

X線トポグラフィ研究会
Aug. 7, 2015

X線トポグラフィの 解説記事の紹介

九州シンクロトロン光研究センター

川戸清爾

(社)ニューダイヤモンドフォーラム

会誌 **NEW DIAMOND** 年4回発行

—講座—ダイヤモンドをよく知るために

2015年にX線トポグラフィーの特集

が企画され、連載中

Vol.31 No.1~4 (2015)

X線トポグラフィー(1), (2) [基礎編]

川戸清爾 (SAGA-LS)

X線トポグラフィー(3), (4) 実践・観察編

加藤有香子 (産総研)

X線トポグラフィー(1)

(実験室系、放射光利用共通)

目的、観察対象、観察方法、欠陥イメージ形成原理

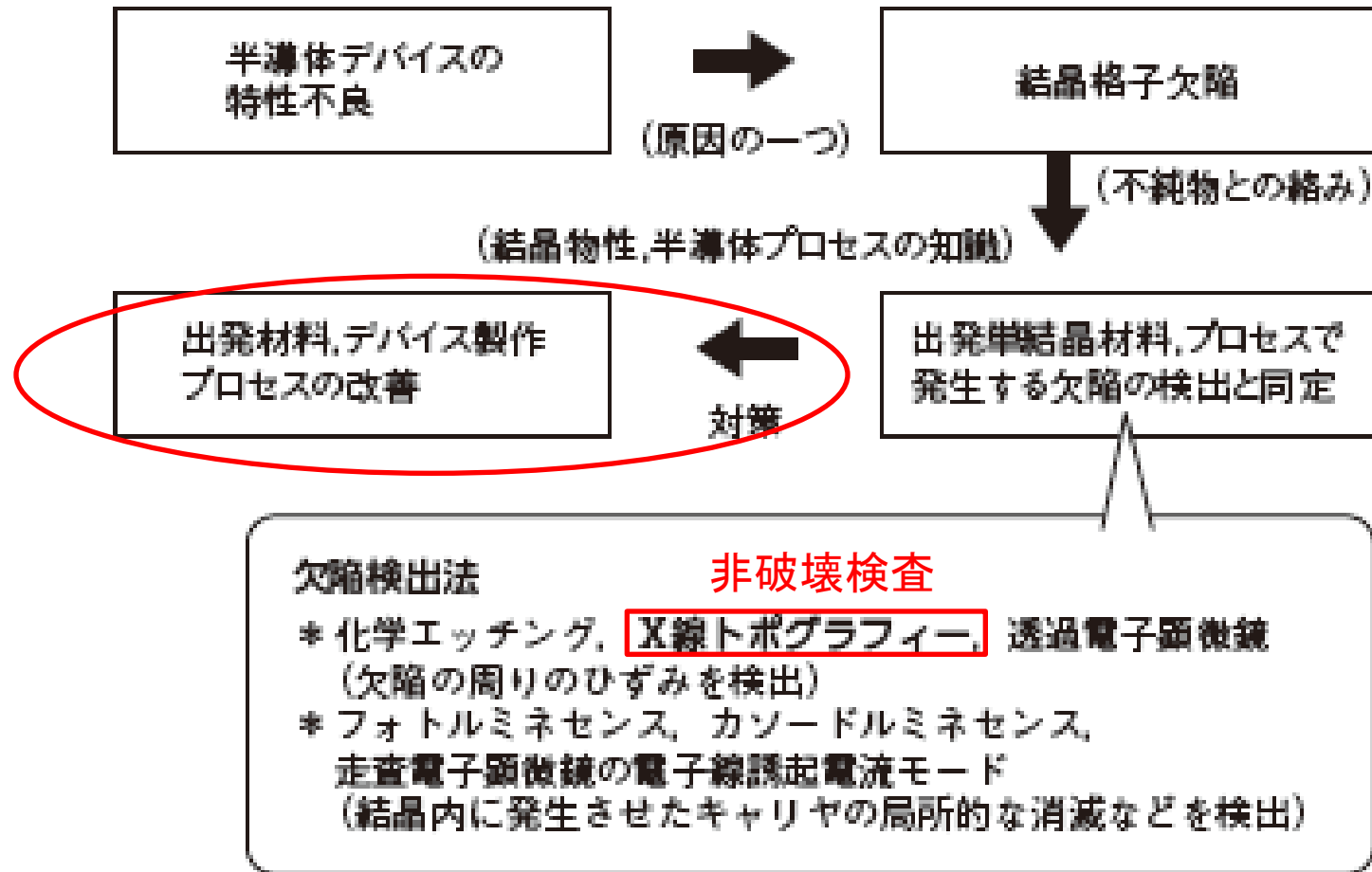
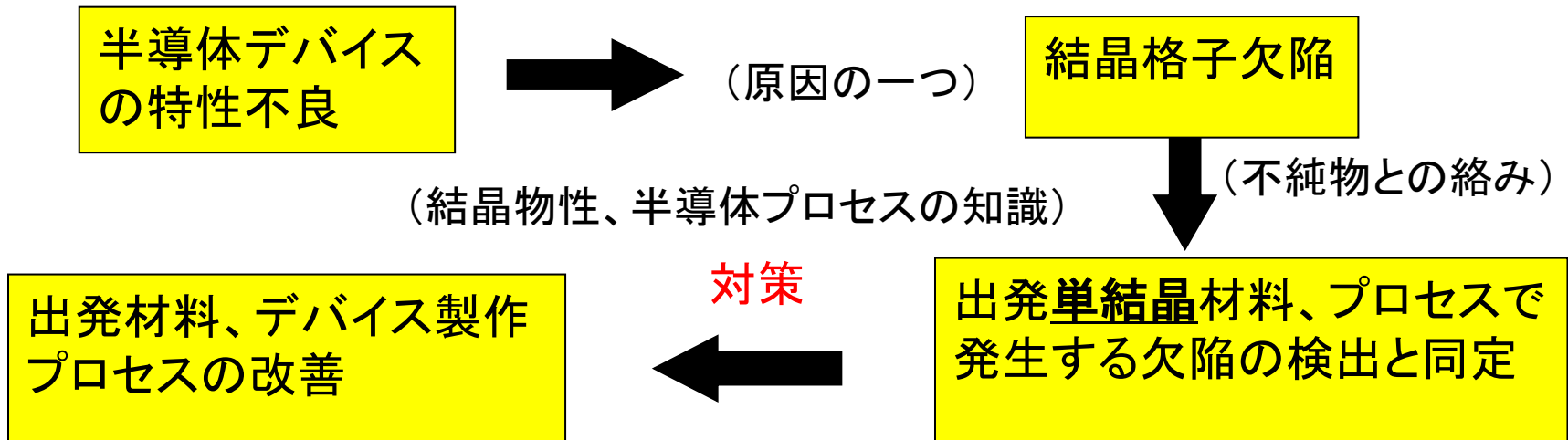


図1 結晶格子欠陥評価の流れとX線トポグラフィーの位置付け

欠陥観察とデバイス特性の対比を目指して



結晶欠陥の電氣的影響のチェック

- * 欠陥分布とデバイス特性不良とのマクロな対比
- * 個々の欠陥と特性不良の一対一対応
エッチパターン、**X線トポグラフ**、PLトポグラフ、エミッション顕微鏡法の利用など

表1 X線トポグラフィーの観察対象

結晶格子欠陥	長距離ひずみ
<ol style="list-style-type: none"> 1. 点欠陥, 複合点欠陥 (観察不可) 2. 線状欠陥—転位 3. 面状欠陥—積層欠陥, 双晶境界, 小傾角境界, サブグレインバウンダリ 4. 体積欠陥—微小不純物析出, ボイド欠陥 (通常は観察不可) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 外的要因によるひずみ 表面加工ダメージ: スクラッチ, インデント (ダメージが極端に弱い場合は観察不可), 結晶加工 (パターン形成など) による変形, 外力による変形 2. 内的要因によるひずみ 成長結晶に凍結された内部ひずみ 結晶に内在する不純物分布 (成長積)

結晶の試料ホルダーへの取り付けには注意を！

観察対象は何か。その観察に影響はないか！

X線トポグラフィー(2)

(実験室系、放射光利用共通)

要素技術(光源、光学系、検出器)

装置構成、欠陥イメージの解釈

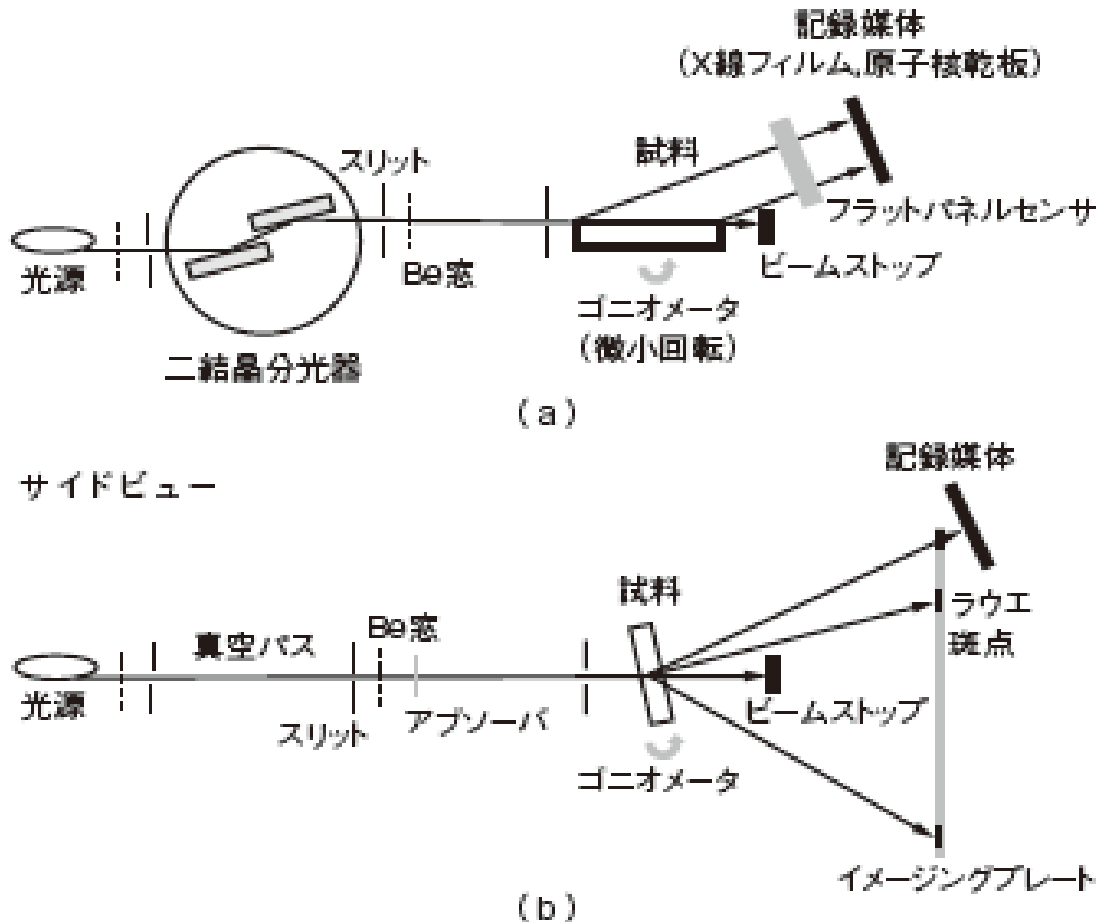
光源 → 高輝度微小焦点 X 線発生装置、放射光偏向電磁石光源
検出器 → 目的による使い分け

表1 X線トポグラフィーに用いられる主な検出器 (注:性能は典型的な例を示す)

種類	空間分解能 (画素サイズ)	画面サイズ (受光面サイズ)	X線露光後の処理	主な用途
微粒子 X 線フィルム	2 μm 程度	100 mm \times 100 mm (カセットサイズ), 四切フィルム を適当なサイズに切断	暗室での (片面) 現像 → 光学顕微鏡画像データ	トポグラフ記録
原子核乾板	1 μm 以下	75 mm \times 75 mm	暗室での現像処理 → 光学顕微鏡画像データ	トポグラフ記録
イメージングプレート	100 μm \times 100 μm 50 μm \times 50 μm (読取り画素サイズ)	200 mm \times 400 mm 127 mm \times 127 mm	読取り装置の使用 → 画像データ	ラウエパターン, X 線強度の 定量測定, トポグラフ記録
フラットパネルセンサ	50 μm \times 50 μm	120 mm \times 120 mm	PC への画像データ転送 → 表示	回折像のサーチと 試料方位調整時のモニタ
X 線用 CCD カメラ	5.4 μm \times 5.4 μm (2.4 μm \times 2.4 μm 高分解能仕様)	18 mm \times 13.5 mm	PC への画像データ転送 → 表示	実時間観察, 三次元観察, トポグラフ記録

装置構成(光学系)例

歪み(マイクロ、マクロ)にはグレードがあるので、検出感度に適した光学系を組むという発想が基本



注意:モノクロの欠陥、汚れも試料のトポグラフに写る→保守管理、光学系の選択

図4 放射光を利用した単色X線トポグラフィー (a) と白色X線トポグラフィー (b) の装置構成。
(a) では反射配置 (ベルグ・パレット法), (b) では透過配置の例を示したが、いずれも両方が可能である

欠陥イメージの定性的解釈

イメージコントラストは、入射X線の性質すなわち角度広がり(平行性)、波長広がりや試料の厚さ、X線吸収係数などにも依存する。

欠陥イメージの起源
局所的なブラッグ角
のずれ ($\delta\theta$)

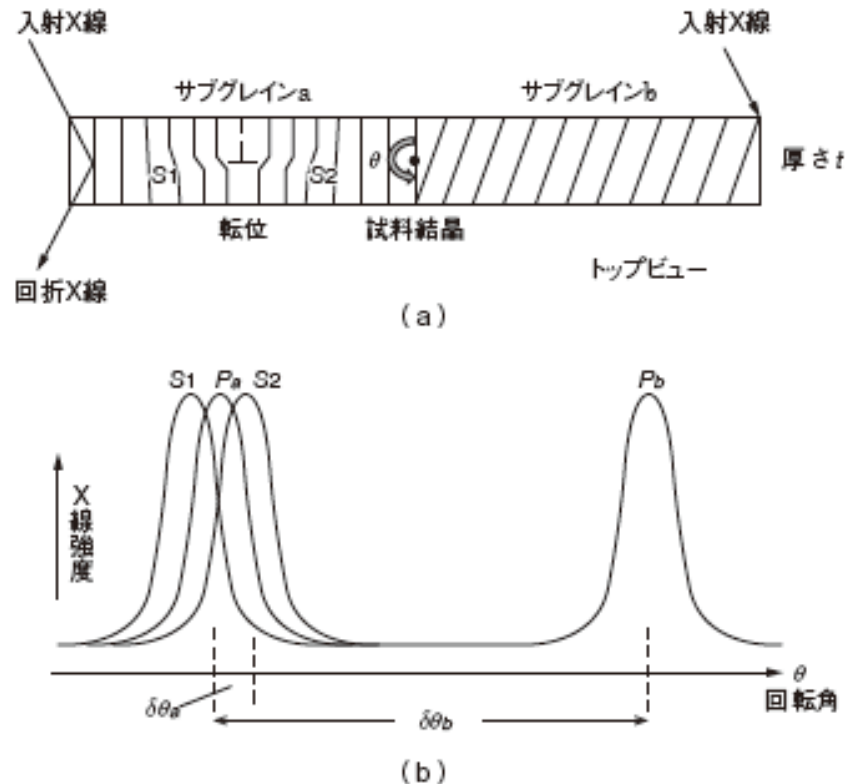


図5 サブグレインをもつ単結晶板のX線トポグラフィ（ラウエケース）における転位およびサブグレインのイメージ形成原理。試料構造 (a) とロックングカーブ (b) の模式図を示す。
試料結晶の格子面の傾きは、理解を助けるため誇張して描かれている

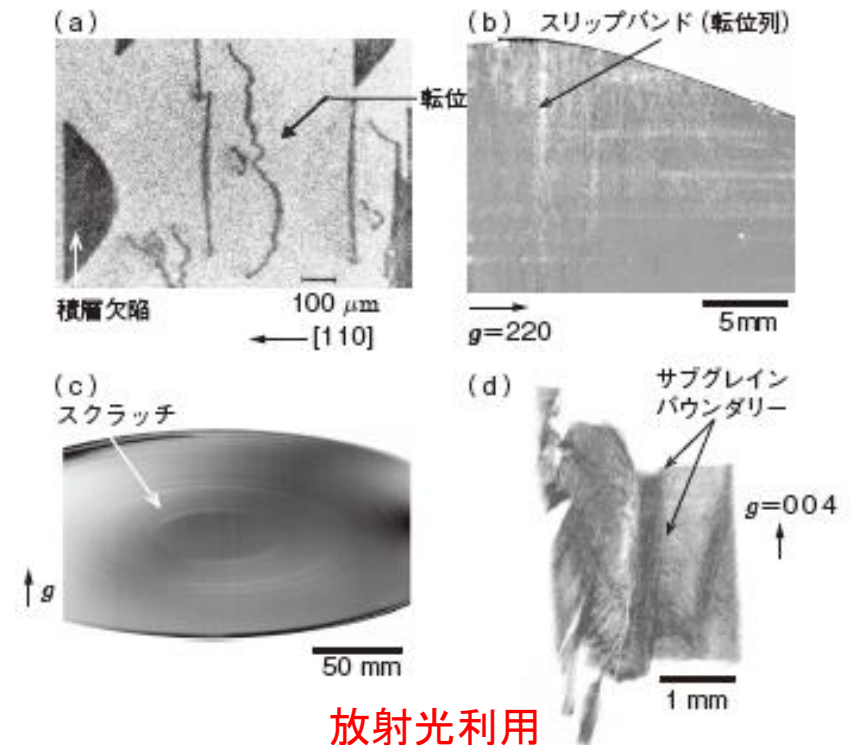
欠陥イメージのコントラストと観察例

表2 X線トポグラフィーで観察される欠陥イメージの主なコントラスト

	使用光学系	欠陥イメージ
実験室系	反射トポグラフィー (ベルグ・パレット法)	方位コントラスト, 消衰コントラスト
	透過トポグラフィー (ラング法)	消衰コントラスト, 異常透過コントラスト, 方位コントラスト
	二結晶トポグラフィー	方位コントラスト (高精度)
放射光利用	白色X線トポグラフィー	消衰コントラスト, 異常透過コントラスト, 方位コントラスト
	単色X線トポグラフィー 平面波X線トポグラフィー	方位コントラスト (高精度) 方位コントラスト (超高精度)

X線トポグラフィを始める人のための基礎知識として書きました。

実験室系



放射光利用

図6 X線トポグラフィーで撮影された欠陥イメージの例。
 (a) 熱酸化したSiウェーハの転位 (実験室系, ラング法)。消衰コントラスト, 220対称反射。
 (b) GaAsウェーハのスリップバンド (実験室系, ラング法)。異常透過コントラスト (菊池氏提供)。
 (c) 鏡面研磨したSi表面のスクラッチ (放射光, 単色X線トポグラフィー)。高精度方位コントラスト, 2212非対称反射。
 (d) Mn-Znフェライトのサブグレイン (放射光, 白色X線トポグラフィー)。バウンダリーは方位コントラスト, 内部の微細構造は消衰コントラスト。
 (注) g は回折ベクトルを表す