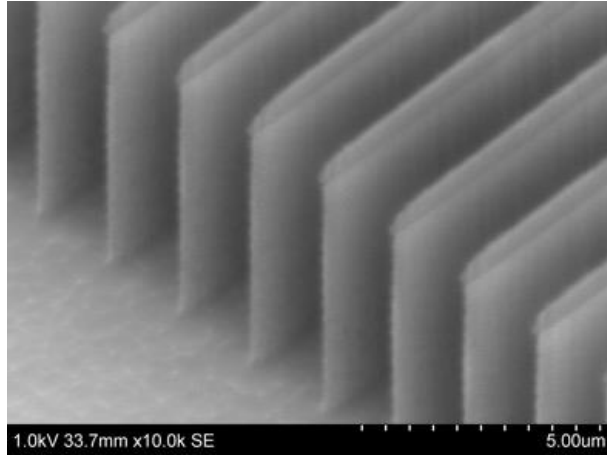


格子の顕微鏡写真：断面 (左)、直上 (右)。

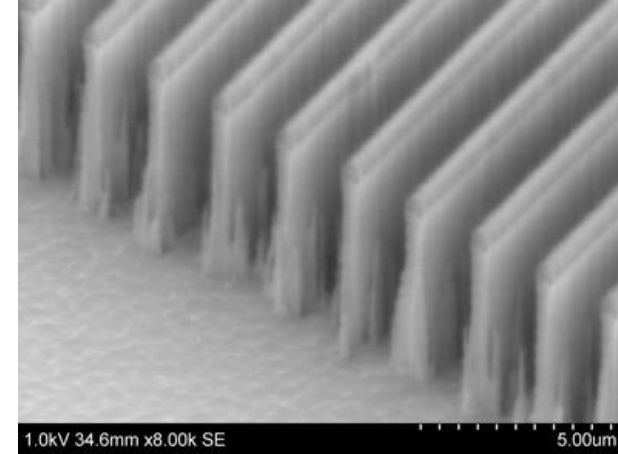
シリコンを鋳型にしたTrapezoid gratingのレプリカ加工



Trapezoid grating用シリコン鋳型の試作



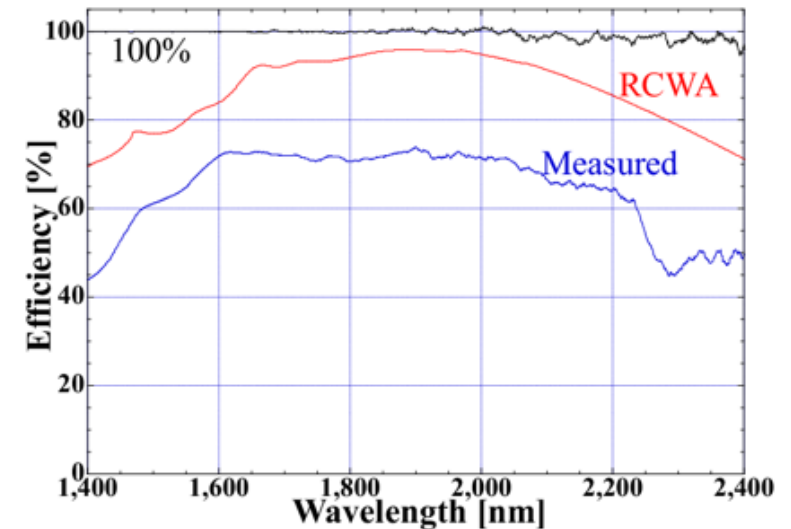
Boschプロセスの条件を変えても
多くは垂直な溝になってしまう。



テーパーが生じる条件では底に針状
のブラックシリコンが発生する。

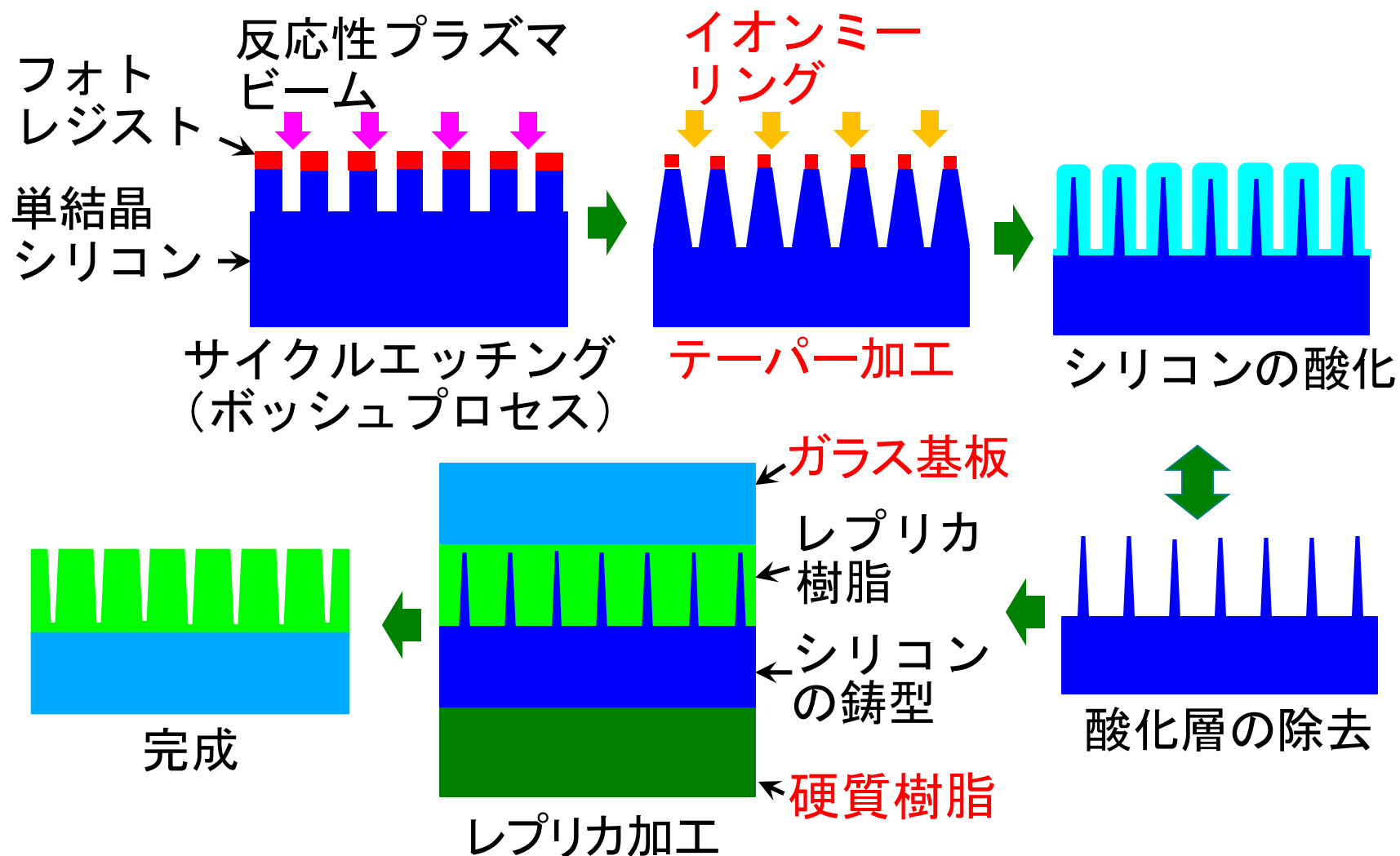


Trapezoid gratingのシリコン鋳型 (左) と
レプリカ (右)。

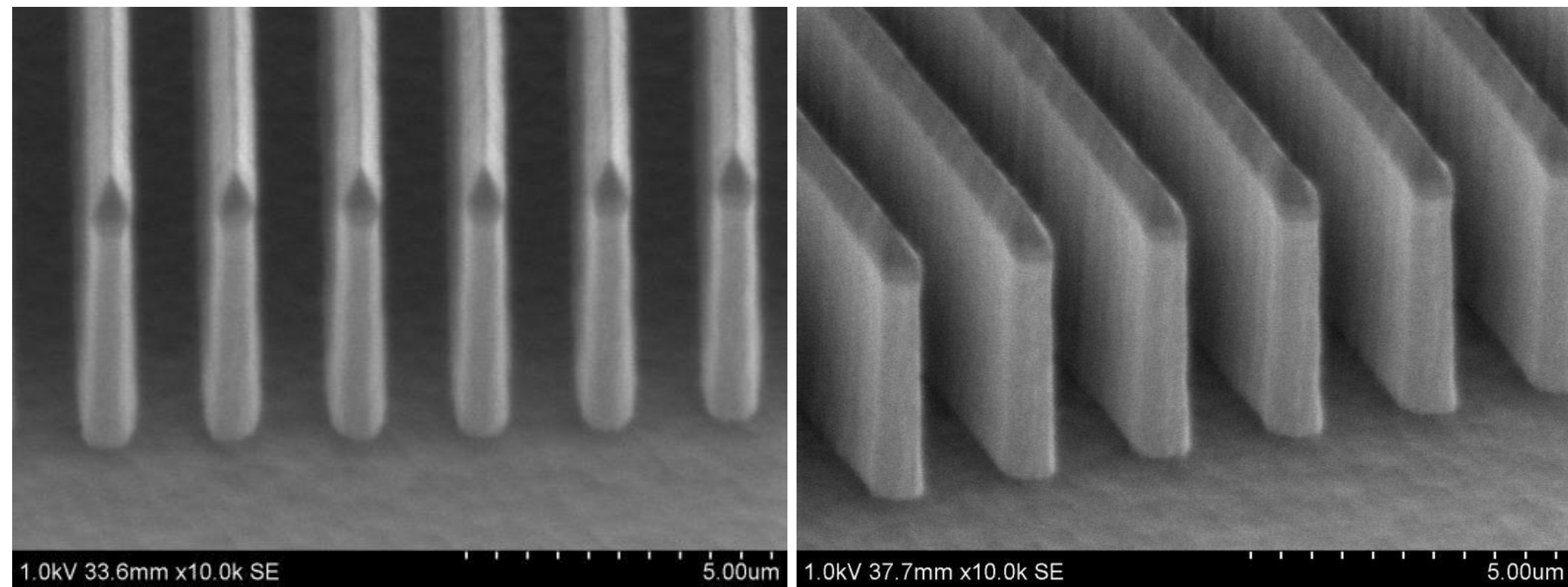


テーパーがあるシリコン鋳型のレプリカ
の回折効率 (溝の幅が設計の半分)。

シリコンを鋳型にしたTrapezoid gratingのレプリカ加工の改良



サイクルエッチング+イオンミーリング

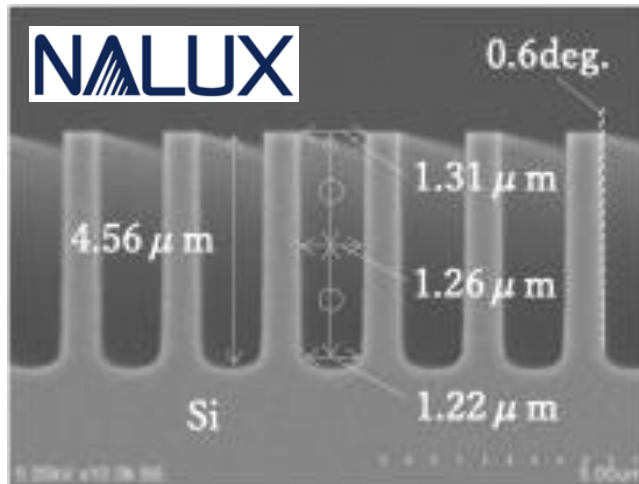


Boschプロセス(5 μ m)の後にイオンミーリング工程(355nm)の追加により、溝にテーパを形成。

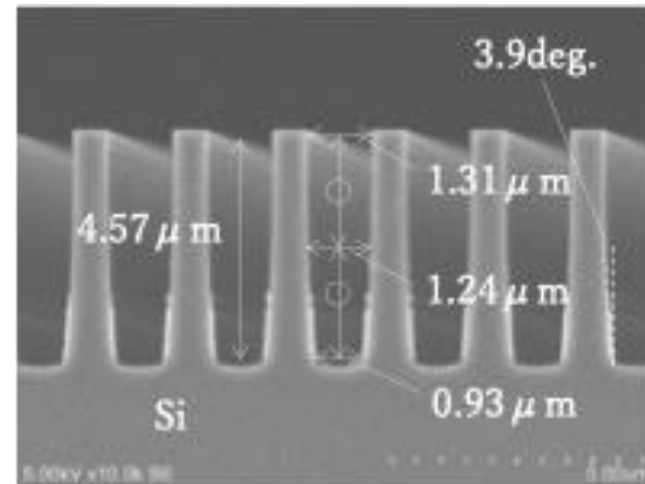
ナルックス(株)に技術移転。

製作：豊田工大、佐々木 教授

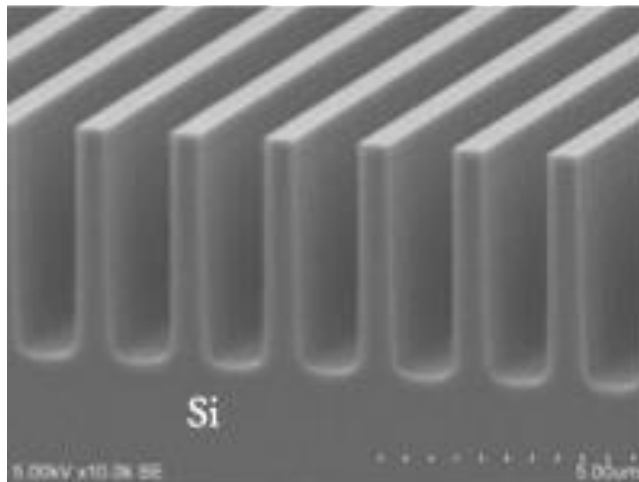
ナルックス (株) におけるシリコン鋳型の試作



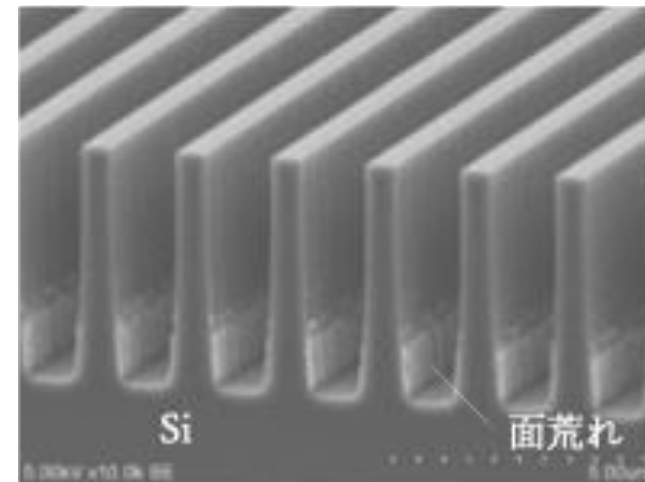
(a-1) イオンミーリングなし
(断面)



(b-1) イオンミーリングあり
(断面)

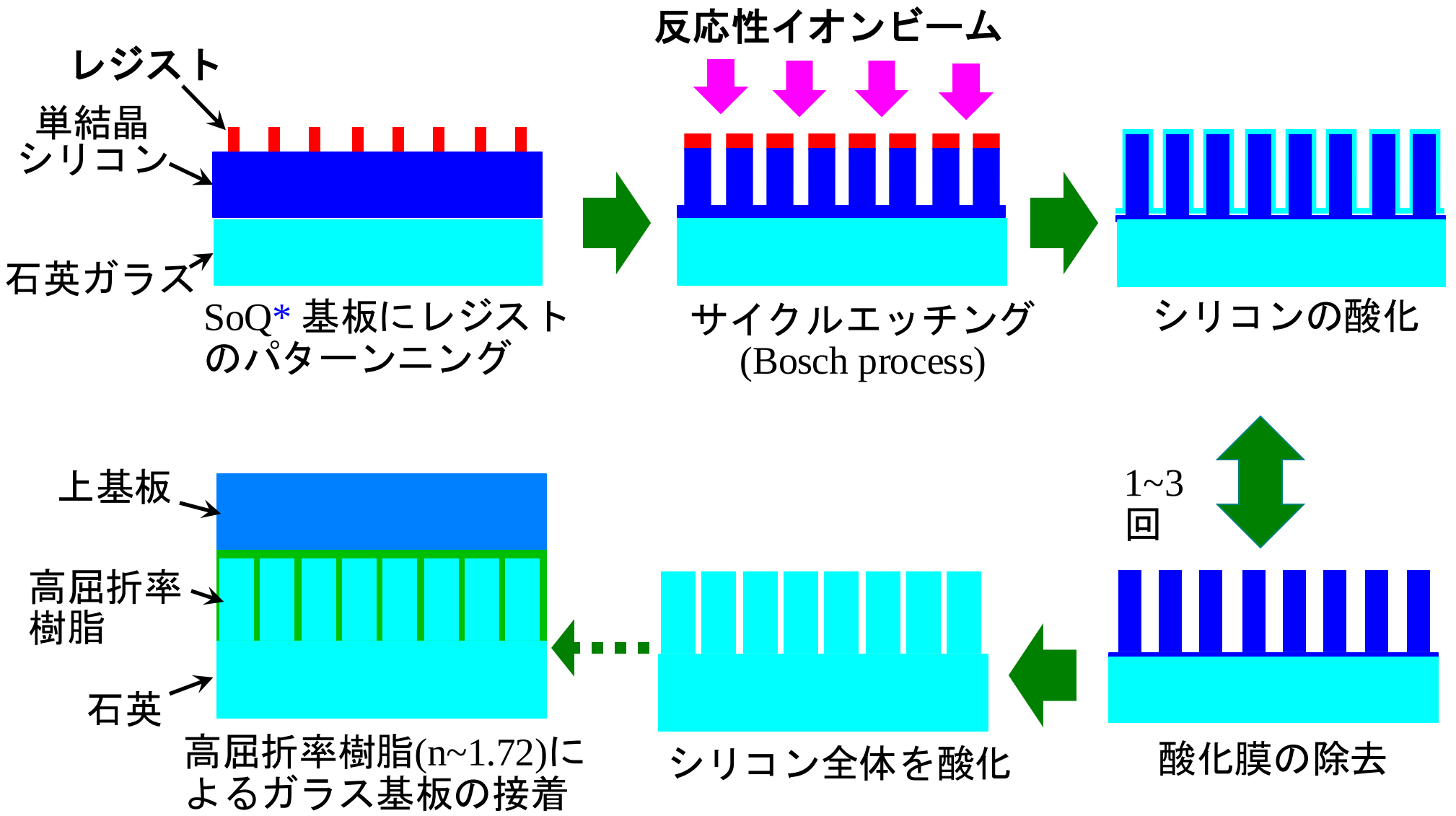


(a-2) イオンミーリングなし
(鳥瞰)



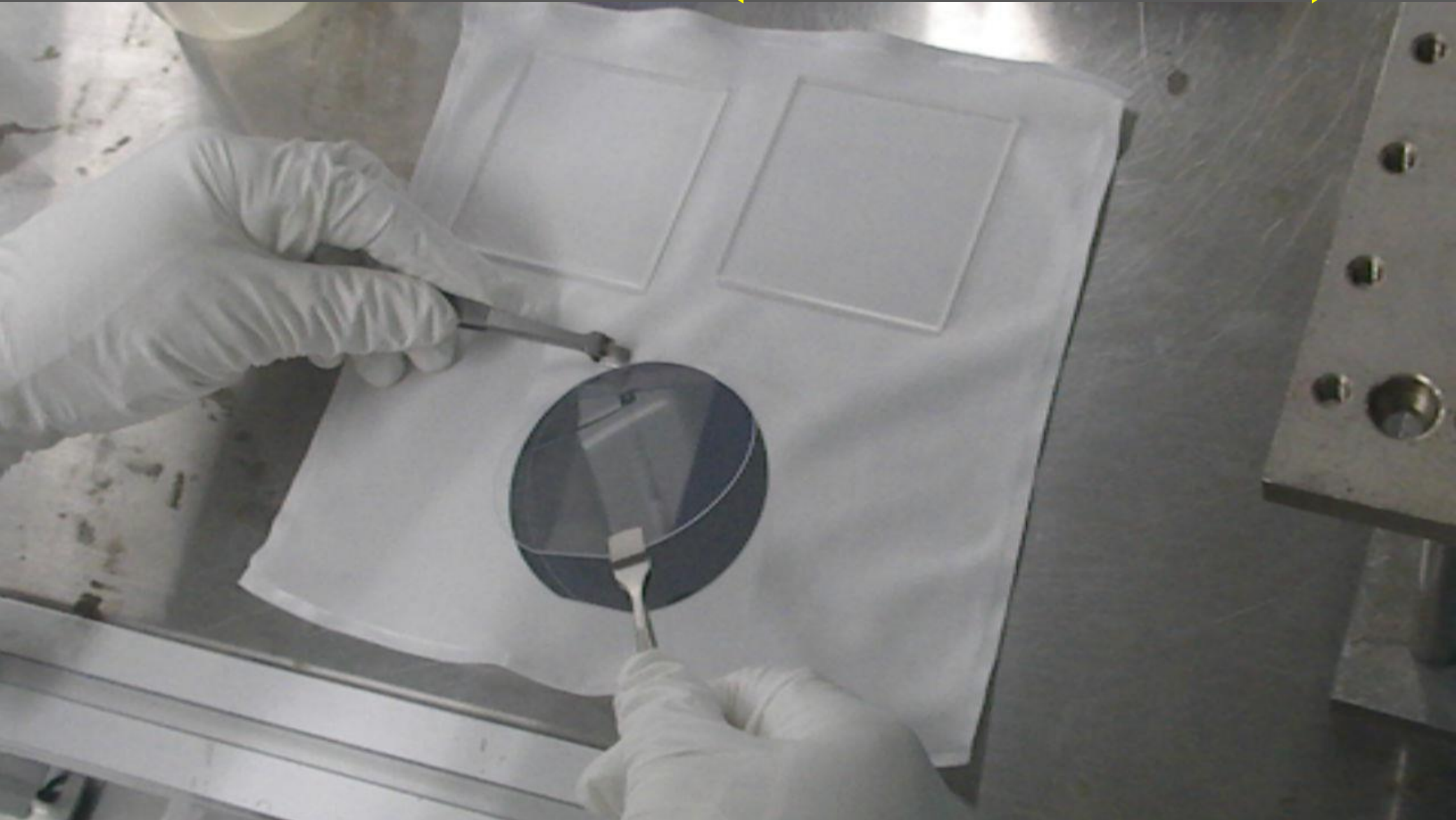
(b-2) イオンミーリングあり
(鳥瞰)

シリコン格子の酸化によるVB gratingの製作方法

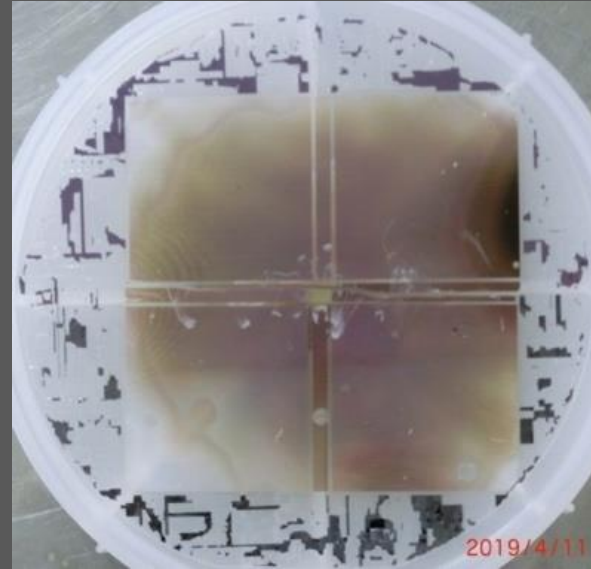
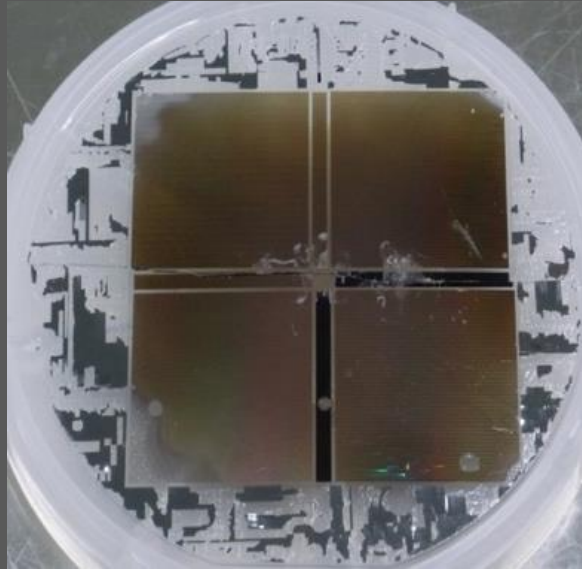


* SoQ: Silicon on Quartz

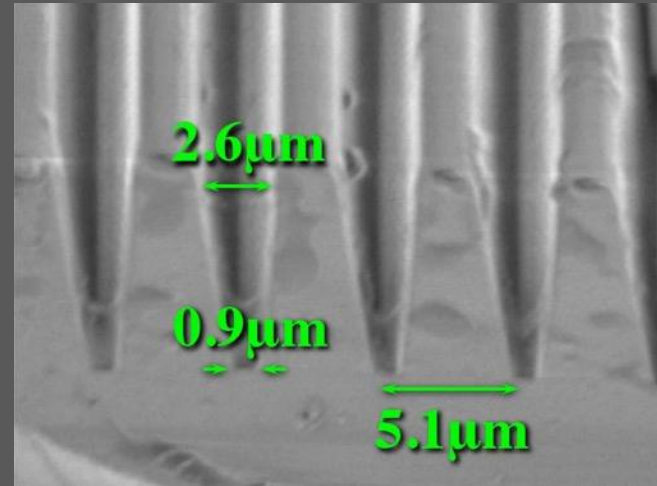
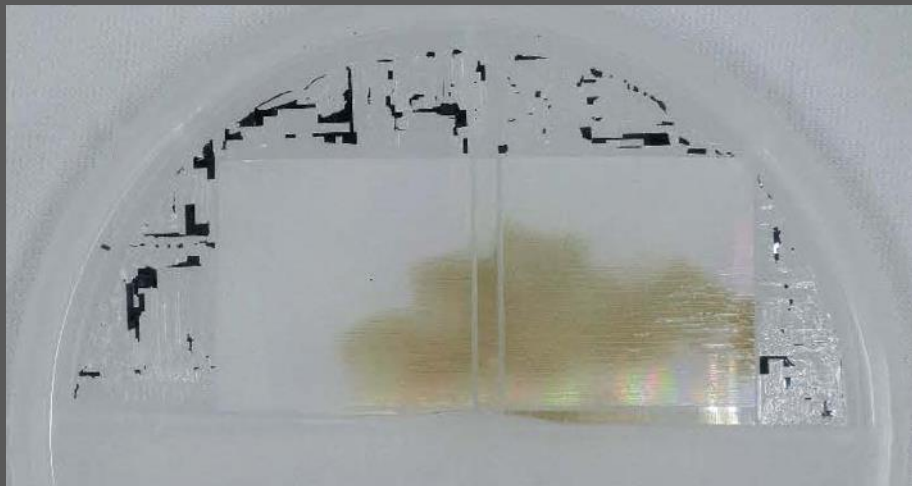
表面活性化接合 (SoQ基板の試作)



石英VB gratingの試作



SoQ基板に加工したSi VB gratingの酸化前(左)、酸化(8時間)後(右)



さらなる酸化(計36時間, 左)と格子のSEM写真(右)

Volume Binary (VB) Grism for H-K band of SWIMS



NGC 2392 [Eskimo Nebula]

Ultra-high-sensitivity HDTV I.I. color camera (NHK)

January 17, 1999. exp. 1/4 sec. 12 frames composited

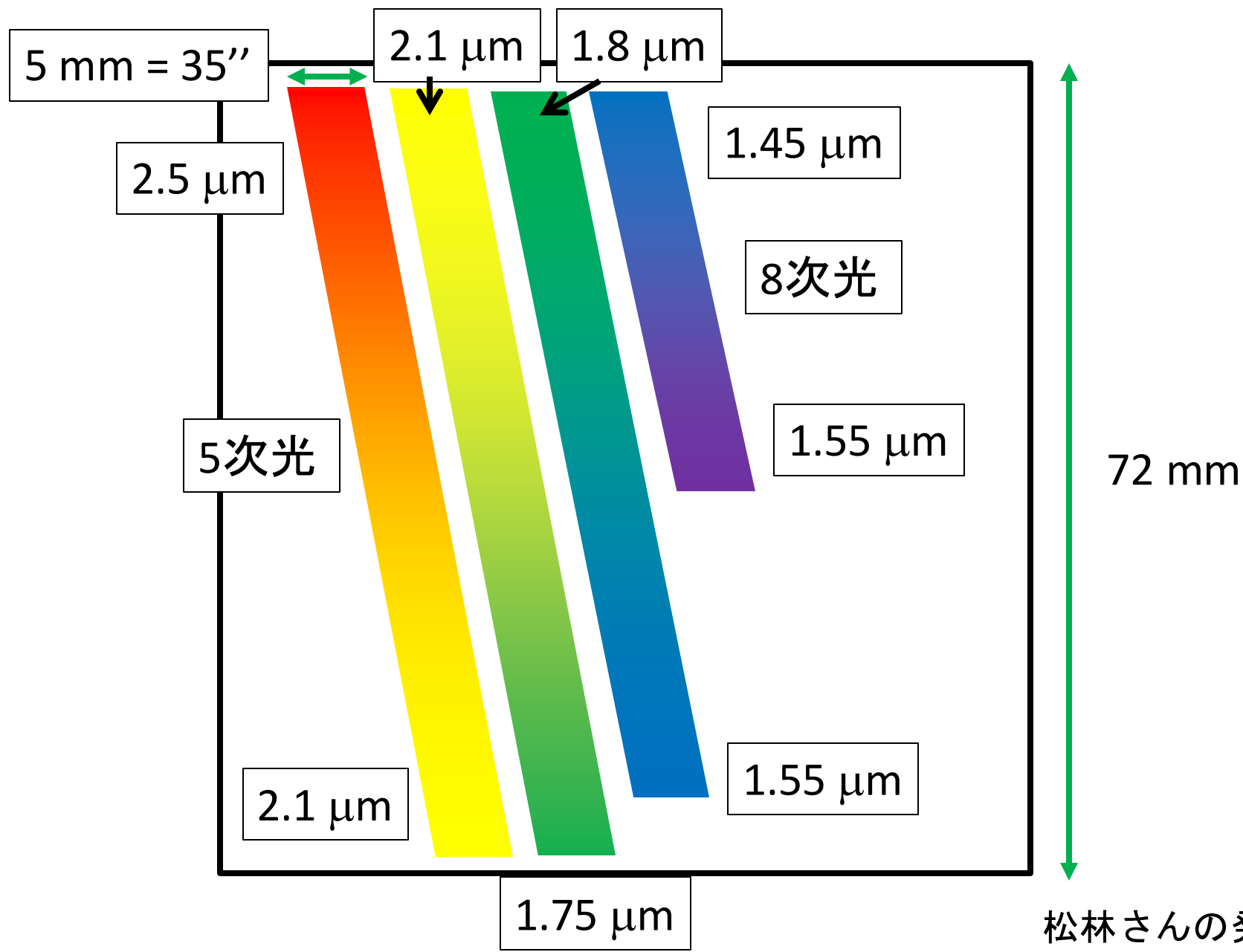
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

分散素子パラメータ

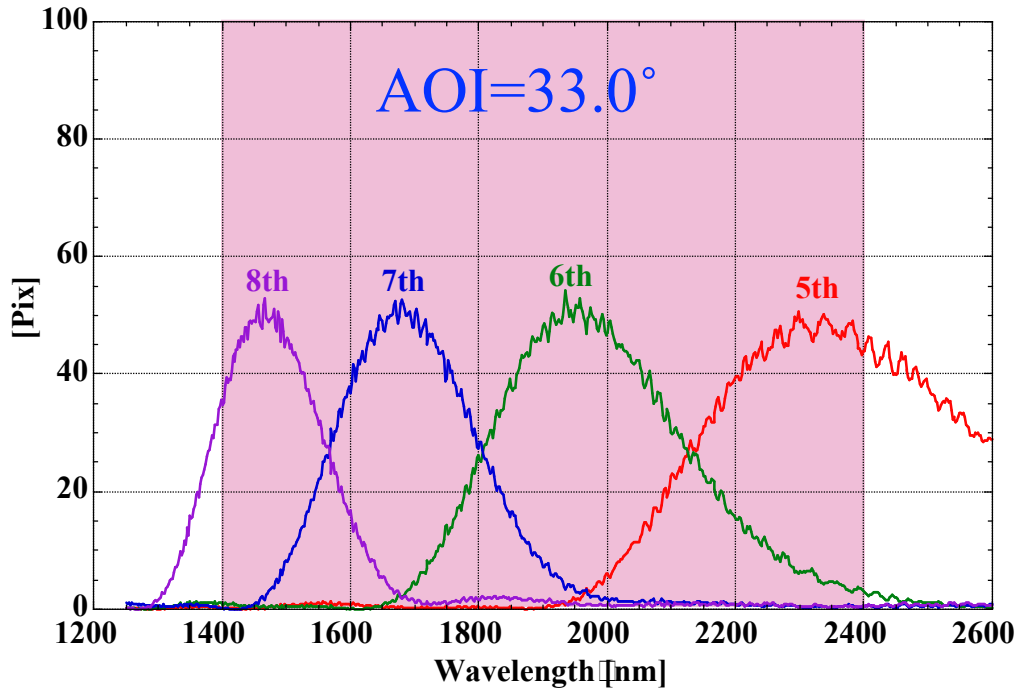
arm	Blue (z-J band)		Red (H-K band)	
	主分散	副分散	主分散	副分散
材質	ZnSe			
溝密度 [本/mm]	120	90	80	90
頂角角度 [度]	34	6	39.5	6
厚さ [mm]	53.3	11.7	57.2	11.7
次数	5-7	1	5-8	1
サンプリング [Å/pix]	0.619	6.78	0.894	6.77
波長分解能 (※)	~4600		~5300	
スリット長さ	~28 arcsec		~35 arcsec	

※スポットサイズを4 pixelと仮定

スペクトル @検出器面 (red)



Si VB grating for SWIMS K-band grism



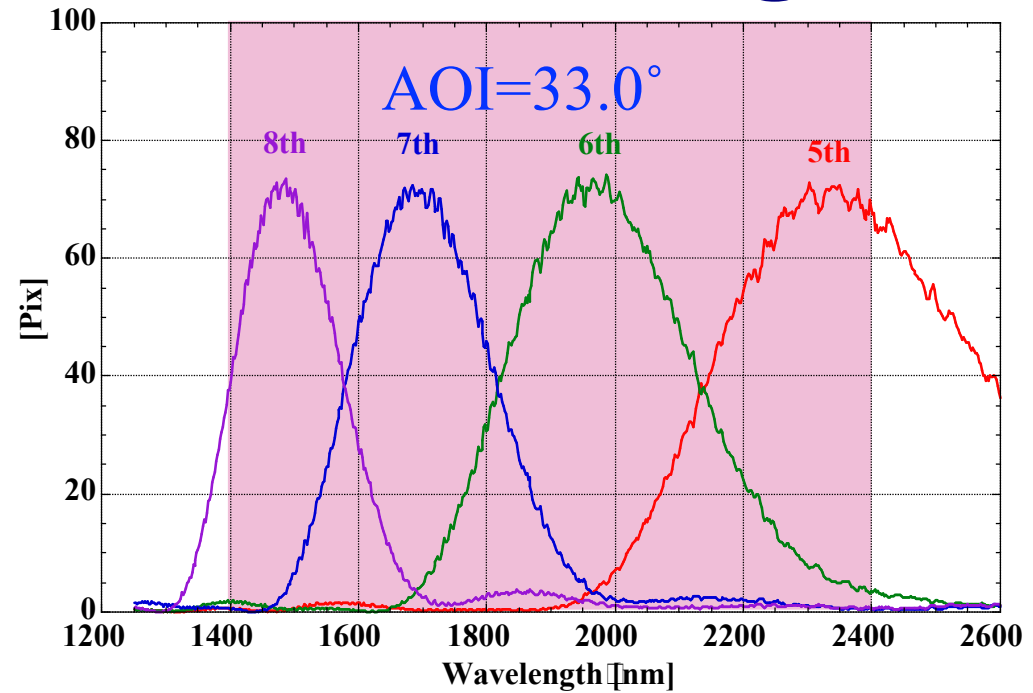
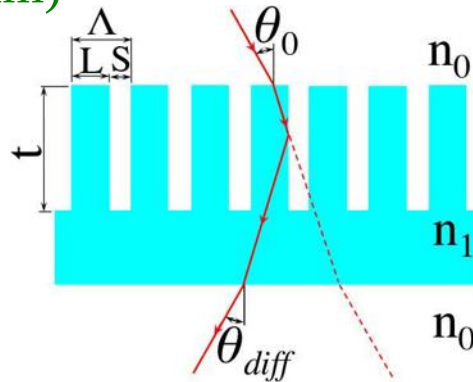
Silicon VB grating

$n_1=3.455@1.9\ \mu\text{m}$

$\Lambda=10.75\mu\text{m}$ (93.0 lp/mm)

L&S=19:1, $t=60\ \mu\text{m}$

Aspect ratio=1:111.6



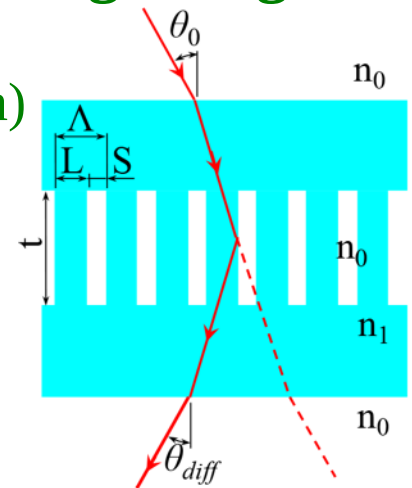
Silicon Closed VB grating

$n_1=3.455@1.9\ \mu\text{m}$

$\Lambda=10.75\mu\text{m}$ (93.0 lp/mm)

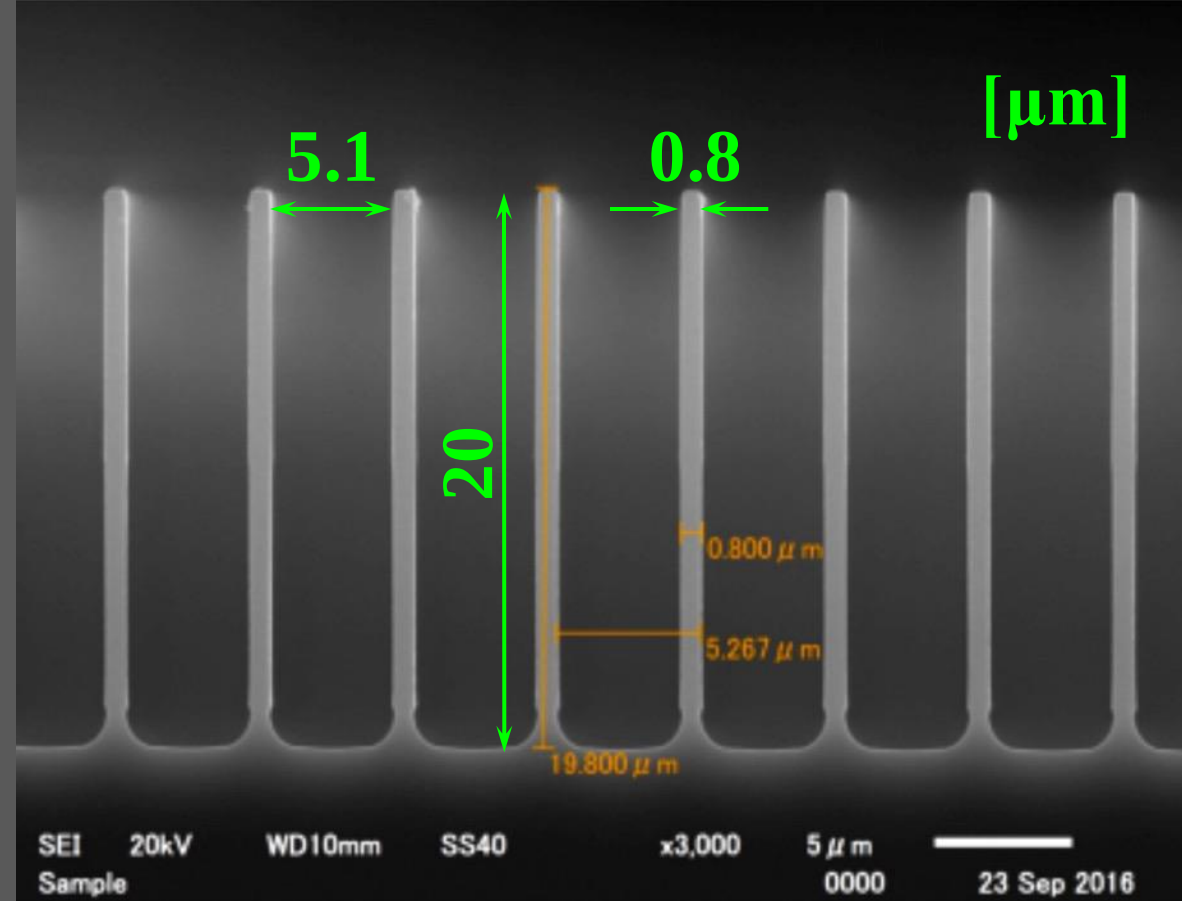
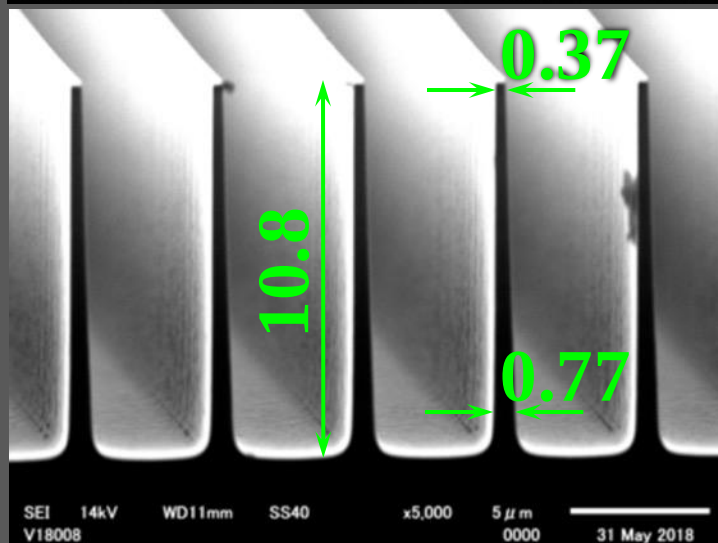
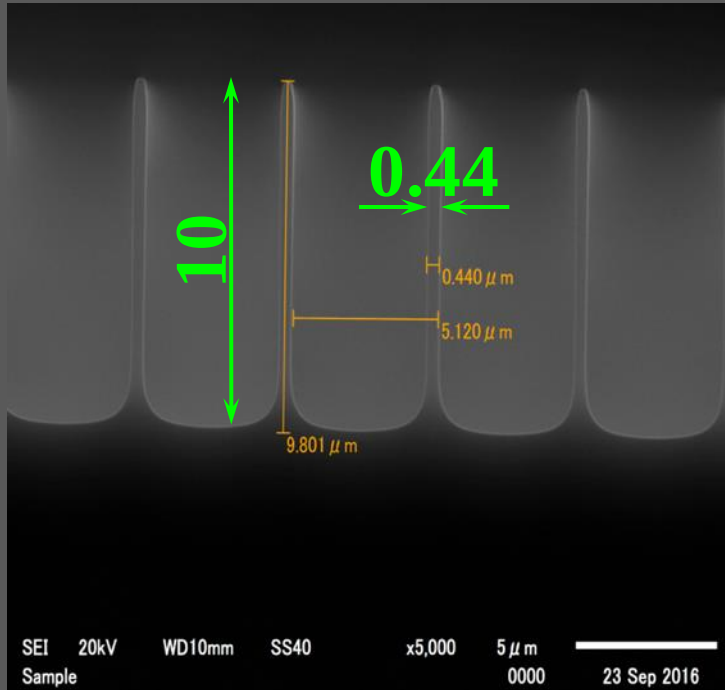
L&S=19:1, $t=58\ \mu\text{m}$

Aspect ratio=1:107.9



R=5,300

VB gratingのシリコン鋳型



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。

[Ebizuka et al., Proc. SPIE10233, 2017]

まとめ

SWIMS z-Jバンド VBグリズム

- ZnSeプリズムでは分解能が足りない ($R=3,500$)。
 - 5段以上のプリズムアレイにより目標の $R=4,600$ を達成。
- 樹脂のVB gratingは溝のアスペクト比が1:50。
 - シリコン鋳型による樹脂のレプリカVB grating。
 - シリコンを酸化した石英VB grating。

SWIMS z-Jバンド VBグリズム

- ZnSeプリズムでは分解能が足りない ($R=3,100$)。
 - シリコンのプリズムにより目標の $R=5,300$ を達成。
- シリコンVB gratingは溝のアスペクト比が1:110。
 - サイクルエッチングはアスペクト比が1:100以上も可能。
- 密閉型シリコンVB gratingは効率が石英や樹脂と同等。
 - 表面活性化接合が実用化されている。