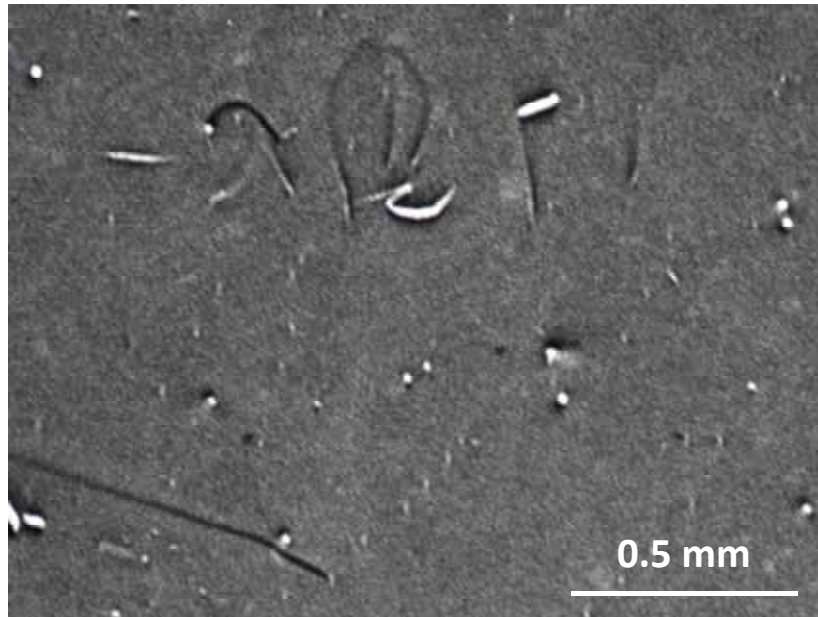


# 反射X線トポグラフィーにおける SiC転位の観察可能深さの決定

九州シンクロトロン光研究センター  
石地耕太郎, 川戸清爾, 平井康晴  
(株)長町サイエンスラボ  
長町信治

# はじめに

反射X線トポグラフィーにおいて、転位の観察可能深さがしばしば問題



SiCの反射X線トポグラフ

$g = -1-128$ ,  $E = 8.85$  keV,  $\omega = 3^\circ$

どの深さまで見えている？

転位の観察可能深さを考えるとき、X線吸収の式  $I = I_0 \cdot \exp[-\mu t]$  が使われる。



X線トポグラフィーにおいて、観察可能深さを言及したレビューはほとんどない。



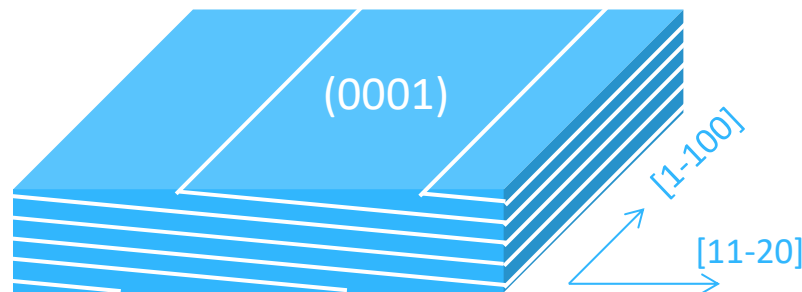
転位の観察可能深さの見積もり、計算による深さと比較し、評価基準を得る。

# 試料と評価方法

4H-SiCのオフ角と転位の性質を利用し、X線エネルギーを変えてX線トポグラフィー

[Sample]

4H-SiC(0001)ウェハー



4H-SiC(0001)のイラスト

- [11-20]に4°オフ
- 基底面転位(BPD)はc面に平行に導入。
- $b_{\text{BPD}} = \langle 11-20 \rangle / 3$   
= [11-20]/3, [2-1-10]/3, [1-210]/3

[Experiment]

-1-128回折の反射X線トポグラフィー

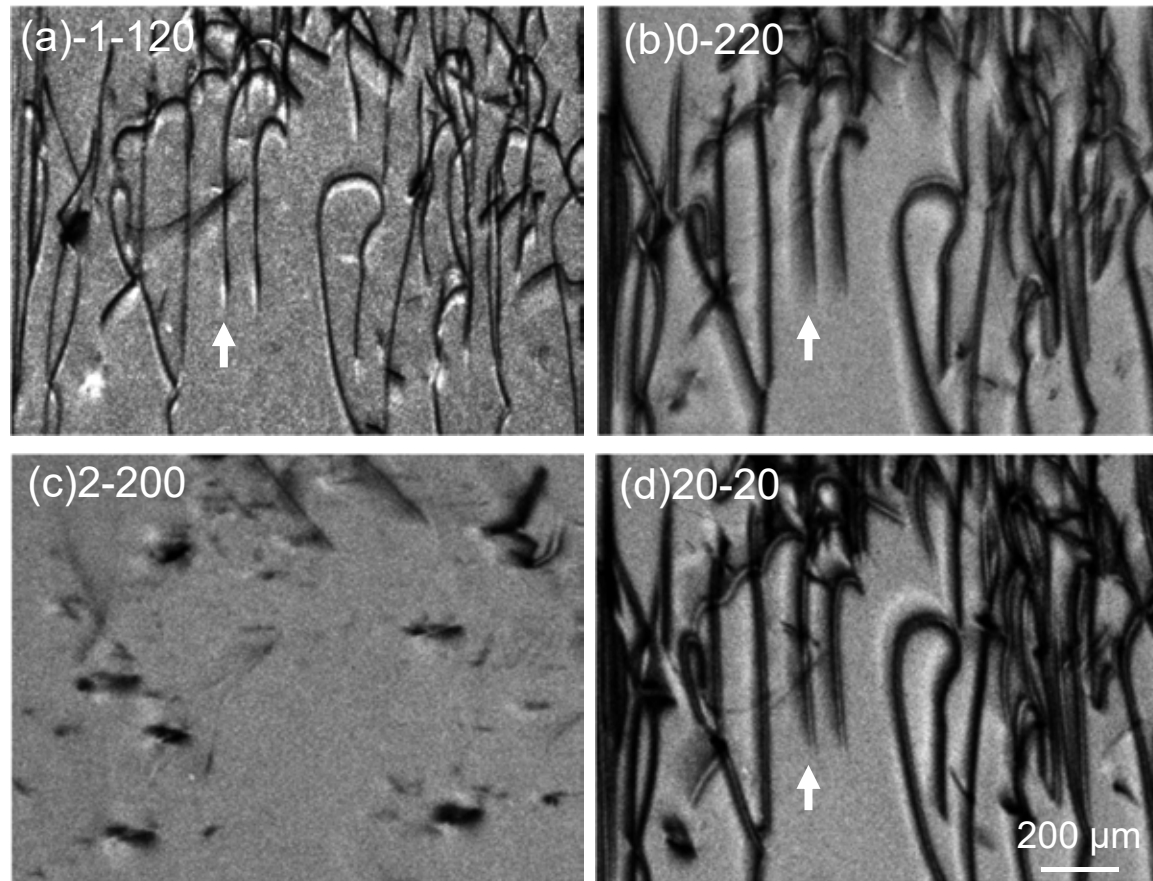
- X線エネルギー $E$ が変化  
→ 試料角度 $\omega$ も変化  
→ X線侵入長が変化
- オフ角方向と平行なBPDの長さを計測。

$E$ (keV)	9.00	8.85	8.57	8.08	7.68	7.35
$2\theta$ (°)	90	92	96	104	112	120
$\omega$ (°)	2	3	5	9	13	17

-1-128 X線トポグラフィー条件

# 転位の選定

観察可能深さの対象となる転位を透過X線トポグラフィーで調査



- $[11-20]$ と平行な成分を持つBPDが対象として選定。
- $b \cdot g = 0$ となる回折を観察。転位が見えないことを確認。

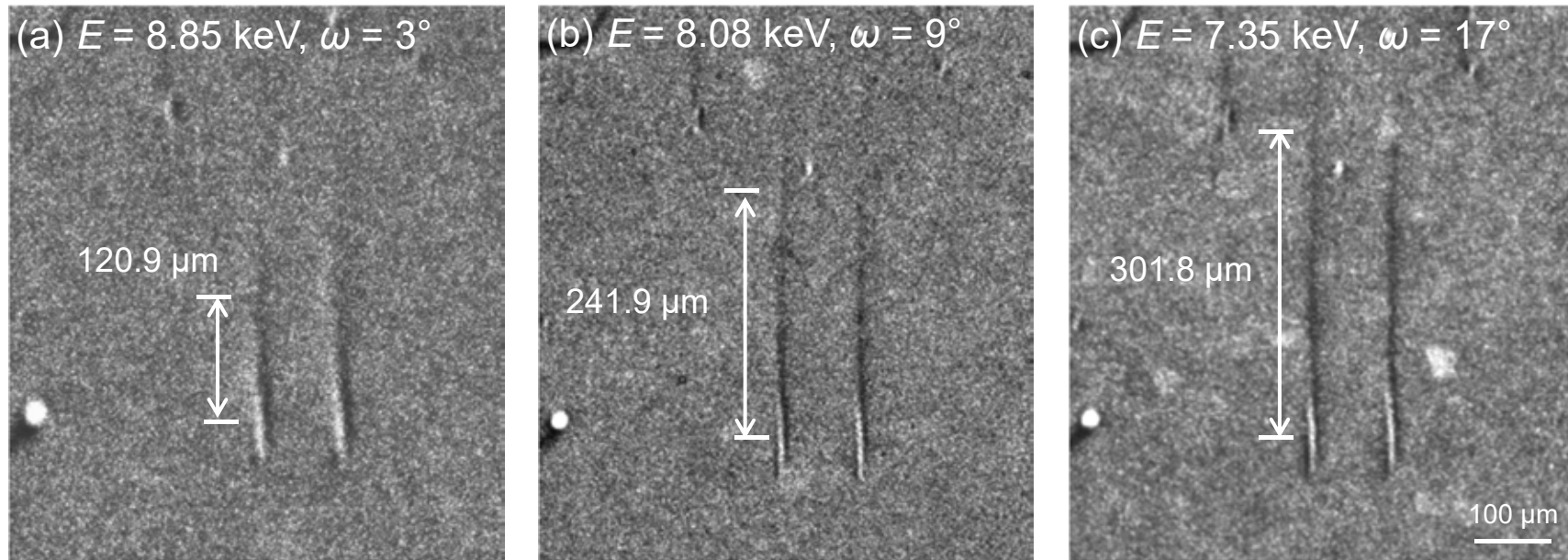
$$b_{\text{BPD}} = \begin{cases} [11-20]/3, \\ [2-1-10]/3, \\ [1-210]/3 \end{cases}$$

透過X線トポグラフ。同じ個所を撮影。

$[-1100]$

# 観察可能深さの見積もり

反射X線トポグラフィーを行い、BPDの観察可能深さ $t_{\text{obs}}$ の見積もり



$E$ 、または $\omega$ を変えた-1-128回折のX線トポグラフ。

[ $-1-120$ ]  
[ $-1100$ ] ← ↗

コントラストが10%となる位置までを測り、 $\tan 4^\circ$ を掛けて $t_{\text{obs}}$ を計算。

$$t_{\text{obs}} = 8.45 \mu\text{m}$$

$$t_{\text{obs}} = 16.92 \mu\text{m}$$

$$t_{\text{obs}} = 21.10 \mu\text{m}$$

# 計算との関係

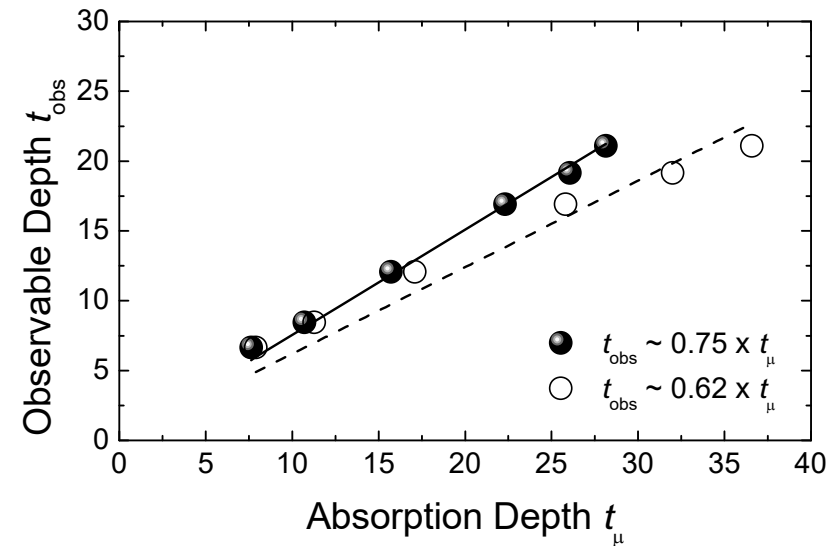
計算によるX線吸収深さとX線消衰深さとの関連性を考察

- 評価基準としてX線吸収深さ $t_\mu$ , X線消衰深さ $t_\Lambda$ , その比 $t_\Lambda/t_\mu$ [1].

$$t_\mu = \frac{\ln 10 \cdot \sin \omega}{\mu} \cdot \frac{1}{1 + \sin \omega / \cos(90^\circ - 2\theta + \omega)}$$

$$t_\Lambda = \frac{\ln 10 \cdot \Lambda}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{|\sin \omega / \sin(2\theta - \omega)|}}{1 - \sin \omega / \sin(2\theta - \omega)} \cdot \frac{1}{1 + \sin \omega / \cos(90^\circ - 2\theta + \omega)}$$

- $t_\Lambda/t_\mu$ はばらつき、 $t_\Lambda$ は小さすぎる。運動学的理論を基とする $t_\mu$ がふさわしい。
- 回折光の光路を補正した $t_\mu$ [2]のプロットが原点を通る直線( $t_{\text{obs}} \sim 0.75 \cdot t_\mu$ )とよく一致。評価基準とする。



[1] I. L. Shul'pina and T. S. Argunava, J. Phys. D: Appl. Phys. 28 A47 (1995).

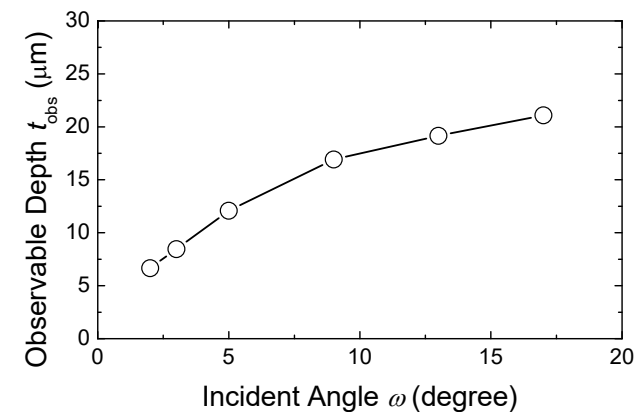
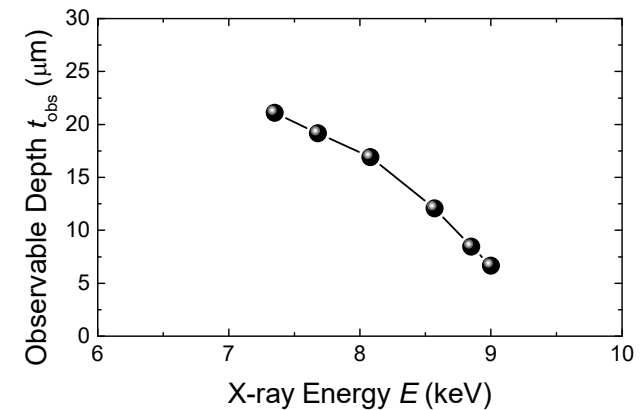
[2] K. Ishiji, et al., Mater. Sci. Forum 858, 544 (2016).

$t_{\text{obs}}$ と $t_\mu$ の関係。黒: 補正あり、白: 補正なし。

# まとめ

転位の観察可能深さを見積もり、計算式との関係を調査。評価基準を得た。

- 4H-SiC(0001)試料の[11-20]の4°オフ角とBPDの性質を利用。
- [11-20]に直線セグメントを持つBPDを透過X線トポグラフィーで選定。その長さを-1-128反射像で測り、観察可能深さ $t_{\text{obs}}$ を見積もった。
- 吸収深さ $t_{\mu}$ 、消衰深さ $t_{\Lambda}$ 、 $t_{\Lambda}/t_{\mu}$ との関係性を考察。運動学的理論を基とする $t_{\mu}$ が望ましい。
- 補正した $t_{\mu}$ が原点を通る直線 $t_{\text{obs}} \sim 0.75 \cdot t_{\mu}$ と良い一致。 $t_{\text{obs}} \sim 0.75 \cdot t_{\mu}$ が評価基準として望ましい。
- 右図は4H-SiCの観察可能深さ $t_{\text{obs}}$ の見積もり時の参考。



$t_{\text{obs}}$  に対する $E$ と $\omega$ のプロット