

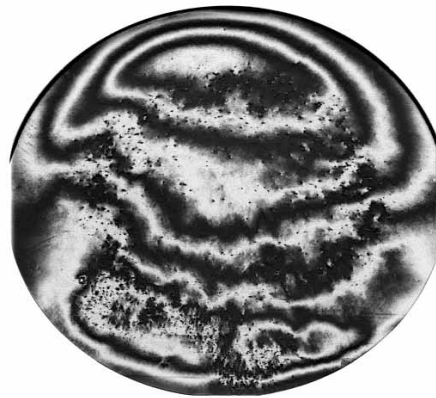
ビームライン BL15 における単色 X 線トポグラフィ

隅谷 和嗣、石地耕太郎、岡島敏浩、川戸清爾、平井康晴
九州シンクロトロン光研究センター

近年の携帯電話、PC 等の電子機器の小型化、高機能化に伴い、これを構成する電子デバイスにもさらなる高性能化が求められている。こうしたデバイスの性能向上のためには、基板結晶の品質を高めることが必要不可欠である。このような背景から、我々は SAGA-LS の硬 X 線ビームライン BL15 において X 線トポグラフィ測定の整備と性能評価を行った。X 線トポグラフィは結晶の反りや歪、結晶内部の欠陥などを検査できる優れた手法である。

図は Berg-Barrett 法による 4H-SiC(0001) ウエハのトポグラフ像である。X 線のエネルギーは 11.94keV とし、反射面には 11-28 反射を用いて撮影を行った。撮影では試料を 0.01° 刻みで回転させ、多重露光を行った。このとき X 線のウエハへの入射角は 1.2° 、出射角は 64.9° であった。像にはウエハの反りによる縞模様が現れている。また、点状の黒い像が見られるが、これはマイクロパイプ欠陥によるものである。

このほか、Berg-Barrett 法による Si(001) ウエハ表面の観察、ラウエ反射条件を用いたトラバース・トポグラフィによる Si ウエハの観察も行った。これらにより、BL15 において X 線トポグラフィによる結晶性の評価が有力であることを確認した。本発表ではこれらの結果をまとめ、SAGA-LS BL15 におけるトポグラフィの性能について報告する。



Si(0001) ウエハによるトポグラフ像。
反射面は 11-28 反射。

ビームラインBL15における単色X線トポグラフィ

隅谷和嗣、石地耕太郎、岡島敏浩、川戸清爾、平井康晴
九州シンクロtron光研究センター

本研究の背景と目的

近年の携帯電話、PC等の電子機器の小型化、高機能化に伴い、これを構成する電子デバイスにもさらなる高性能化が求められている。こうしたデバイスの性能向上のためには、基板結晶の品質を高めることが必要不可欠である。一方、九州シンクロtron光研究センター(SAGA-LS)は九州唯一の放射光施設として、産業利用を中心に運用が行われている。九州が「シリコンアイランド九州」と呼ばれるほど半導体産業の集積した地域であることから、SAGA-LSにおける、放射光を用いた基板結晶の評価法に対する需要は高い。

X線トポグラフィは結晶の反りや歪、結晶内部の欠陥などを検査できる優れた手法である。特に非破壊であることや実空間像が直接得られること、結晶内部の情報が得られるといったメリットを持っている。このような背景から、我々はSAGA-LSの硬X線ビームラインBL15においてX線トポグラフィ測定の整備と性能評価を行った。

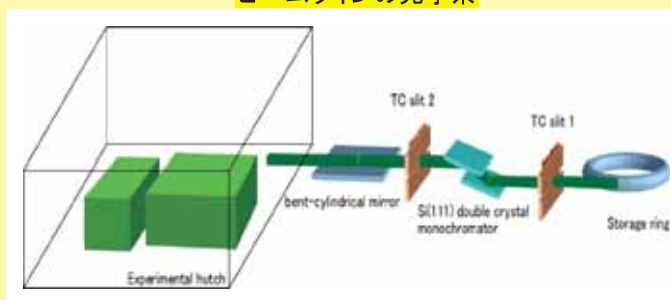
SAGA-LS ビームラインBL15について



硬X線ビームライン BL15
構造科学 イメージング 分析ビームライン

光源: Bending Magnet
分光器: Si(111)二結晶分光器
集光鏡: 擬似トロイダルミラー
エネルギー: 2.1~25keV
光源からの距離: 21m@Experimental Hutch

ビームラインの光学系

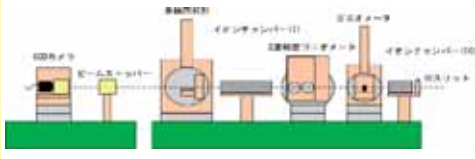


主な実験手法

- 蛍光X線分析
- X線吸収分光(XAFS)
- X線イメージング
- ✓ トポグラフ
- ✓ 位相コントラストイメージング
- X線回折(粉末、多軸回折計)
- X線反射率法
- 小角散乱

単色X線トポグラフィ測定におけるBL15の性能

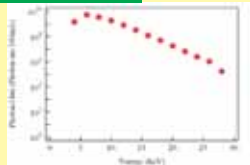
ビームラインに配置されている実験装置の概要



単色X線トポグラフィに用いる装置

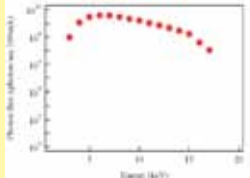
- ▶ 精密2連ゴニオメータ
最小角度送り 0.01 arcsec
- ▶ イオンチャンバー
- ▶ NaIシンチレーションカウンター
- ▶ X線フィルム
Agfa D2
- ▶ イメージングプレート(IP)

フォトンフラックス



集光ミラーなし
入射スリットサイズ: 5 mm × 5 mm

cf.) 集光ミラーによる集光条件化でのフォトンフラックス



入射ビームの均一性

8.5 keV



17 keV



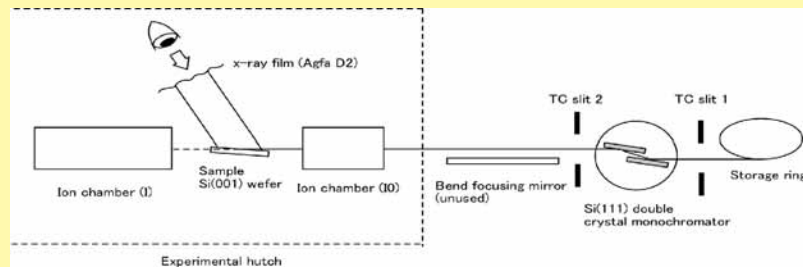
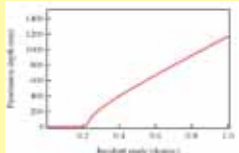
BL15における単色X線トポグラフィ測定では、広いビーム断面積を確保するため、集光ミラーを光軸から退避させて実験を行う。これによりおよそ縦 5 mm x 横 50 mm 程度のサイズのビームを利用することが可能である。また17keVの高エネルギーでも縦 2 mm x 横 50 mmのビームが利用可能であるが、フラックスは2桁以上低下する。この広い断面積のビームはトポグラフィのほか、位相コントラストイメージング等のイメージング測定にも利用される。

反射型X線トポグラフィ (Berg-Barrett法)

Berg-Barrett法とは

Berg-Barrett法とは、X線を結晶表面すれすれ(数度以下)に入射して撮影を行うトポグラフィ法である。これによりX線の進入深さが抑えられ、表面の歪、欠陥等に敏感な測定が可能である。

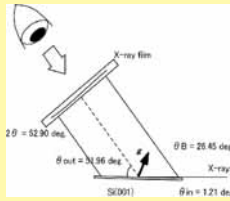
Siに対する8keV X線の進入深さ



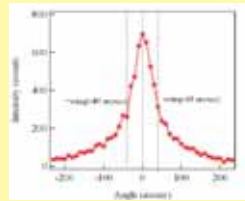
測定例1: Si(111)ウエハ

測定試料、条件

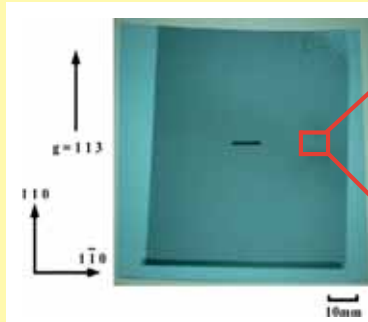
Sample: Si(001)ウエハ
 反射面: 113
 X線エネルギー: 8.5keV
 入射角: 1.21°
 散乱角: 52.90°



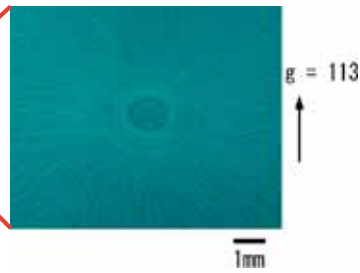
ロックンクカーブ



撮影されたトポグラフィ像



光学顕微鏡による拡大像



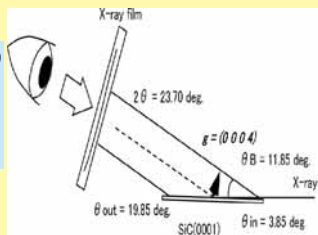
(図中央の濃い部分は
 ロックンクカーブ測定位置)

表面の微細な研磨痕が観測された

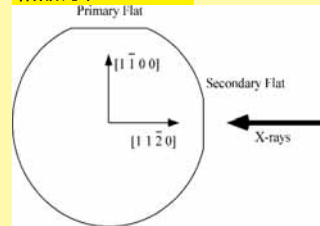
測定例2: SiC(0001)ウエハ

測定試料、条件

Sample: 4H-SiC(0001)
 反射面: 0004
 エネルギー: 12keV
 入射角: 3.85°
 散乱角: 23.70°

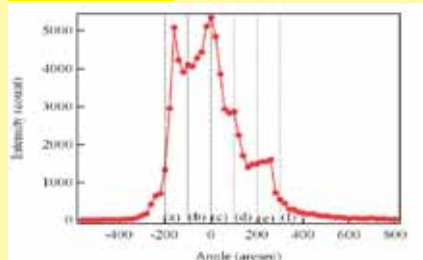


結晶方位について

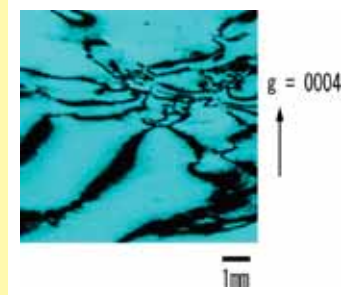


[1120]方向に対して8° のオフ角が
 ついている

ロックンクカーブ



ロックンクカーブの(a)~(f)各点での多重露光像

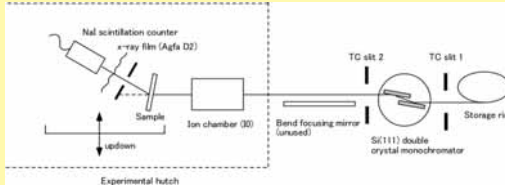


ロックンクカーブから、結晶にはマクロな反りがあることが
 分かる。これを反映して、多重露光トポグラフィ像には
 帯状の像が見られる。

透過型X線トポグラフィ

透過型X線トポグラフィとは

透過配置(ラウエケース)での反射を用いてトポグラフィ撮影を行うことにより、結晶内部の欠陥、歪について調べることが可能である。BL15のビームは縦方向の断面積が小さいため、広い領域を観察するためには試料および検出器を平行移動して連続撮影を行う(トラバース・トポグラフィ)が必要である。



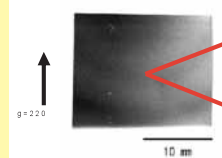
測定例: Si(001)ウエハ

Sample: アニール済みMCZ-Siウエハ(001)
 反射面: 220
 エネルギー: 14keV
 入射角: 76.65° (対称反射)
 散乱角: 26.67°

試料についての参考文献
 S. Kawado, et. Al., Appl. Phys. Lett. 58 (1991) 2246.

トラバース・トポグラフィ像

試料および検出器(IPもしくはX線フィルム)を0.2mm/sの速度で移動しながら連続撮影を行った。



光学顕微鏡による拡大像



酸素析出物を伴う微細な結晶欠陥が観測された

まとめ

- 九州シンクロトロン光研究センター(SAGA-LS)の硬X線ビームラインBL15において、単色X線トポグラフィのための測定システムを構築し、その性能評価を行った。
- BL15では、8.5keVにおいて縦 5 mm x 横 50 mmの断面積のビームが利用可能である。
- 反射型、透過型X線トポグラフィ実験を行い、結晶の歪、欠陥等についての情報が得られることを確認した。