

歪みSiウェーハの歪み及び格子面傾斜揺らぎの 放射光X線トポグラフィーによる2次元分布測定

阪大院工 志村考功、井上智之、下川大輔、
細井卓治、渡部平司

明大理工 小椋厚志

X線トポグラフィーの極薄膜結晶への適用
(数十nm厚)

背景

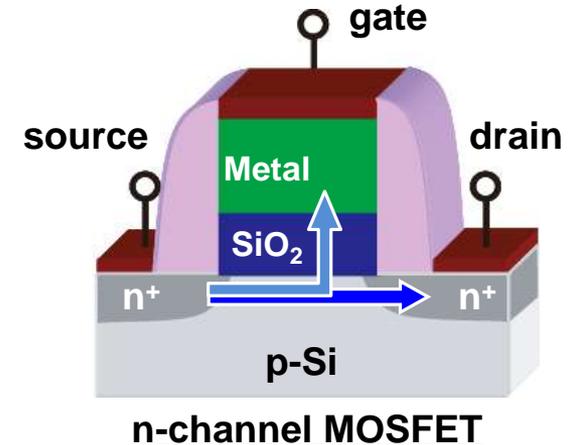
Si-LSIの微細化による性能向上の限界

⇒ 微細化に頼らない性能向上技術の検討

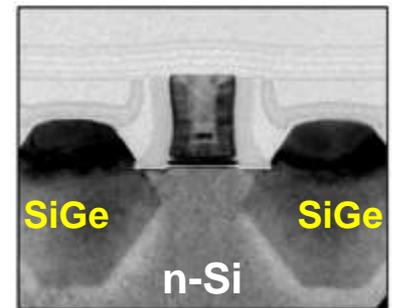
Post-scaling technology, Technology booster

新材料… 高誘電率ゲート絶縁膜、金属電極
歪みSi、Ge、GaAs (チャネル材料)

新構造… silicon on insulator (SOI)構造
Fin構造、ナノワイヤ



n-channel MOSFET
電界効果トランジスタ



p-MOSFET

チャネルへの新材料の導入法

ローカル…… 局所的に導入

グローバル… ウェーハレベルで導入

歪みSiウェーハ

Ge on Insulator (GOI)ウェーハ

sc-sSOIウェーハ

sSOI(strained Si on Insulator)ウェーハ

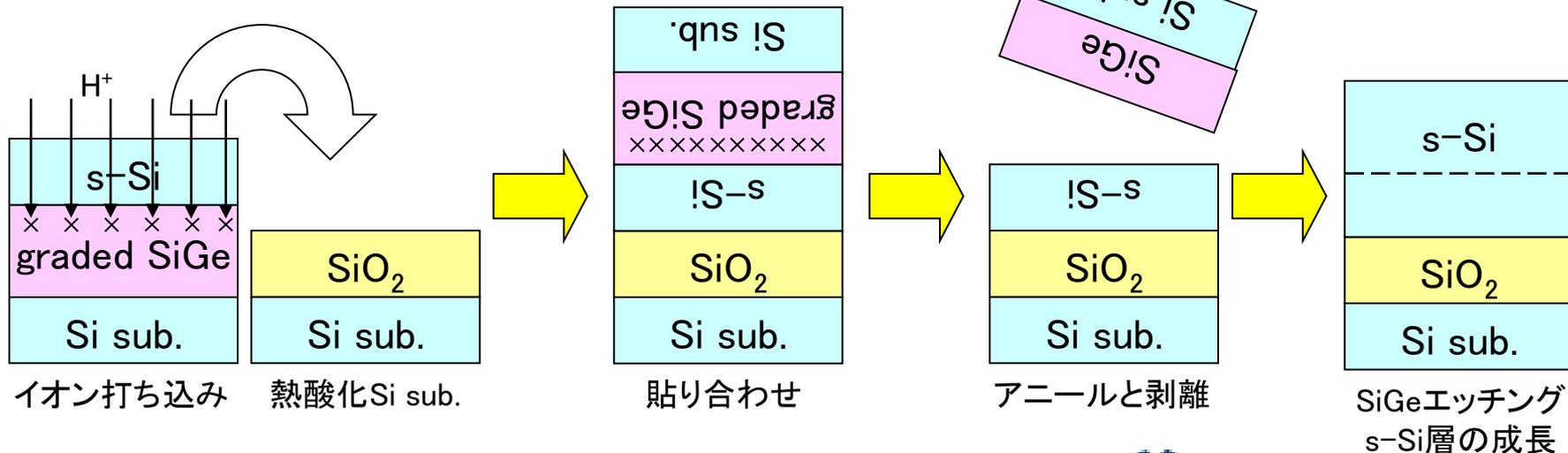
- ・Geが含まれていないため、専用のプロセスラインが不必要.
- ・SOI構造の利点と歪みSiの利点をそのまま活用.
- ・歪みSi層が十数nmとであり、完全空乏型トランジスタに適応.

sc-sSOI(super critical thickness sSOI)ウェーハ

- ・臨界膜厚を超える歪みSi層(~70nm).
- ・部分空乏型トランジスタに適応.
- ・Fin構造などの新構造トランジスタへの応用が期待.

測定試料

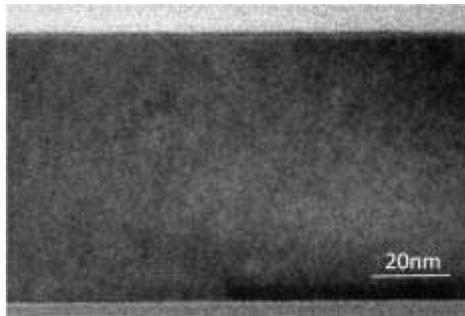
12-inch
sc-sSOI
s-Si : 72 nm
BOX : 144 nm
Si (001) sub.



市販12インチSC-sSOIウェーハ

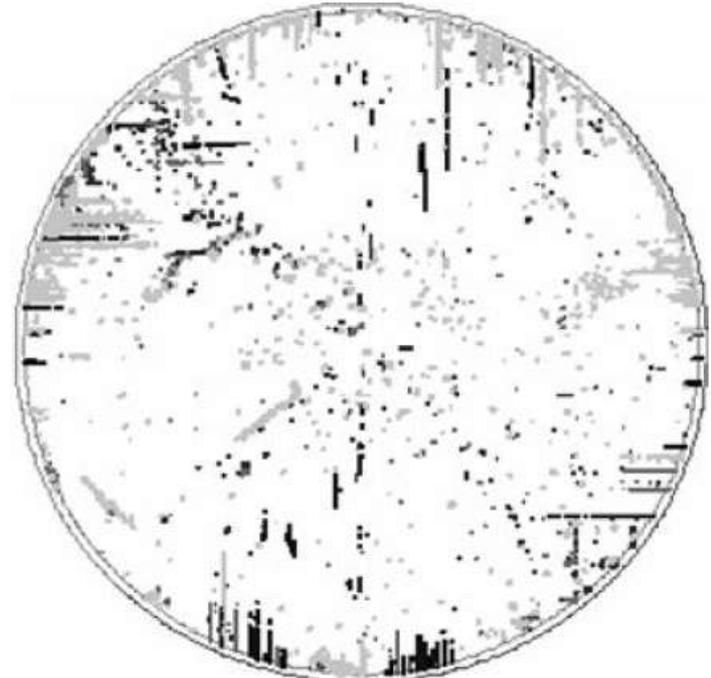
Sample in this study

diameter : 300 mm
sSi : 72 nm
BOX : 144 nm
sub : Si (001)
strain : **0.75% in the lateral direction
(tensile)**



Cross-section TEM

Inspection system equipped with UV laser (TOPCON WM-7000)

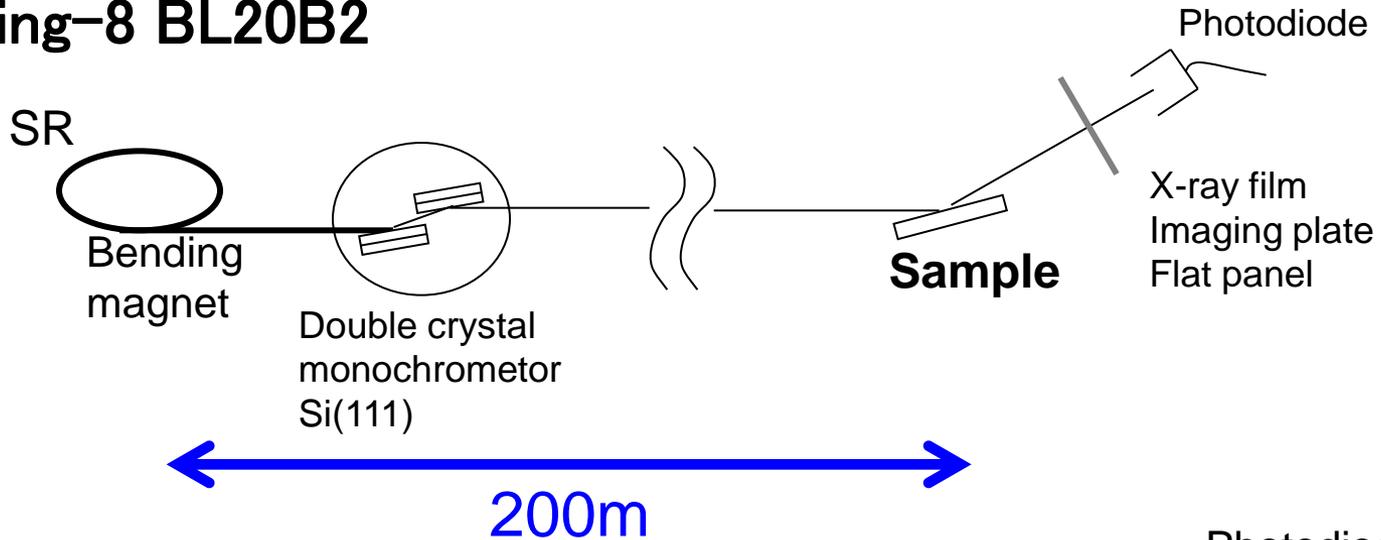


A. Ogura et al., Solid-State Elect. (2008)

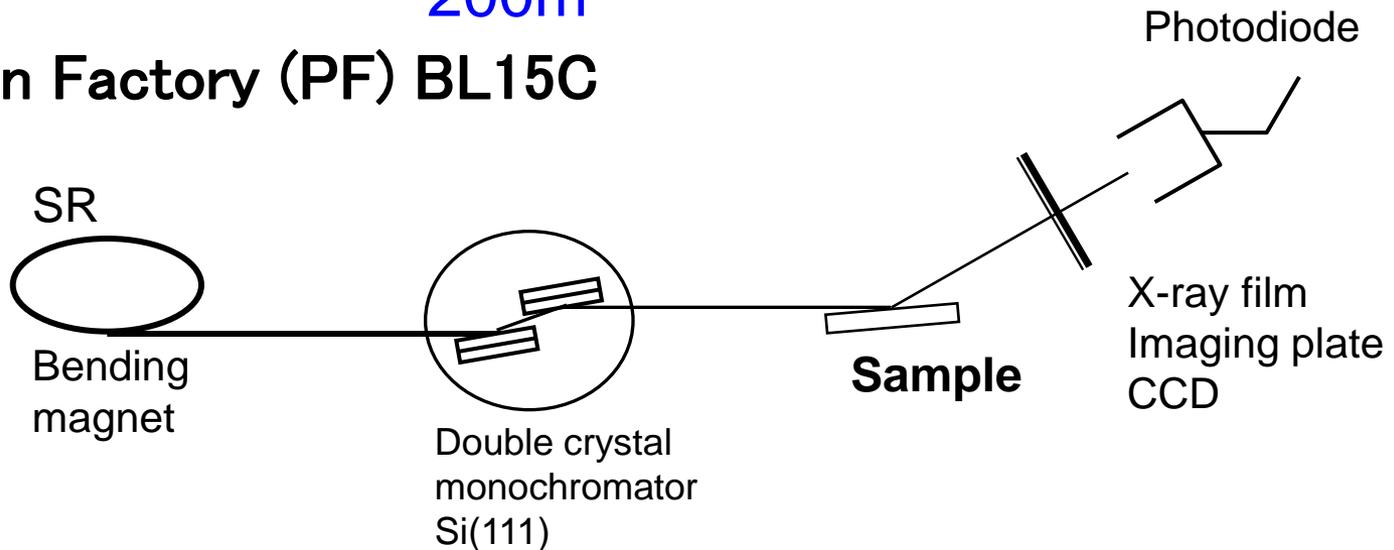
- ➔ Low defect density
- ➔ Pit-type and line defects were observed on the wafer.

測定系

SPring-8 BL20B2

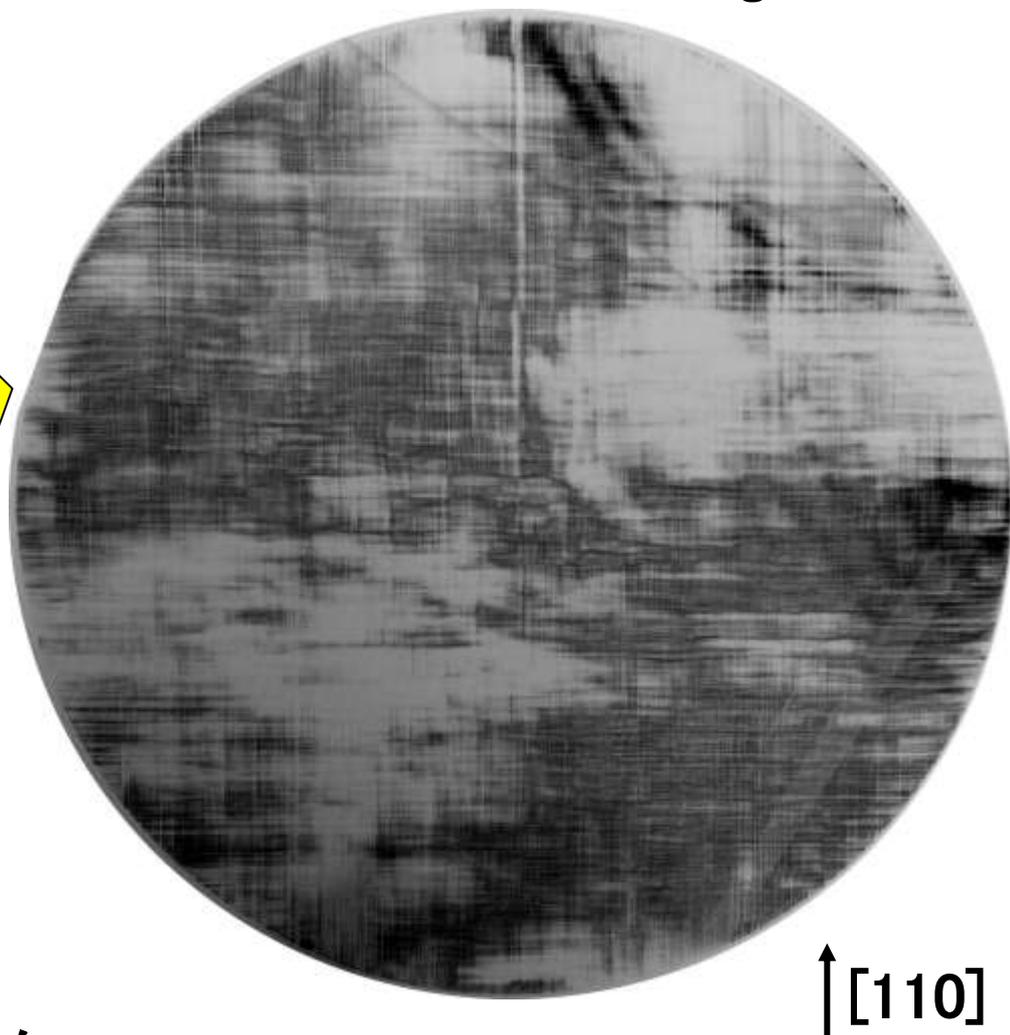
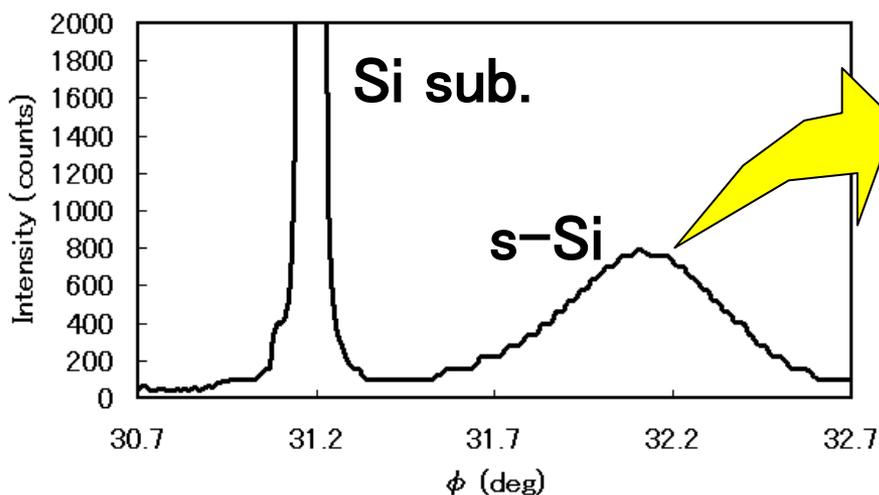
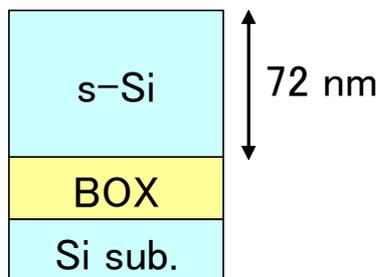


Photon Factory (PF) BL15C



12-inch sc-sSOIのs-Si層のトポグラフ

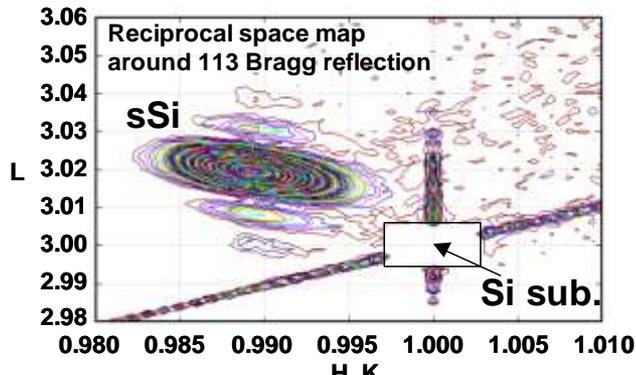
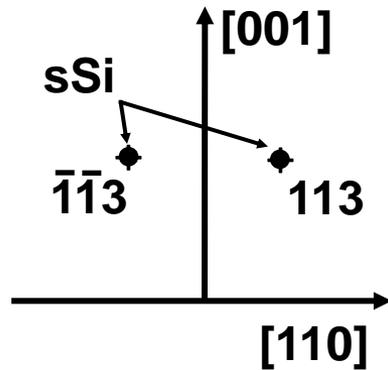
SPring-8 BL20B2



- ウェーハ全面にわたり,
結晶不均一性が存在.
- [110]方向に,
クロスハッチパターンが存在.

歪みと格子面傾斜の解析法

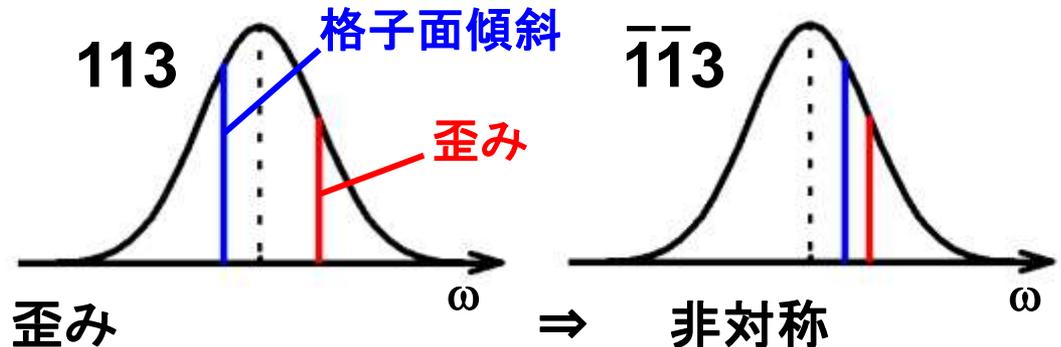
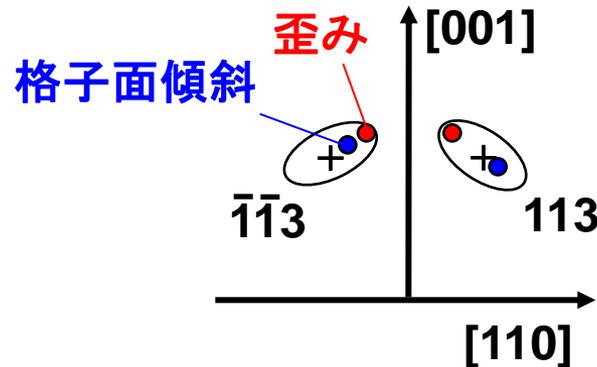
理想的に均一な膜



sSiのピーク中心位置から
平均歪みを計算

➡ **0.75%**

歪みや格子面傾斜の不均一



格子面傾斜ゆらぎ

$$\Rightarrow \frac{(\omega_{113} + \omega_{\bar{1}\bar{1}3})}{2}$$

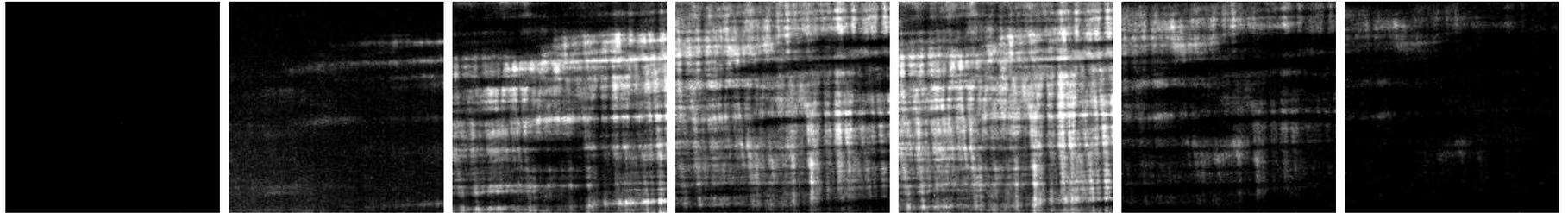
対称

$$\Rightarrow \frac{(\omega_{113} - \omega_{\bar{1}\bar{1}3})}{2}$$

➡ **歪みと格子面傾斜のゆらぎを算出**

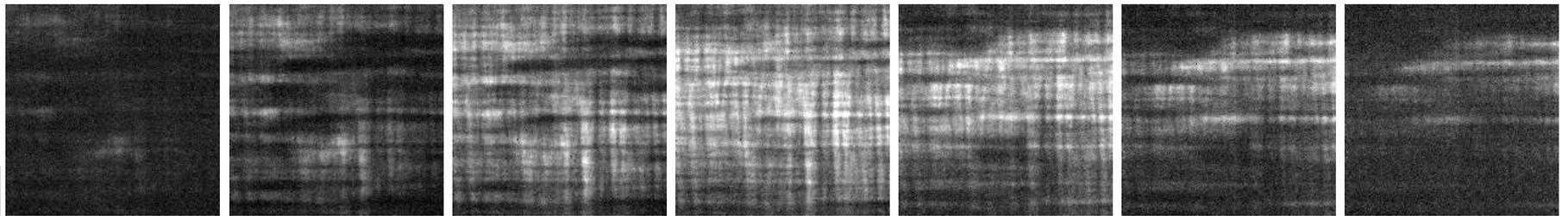
s-Si 層の一連のトポグラフィ

113



SPring-8 BL20B2

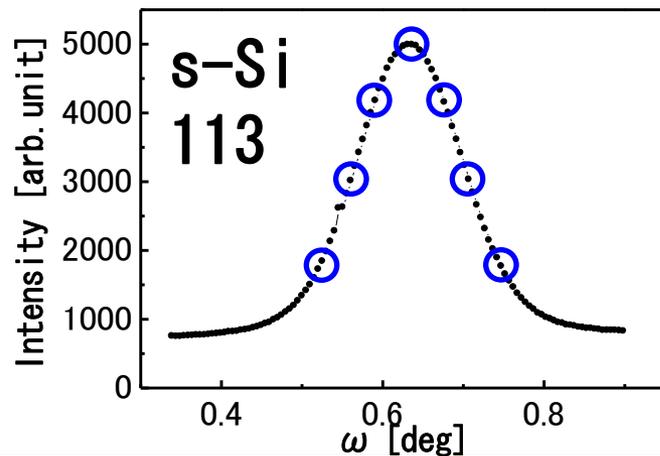
$\bar{1}\bar{1}3$



0.05 deg/step

ω

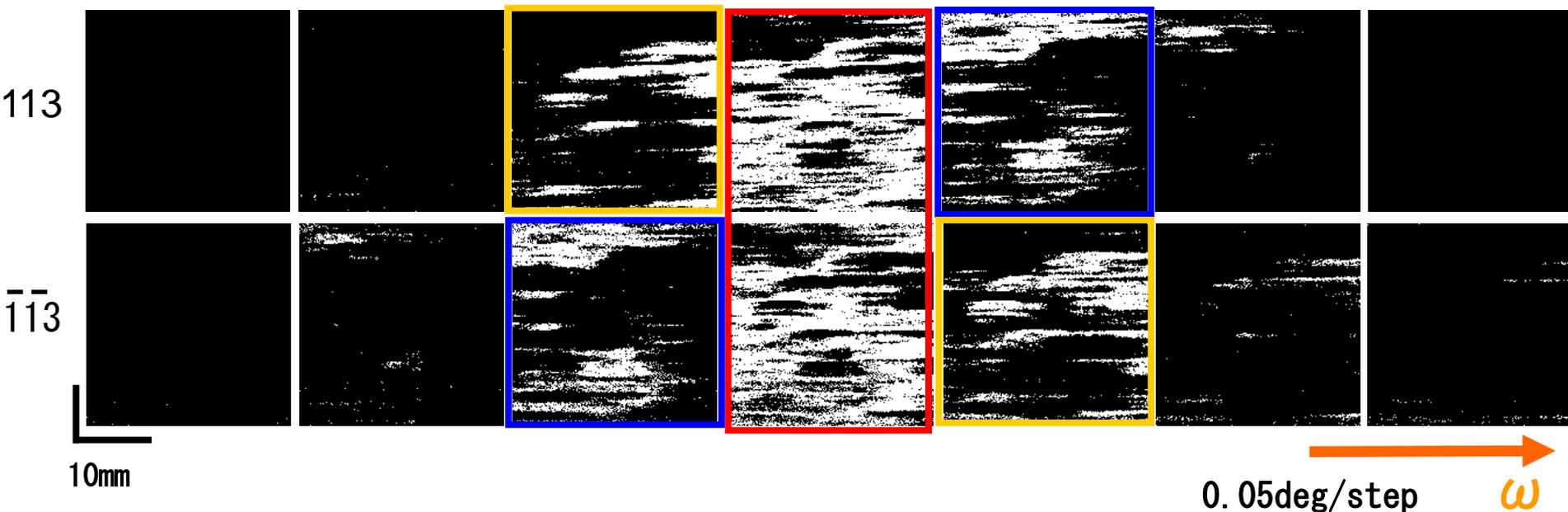
10mm



- 一連のトポグラフィ像より、画素毎のロッキングカーブを取得
- 場所により、ピーク位置の変化

測定位置依存

SPring-8 BL20B2

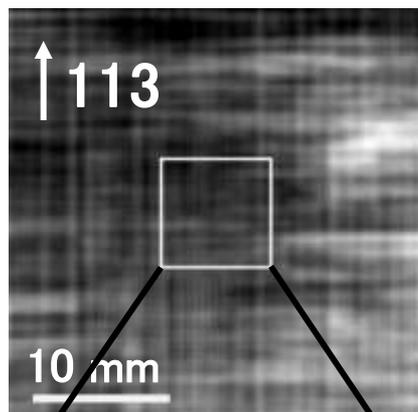


- ・ほぼ全ての領域でピーク位置が中心に対して対称
⇒クロスハッチパターンの主な原因は**格子面傾斜ゆらぎ**
- ・格子面傾斜ゆらぎは、 **$\sim 0.05^\circ$**
- ・歪みのゆらぎは **0.2%** 以下

歪みと格子面傾斜の解析

PF BL15C

sc-sSOI wafer



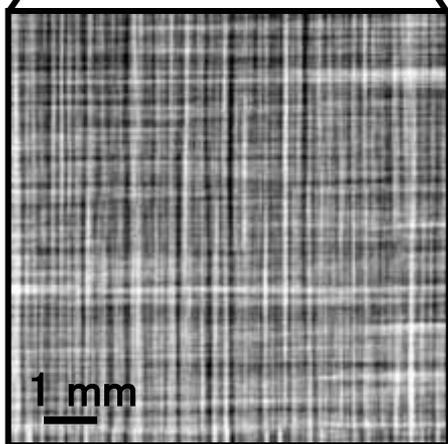
入射角を変えながら測定した一連のX線トポグラフィを解析

- クロスハッチパターンの主な要因は
格子面傾斜ゆらぎ: $\pm 0.05^\circ$
歪みのゆらぎは0.2%以下

位置分解能を向上

$$50 \times 50 \mu\text{m}^2 \Rightarrow 6.45 \times 6.45 \mu\text{m}^2$$

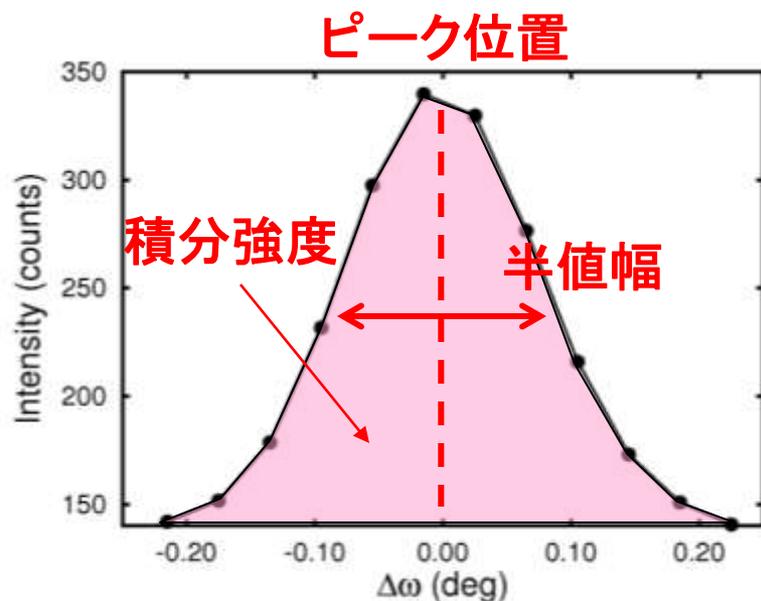
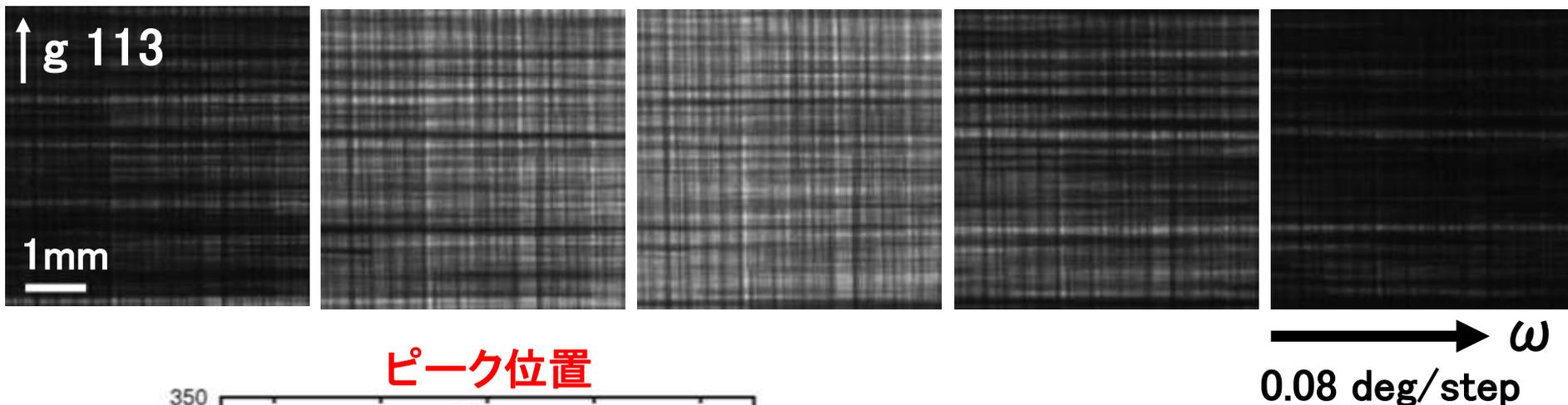
- 数100 μm 間隔の微細なクロスハッチパターン
格子面傾斜ゆらぎ
格子歪み



歪みSi 層の一連のトポグラフ

PF BL15C

- $5 \times 5 \text{mm}^2$ (755×755 pixel)の領域について0.04 deg/stepで取得



- 各画素ごとに
- ピーク中心位置
- 半値幅
- 積分強度
- を算出

ピーク位置、半値幅、積分強度分布

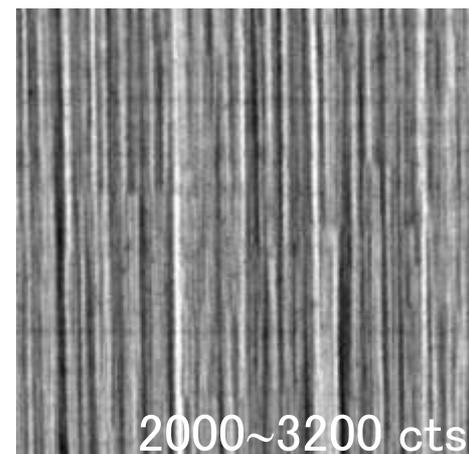
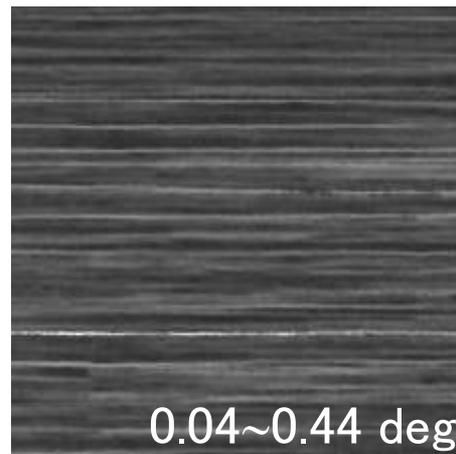
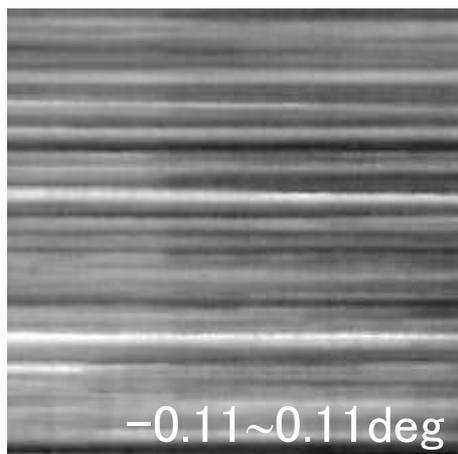
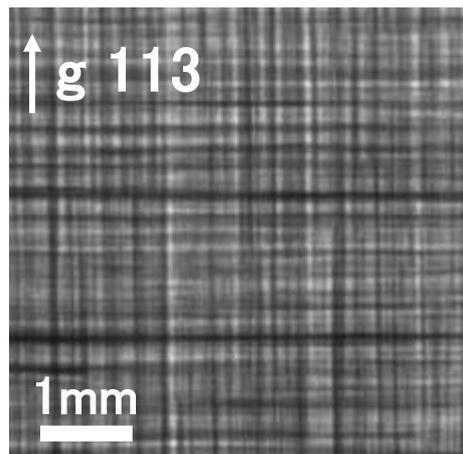
PF BL15C

X線トポグラフ

ピーク位置

半値幅

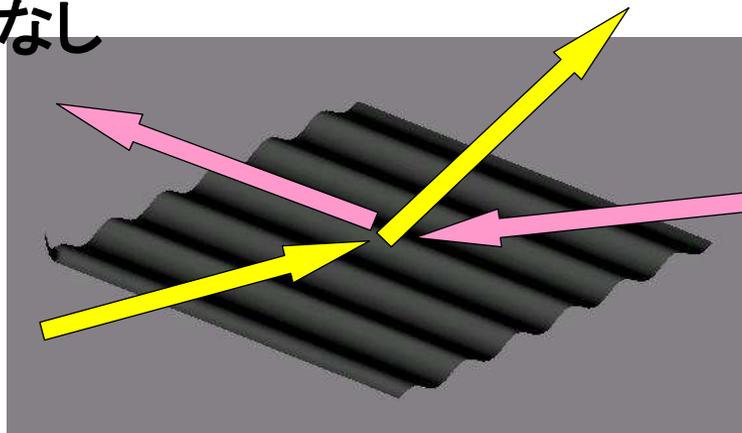
積分強度



ピーク位置

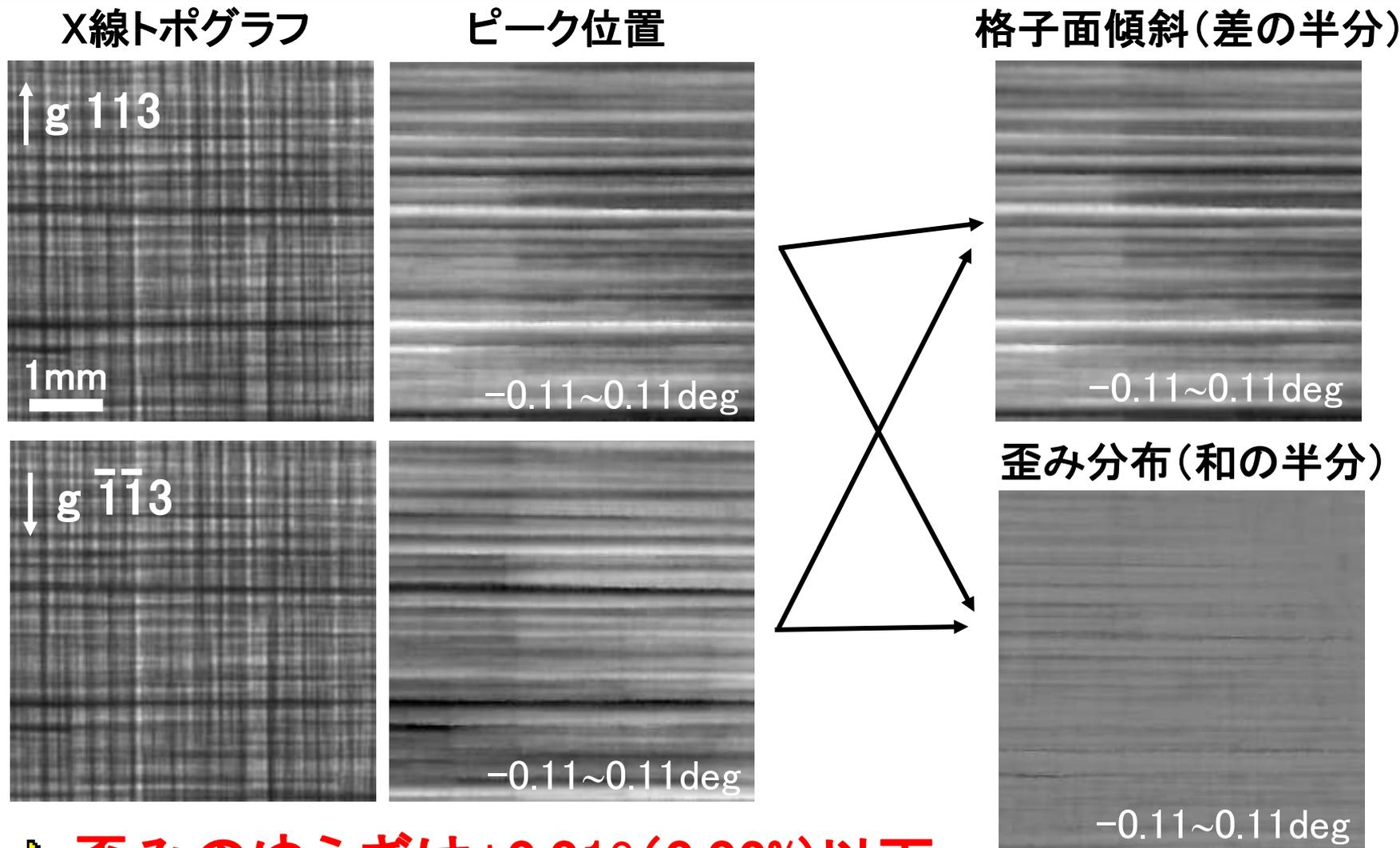
⇒ gベクトルに垂直なコントラストのみ
ピーク位置の変化

変化なし



格子面傾斜と歪みの2次元分布

PF BL15C



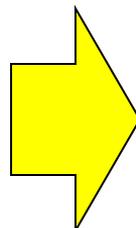
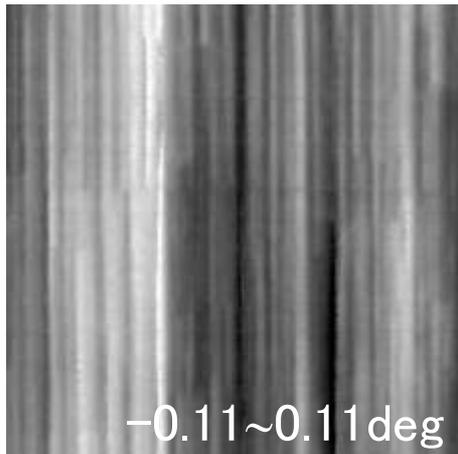
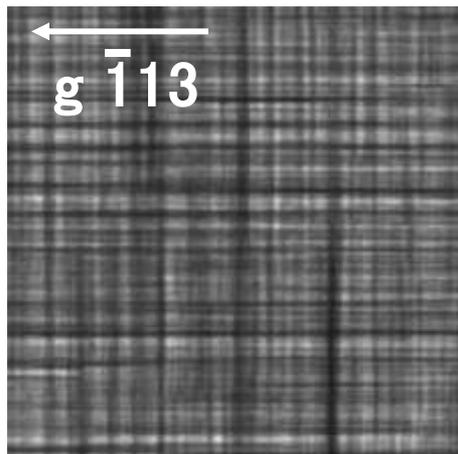
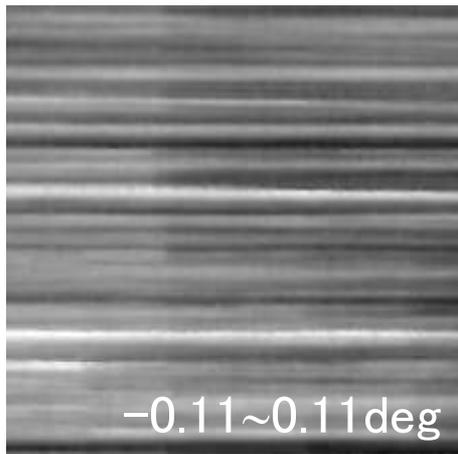
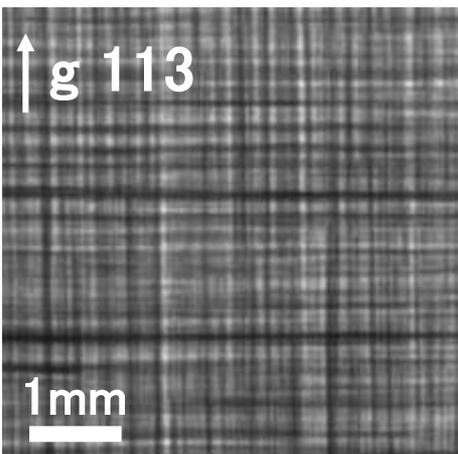
➡ 歪みのゆらぎは $\pm 0.01^\circ$ (0.02%)以下

格子面ゆらぎの可視化

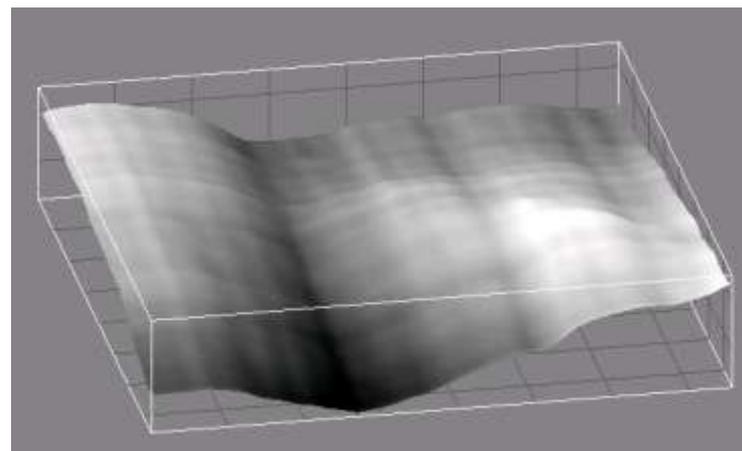
PF BL15C

X線トポグラフ

格子面傾斜



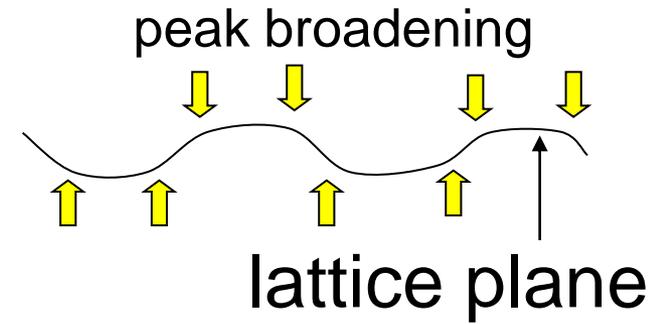
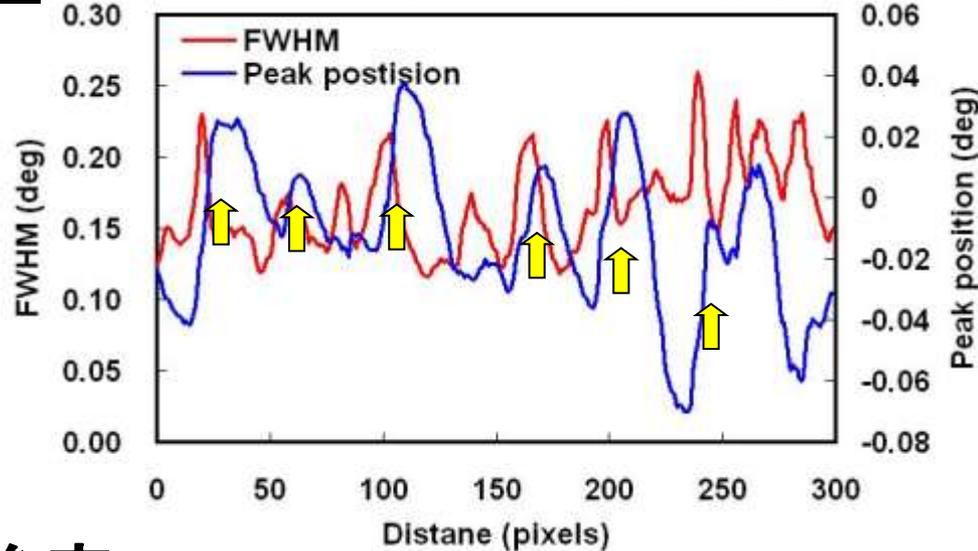
数値積分



格子面ゆらぎ

ピーク位置、半値幅、積分強度分布

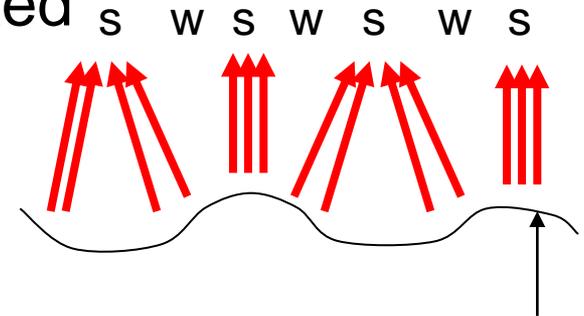
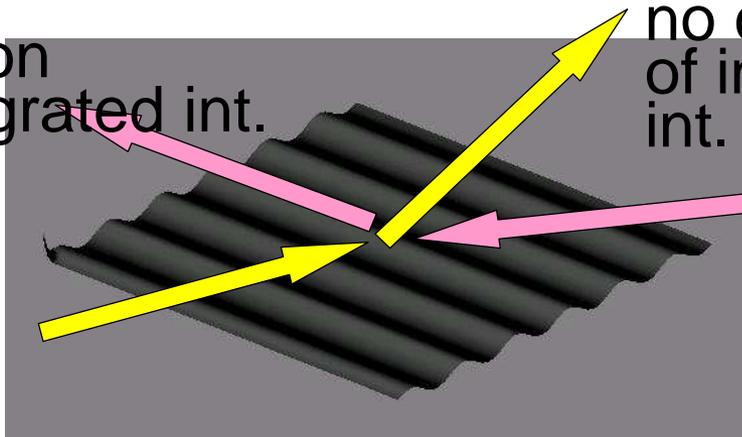
半値幅 ⇒ ピーク位置の分布と相関



積分強度 ⇒ gベクトルに平行なコントラストのみ

variation of integrated int.

no change of integrated int.



まとめ

- X線の入射角とgベクトルを変えて取得した一連のX線トポグラフを解析することによりsc-sSOIウェーハの歪みSi層の結晶性評価を行った。
- ➡ クロスハッチパターンの主要因は
格子面傾斜 ($\pm 0.1 \text{ deg}$)。
- ➡ 歪みのゆらぎは $\pm 0.01^\circ$ (0.02%) 以下。
- ➡ 格子面傾斜より格子面ゆらぎを可視化。