

# コリメートされたビーム による転位観察

山口博隆、松畑洋文  
産業技術総合研究所

# 4H-SiC

パワーエレクトロニクス材料として実用化研究が進められているワイドギャップ半導体

シリコンの物性限界を超えた

高効率・省エネルギー化へ

- パワーエレクトロニクス

電力の変換と制御を高速に効率よくおこなうためのエレクトロニクス

# 半導体の物性値 (室温)

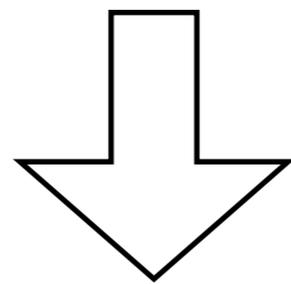
物質		Si	GaAs	SiC			GaN	Diamond
				3C	6H	4H		
バンドギャップ (eV)		1.1135	1.428	2.20	2.86	3.02	3.39	5.47
遷移型		ID	D	ID	ID	ID	D	ID
結晶構造		Diamond	ZB	ZB	Hex.	Hex.	WZ	Diamond
熱伝導度 (Wc/mK)		1.51	0.54	4.9	4.9	4.9	1.3	20.9
移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)	電子	1500	8500	800	460	1000	900	1800
	正孔	450	420	70	10	120	400	1600
誘電率	ε(0)	11.9	12.91	9.72	9.66/10.03	9.66/10.03	9.5/10.4	5.93
	ε(∞)	11.6	11.10	6.52	6.52/6.70	6.52/6.70	5.35/5.35	5.76
飽和ドリフト速度 (cm/s)		1×10 <sup>7</sup>	2×10 <sup>7</sup>	2.7×10 <sup>7</sup>	2.0×10 <sup>7</sup>	2.7×10 <sup>7</sup>	2×10 <sup>7</sup>	2×10 <sup>7</sup>
絶縁破壊電界 (MV/cm)		0.3	0.65	3.0	3.0	3.5	2.6	5.6
真性半導体温度 (K)		600	850	1000	1300	1400	2000	3000
性能指数	M <sub>J</sub>	1	19	730	400	990	550	2500
高速・電力素子	M <sub>K</sub>	1	0.52	5.8	5.0	5.8	1.5	32
高速・高集積素子	M <sub>RON</sub>	1	53	490	260	890	340	3900
高耐圧素子	M <sub>HF</sub>	1	14	8.0	4.9	13	9.1	50
高周波素子								

# SiCの課題

結晶欠陥

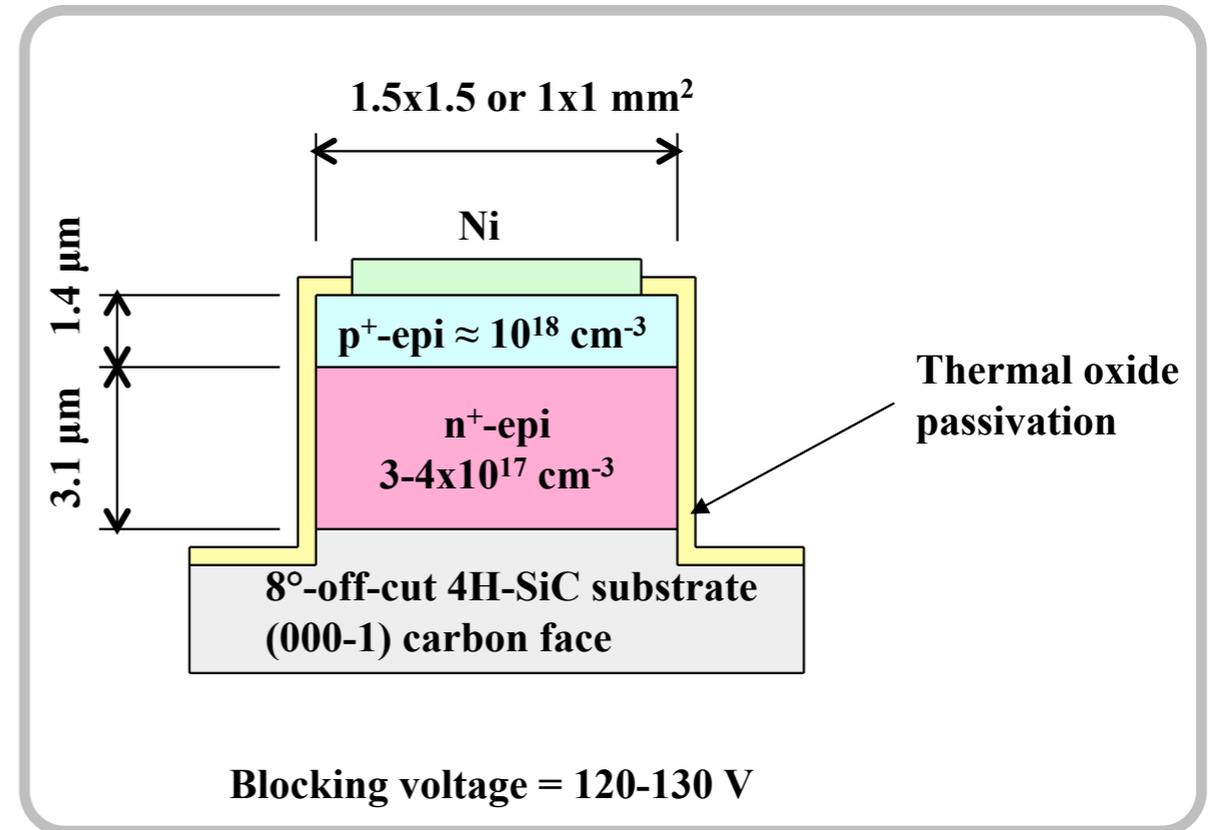
多形、マイクロパイプ

転位、表面モフォロジー

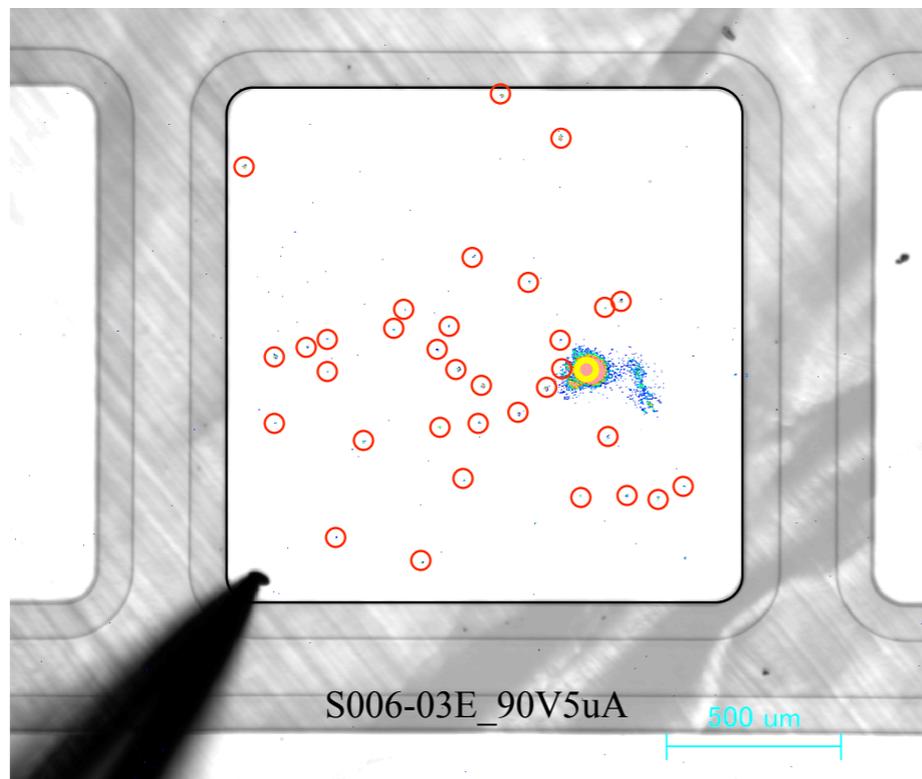


素子の性能、信頼性

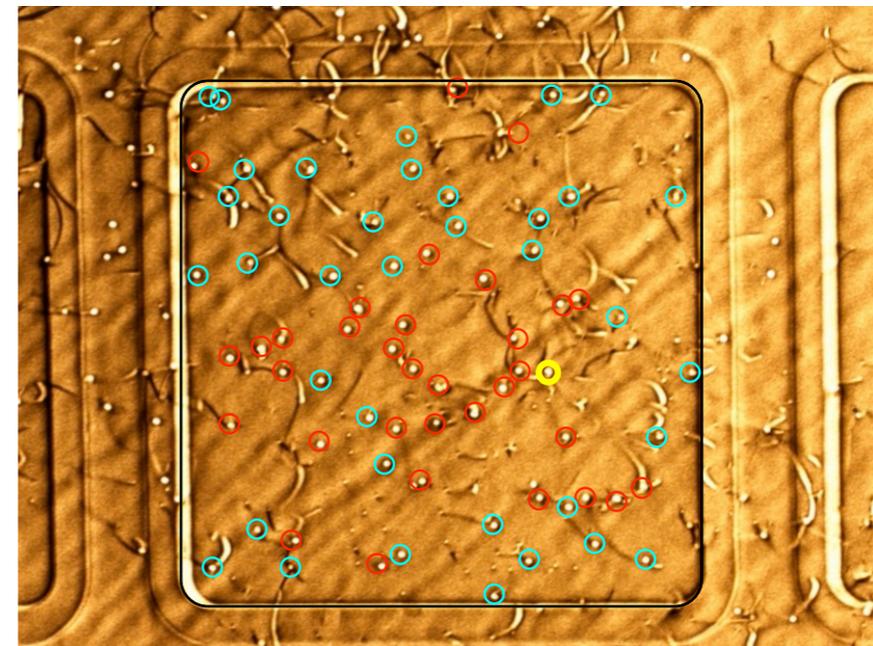
# ダイオードの リークと 貫通らせん転位



EL emission



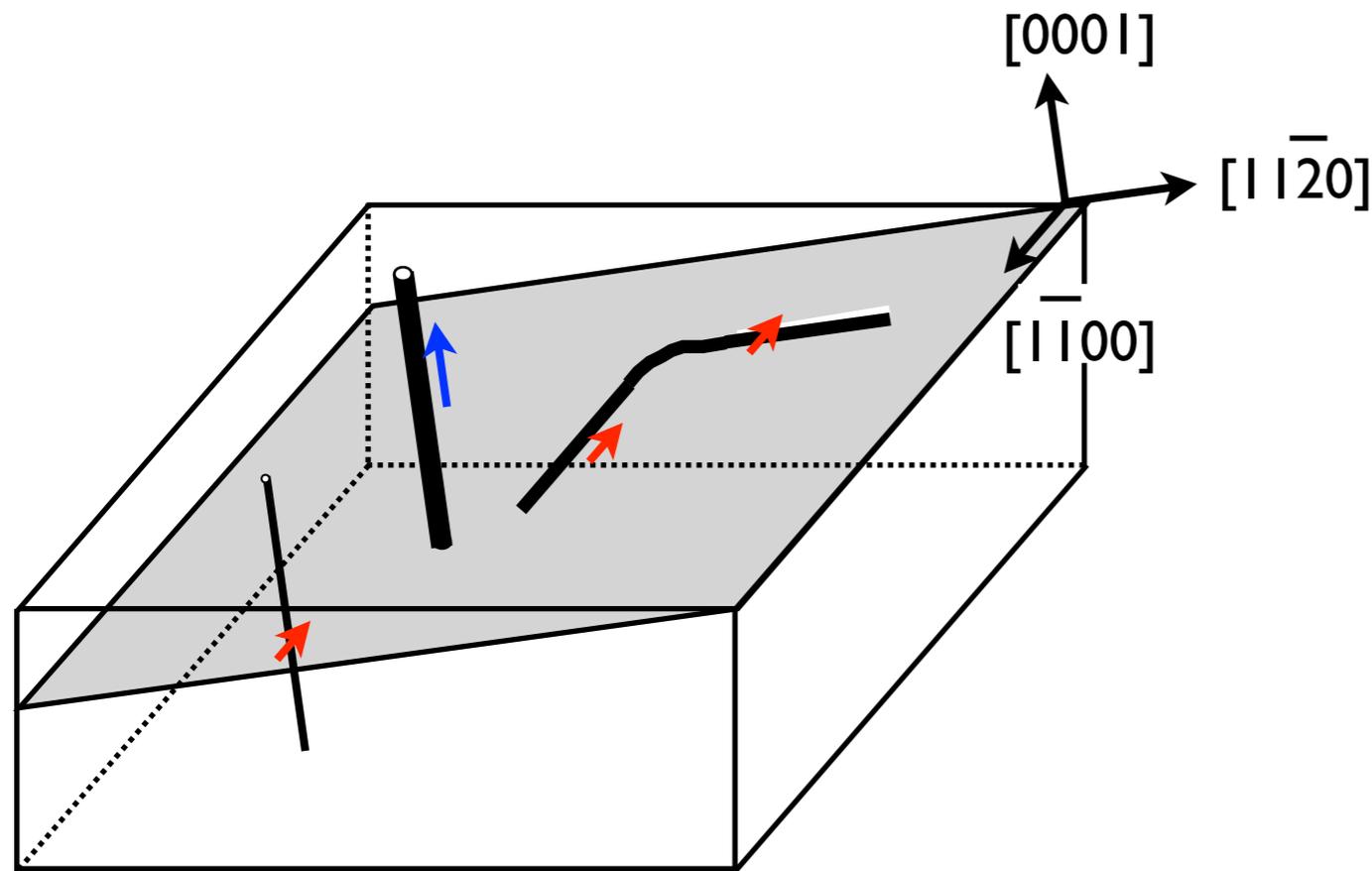
X-ray topograph



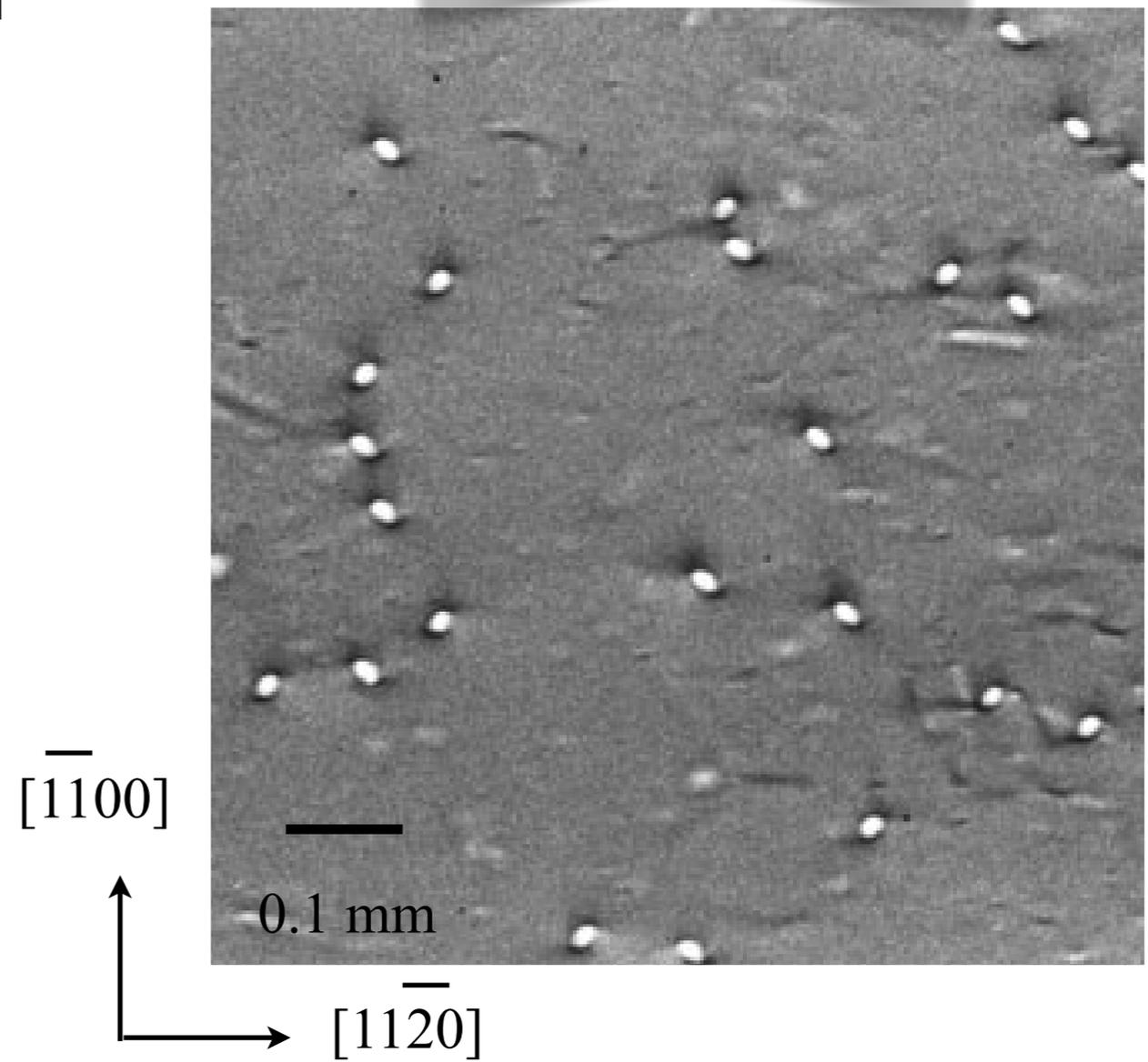
- Large Leak (LL)
- Leak (L)
- No leak (N)

*Tanuma et al., 2008*

# SiCの転位



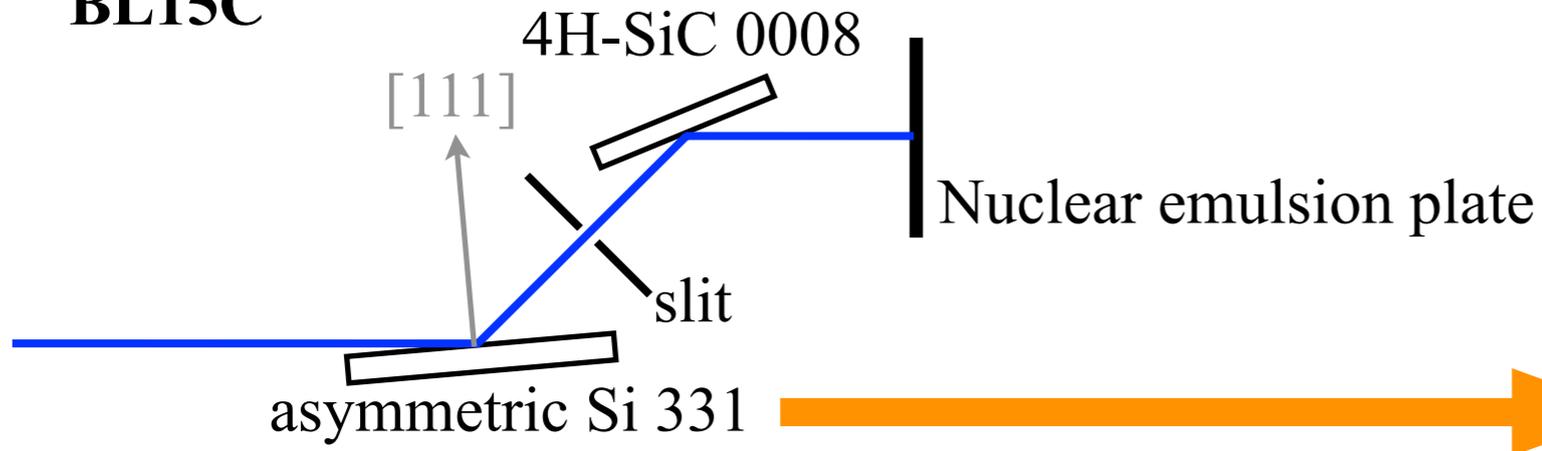
SiC  $g = 0008$



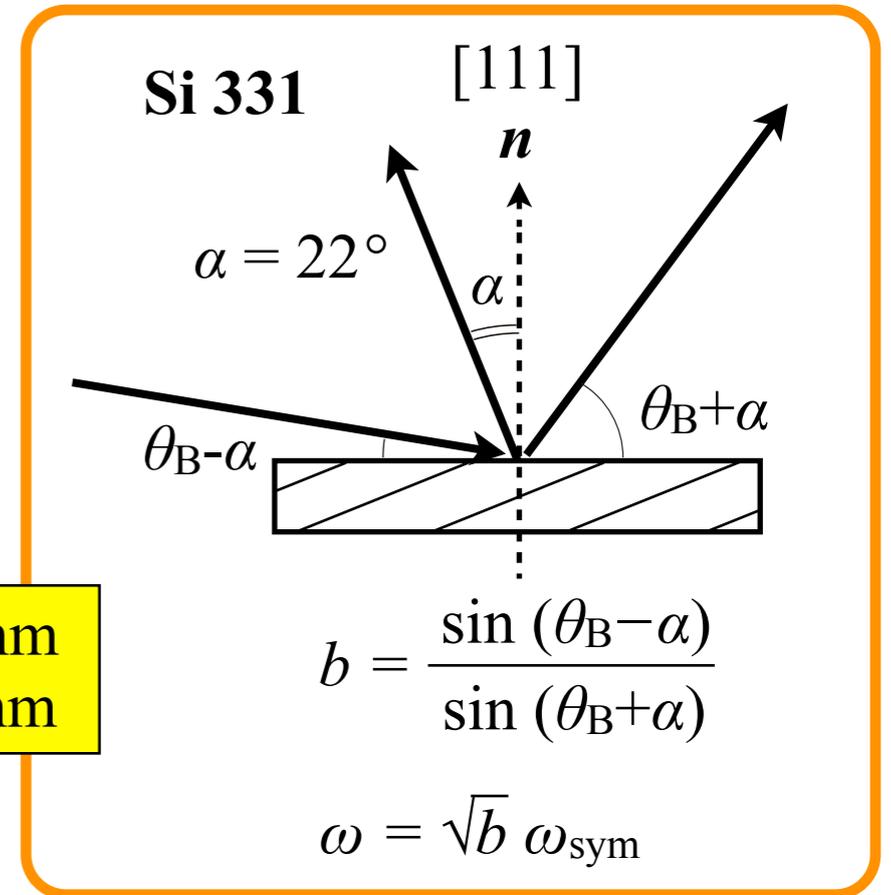
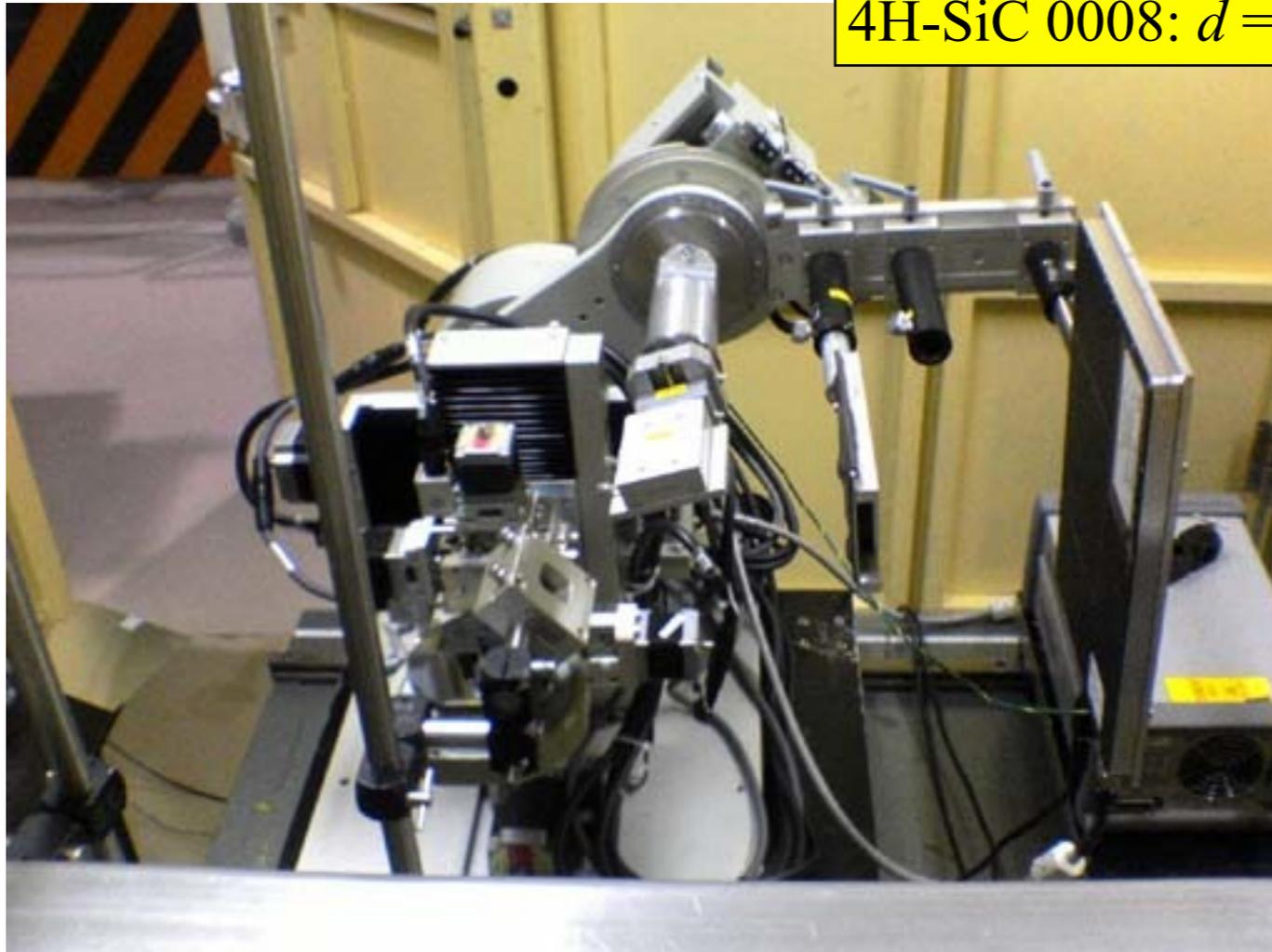
- $\vec{b} = \frac{1}{3} \langle 11\bar{2}0 \rangle$  貫通刃状転位  
 基底面転位
- $\vec{b} = \pm[0001]$  貫通らせん転位

# 実験方法 (ブラッグケース)

Photon Factory  
BL15C



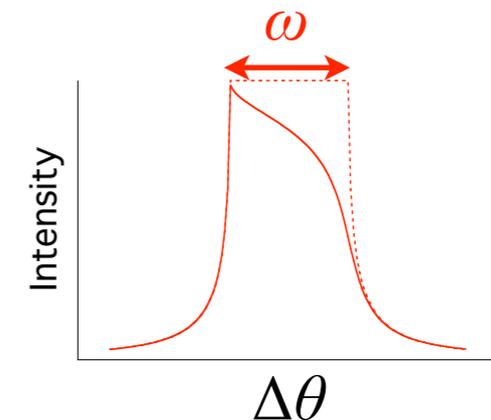
Si 331:  $d = 0.124575$  nm  
4H-SiC 0008:  $d = 0.125625$  nm



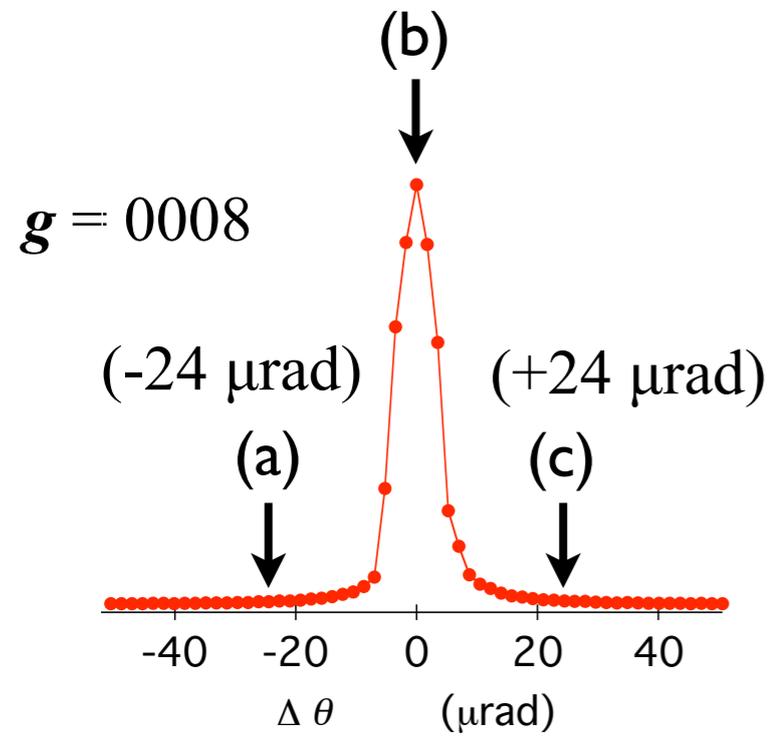
$$\lambda = 0.097 \text{ nm}$$

$$\text{Si 331 (asym.): } \omega = 0.87 \text{ } \mu\text{rad}$$

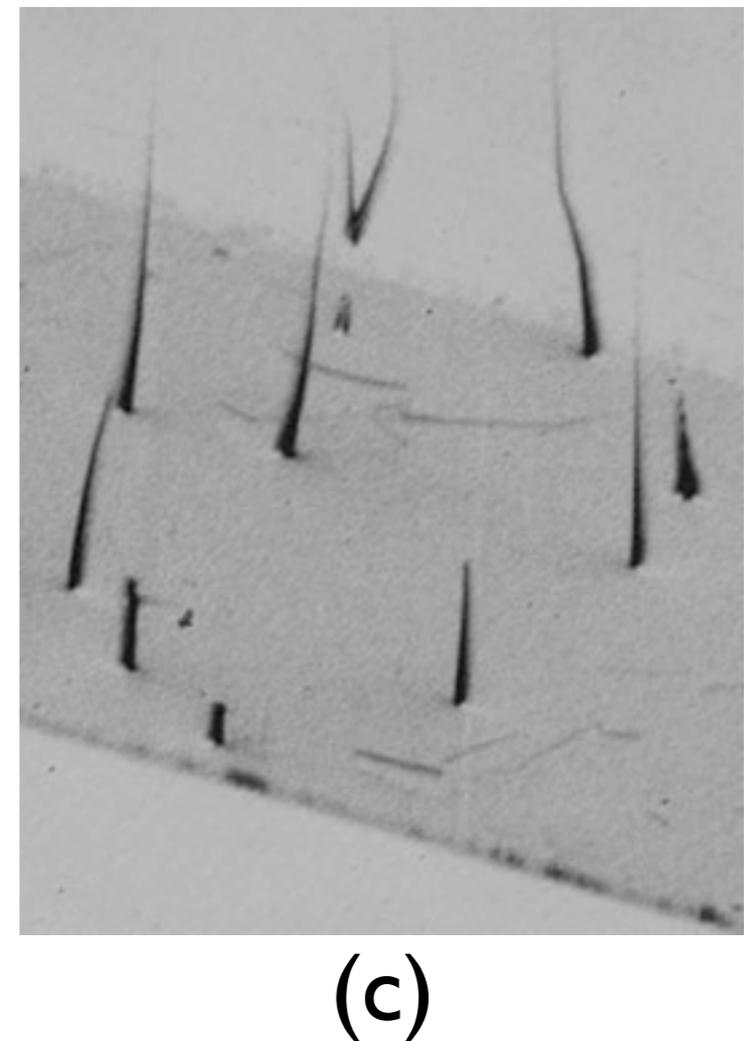
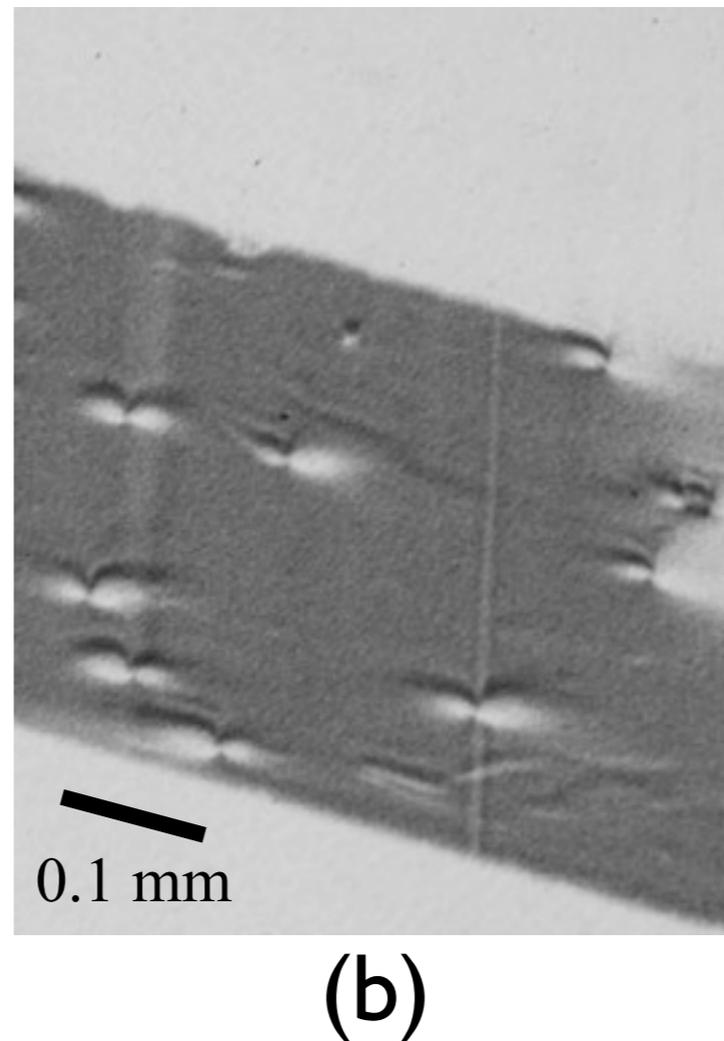
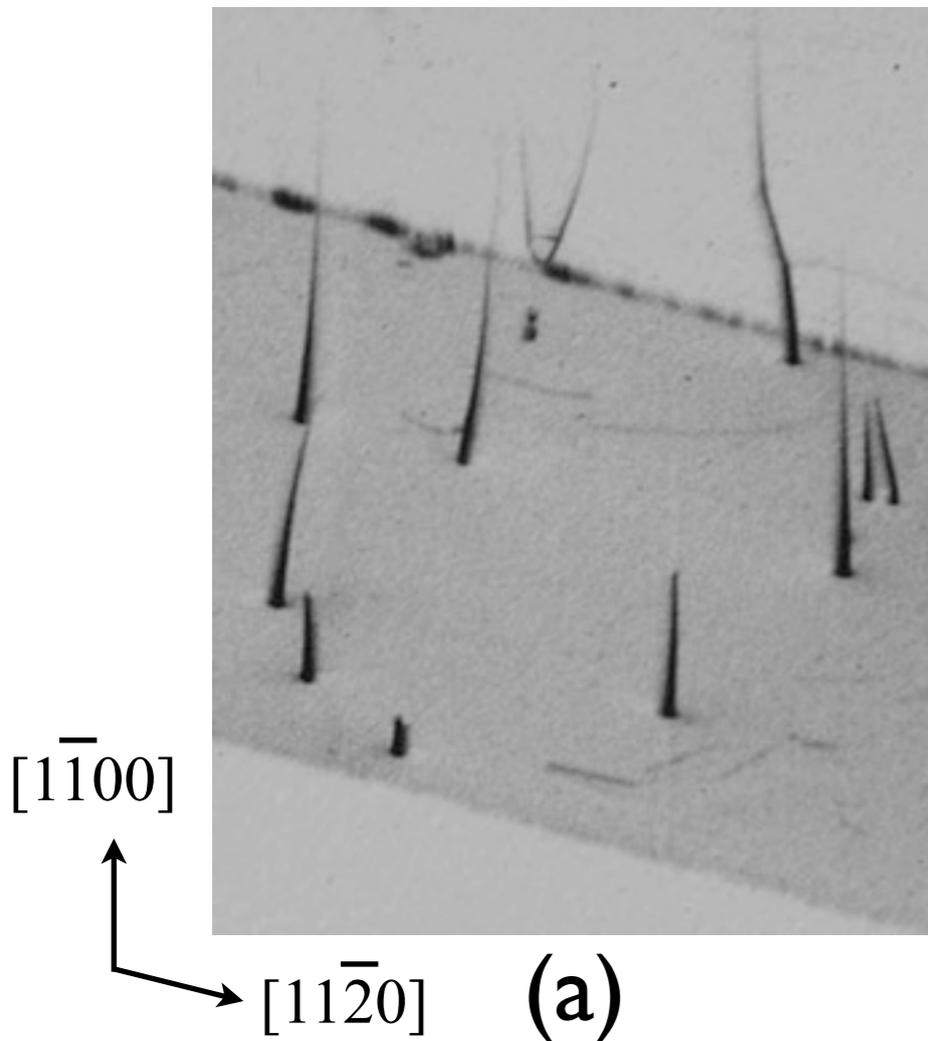
$$4\text{H-SiC 0008(sym.): } \omega = 6.1 \text{ } \mu\text{rad}$$



# 転位コントラスト



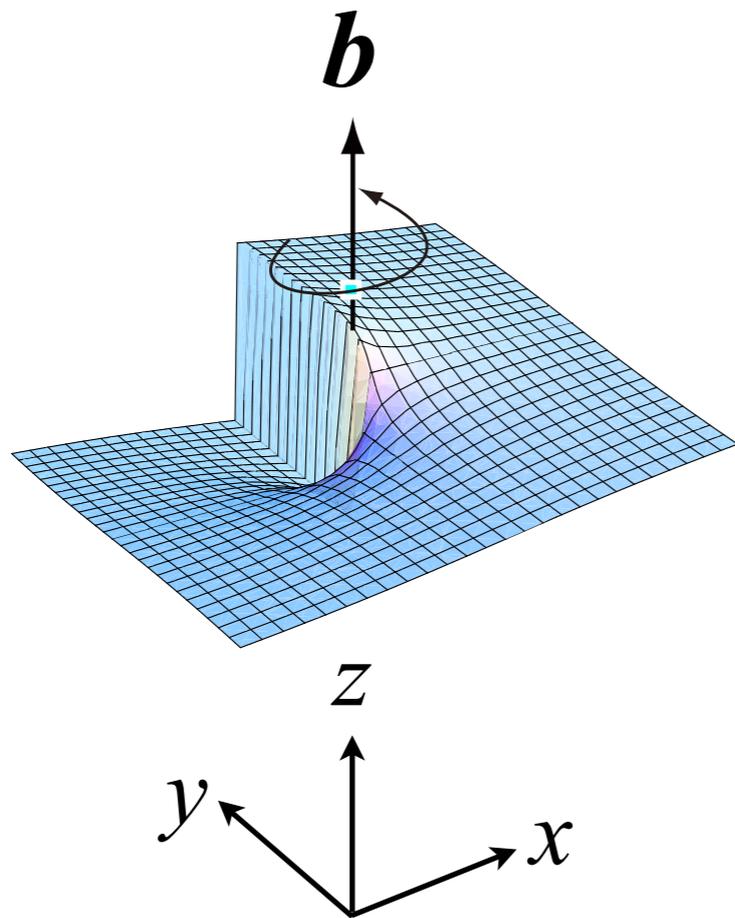
貫通らせん転位  $b = \pm [0001]$



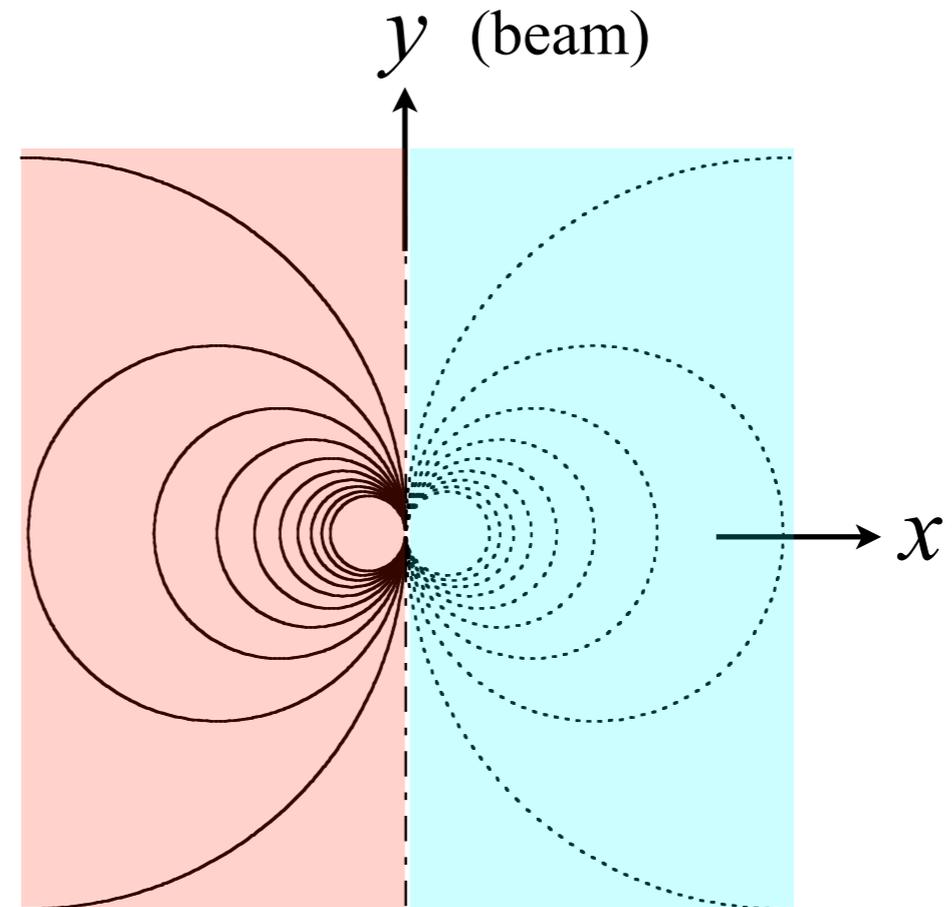
# 貫通らせん転位のひずみ場

変位

$$b = [0001]$$



回折面の方位ずれ



$$\mathbf{u} = [u_x, u_y, u_z]$$

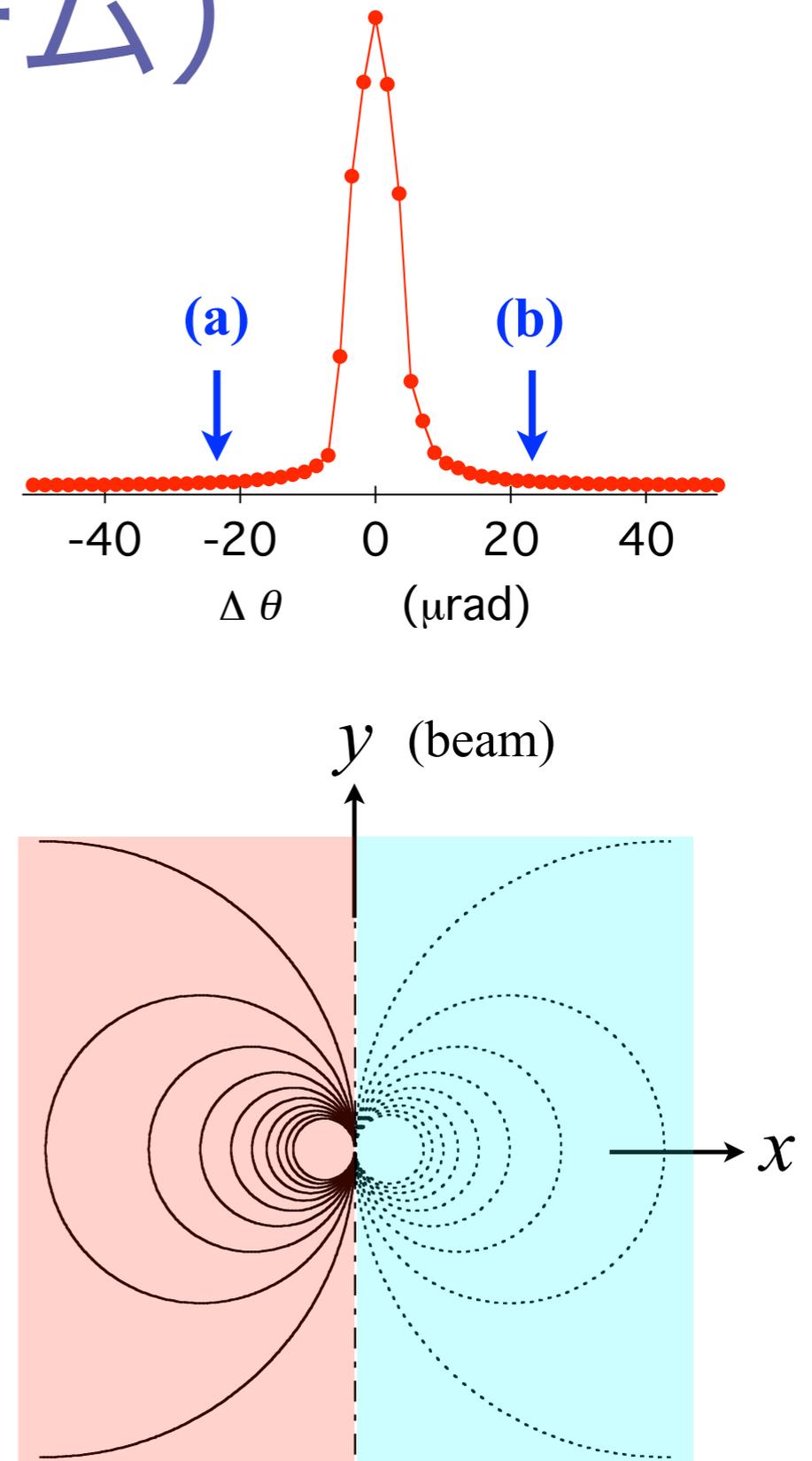
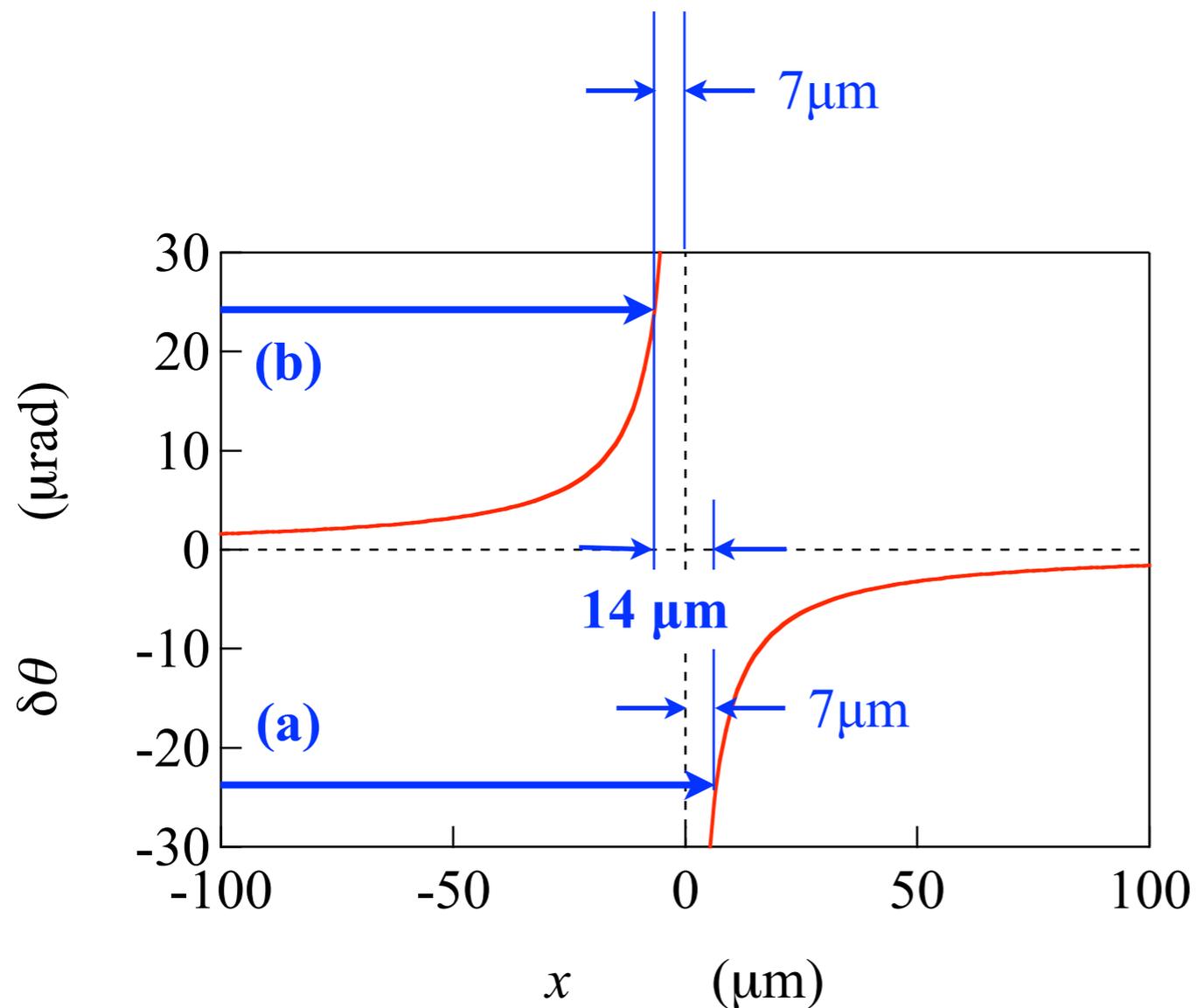
$$u_x = u_y = 0$$

$$u_z = \frac{b}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\begin{aligned} \delta\theta &= \frac{1}{k \sin 2\theta_B} \frac{\partial(\mathbf{g} \cdot \mathbf{u})}{\partial x_g} \\ &= -\frac{b}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2} \end{aligned}$$

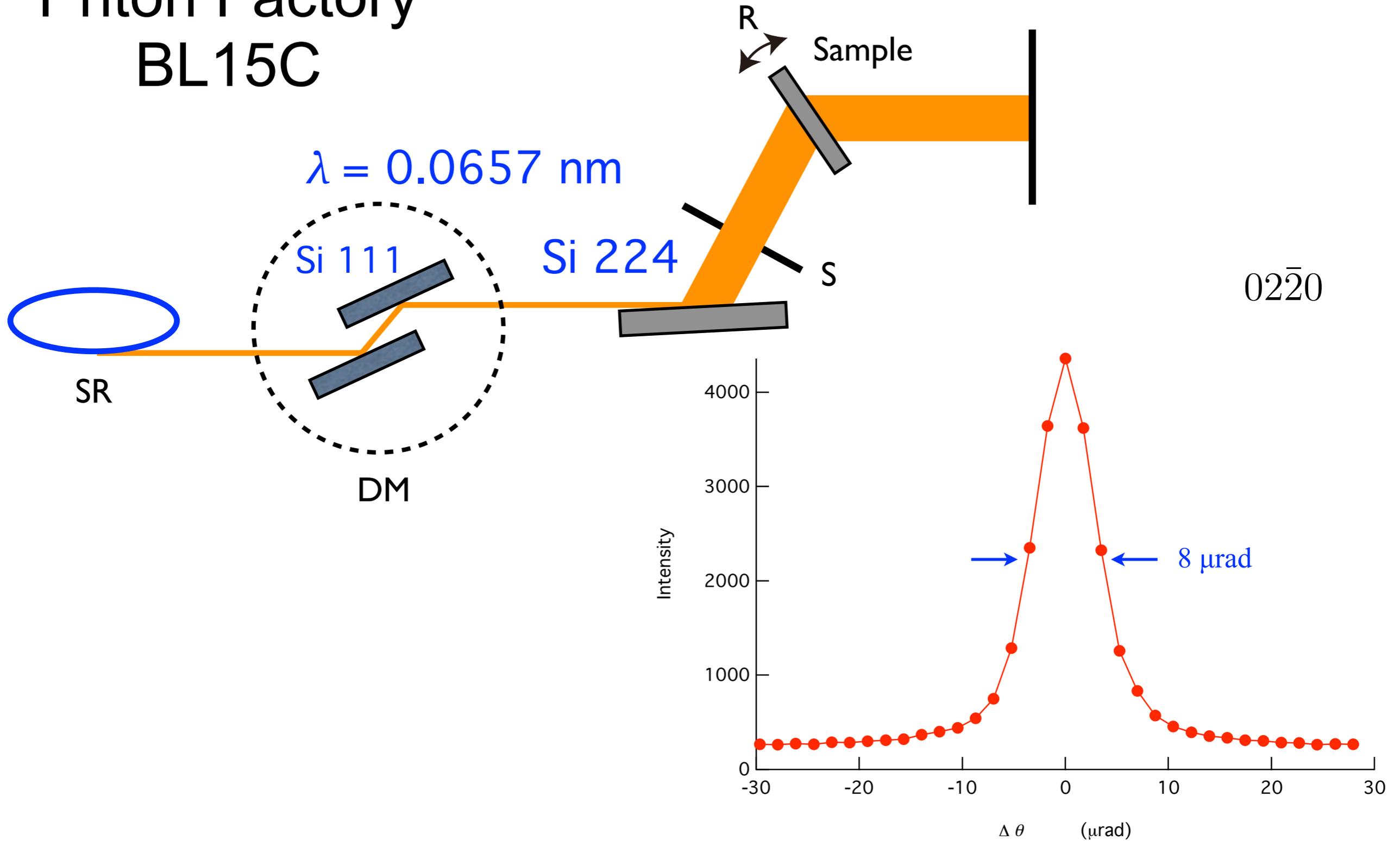
# ひずみ領域からの反射 (ウィークビーム)

ブラッグ角のずれ  $\delta\theta = \theta - \theta_B$   
vs 転位芯からの距離  $x$

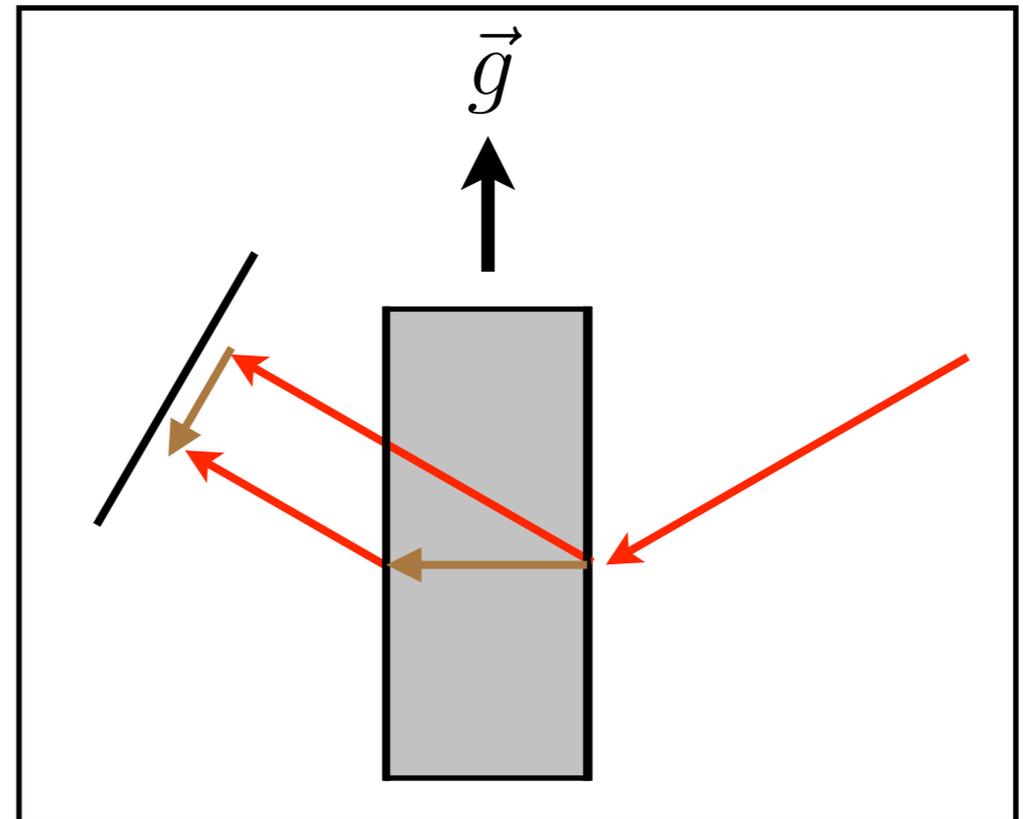
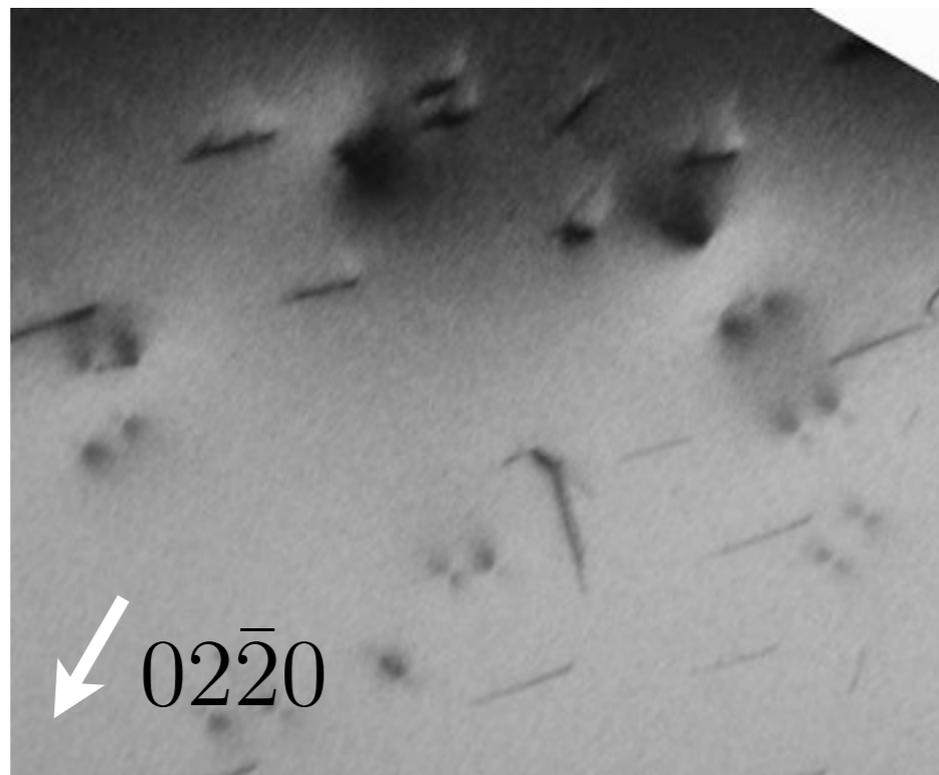
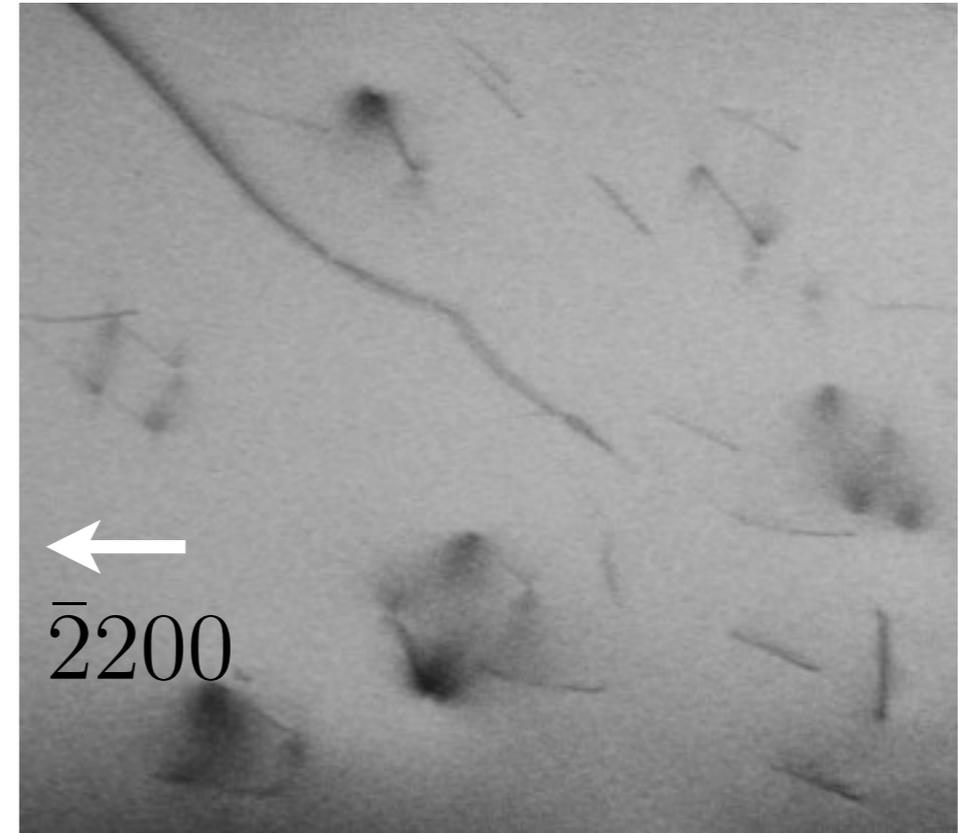
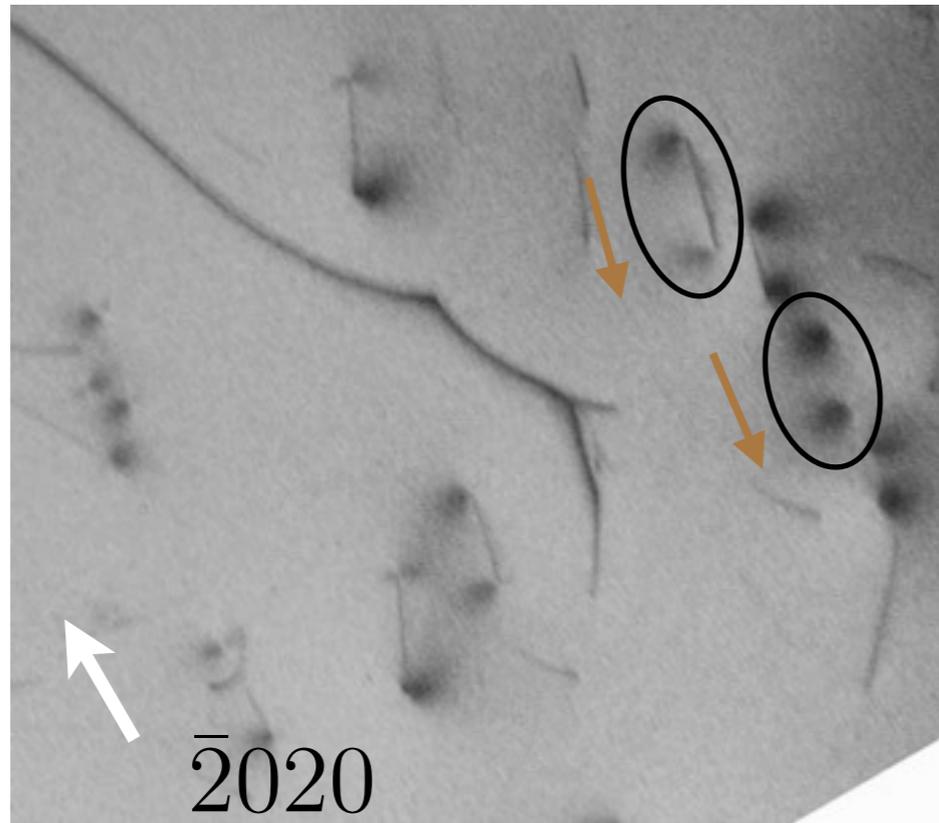


# 実験方法 (ラウエケース)

Photon Factory  
BL15C



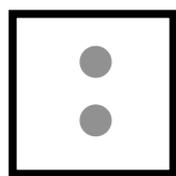
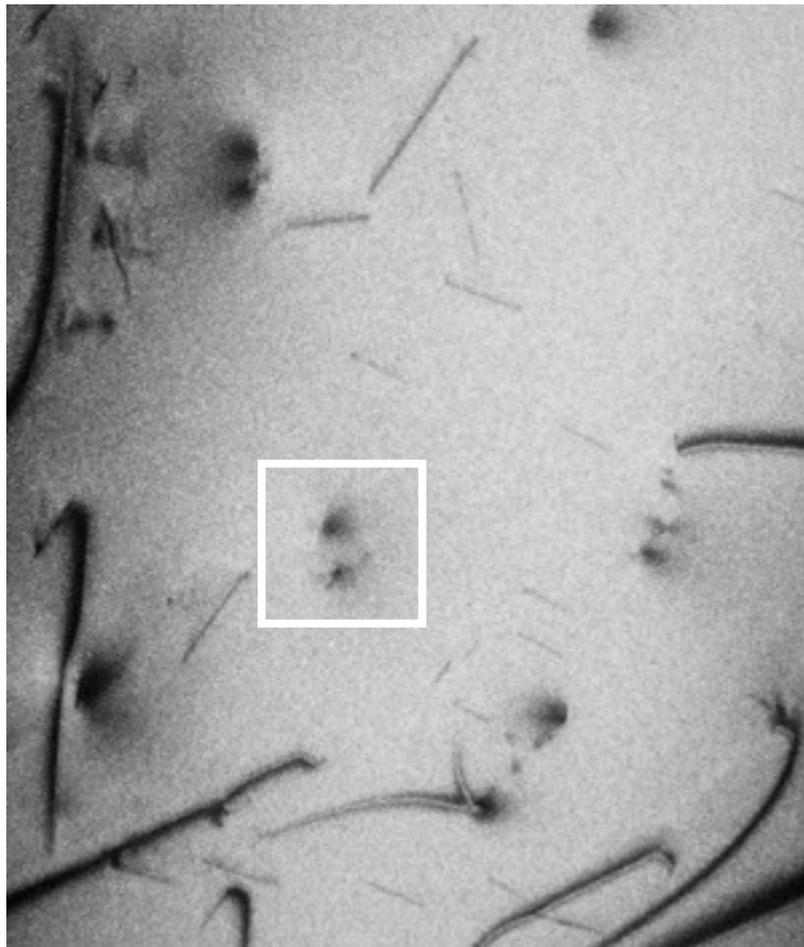
# 転位コントラスト



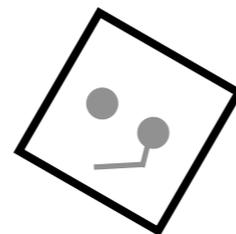
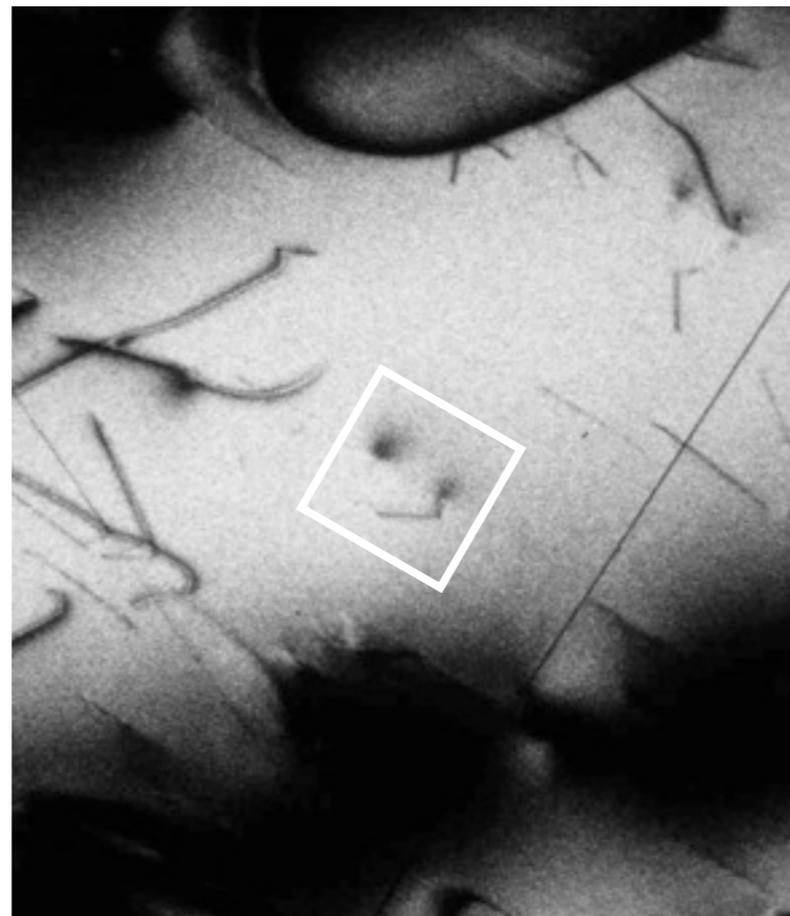
# 貫通らせん転位のコントラスト(1)

$$\vec{b} = \vec{b}_s \quad (\vec{b}_s = [0001])$$

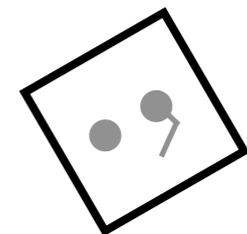
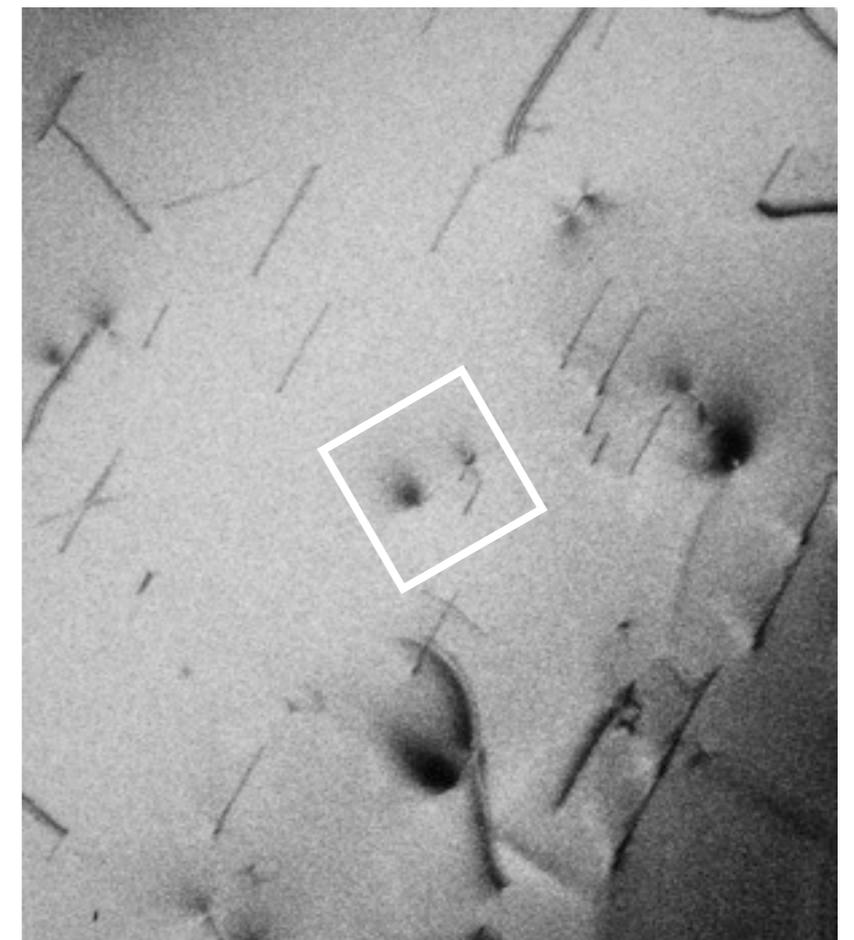
$02\bar{2}0$



$20\bar{2}0$



$2\bar{2}00$



# 貫通らせん転位のコントラスト(2)

$$\vec{b} = \vec{b}_s + \vec{b}_e$$

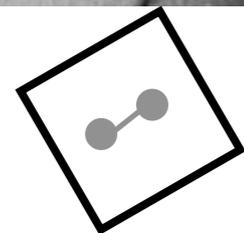
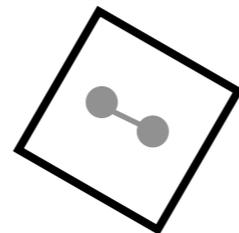
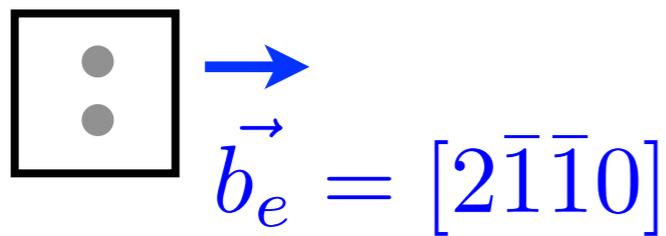
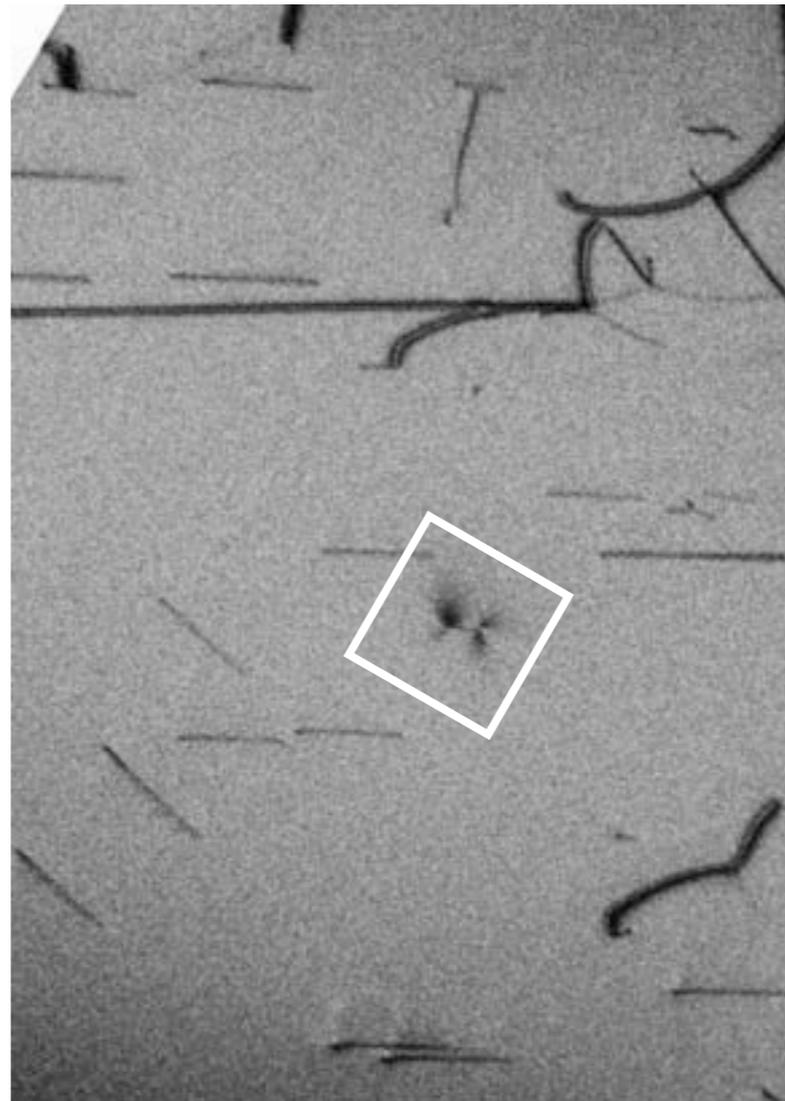
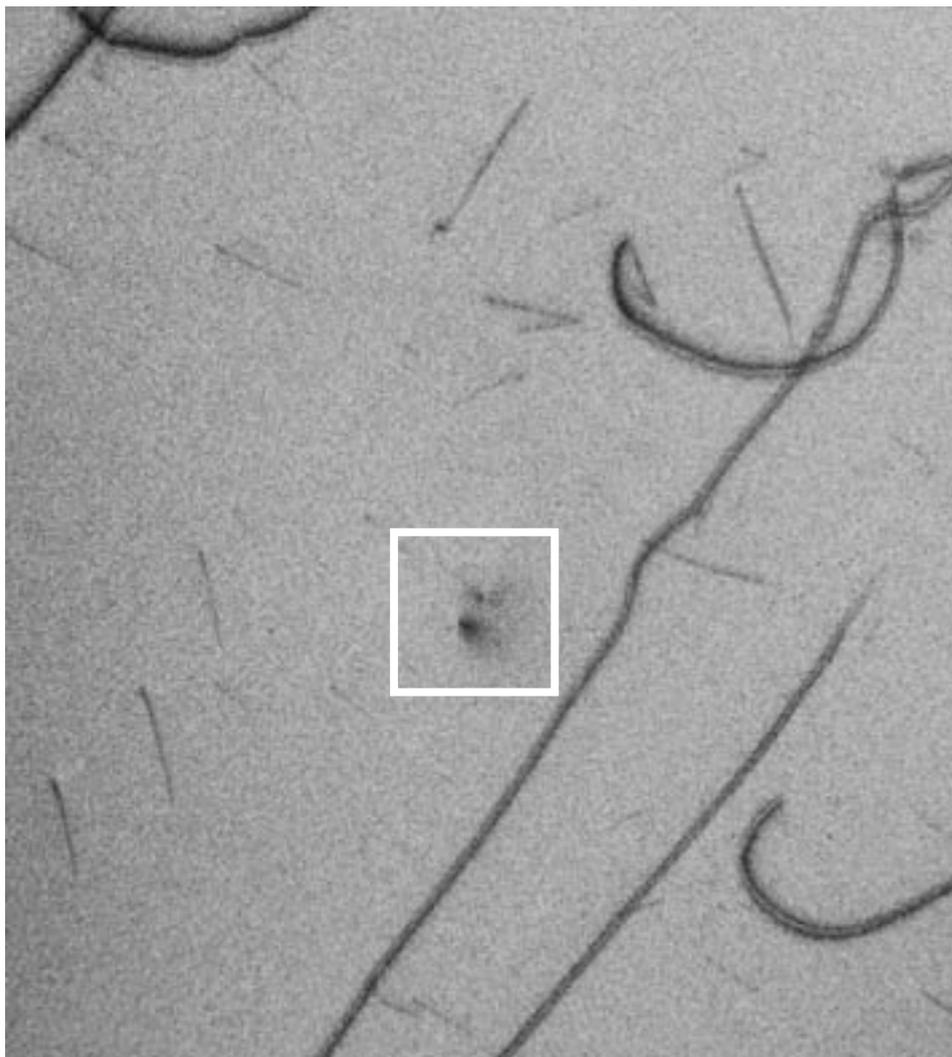
02 $\bar{2}$ 0



20 $\bar{2}$ 0



2 $\bar{2}$ 00



# まとめ

- コリメートされたビームを使ったX線トポグラフィーによって、4H-SiCの転位を高分解能に観察した。
- ブラッグケース
  - ▶ 回折条件に応じた、転位のひずみコントラストが得られた。
  - ▶ 貫通らせん転位の断面像が得られた（ウィークビーム）。
  - ▶ 貫通らせん転位のひずみ場の定量により、直接的にバーガースベクトル  $\vec{b}_s$  の符号が決定された（ウィークビーム）。
- ラウエケース
  - ▶  $\vec{b}_s \parallel [0001]$  を  $\vec{g} \cdot \vec{b}_s = 0$  によって確認した。
  - ▶ 貫通らせん転位が刃状転位成分を併せ持つ混合転位があることを直接的に確認した： $\vec{b} = \vec{b}_s + \vec{b}_e$ ,  $\vec{b}_e = (1/3) \langle 11\bar{2}0 \rangle$
  - ▶ 貫通らせん転位はウエハ表面に大きなひずみを誘起していることがわかった。