

回転引き上げ法育成 ゲルマニウム単結晶ネック部の 転位の三次元分布

飯田敏(富山大学),
梶原堅太郎(JASRI),
川戸清爾(SAGA-LS),
太子敏則(信州大学),
米永一郎(東北大学)

2011年1月11日
PF研究会「X線トポグラフィーの現状と展望」

研究の背景と動機

- CZ 法育成Ge単結晶
 - 従来法では有転位結晶
 - 液体封止改良法で無転位化に成功
 - 無転位単結晶の応用
- CZ 法育成単結晶の無転位化機構
 - Si: 転位消滅機構の見直しを迫る観察事実
 - 無転位化に成功していない多くの単結晶

研究目的

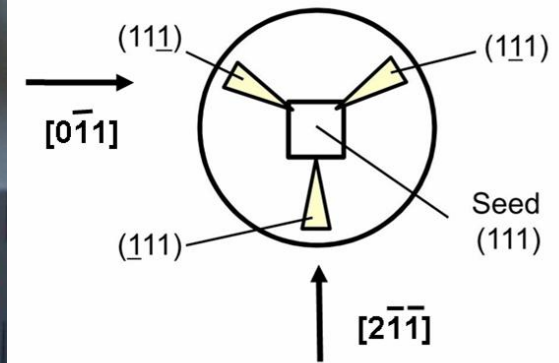
- Ge単結晶育成過程における無転位化機構の解明
 - 改良CZ法と従来CZ法との比較
 - 転位の三次元立体分布と形態
 - 転位の発生, 伝播, 消滅の仕方
- CZ-Ge単結晶のより良い成長条件の探索

試料：直胴部1インチ径のCZ-Ge 結晶

従来CZ法育成結晶 N-054n 改良CZ法育成結晶 N-046n



- 成長方位は $[111]$
- 結晶肩部にてほぼ (111) に平行に切断
- 切断歪み除去のためにエッチング



T. Taishi et al, Journal of Crystal Growth 311 (2009) 4615–4618

2011/1/11

CZ-Ge単結晶ネック部の転位：三次
元分布観察

4

試料明細

直胴部1インチ径のCZ-Ge 結晶

従来CZ法育成結晶

試料名	N-054n
形状 [mm]	
種結晶	5□
ネック部(最小径)	2φ × 15
全長	32
成長方位	[111]
ドーパント	undoped
転位密度 [cm ⁻²] (切断面直下)	4.0E+03

GeO₂パーティクルが融液表面に浮いている状態で育成

改良CZ法育成結晶

試料名	N-046n
形状 [mm]	
種結晶	5□
ネック部(最小径)	2φ × 21
全長	31
成長方位	[111]
ドーパント	undoped
	B ₂ O ₃ 被覆
転位密度 [cm ⁻²] (切断面直下)	~0

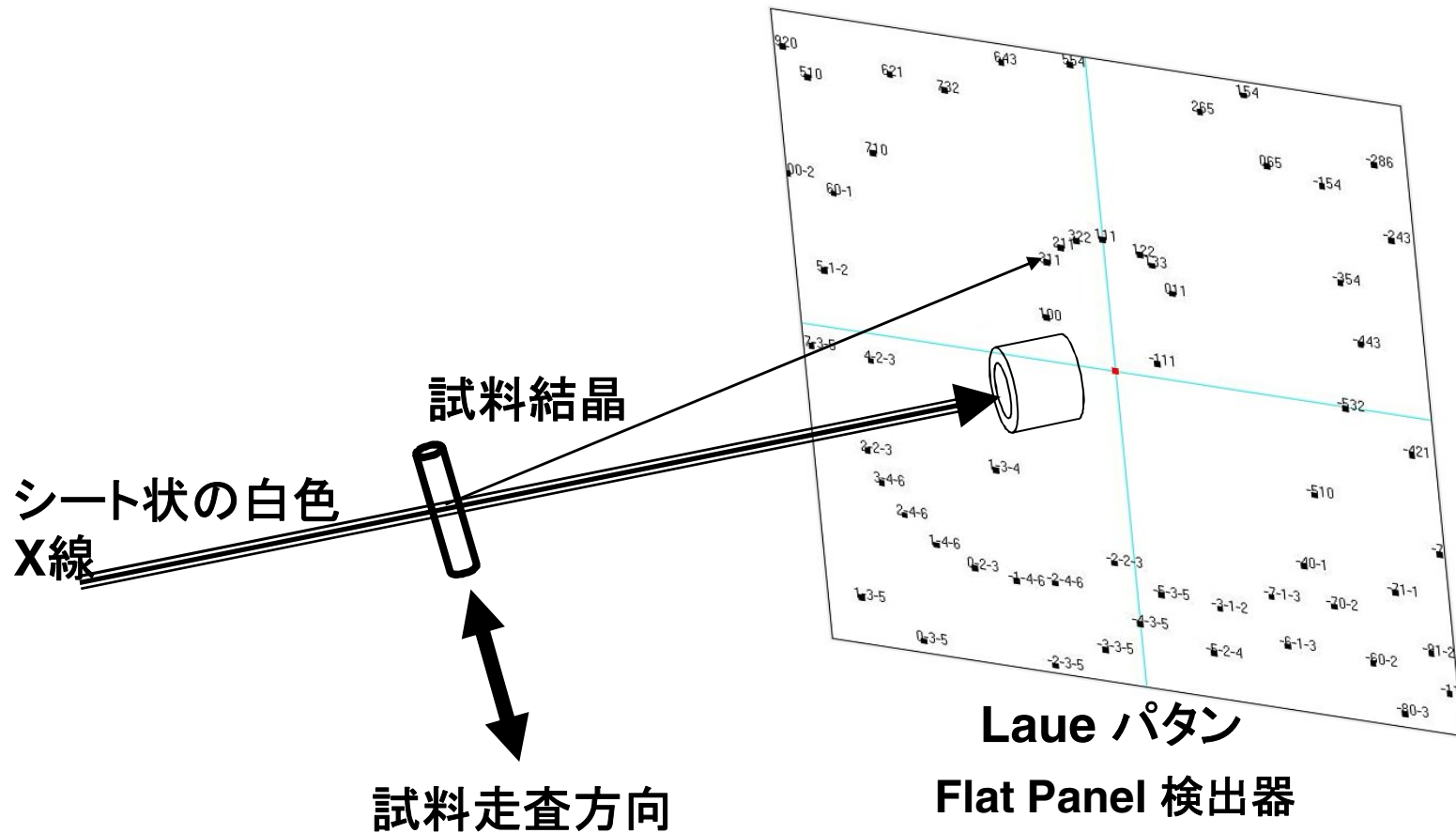
B₂O₃で融液の外周部を被覆することでパーティクルを抑制

実験方法

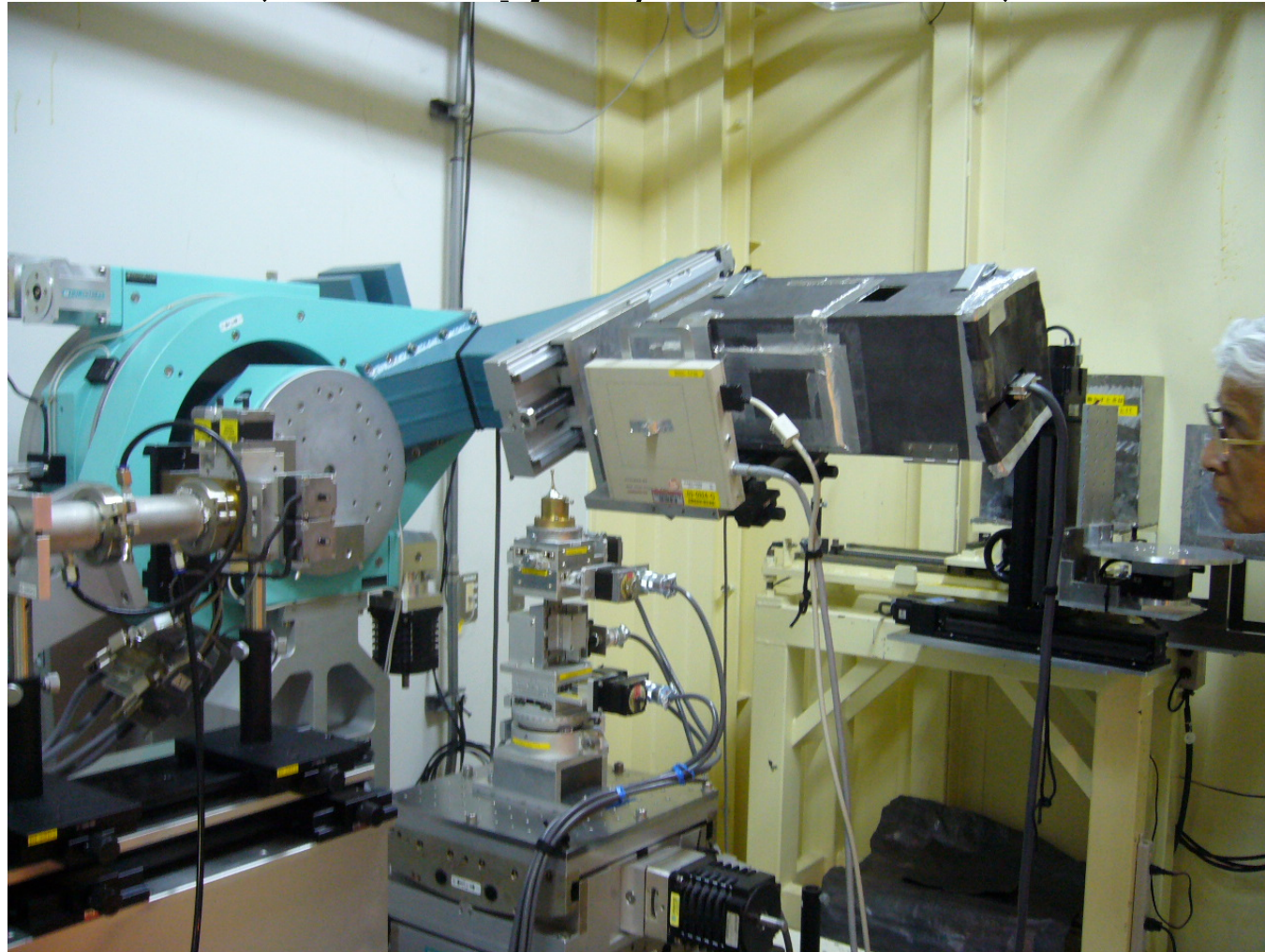
三次元化放射光X線トポグラフィ

- 転位の立体分布観察@SPring-8, BL28B2
- ステップスキャンセクショントポグラフィ (step-scanned section topography)
- 白色X線 (27, 82, 109, 136keV)
- 用いた反射
 - 111, 022, 400, 315, 351とそれらの高次反射
 - 直交する2方向からのX線入射
- 二次元デジタル画像検出器
 - Flat Panel 検出器, 可視光変換型X線CCDカメラ

試料方位調整：ラウエパターン使用



ステップ スキャン セクション トポグラフィ (SPring-8, BL28B2)

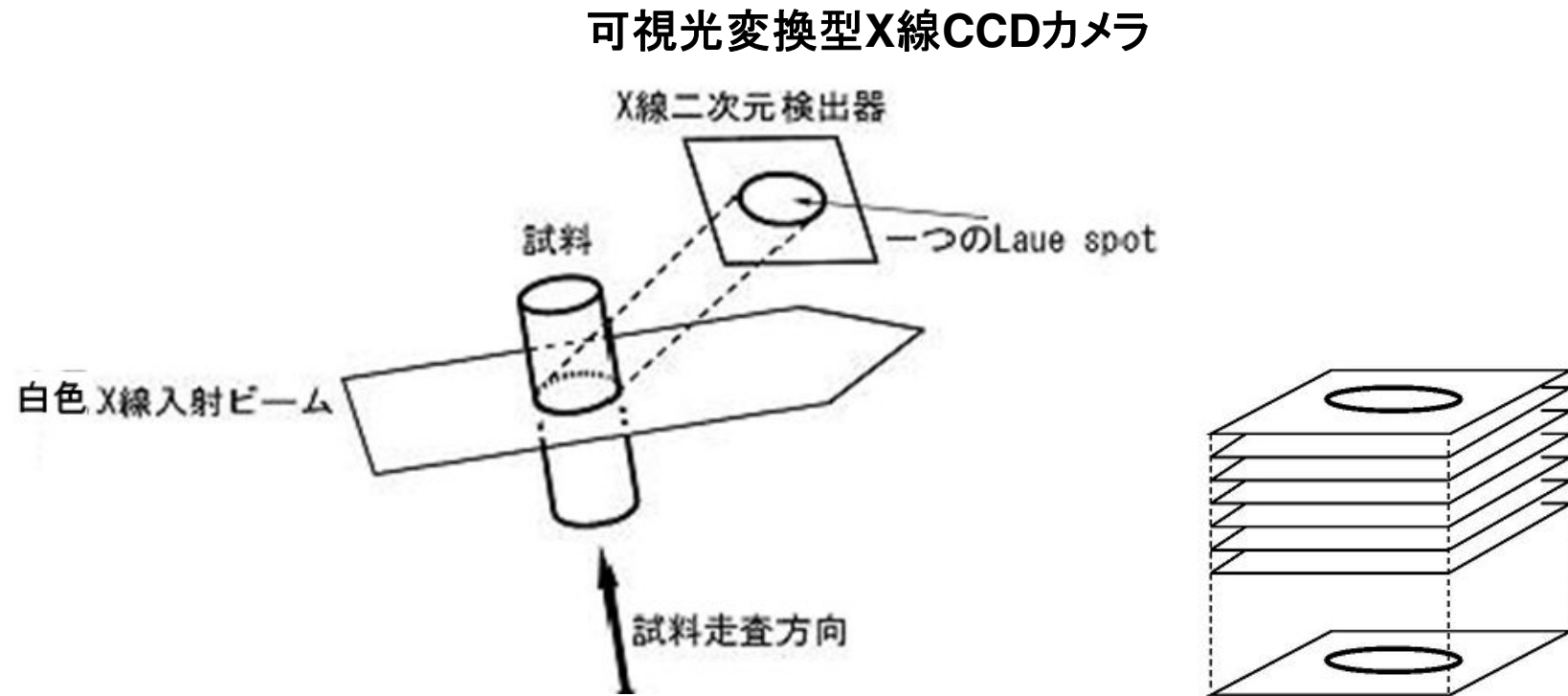


2011/1/11

CZ-Ge単結晶ネック部の転位：三次
元分布観察

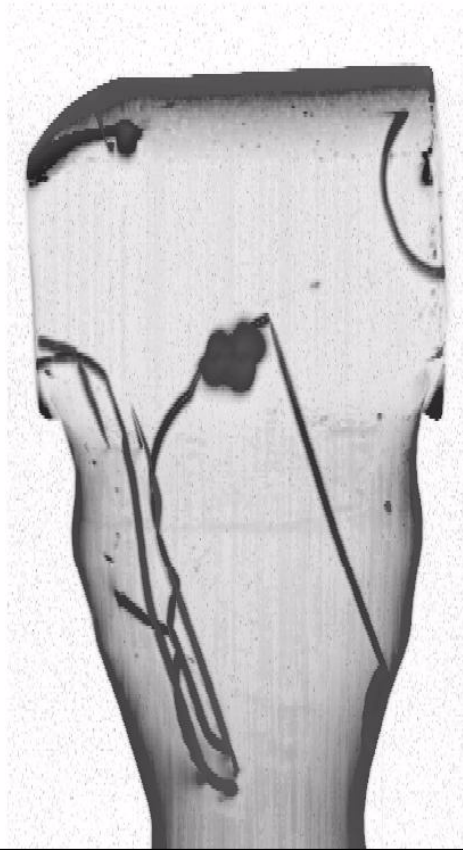
8

ステップ スキャン セクション トポグラフィ (step-scanned section topography)



三次元投影トポグラフ

改良CZ法育成結晶 CZ-Ge N-046n



[0-11]方向への投影

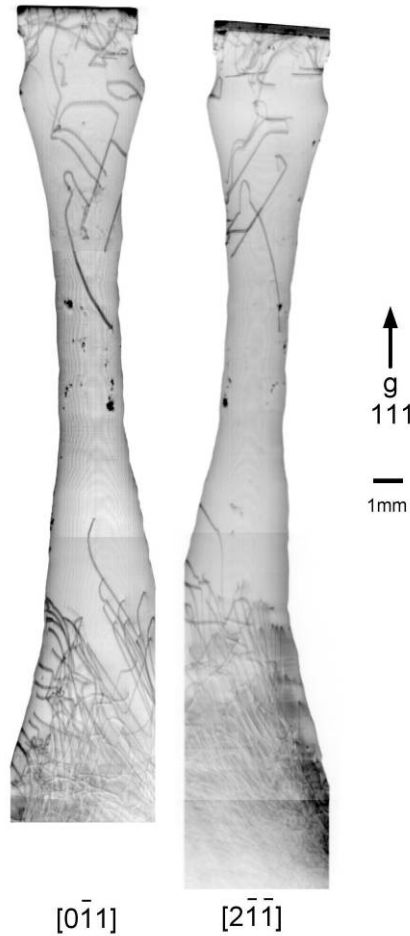
g
111



[-211]方向への投影

111反射トポグラフ

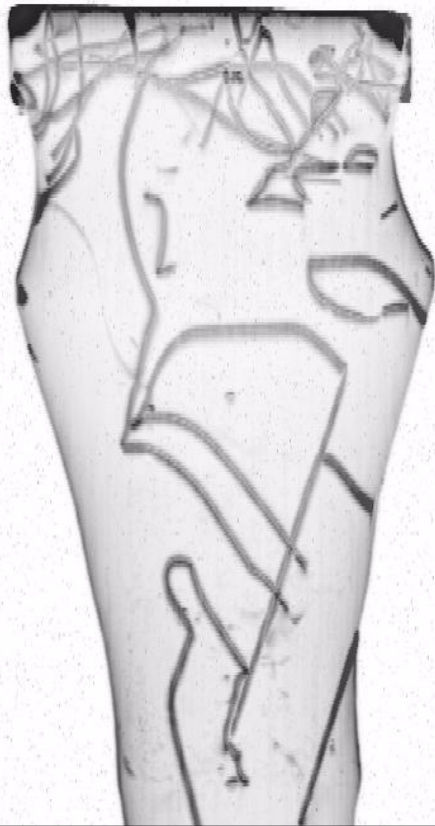
従来CZ法育成結晶 CZ-Ge N-054n



ほぼ直交する
2方向からの観察

三次元投影トポグラフ

従来CZ法育成結晶 CZ-Ge N-054n(上部)



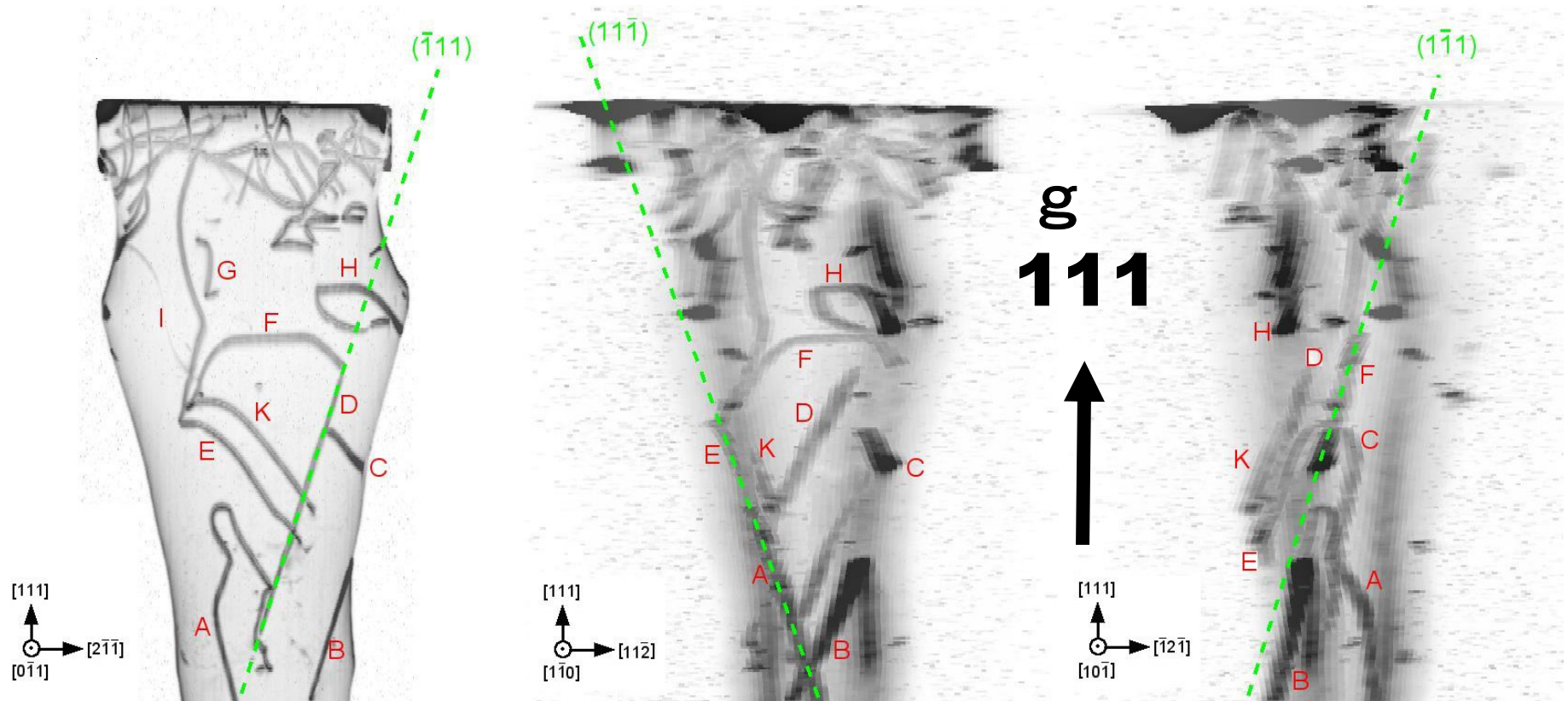
[0-11]方向への投影

g
111



[-211]方向への投影

すべり面： 湾曲している転位の多くは{111}面上



CZ-Ge N-054n(上部)

CZ-GeとCZ-Siとの比較

- CZ-Ge結晶
 - 種結晶 - 成長結晶の境界付近で新たに発生した転位が極端に少ない
 - 転位消滅段階においては、転位はほぼ真っ直ぐあるいは種結晶側に凸な半ループ状形態で、結晶の外周部で終端している。
- CZ-Si単結晶
 - 種結晶 - 成長結晶の境界付近で多数の転位が新たに発生する(外周部に多い)
 - 転位消滅段階においては、転位は成長方向に凸な半ループ状形態を示して、結晶の外周部に達することなく結晶の内部に止まっている。

まとめ

- 高エネルギー放射光X線を用いて、バルクGe単結晶の内部三次元観察をした
- 液体封止改良型CZ法育成Ge結晶
 - 有転位種結晶
 - ネッキングにより無転位化
- 従来型CZ法育成Ge結晶
 - 有転位種結晶
 - ネッキングにより一度無転位化
 - その後新たに転位発生