

放射光 X 線トポグラフィによる SiC ウェーハの結晶完全性評価

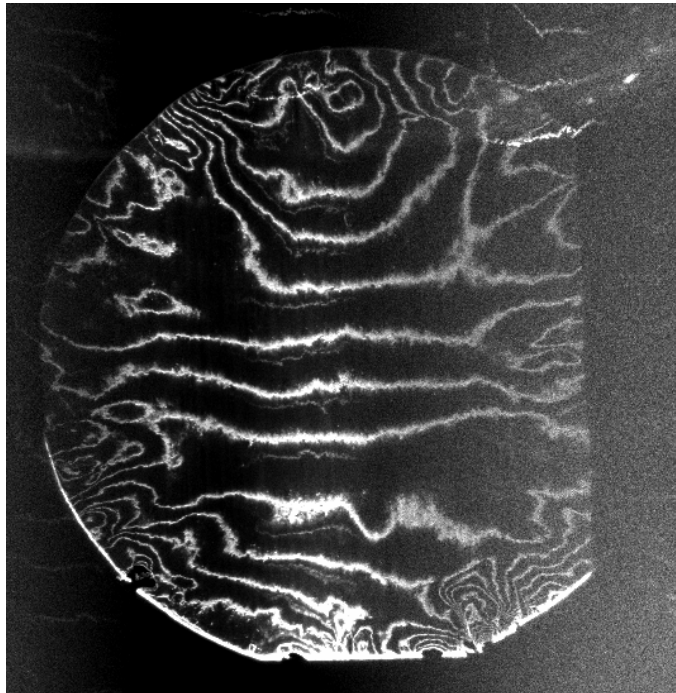
上村重明、工藤喜弘¹、上原 康²、三上 朗³、米山明男⁴、田沼良平⁵、
大森 廣文⁶、広瀬美治⁷、出口博史⁸、野口真一⁹、鎌田功穂⁹

SES、ソニー(株)¹、三菱電機(株)²、三洋電機(株)³、(株)日立製作所⁴、(株)富士電機総合研究所⁵、
(株)東芝⁶、(株)豊田中央研究所⁷、関西電力(株)⁸、(財)電力中央研究所⁹

炭化珪素(SiC)単結晶は電子デバイス分野で従来用いられてきた Si より高周波・高温・大電力時の特性が優れており産業利用の観点から注目を浴びている。単結晶成長法の発展に伴い SiC ウェーハの大面积化が可能となりつつあるが、依然として存在する結晶欠陥は電気特性劣化の要因の一つとなっている。SiC 単結晶におけるマイクロパイプ、モザイク構造による結晶欠陥や完全性の評価には走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、光学顕微鏡、X 線トポグラフィなどが用いられている。このうち放射光利用 X 線トポグラフィは、非破壊評価という特徴に加え、波長を変えることにより、所望の反射面を選択でき、ブラッグ角を変更することで試料の歪みに対する感度や回折像の広さを調整することができるという利点を有する。今回我々は放射光 X 線トポグラフィによる SiC ウェーハの完全性評価を行った。

試料は、50 mm 径、片面研磨の 6H-SiC 及び 4H-SiC ウェーハとした。実験は SPring-8 産業用専用ビームライン¹⁾ BL16B2 にて行われた。Si311 反射による二結晶モノクロメータにて、単色化した X 線を試料ウェーハに入射させ、その(1 0 -1 10) 及び(1 0 -1 6)反射像をイメージングプレート(50 μm 読み)で撮影した。

Fig.1 に 6H-SiC の(1 0 -1 10)反射のトポグラフを示す。これはブラッグ角の周りで 90 arcsec ステップで試料



を微小回転させながら、16 ステップで多重露光して得られたものである。ウェーハ全体のマクロな反りを反映して、水平方向の細い帯状の像が中央付近に見られる。それとは別に、ウェーハ周縁部に歪んだ同心円状の像分布も認められる。得られたトポグラフから直接結晶欠陥は観察されないが、結晶欠陥分布とトポグラフとの対応を取ることで、結晶欠陥起因の格子歪みを反映した像を特定できると考えられる。また、結晶欠陥の程度の異なる 4H-SiC の(1 0 -1 6) 反射の多重露光トポグラフからは Fig. 1 とはそれぞれ異なる像が得られた。

1) 産業用専用ビームライン建設利用共同体(神戸製鋼、三洋電機、住友電気、ソニー、関西電力、電力中央研究所、東芝、豊田中央研究所、日本電気、日立製作所、富士通研究所、富士電機総合研究所、松下電器、三菱電機)により共同運用

Fig.1 6H-SiC (1 0 -1 10) 反射多重露光 X 線トポグラフ

放射光X線トポグラフィによる SiCウェーハの結晶完全性評価

上村重明、工藤喜弘¹、上原 康²、三上 朗³、米山明男⁴、田沼良平⁵、
大森 廣文⁶、広瀬美治⁷、出口博史⁸、野口真一⁹、鎌田功穂⁹

SES、ソニー(株)¹、三菱電機(株)²、三洋電機(株)³、(株)日立製作所⁴
(株)富士電機総合研究所⁵、(株)東芝⁶、(株)豊田中央研究所⁷、
関西電力(株)⁸、(財)電力中央研究所⁹

背景

- 炭化珪素 (SiC) 単結晶：
電子デバイス分野にてSより高周波・高温・大電力時の特性が良いため多数の企業が研究
- SiCウエーハの大面積化：
単結晶成長法の発展(改良 Lely法など)

結晶欠陥や不完全性(マイクロパイプ、モザイク構造、格子歪みなど)の一層の低減が求められている。



微視的評価 : 走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡

巨視的評価 : X線トポグラフィ

目的

- サンビーム BL16B2にてSiウェーハの結晶欠陥・完全性評価に対する放射光 X線トポグラフィの有効性の確認

放射光 X線トポグラフィの特徴

- 結晶の完全性、格子歪みを非破壊で観察
- 波長可変による反射面選択
- ブラッグ角変更により試料の歪みに対する感度または回折像の広さを調整
- 高エネルギー X線を用いたバルク状試料の透過回折法も可能

サンビーム(BL16XU / BL16B2)とは？

大型放射光施設 SPring-8の産業利用を目的として、電機、鉄鋼、金属、輸送、電力といった基幹産業の企業グループ13社からなる**産業用専用ビームライン建設利用共同体**によって建設された2本の専用ビームライン (BL16XUおよびBL16B2)の通称です。

産業用専用ビームライン建設利用共同体 (SUNBEAM CONSORTIUM)

播磨科学公園都市に建設された大型放射光施設 SPring-8 (財団法人高輝度光科学研究センターが管理運営)に産業用専用ビームラインを建設し、研究開発に利用することを目的とする当共同体は、企業グループ13社 (企業12社及び電力グループ)と財団法人高輝度光科学研究センターで構成する法人格のない任意団体です。

参加企業 機関 (50音順)

株式会社神戸製鋼所
三洋電機株式会社
住友電気工業株式会社
ソニー株式会社
電力グループ (関西電力株式会社、
財団法人電力中央研究所)
株式会社東芝
株式会社豊田中央研究所
日本電気株式会社
株式会社日立製作所
株式会社富士通研究所
株式会社富士電機総合研究所
松下電器産業株式会社
三菱電機株式会社
財団法人高輝度光科学研究センター



<http://sunbeam.spring8.or.jp>

試料 :SiCウェーハ

表1 本実験で用いた試料

	オフセット	備考
6H-SiC	(0001)面 3.5 ° off基板	Nドープ
4H-SiC	(0001)面 8.5 ° off基板	マイクロパイプ 確認済み
4H-SiC	(0001)面 8.0 ° off基板	より結晶性 不良

市販品(全て 50mm、Si面研磨、n型)

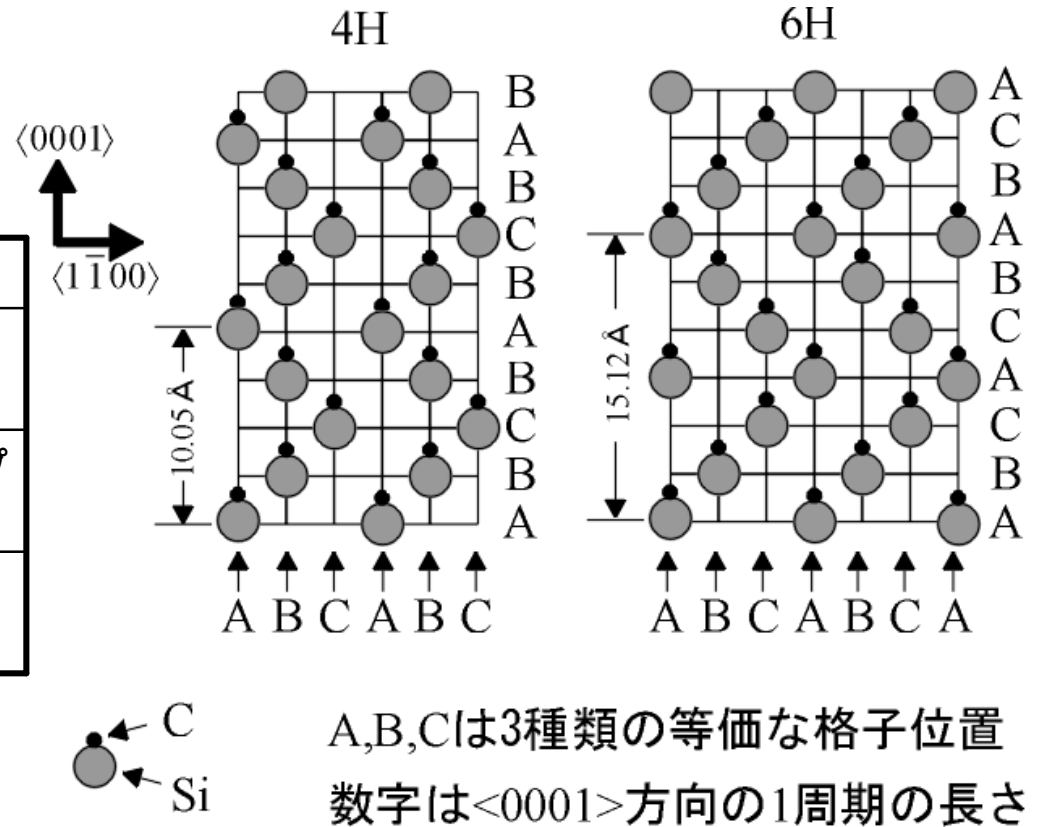


図1 4H, 6H-SiCの $\{1120\}$ 面における原子配置

6H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 10) 反射トポグラフィ

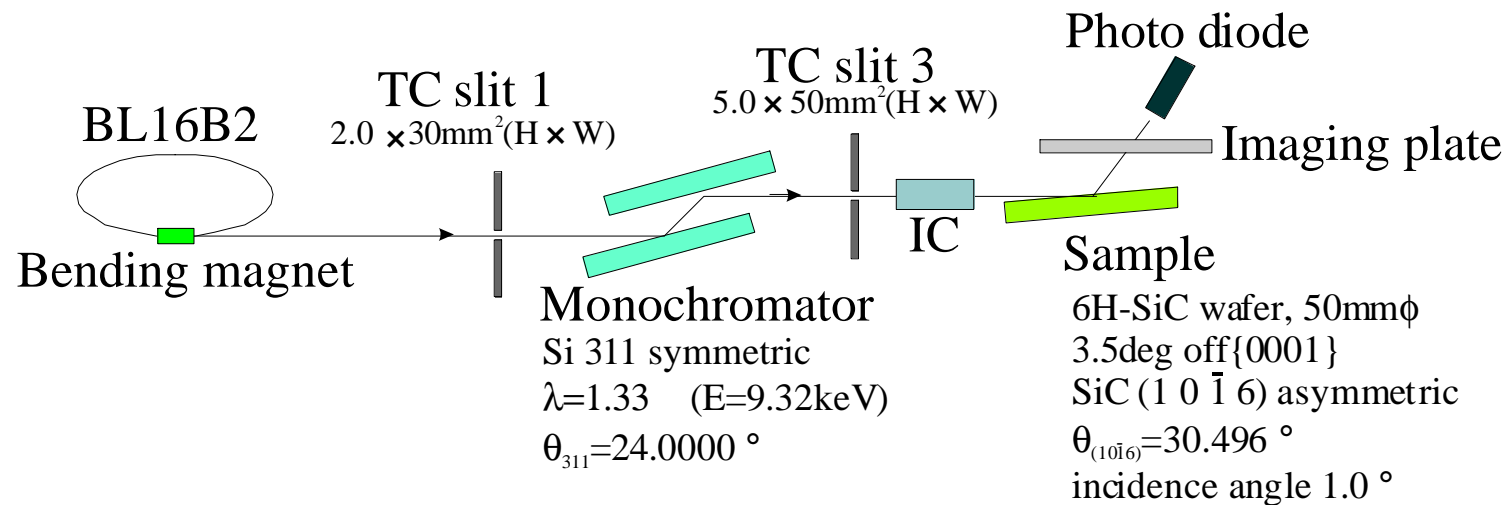


図2 6H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 10)反射トポグラフィの光学系

- 試料は、 -2 ゴニオの 軸に設置した平面試料ホルダーに静置。
 - 非対称ブラッグケースにて撮影。
 - 撮像媒体 ポラロイド53、イメージングプレートBAS-IP SR 127(ブルー 50 μ m)
- 試料の反りにより全体のトポグラフィが得られないため多重露光を行った。
- IP露光条件 90arcsecごとに角度を変え5秒間16回露光。

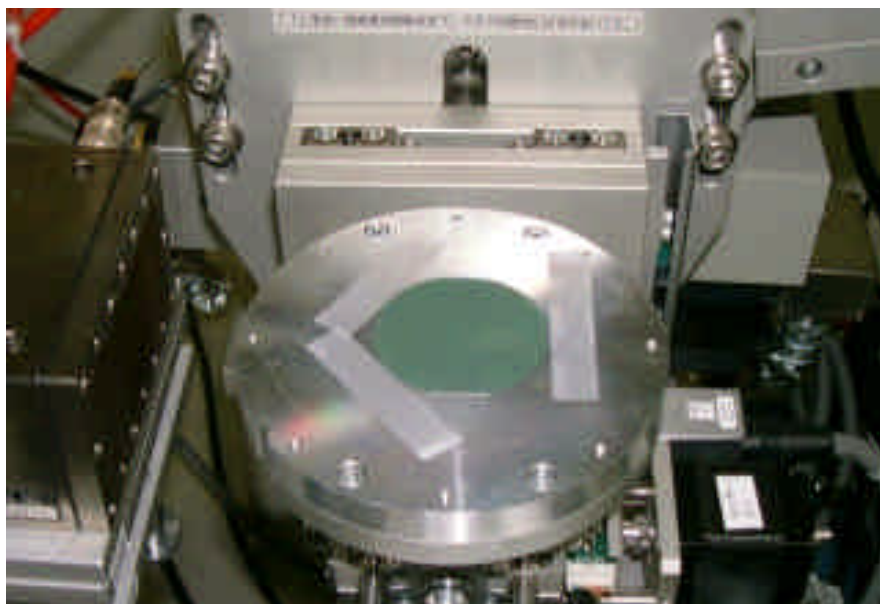


図3 - 2 ゴニオ平面ステージ上の試料

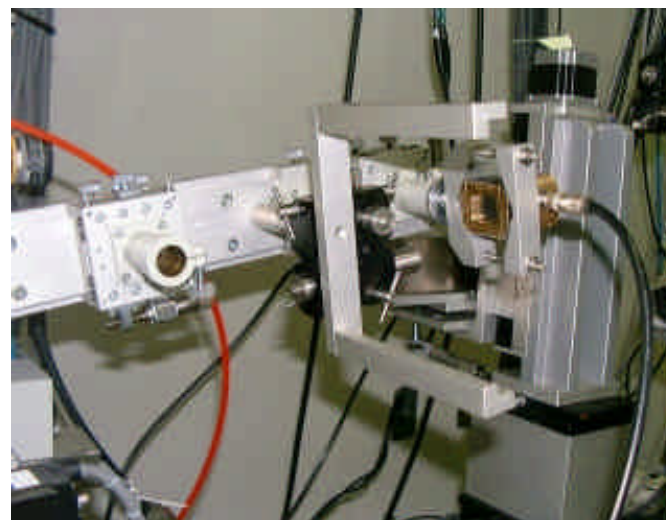


図4 2 アーム上のphoto diodeおよびIPホルダー位置



図5 トポグラフ撮影時のIPホルダー位置

6H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 10)反射トポグラフ

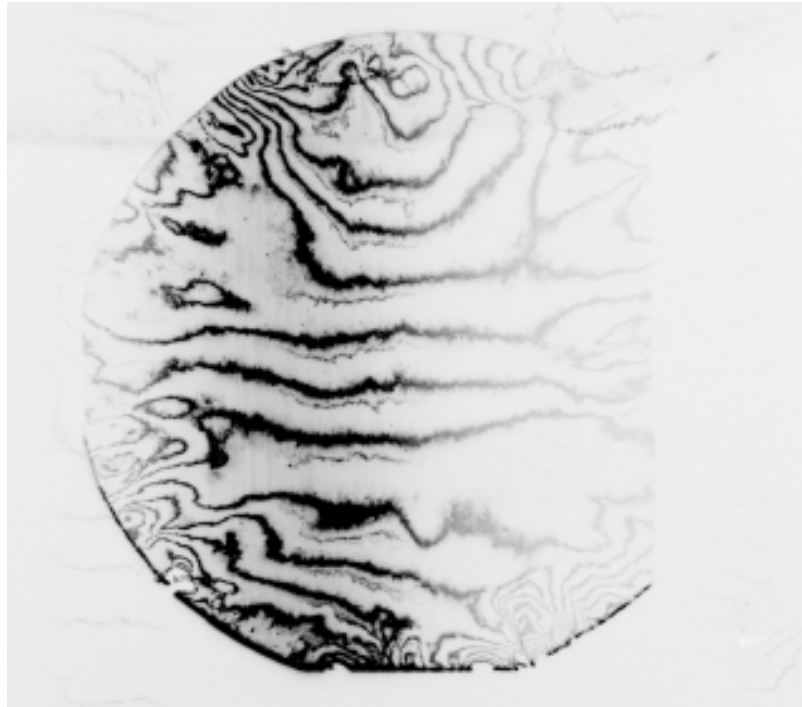


図6 6H-SiC 多重露光トポグラフ
90arcsecごと5秒間16回露光

- ウェーハ全体のマクロな反りを反映した水平方向の細い帯状の像
- 周辺部には歪んだ同心円状の像分布

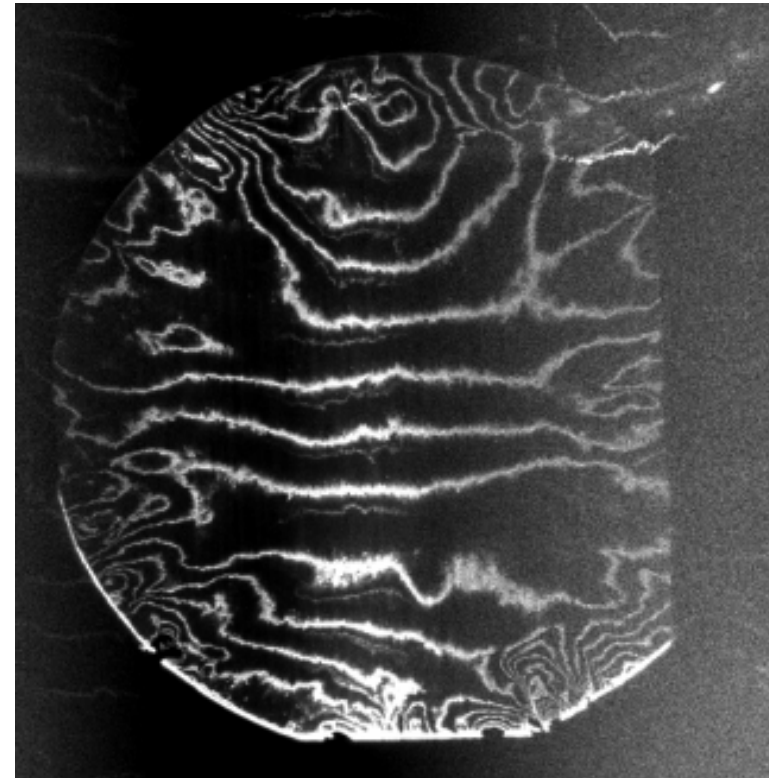


図7 図6をバックグラウンド処理後
白黒反転

得られたトポグラフからは直接結晶欠陥は観測されないが、結晶欠陥とトポグラフの対応より結晶欠陥起因の格子歪みを反映した像を特定できると考えられる。

図6のトポグラフの左右の濃度分布は分光器第1結晶の熱歪みの影響と思われる。 8

4H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 6) 反射トポグラフィ

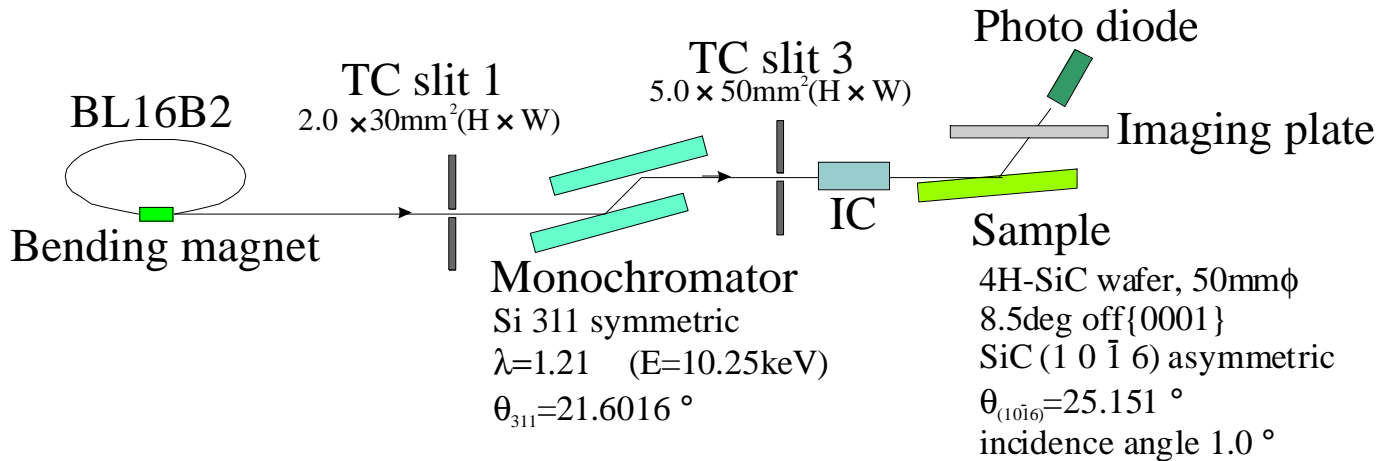


図8 4H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 6)反射トポグラフィの光学系

- 4H-SiCでは多重露光に加え、連続露光でも撮影した。

4H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 6)反射

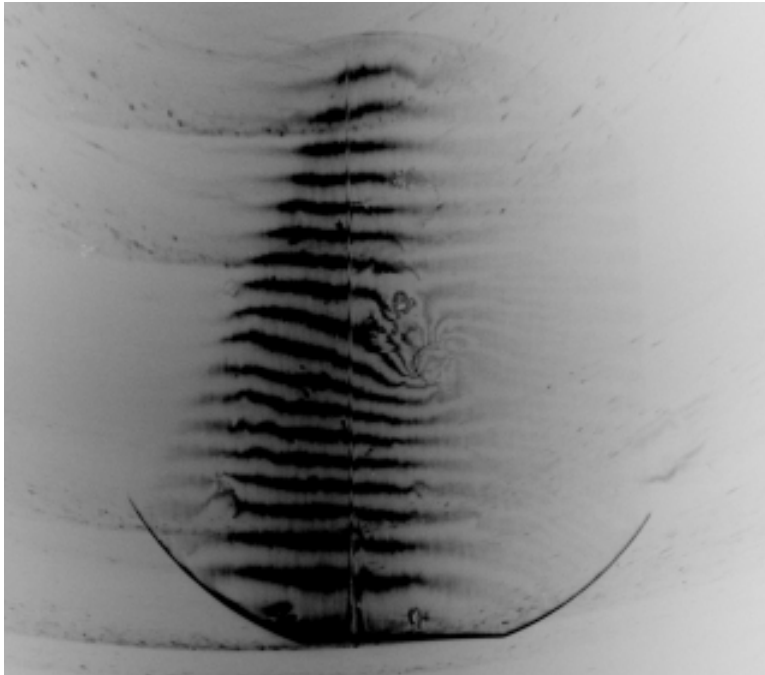


図9 4H-SiC多重露光トポグラフ
36arcsecごと2秒間25回露光

図9より水平方向の細かい帯状の像がウェーハ全面に見られる。中心部には節状の像分布が見られる。

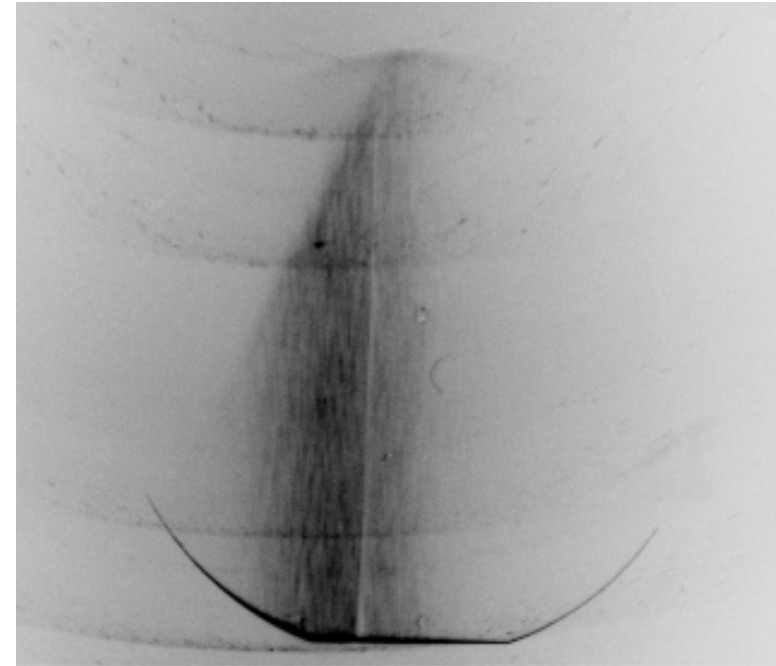


図10 4H-SiC連続露光トポグラフ
900arcsecを7.7秒間露光

図10においても図9の中心部にある像が確認できる。また、上下方向に分布している濃淡はBe窓の研磨痕による。

4H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 6)反射続き

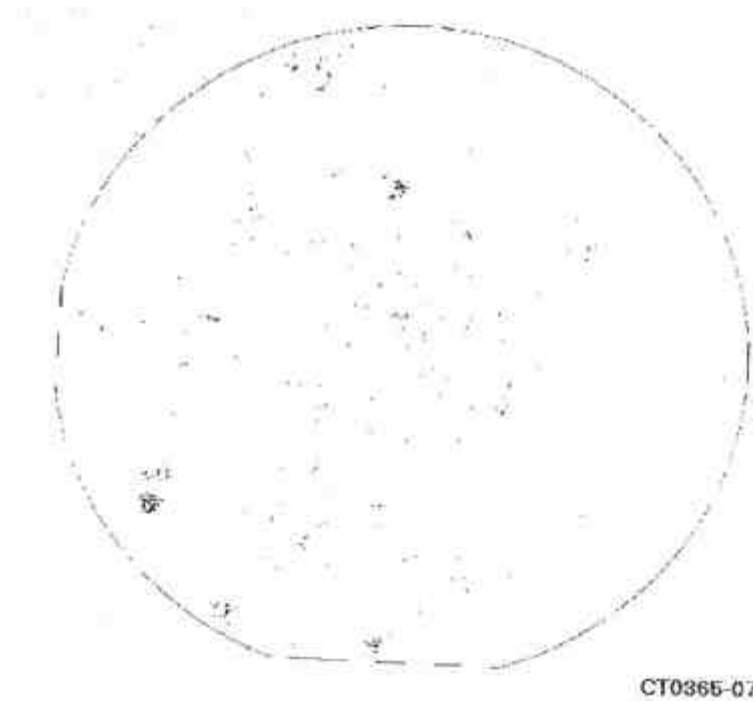


図11 4H-SiCマイクロパイプ分布図

図9や図10と図11の比較においては明らかな対応が見られなかった。



IP(50 μ m読み)では直径数 μ mの中空状欠陥であるマイクロパイプは区別できないと考えられる。

4H-SiC (1 0 $\bar{1}$ 6) 反射

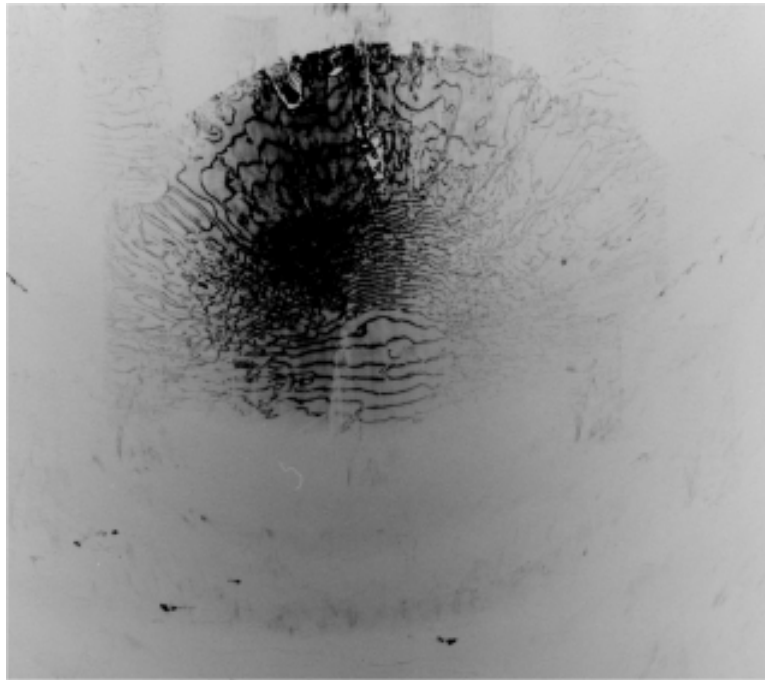


図12 4H-SiC多重露光トポグラフ
180arcsecごと1秒間35回露光

図12より 4H-SiCはウェーハの反りが4H-SiCと比較し大きいことがわかる。像の幅が細く複雑な形状を示している。

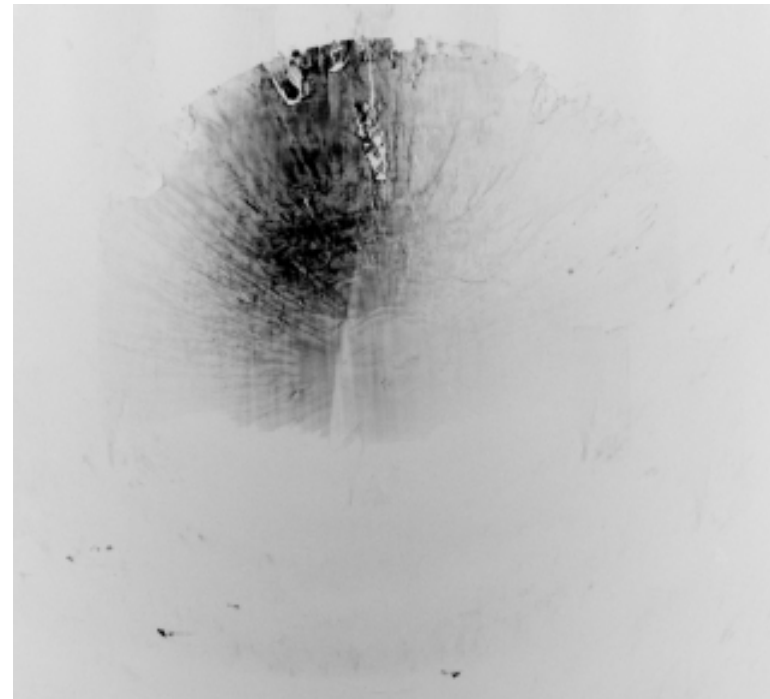


図13 4H-SiC連続露光トポグラフ
6300arcsecを53.8秒間露光

図13より中心から放射状に広がる像が確認できる。これは図12では確認し難い情報である。

まとめ

- SPring-8 産業用専用ビームライン(サンビーム)BL16B2にて6H及び4H-SiCウェーハの放射光X線トポグラフを撮影した。
- ウェーハ全体のマクロな反りを反映した像分布が得られた。
- 本実験で用いたSiCウェーハの評価に対しては、分光器第一結晶の熱歪みの影響は顕著ではないと考えられる。
- 結晶欠陥とトポグラフとの対応により結晶欠陥起因の格子歪みを反映した像を特定できると考えられる。