

X線トポグラフィ研究会 2019/8/2  
@大阪大学 吹田キャンパス

# スーパーボルマン効果を利用した CZ-Si ネッキング部の転位観察

津坂 佳幸<sup>1,3</sup>, 藤田 優<sup>1</sup>, 堀川 智之<sup>2</sup>, 松井 純爾<sup>3</sup>

<sup>1</sup>兵庫県大院物質理学, <sup>2</sup>グローバルウェーハズ・ジャパン株式会社,

<sup>3</sup>兵庫県大・放射光ナノテクセンター

# 研究背景

## ・ Czochralski法

多結晶シリコンをルツボで融解

→融解した液面に種結晶をつけ、回転引き上げ

→単結晶インゴットを製造

Dash ネッキング法で  
径を絞る→**転位を低減**

✓ 放射光X線トポグラフィで転位の挙動を観察

# 研究背景

## ✓ 放射光X線トポグラフィで転位の挙動を観察

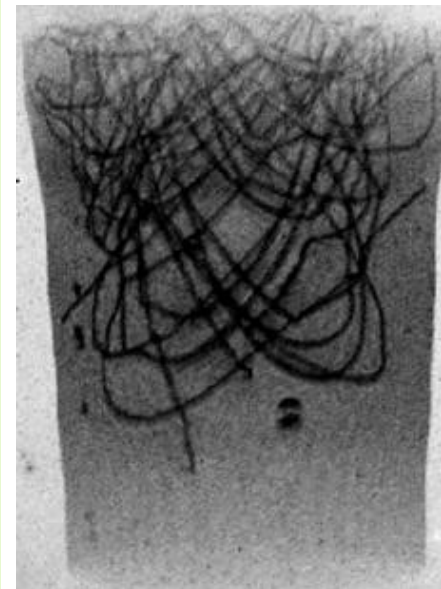
試料を非破壊で転位観察



放射光を光源とする  
高エネルギー(～60 keV)  
X線トポグラフィ

- 低エネルギーX線を用いる場合  
→ 試料を薄片化し、撮像

### 先行研究



種結晶側



$g_{004}$

X線フィルムで  
撮像

1 mm

(BL28B2, SPring-8)

Kawado et al. : J. Phys. D:  
Appl. Phys. **38** (2005) A17.

# 研究背景

- Czochralski法

多結晶シリコンをルツボで融解

→融解した液面に種結晶をつけ、回転引き上げ

→単結晶インゴットを製造

Dash ネッキング法で  
径を絞る→**転位を低減**

- ✓ 放射光X線トポグラフィで転位の挙動を観察

- 厚みのあるネック部を、非破壊で転位観察するには高エネルギーX線を用いなければならなかった

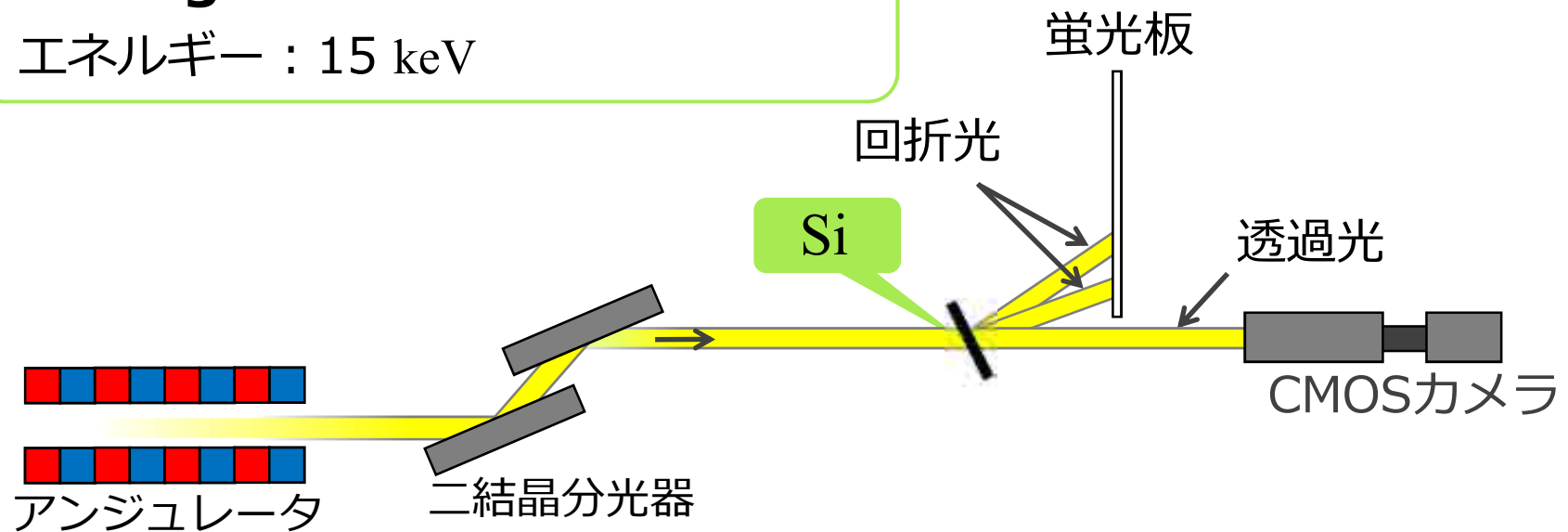
- ✓ スーパーボルマン効果を採用

- 低エネルギーX線を用いて転位の挙動を観察可能にする

# 明視野X線トポグラフィ

## SPring-8 BL24XU Hutch B2

エネルギー：15 keV



## ◆ 明視野X線トポグラフィ

利点

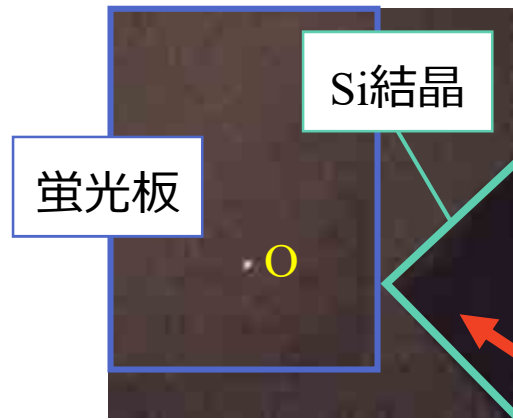
蛍光板にて回折光を確認しながら  
CMOSカメラで透過光トポグラフィ像を得る手法

透過光を撮像するため、  
回折光の位置へカメラを移動させる必要がない

# スーパーボルマン効果

✓透過ビームの明るさの比較で視覚的に確認

通常の透過ビーム



$$\mu_o = 22.6 \text{ cm}^{-1}$$

$\mu t \sim 11$

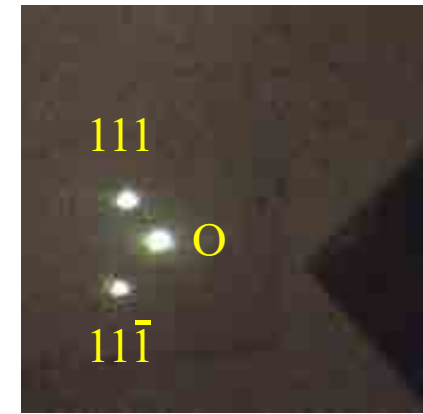
ボルマン効果



$$\mu = 6.62 \text{ cm}^{-1}$$

$\mu t \sim 3$

スーパーボルマン効果



$$\mu = 0.28 \text{ cm}^{-1}$$

$\mu t \sim 0.1$

ダイヤモンド型構造をもつ結晶で

板状Si 5 mm t ,  $E=15 \text{ keV}$

O波, G波( $g_{111}$ )の  
2波近似時の透過率

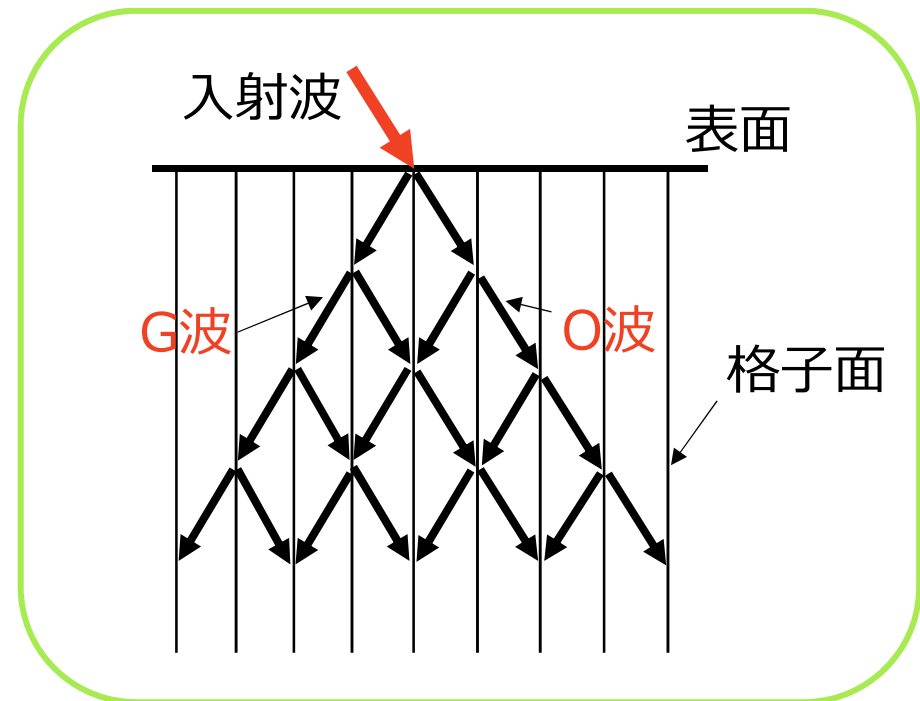
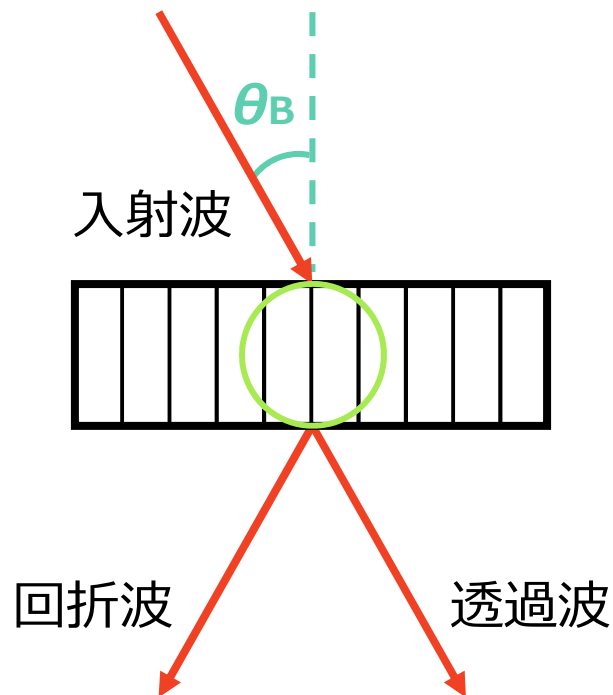


O波, 2つのG波( $g_{111}$ ,  $g_{11\bar{1}}$ )の  
3波近似時の透過率

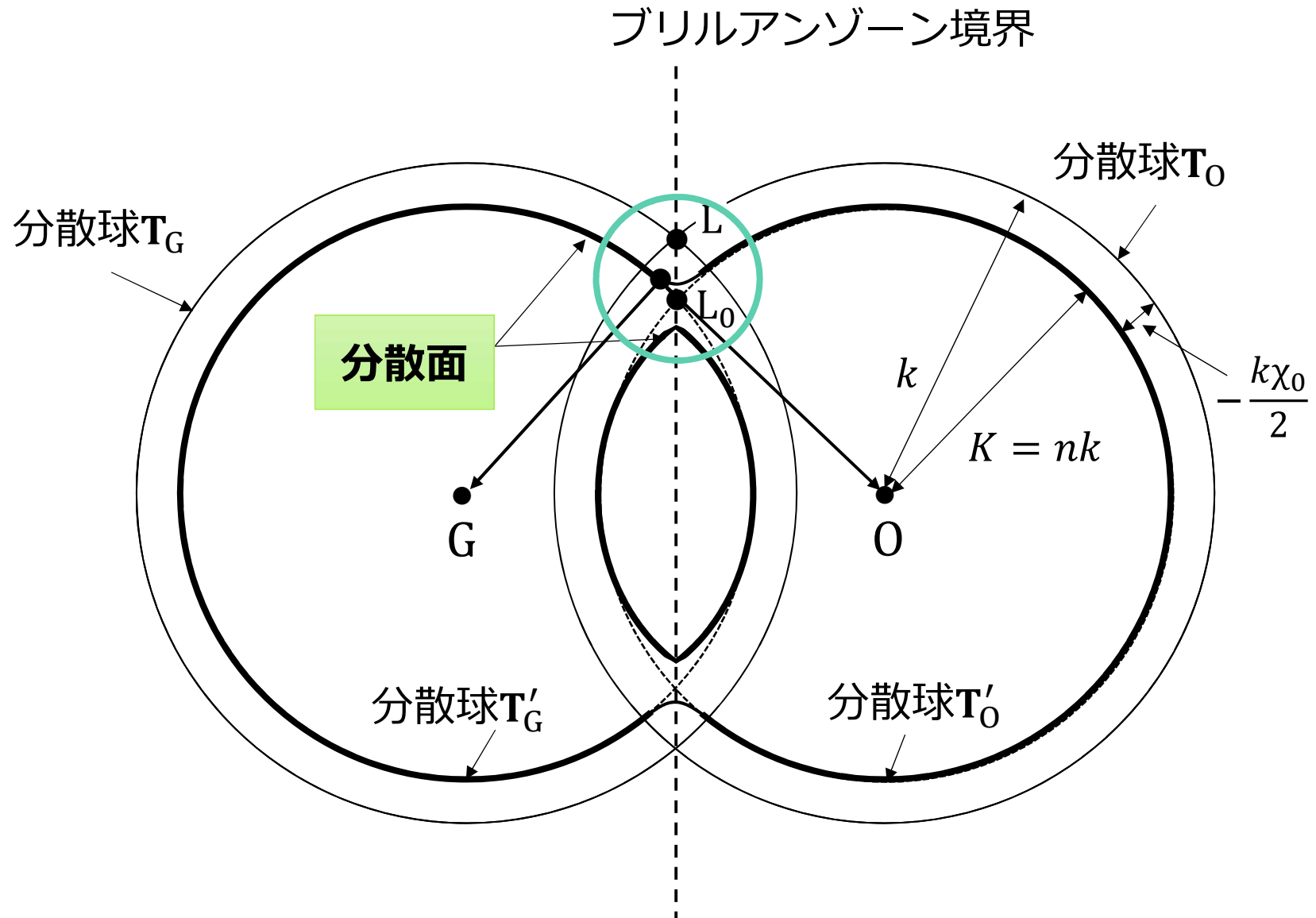
## 2波近似

- ラウエケースの回折条件下、結晶表面にビーム入射
- 結晶中の O波 と G波の干渉により

**異常透過** , **異常吸収** の2つの現象が同時に起こる

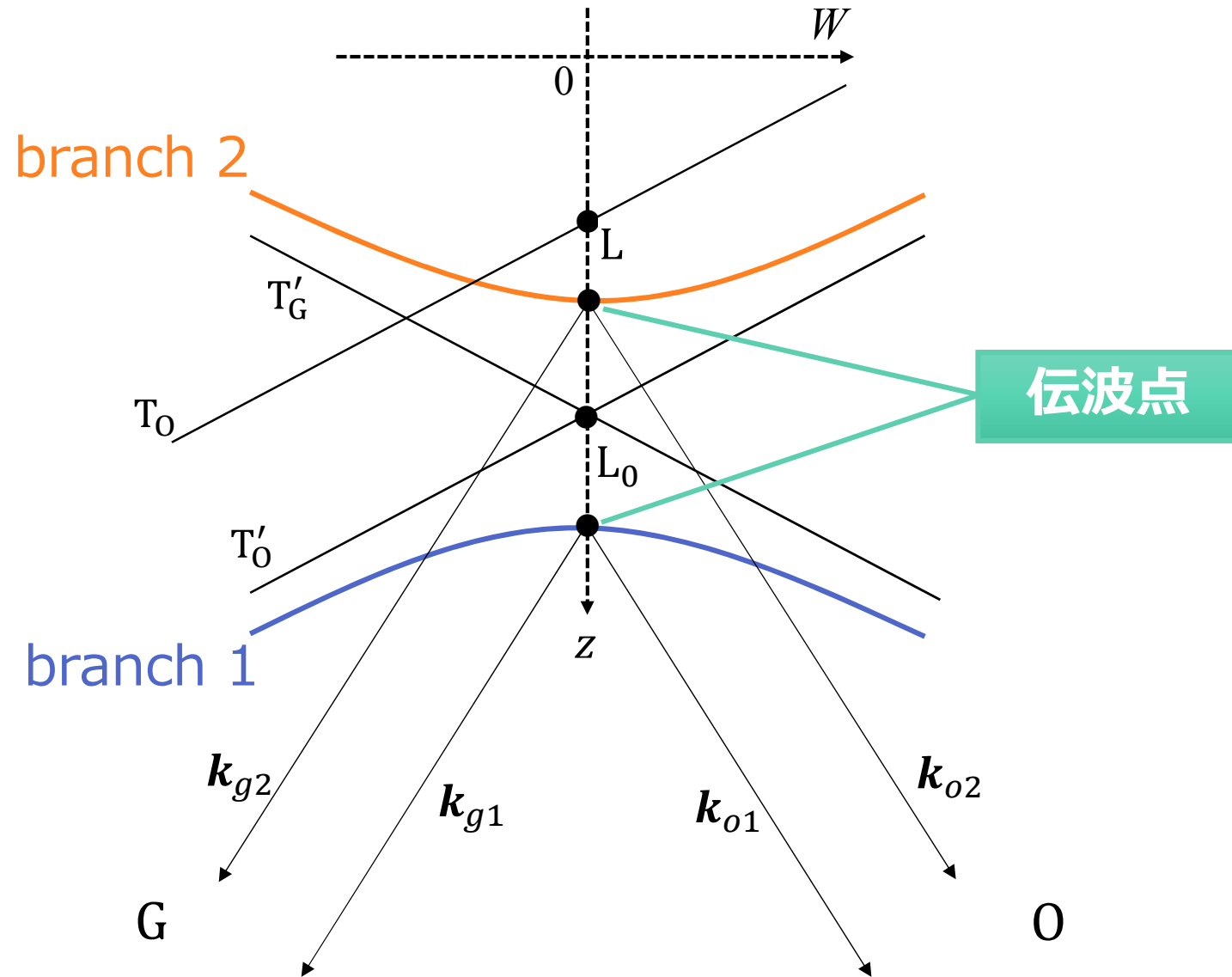


# 分散面(1)





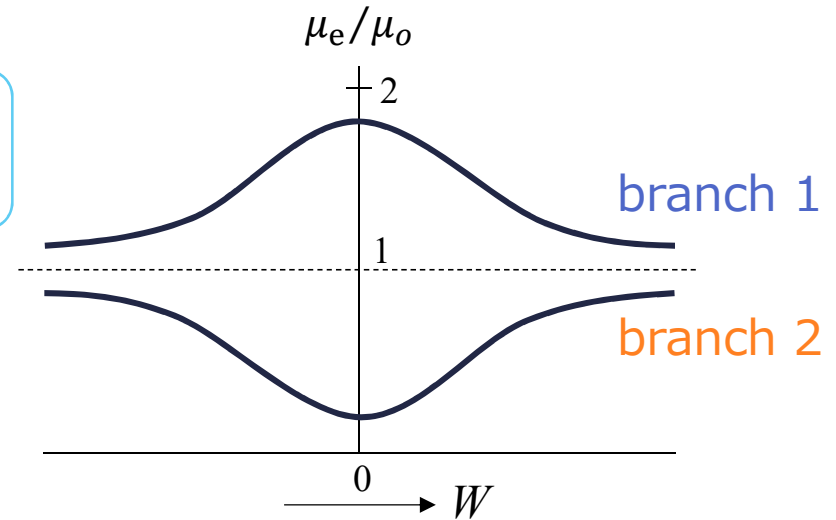
# 分散面(2)



# スーパーボルマン効果

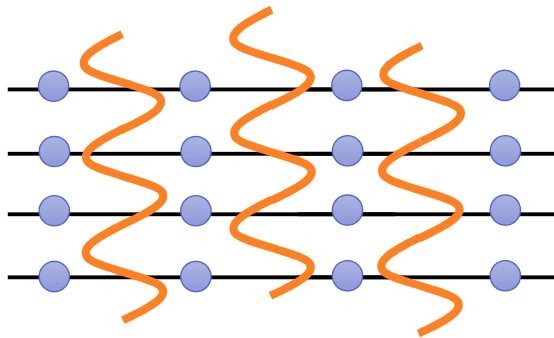
実効的な吸収係数の $W$ による変化の  
概念図 (2波近似の場合, $\sigma$ 偏光)

- ✓ 異常透過と異常吸収が  
同時に起こる



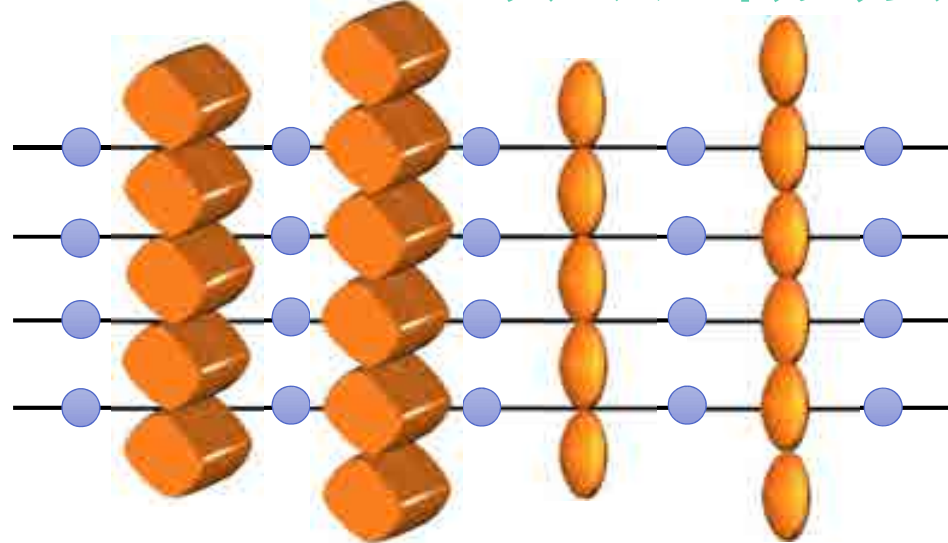
通常の透過ビーム

→波の位相が揃っていない



ボルマン効果

スーパーボルマン効果



# 試料

## CZ-Si 引上結晶ネックング部

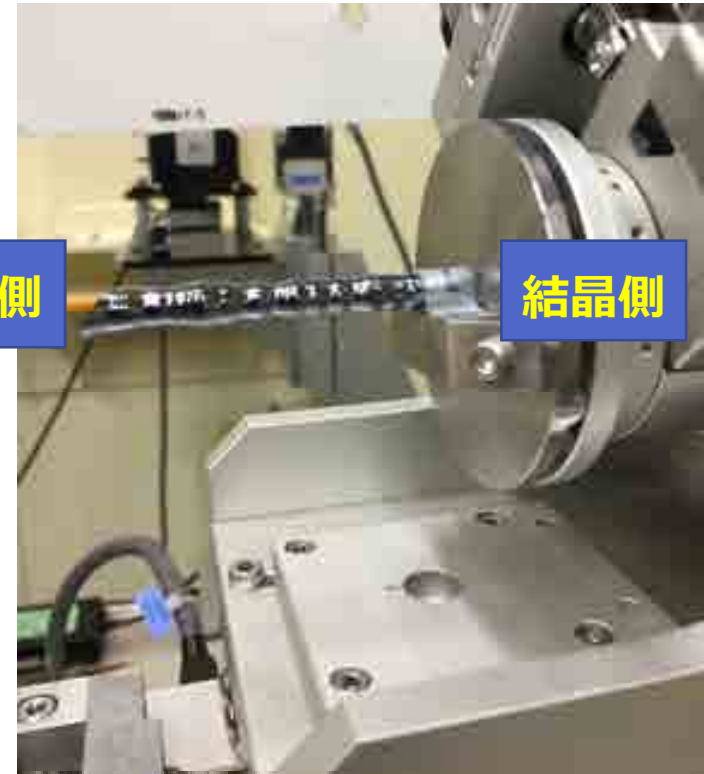
- ・直径 5~9 mm
- ・長さ 50 mm



1 cm

種側

結晶側

 $g_{111}$  $g_{\bar{1}\bar{1}\bar{1}}$ 

100

001

010

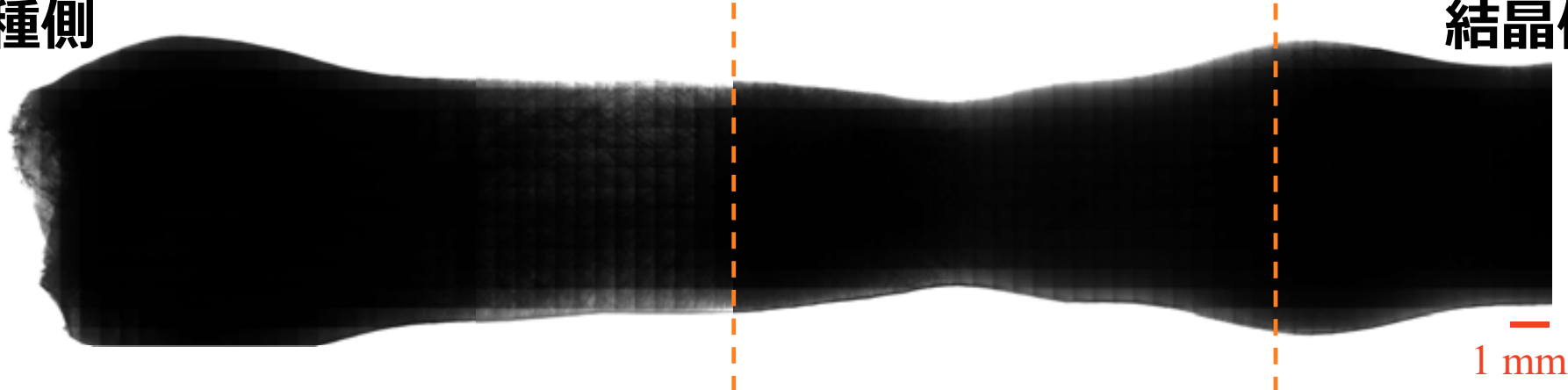
回折ベクトル  $g$  の方向の定義

ビーム上流からみた図  
(SPring-8, BL24XU)

# トポグラフィ像

種側

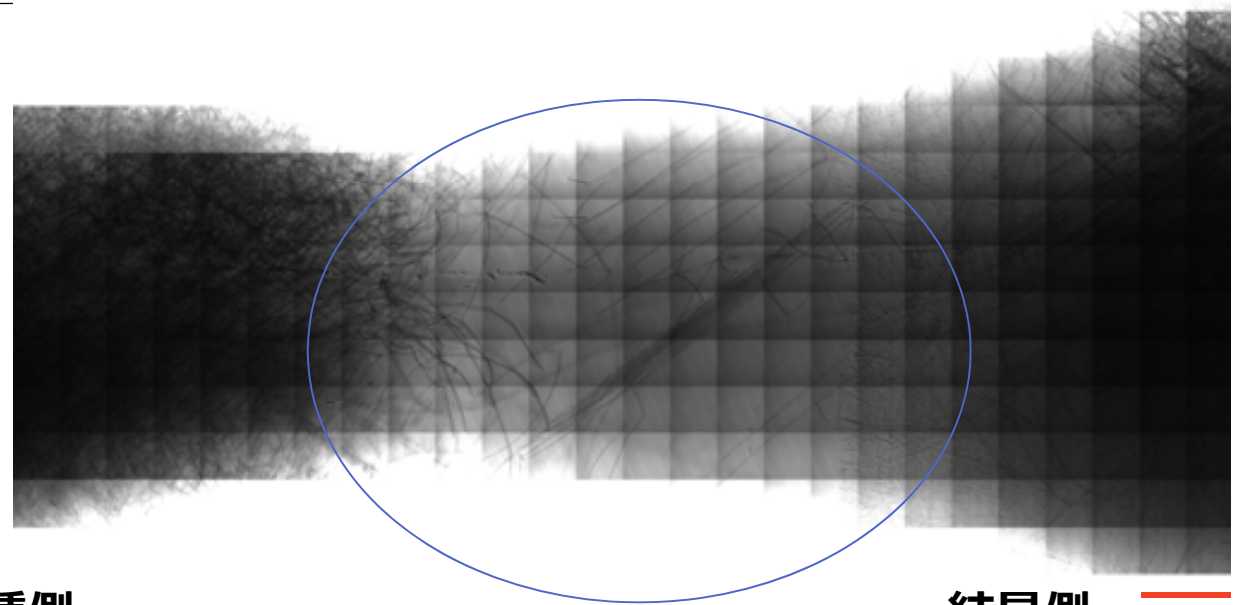
結晶側



(100) ←

✓ 転位密度の  
低減を確認

0.01 sec.露光



種側

結晶側

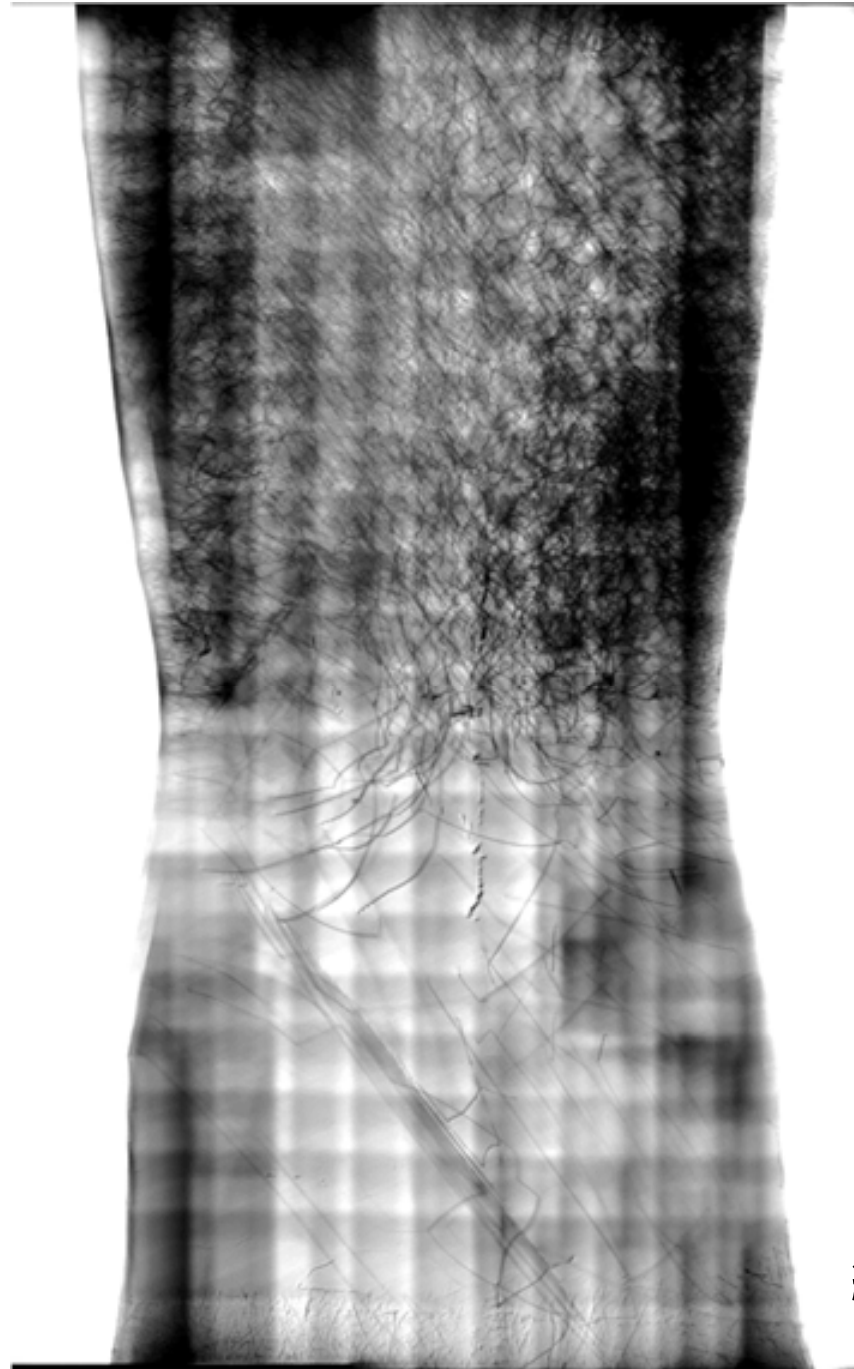
1 mm

外形が分かるように調整



5 mm

種側



結晶側

1 mm

## まとめ

- ✓ 厚みのあるCZ-Siネック部を**非破壊**かつ、**低エネルギーX線**を用いて、スーパーボルマン効果を利用した明視野X線トポグラフィで結晶内部を撮像した
- ✓ 試料の径が細くなる部分で転位が結晶表面へ抜け出ている様子を確認

### 今後の展望

- バーガース・ベクトルの決定