

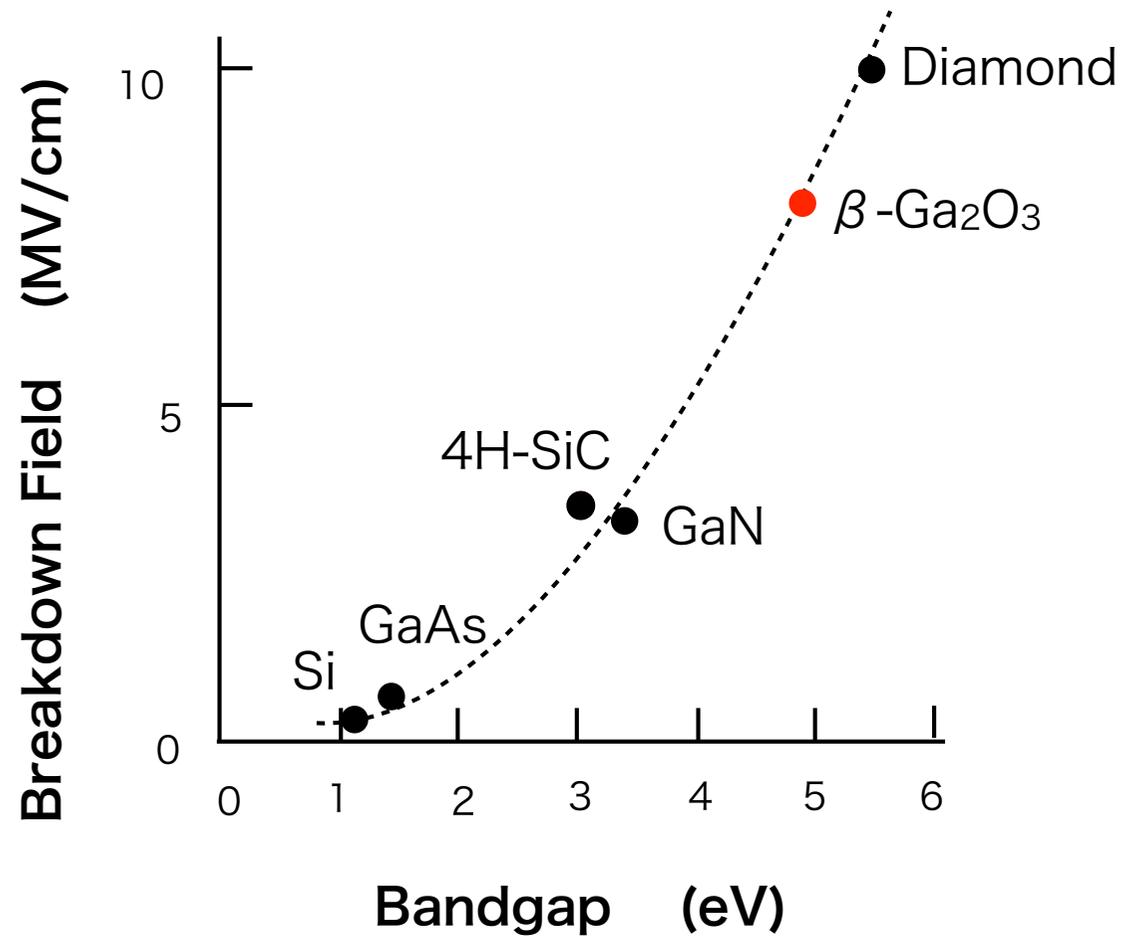
β -Ga₂O₃の積層欠陥

山口博隆

産業技術総合研究所

註) 非公開のスライドがあります

絶縁破壊電界



β -Ga₂O₃の結晶構造

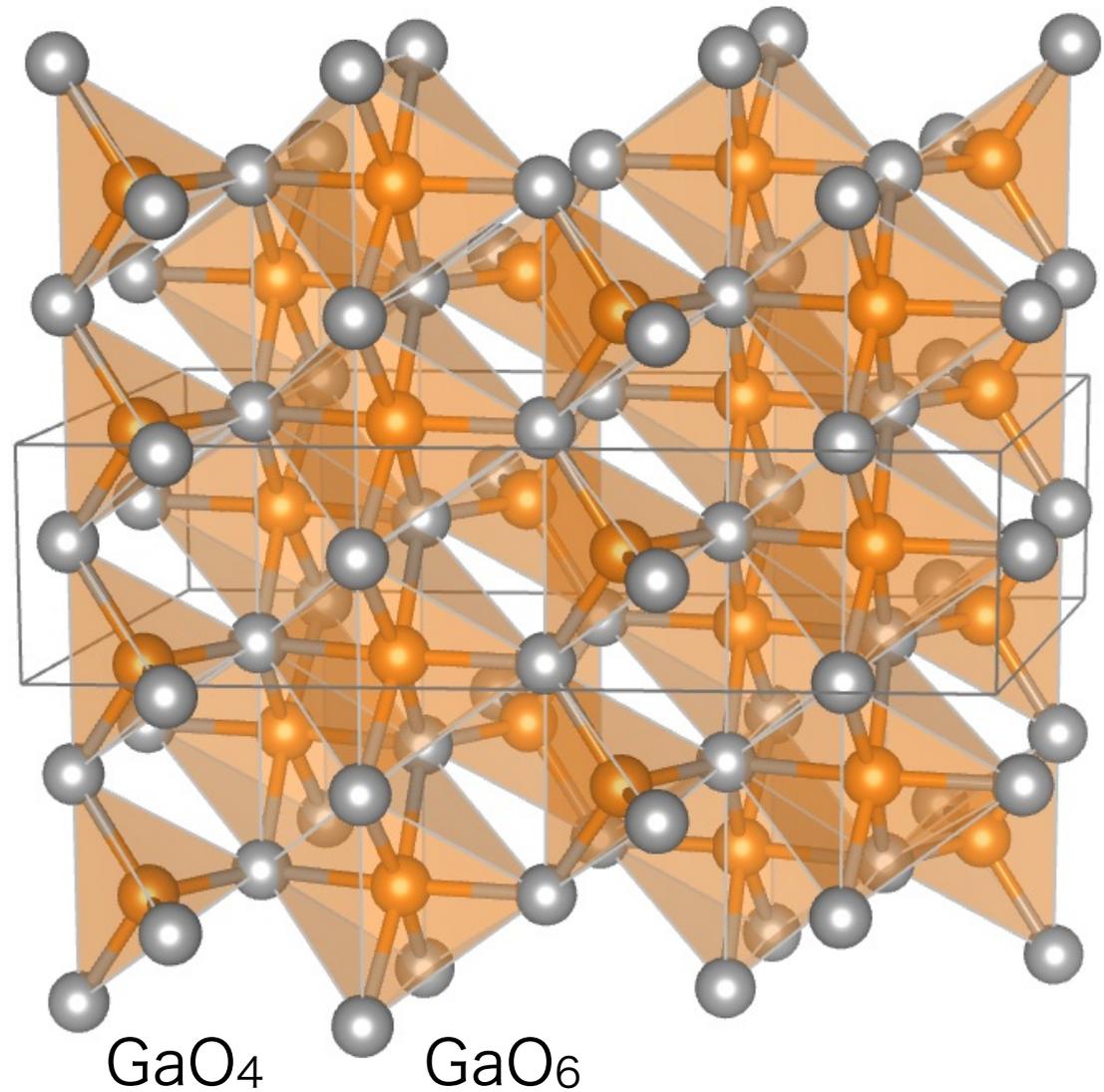
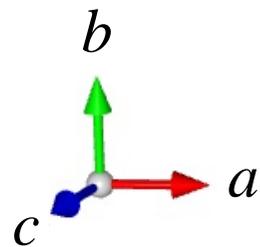
単斜晶系 (C2/m)

$$a = 1.223 \text{ nm}$$

$$b = 0.304 \text{ nm}$$

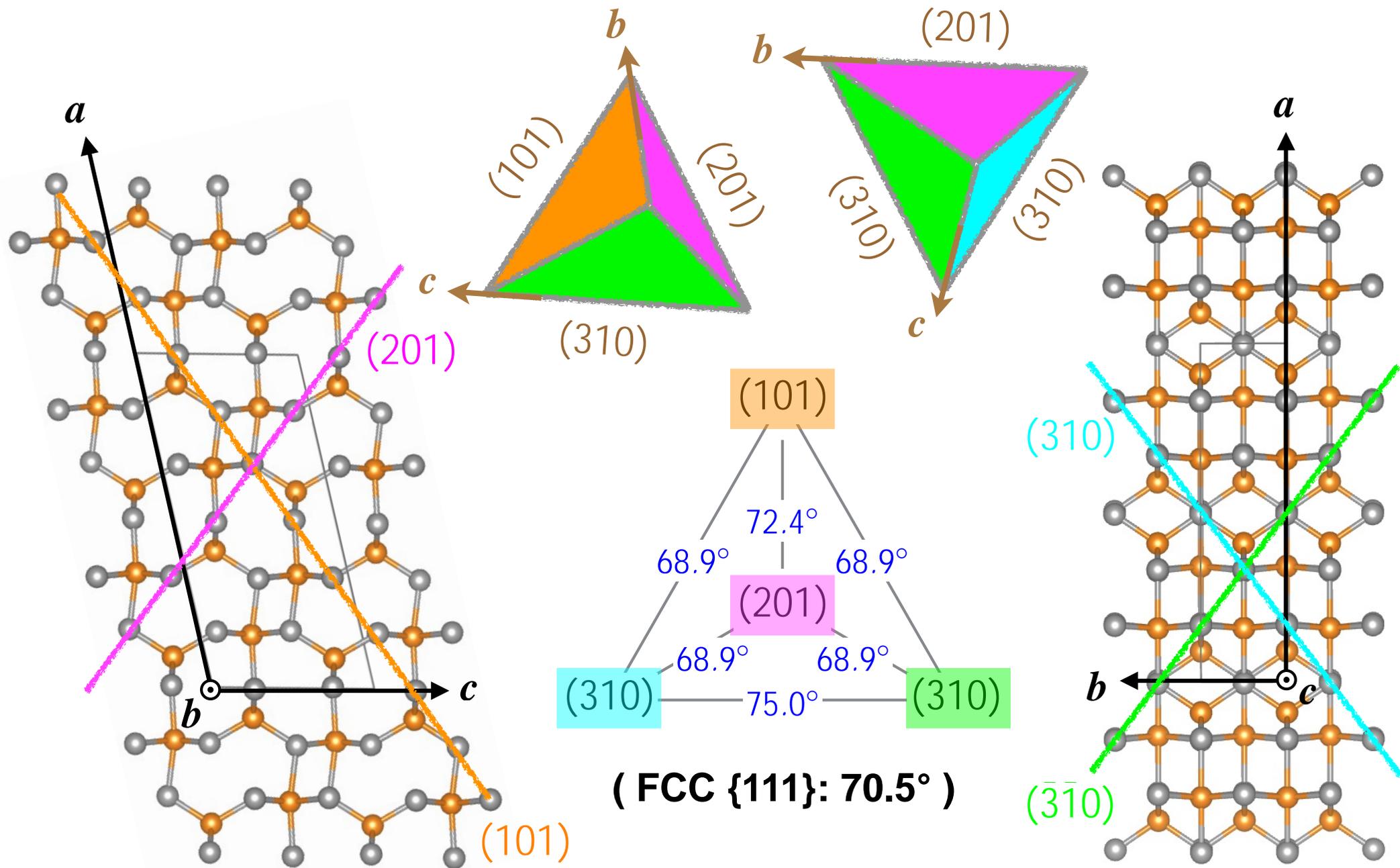
$$c = 0.580 \text{ nm}$$

$$\beta = 103.7^\circ$$



O副格子は歪んだ三次元最密充填構造

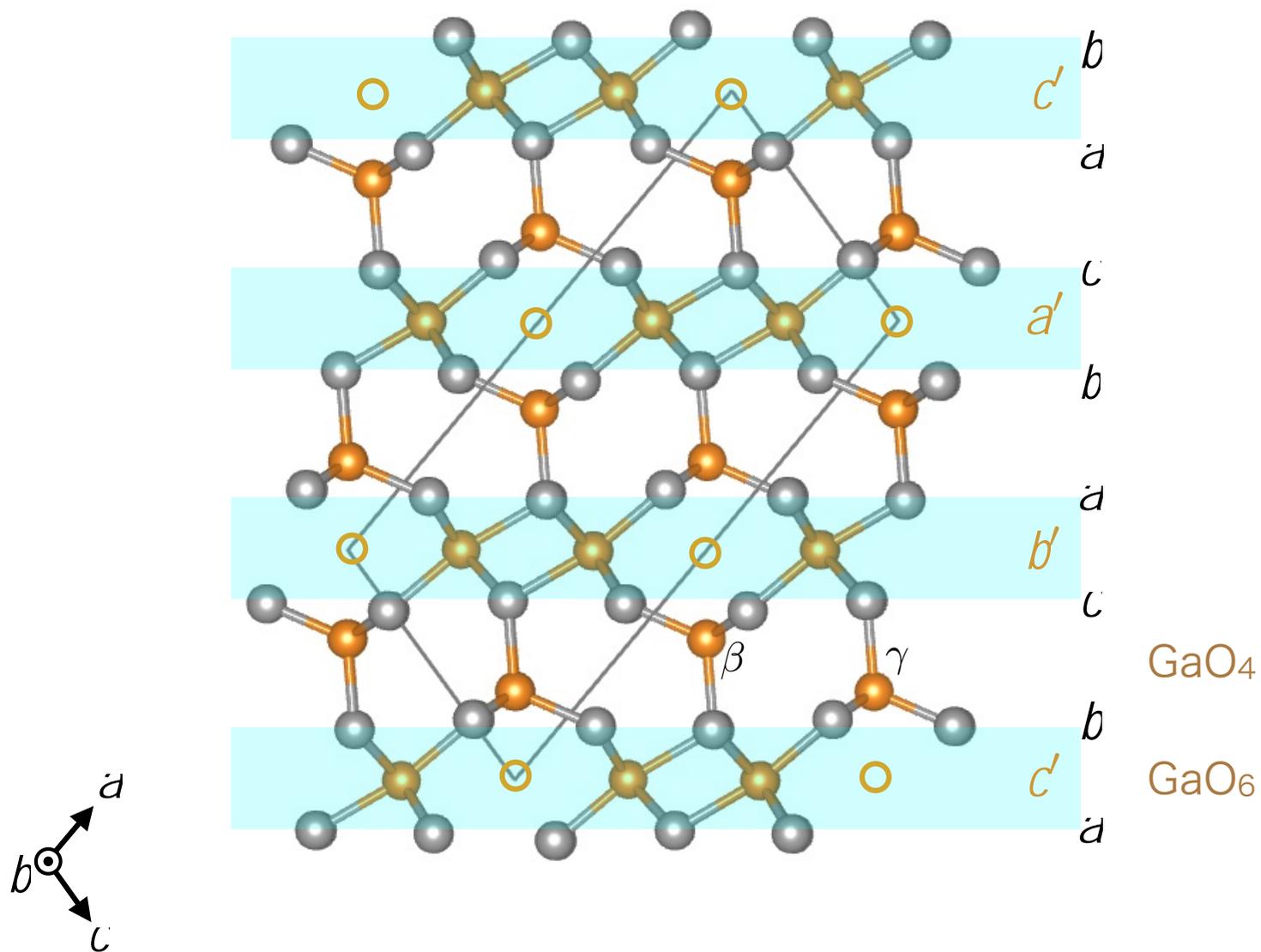
β -Ga₂O₃の最密充填構造



β -Ga₂O₃のすべり系

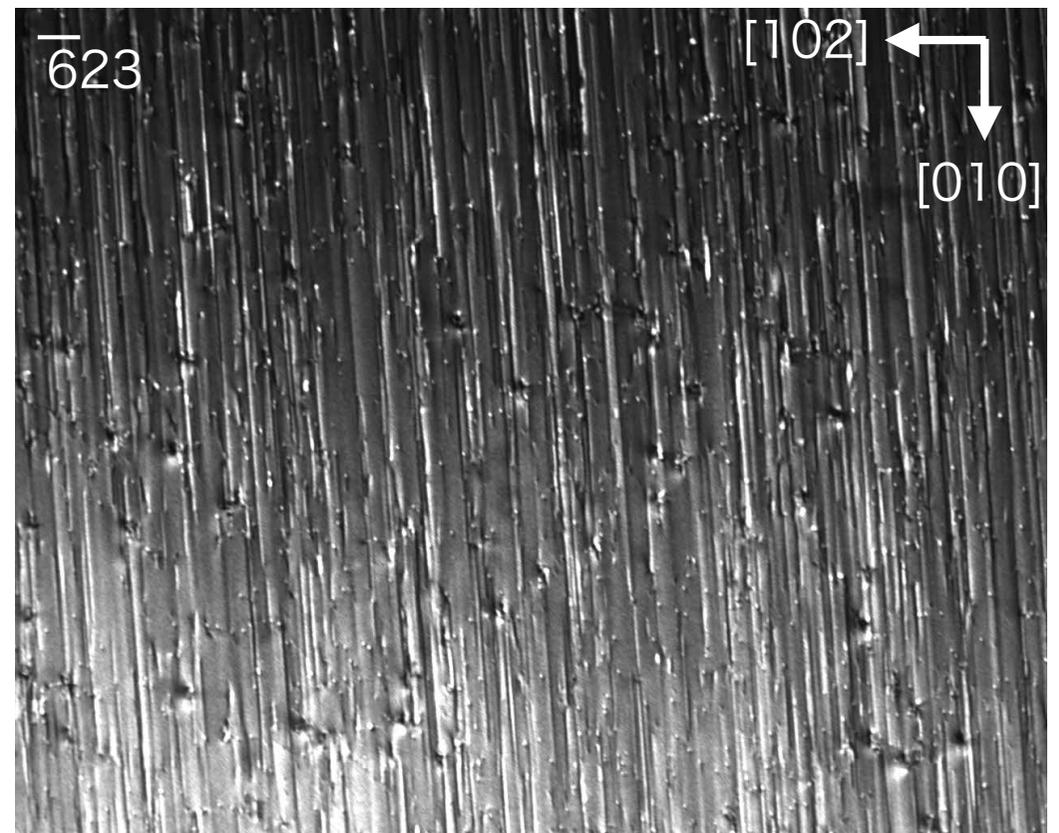
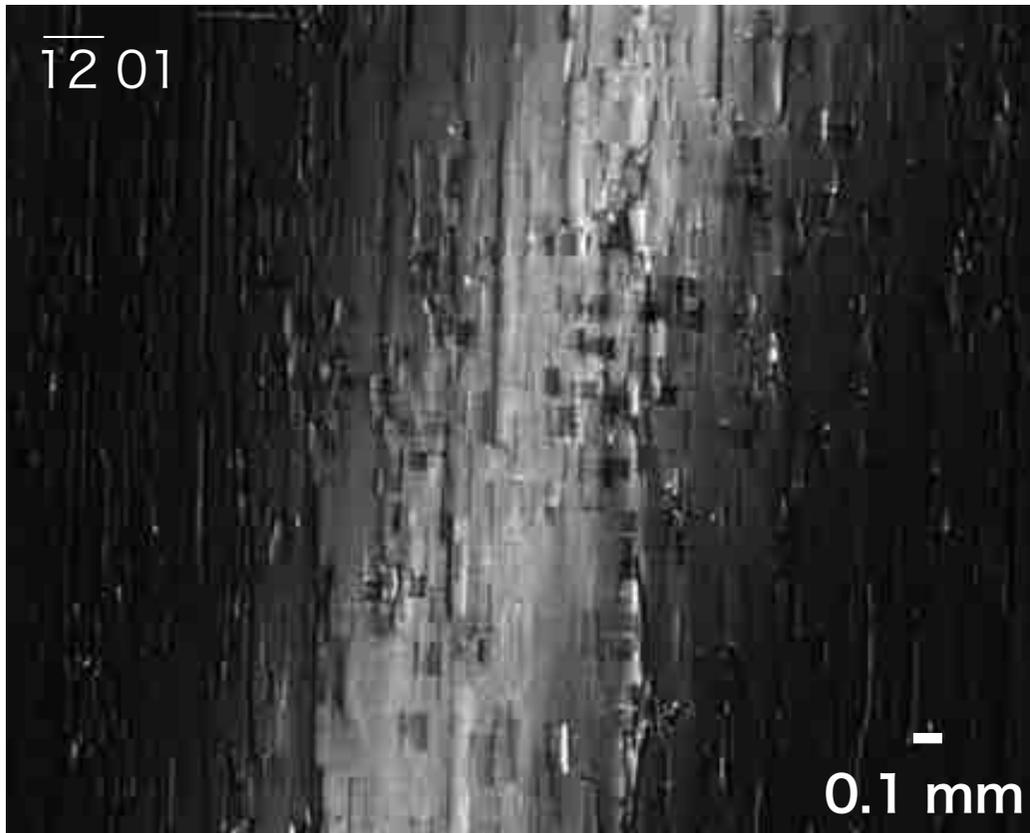
面	並進ベクトル	長さ (nm)
{201}	$\langle 010 \rangle$	0.304
	$\frac{1}{2}\langle 112 \rangle$	0.752
{101}	$\langle 010 \rangle$	0.304
	$\langle 101 \rangle$	1.472
{310}	$\langle 001 \rangle$	0.580
	$\frac{1}{2}\langle 1\bar{3}0 \rangle$	0.760
{310}	$\langle 001 \rangle$	0.580
	$\frac{1}{2}\langle 130 \rangle$	0.760

($\bar{2}01$)面の積層構造



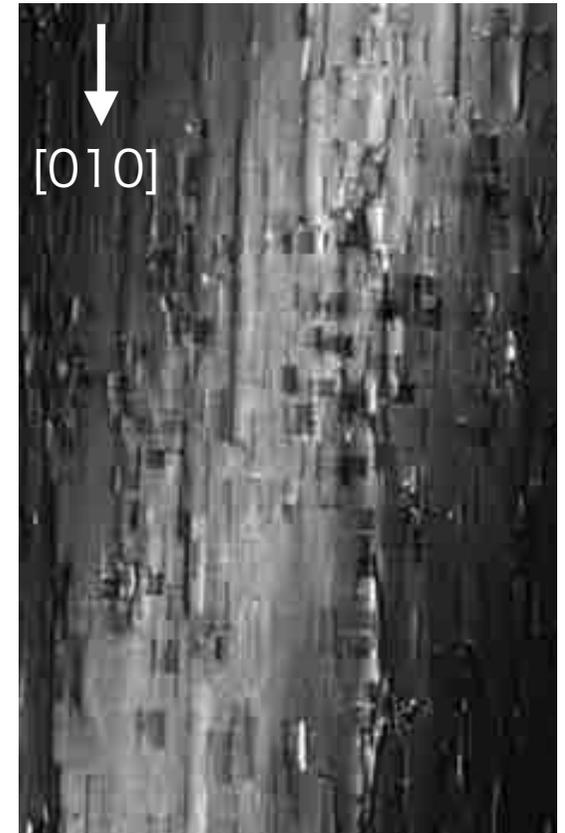
面形状の欠陥

試料： $\bar{2}01$ 2インチウェーハ



面形状欠陥

- 面形状欠陥の g による選択的な出現
- 面欠陥は $(\bar{2}01)$ 面に平行
- 長方形で一組の辺が b 軸に平行
- 一辺が50-100ミクロン程度
- 転位とのつながりはない



$(\bar{2}01)$ 面上の部分転位ループに囲まれた積層欠陥

($\bar{2}01$)面内の部分転位

ショックレー型部分転位

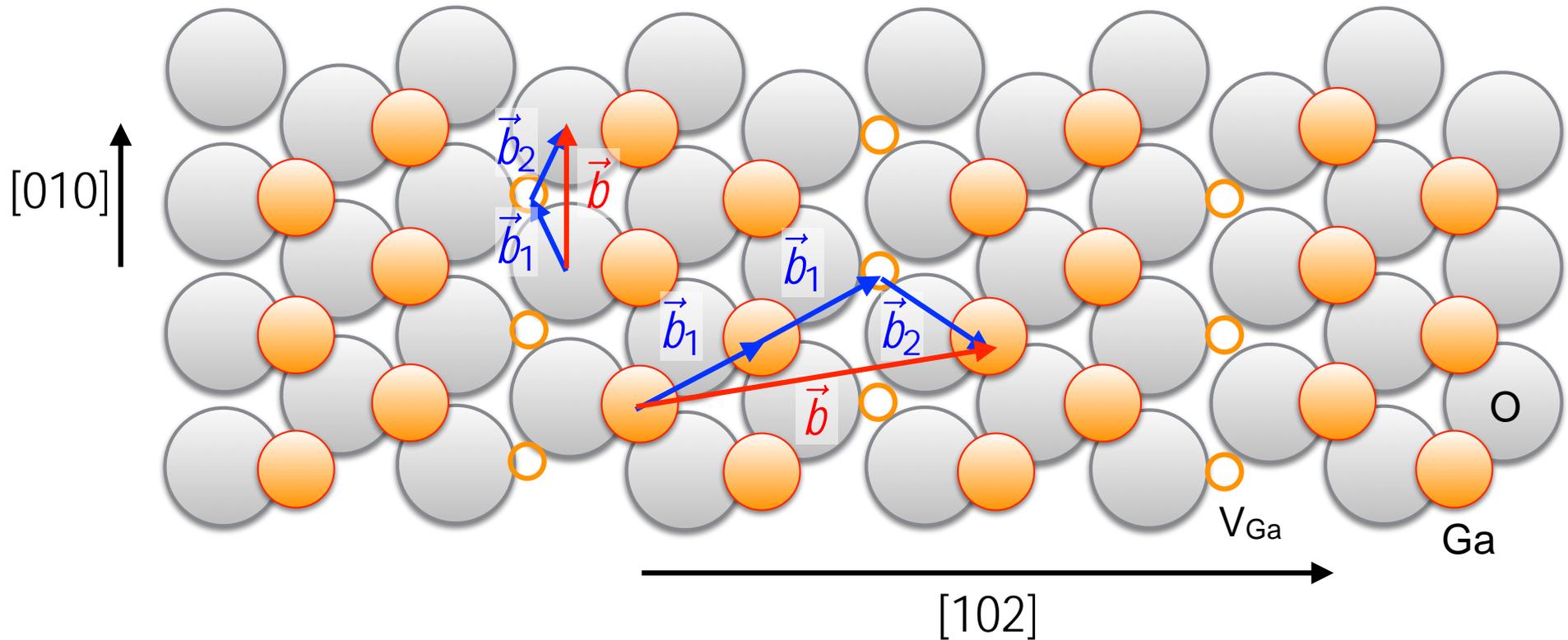
$$\vec{b} \rightarrow \vec{b}_1 + \vec{b}_2$$

$$[010] \rightarrow \frac{1}{18}[\bar{1}9\bar{2}] + \frac{1}{18}[192]$$

超格子転位

$$\frac{1}{2}[112] \rightarrow \vec{b}_1 + \vec{b}_1 + \vec{b}_2$$

$$\vec{b}_1 = \frac{1}{6}[132] \quad \vec{b}_2 = \frac{1}{6}[1\bar{3}2]$$



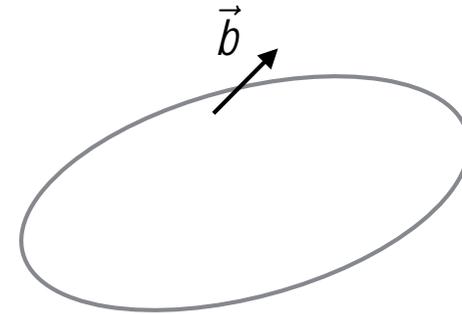
積層欠陥のコントラスト

積層欠陥を囲む部分転位

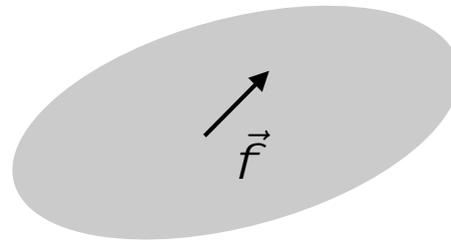
フランク型

ショックレー型

転位のコントラスト $\sim \vec{g} \cdot \vec{b}$



積層欠陥の変位



積層欠陥の構造因子 = $F_g \exp(-2\pi i \vec{g} \cdot \vec{f})$

$\vec{g} \cdot \vec{f} \neq (\text{Integer})$

のとき、強度コントラスト

g	$g \cdot f_1$	$g \cdot f_2$
$\bar{1}2\ 00$	-2/3	-2
$\bar{6}26$	4/3	2
006	2/3	2
$\bar{1}2\ 01$	-5/9	-5/3
$\bar{5}13$	5/9	2/3
$\bar{2}06$	5/9	5/3
$\bar{6}23$	1	1
606	1	3

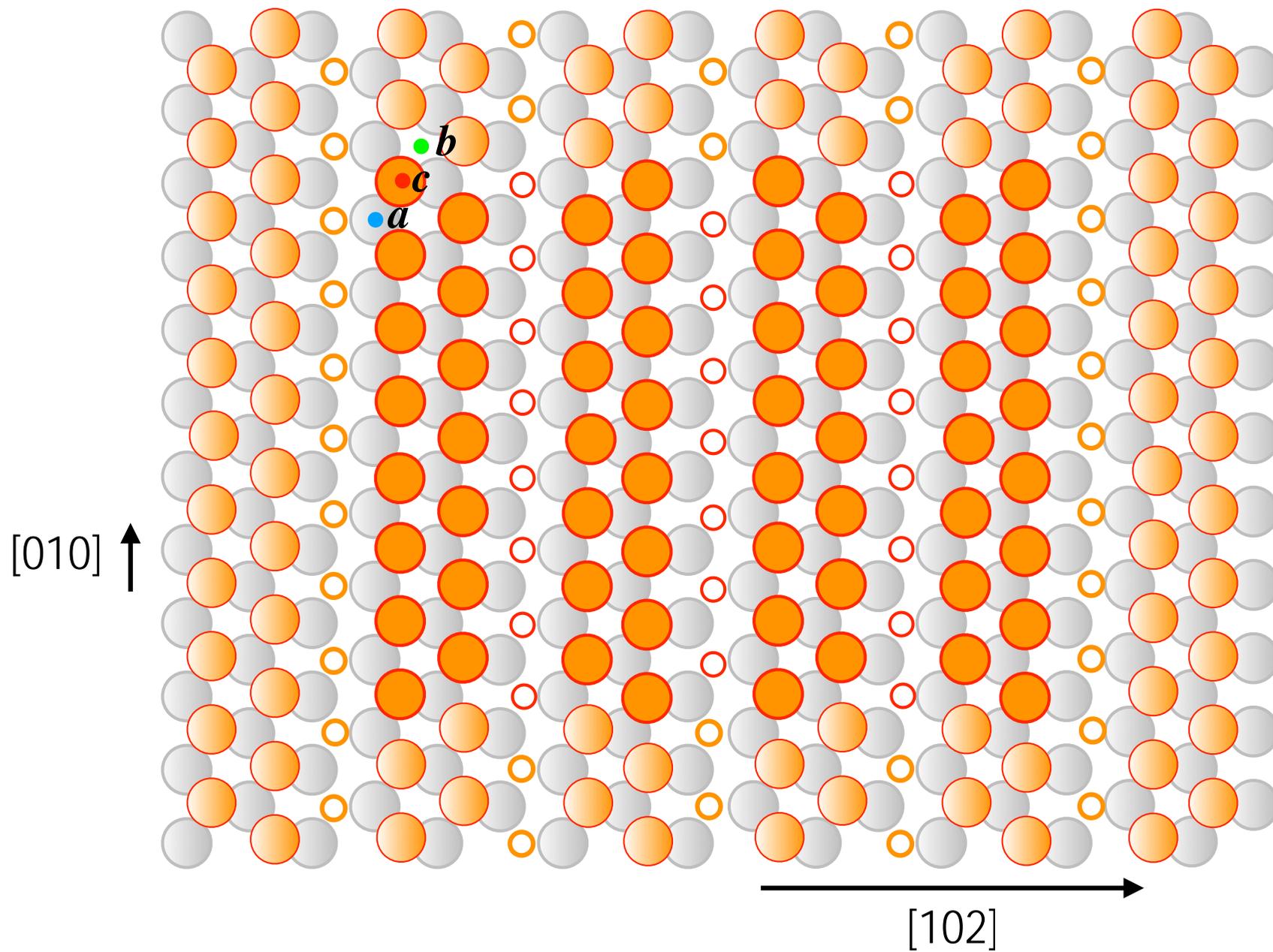
積層欠陥の観察結果

g	$g \cdot f_1$	$g \cdot f_2$	λ	Appearance
$\overline{12} 0 0$	$-2/3$	-2	0.17	○
$\overline{6} 2 6$	$4/3$	2	0.11	○
0 0 6	$2/3$	2	0.15	○
$\overline{12} 0 1$	$-5/9$	$-5/3$	0.15	○
$\overline{5} 1 3$	$5/9$	$2/3$	0.165	○
$\overline{2} 0 6$	$5/9$	$5/3$	0.15	○
$\overline{6} 2 3$	1	1	0.17	×
6 0 6	1	3	0.151	×

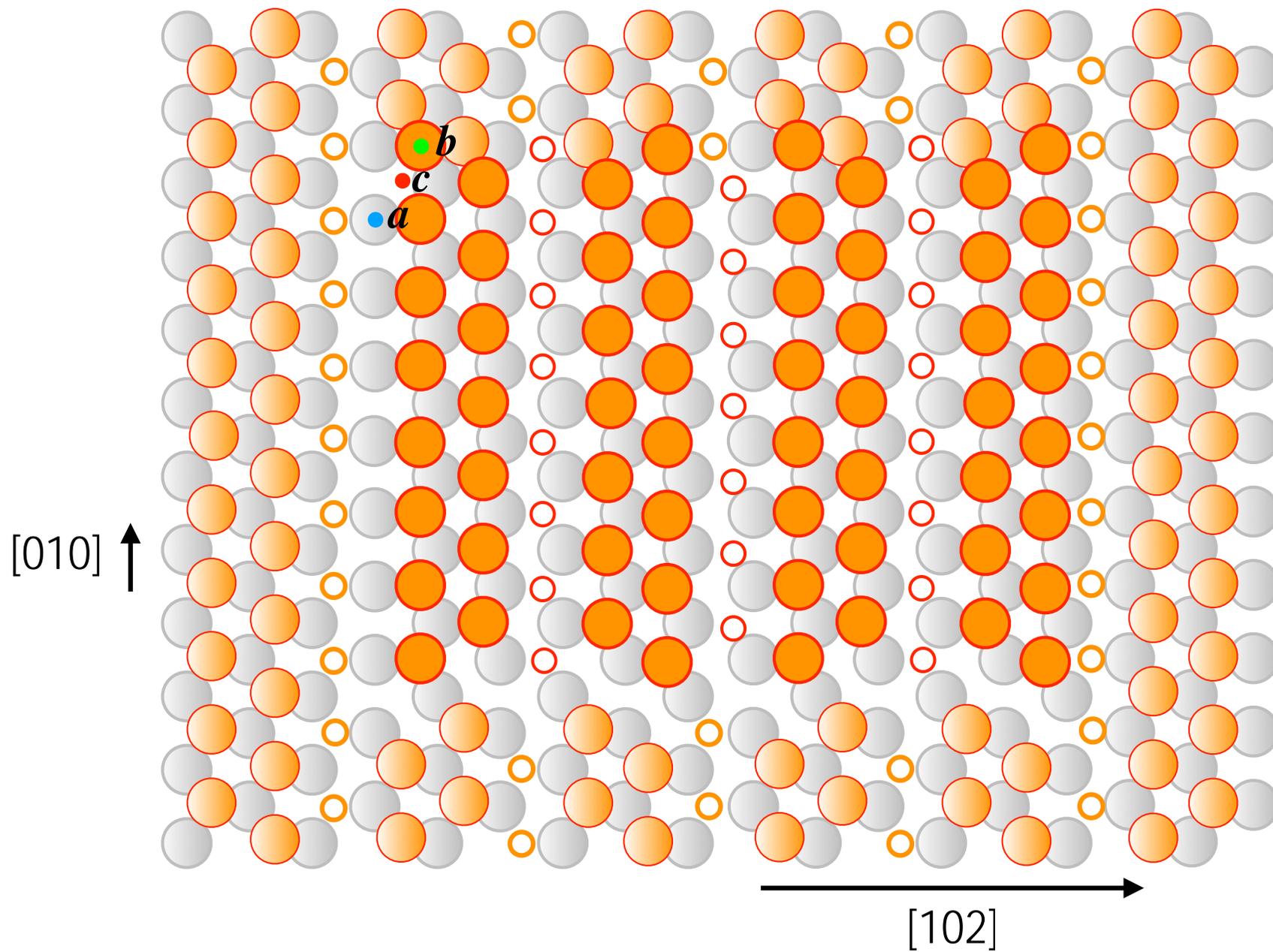
f_1 ショックレー型

f_2 超格子型

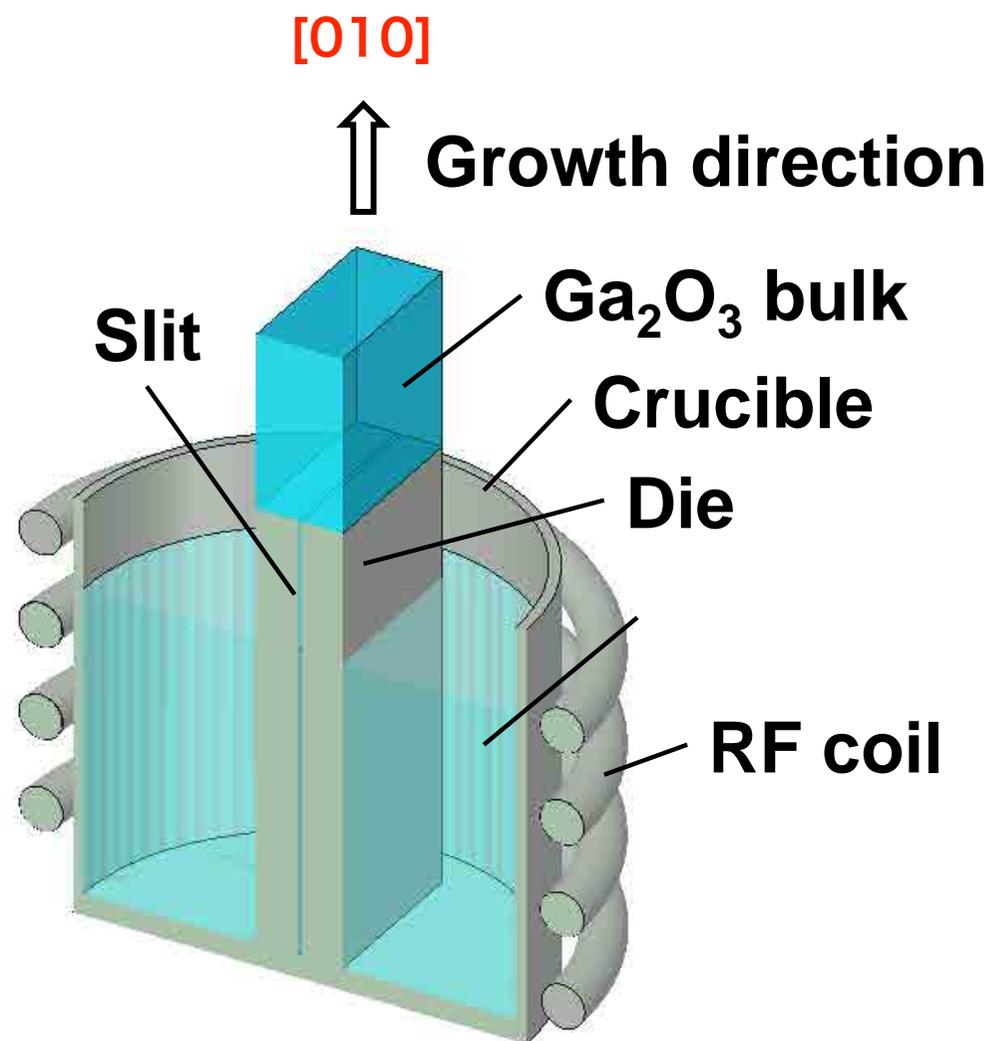
積層欠陥モデル



積層欠陥モデル



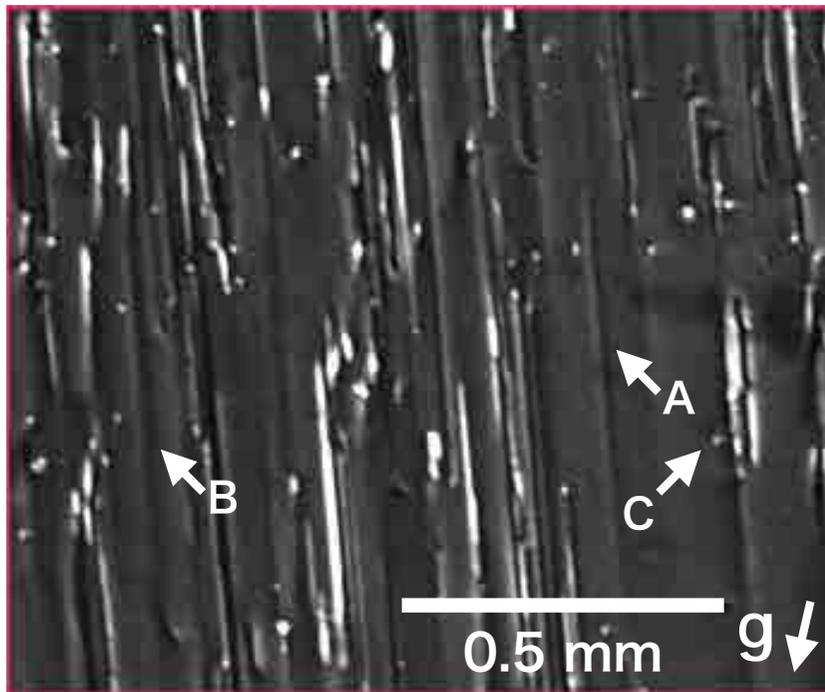
β -Ga₂O₃の結晶成長



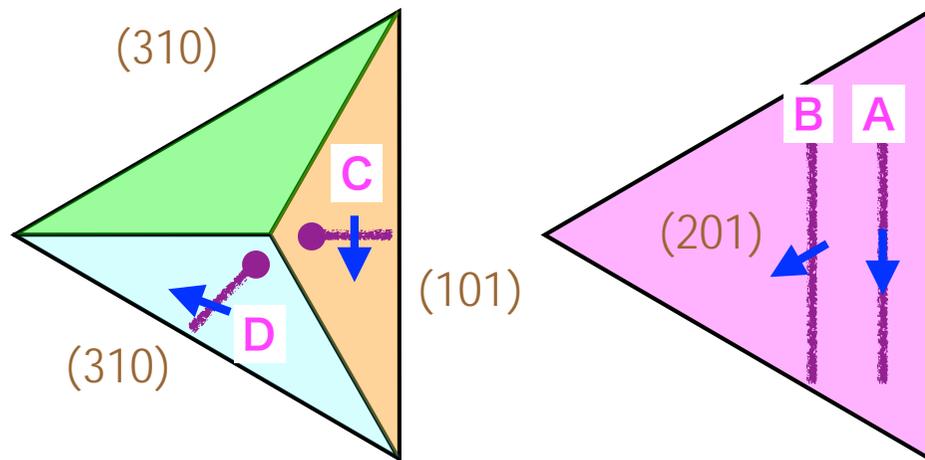
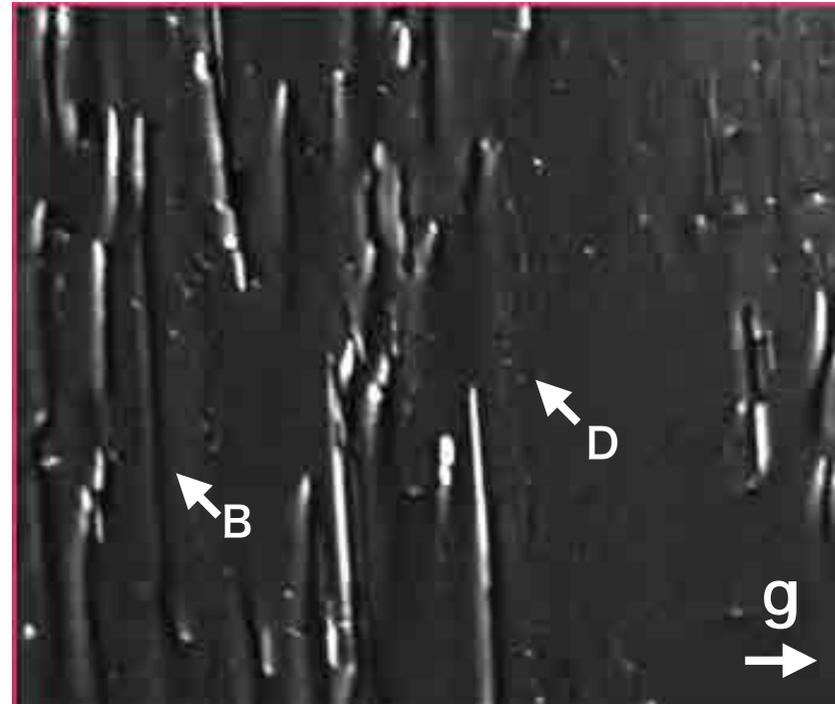
Edge-defined film-fed growth method

X線トポグラフィィー：(201) ウェーハ

$g = \bar{2}23$ ($g \perp [130]$)



$g = 006$ ($g \perp [010]$)

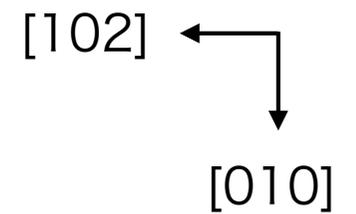


A $\{201\} \langle 010 \rangle$

B $\{\bar{2}01\} \frac{1}{2} \langle 112 \rangle$

C $\{101\} \langle 010 \rangle$

D $\{\bar{3}10\} \frac{1}{2} \langle 130 \rangle$



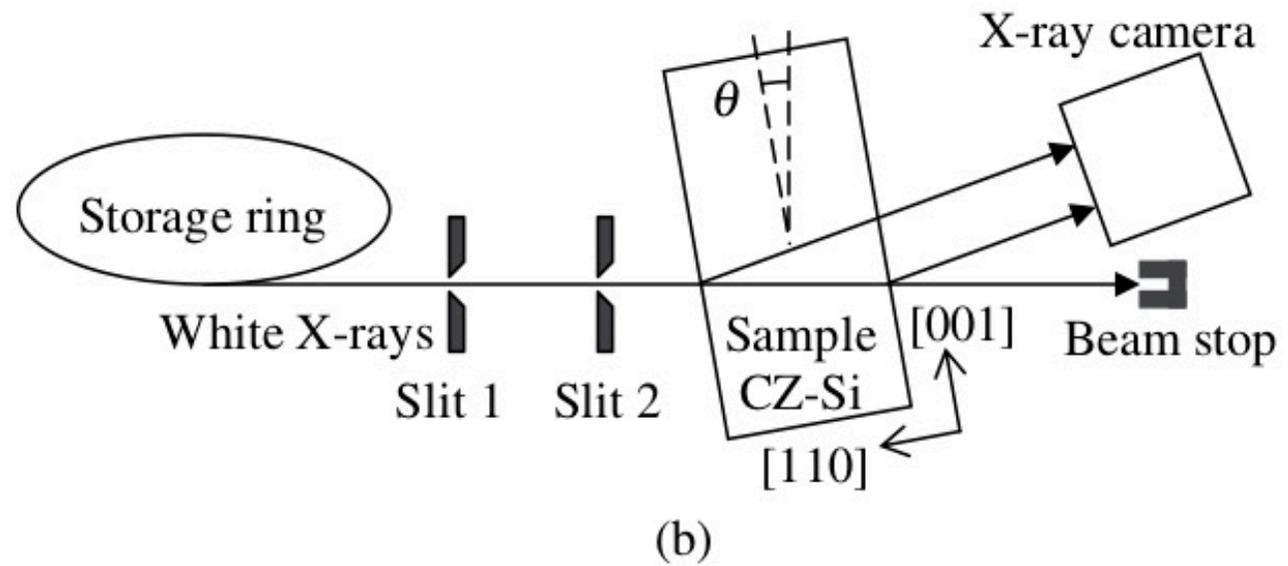
転位を減らすためにはどうしたらいいか？

すべり面と結晶成長方向について考えてみた。



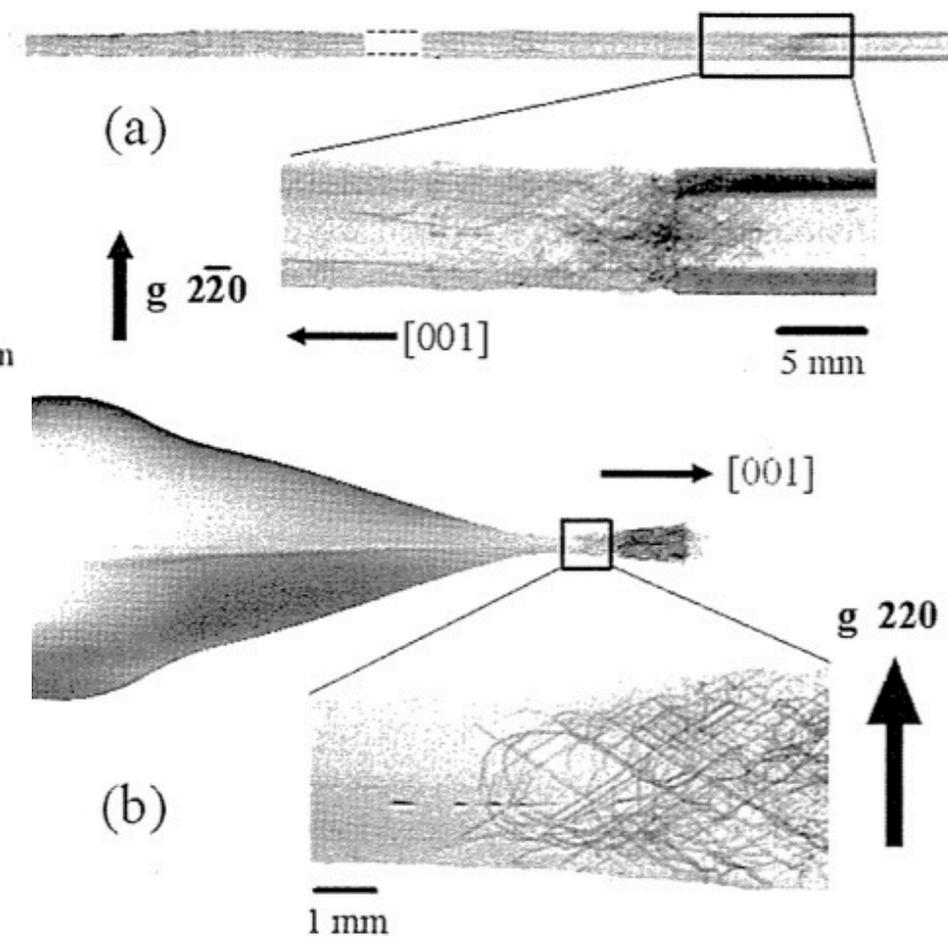
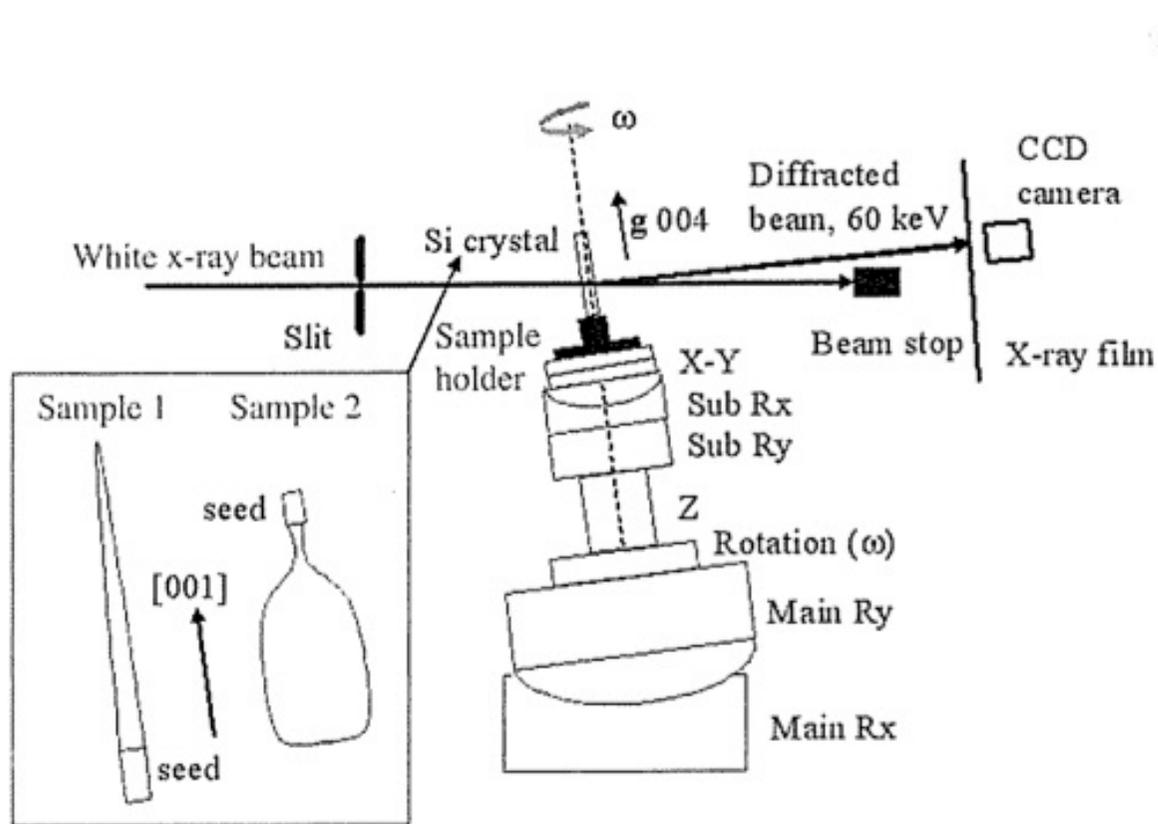
Si結晶成長におけるネッキング

X線トポグラフィによる転位の三次元観察



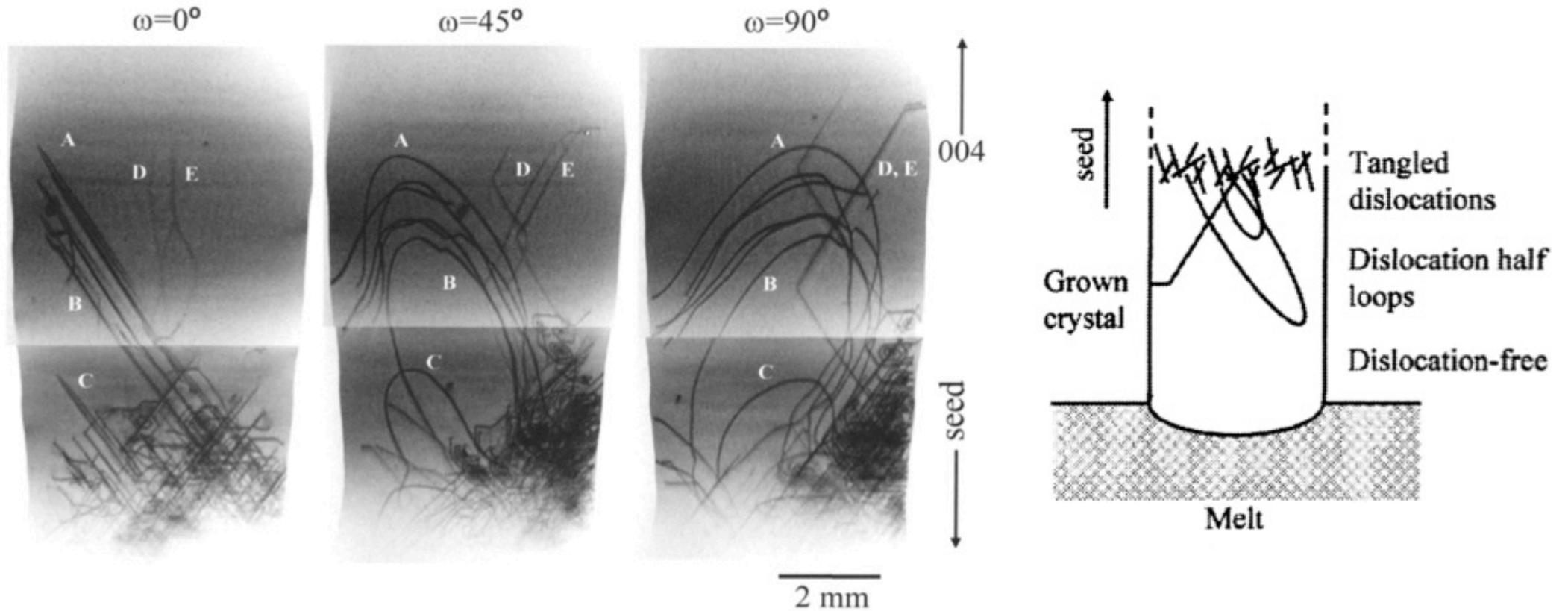
Si結晶成長におけるネッキング

X線トポグラフィによる転位の三次元観察



Si結晶成長におけるネッキング

X線トポグラフィによる転位の三次元観察



Cz引き上げ中のメニスカスとネッキングによる転位の消滅 (阿部孝夫、「メルト成長のダイナミクス」より)

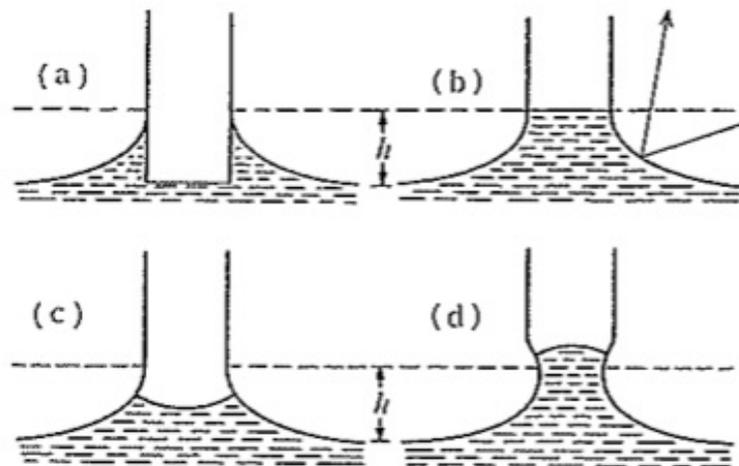


図 6.2 Cz 引き上げ中の結晶と融液のメニスカスの関係

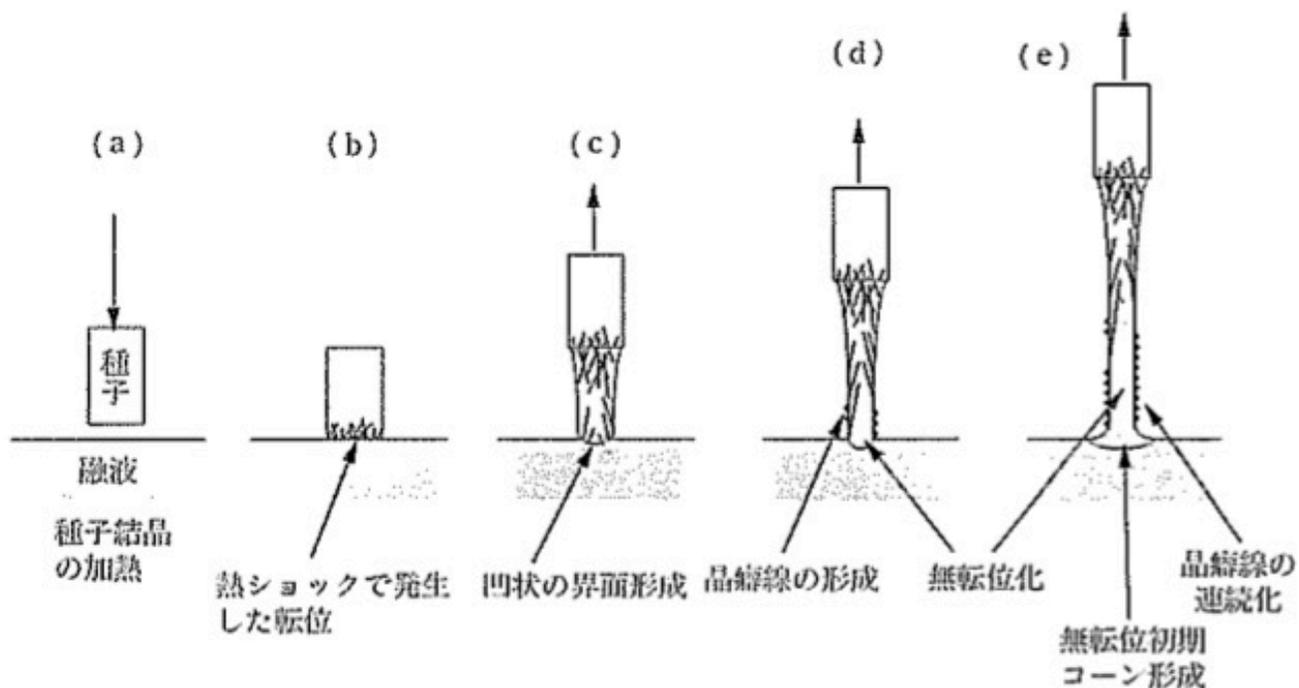


図 6.3 Dash ネッキングでの転位の消滅

まとめ

- β -Ga₂O₃の積層欠陥は部分転位ループに囲まれた積層欠陥である。
- 転位密度を低減させるための結晶成長方法を考察した。
- $\langle 110 \rangle$ 成長シリコンのネック部の三次元トポグラフィを計画している。