

# 九州シンクロトロン光研究センター 県有ビームライン利用報告書

課題番号：2110099S

BL番号：09

(様式第5号)

X線トポグラフィーによるワイドギャップ半導体の結晶欠陥評価II  
Characterization of crystallographic defects in widegap semiconductor materials  
by X-ray topography

児島一聡<sup>1)</sup>、八木邦明<sup>2)</sup>  
Kazutoshi Kojima<sup>1)</sup>, Kuniaki Yagi

<sup>1)</sup>産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター  
Advanced Power Electronics Research Center,  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

<sup>2)</sup>株式会社 サイコックス  
SICOXS CORPORATION

- ※1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開〔論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表〕が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より1人以上）。

## 1. 概要（注：結論を含めて下さい）

10kV超の超高耐圧SiCデバイス向け4H-SiC厚膜エピウエハにおけるBPDの基板からエピ層への伝搬挙動を調べるためにX線の侵入長が100 $\mu$ mを超える回折条件を用いて反射X線トポグラフを行い、転位の伝搬の様子が確認可能かどうかを調べた。その結果、エピ/基板界面で刃状転位に転換したBPDはエピ成長中に再度BPDに再転換することはなく、またエピ成長の途中でBPDを発生させることは無いものと考えられる。また、低入射かつ高侵入長の条件では貫通転位のスポットがオフ方向に裾を引くことが判った。

## (English)

Propagation of basal plane dislocations (BPDs) from 4H-SiC substrates into epitaxial layers for over 10kV blocking voltage 4H-SiC devices were investigated by using X-ray topographic images with high x-ray penetration depth conditions up to 100  $\mu$ m. As the results it was found that BPDs converted to threading edge dislocations (TEDs) at an epilayer/substrate interface did not convert back to BPDs during epitaxial growth and new BPDs does not generate during epitaxial growth. In addition, it was found that large white spots related with threading screw dislocations changed the shape along step flow direction.

## 2. 背景と目的

電力エネルギー変換を高効率に行うためにワイドギャップ半導体材料の一つとして、4H型シリコンカーバイド(4H-SiC)を用いたパワーデバイスの実用化が進んでいる。4H-SiC結晶成長技術の向上により結晶欠陥は低減されつつあるものの、依然として一定程度の結晶欠陥が存在しており、デバイスの特性不良や信頼性低下の要因となることが懸念されており普及拡大への枷となっている。一方、Siに比べてウエハが高コストであることも普及拡大に対する大きな課題となっている。そのため、結晶欠陥の観察をバルク結晶成長、エピタキシャル成長、デバイス開発等の研究者と連携しながら進め、欠陥の性状、発生原因、デバイス性能への影響等の諸問題を解決していく必要と共にSiCのウエハコスト低減に向けた新たな取り組みも求められている。

特に送配電系への導入が期待されるSiC-IGBTは低欠陥且つ低濃度の $150\mu\text{m}$ を超える厚膜エピ層が必要となる。また、当該デバイスはバイポーラ動作をするためにエピ層中の貫通基底面転位(BPD)に起因する順方向劣化を抑制することが大きな課題となっている。今日 $150\mu\text{m}$ の厚膜エピにおける貫通BPD密度は貫通刃状転位への転換技術により大きく低減できることが可能であるがその転換がエピ/基板界面で起きているのか、あるいはエピ層中で転換が起きているのかを非破壊で評価することは容易ではない。

そこで本報告では10kV超の超高耐圧SiCデバイス向け4H-SiC厚膜エピウエハにおけるBPDの基板からエピ層への伝搬挙動を調べるためにX線の侵入長が $100\mu\text{m}$ を超える回折条件を用いて反射X線トポグラフィを行い、転位の伝搬の様子が確認可能かどうかを調べたので報告する。

## 3. 実験内容(試料、実験方法、解析方法の説明)

試料は4インチn型4H-SiC基板上に産総研内で $\text{H}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{-SiH}_4$ ガス系を持つホットウォール型CVD装置を用いてn型エピ膜を $100\mu\text{m}$ 成長させたものを用いた。

反射X線トポグラフィはBL-9のビームラインにおいてベルグバレット配置で実施した。回折面は

(-1-12-12)と(11-212)の2つの面を使用した。(-1-12-12)面では入射エネルギー11keV、入射角約 $21^\circ$ 、 $2\theta = 100^\circ$ で侵入長 $= 70\mu\text{m}$ の条件を用いた。一方(11-212)面では入射エネルギー12keV、入射角約 $12.6^\circ$ 、 $2\theta = 80^\circ$ で侵入長 $= 100\mu\text{m}$ の条件を用いた。

## 4. 実験結果と考察

図1に(-1-1-2-12)面の反射X線トポグラフィのイメージ像を示す。黒矢印で示す貫通螺旋転位(大きな白点)と白矢印で示す貫通刃状転位(小さな白点)のみが観察されており、BPDの存在を示す線状のイメージは観察されていない。

図2に同様に(11-212)面の反射X線トポグラフィのイメージ像を示す。図1に比べて黒矢印で示すような貫通螺旋転位を示すスポットが不鮮明になるとともにそのスポットからオフ方向に白く尾を引くようなイメージが観察される。本測定での侵入長は $100\mu\text{m}$ 程度でありかつ図1に比べるとビームの入射角が浅いため深さ方向の情報とあいまって貫通転位のイメージが崩れたものと考えられ、何らかの貫通転位に関する深さ方向の情報を含んでいるものと考えられる。

図1, 図2いずれにおいてもBPDの存在を示す線状のイメージは観察されておらず、今回の試料においてはエピ/基板界面で刃状転位に転換したBPDはエピ成長中に再度BPDに再転換することはなく、またエピ成長の途中でBPDを発生させることは無いものと考えられる。

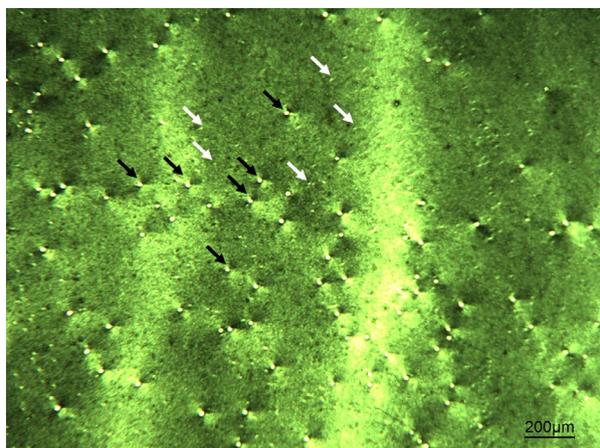


図1 (-1-1-2-12)面の反射X線トポグラフィのイメージ像

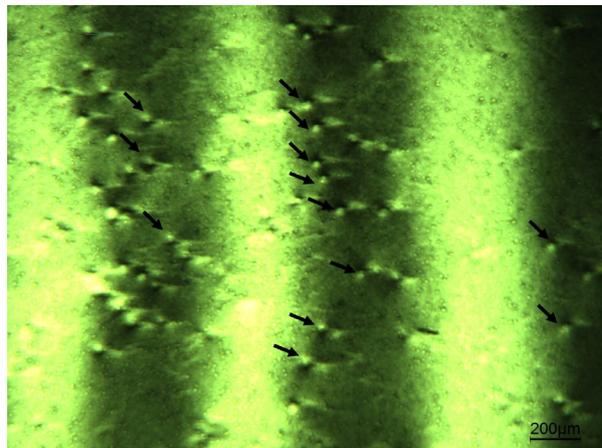


図2 (11-212)面の反射X線トポグラフィのイメージ像

## 5. 今後の課題

入射角が浅くかつ侵入長が長くなる条件で観察した反射 X 線トポグラフは図 2 に示したように貫通螺旋転位がオフ方向に白く尾を引くイメージが観察されたが、別の試料では図 3 に示す様に白いスポットで示す貫通螺旋転位からオフ方向に黒い尾を引くイメージが観察されており、試料によってはイメージの反転はあるもののいずれにしても本撮影条件では貫通螺旋転位から尾を引くようなイメージが観察されると考えられ、この現象がどういう原因に起因するのかを調べていく予定である。

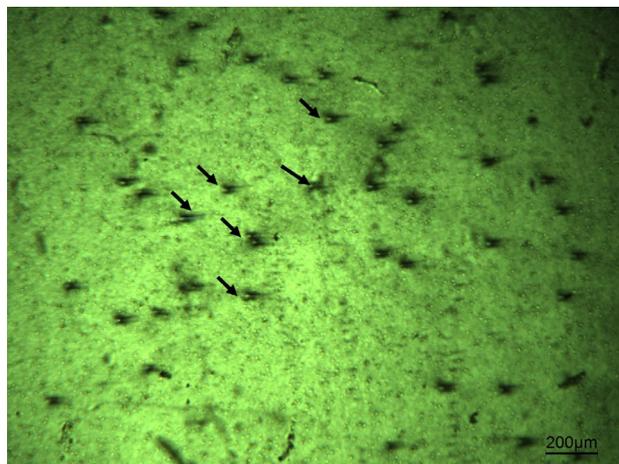


図 3 図 2 とは異なる試料の(11-212)面の反射 X 線トポグラフのイメージ像

## 6. 参考文献

## 7. 論文発表・特許 (注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

## 8. キーワード (注：試料及び実験方法を特定する用語を 2～3)

4H-SiC、CVD、X 線トポグラフ、侵入長、貫通螺旋転位、貫通刃状転位、基底面転位

9. 研究成果公開について (注：※ 2 に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください。提出期限は利用年度終了後 2 年以内です。例えば 2018 年度実施課題であれば、2020 年度末(2021 年 3 月 31 日)となります。

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告

(報告時期：2024 年 3 月)

② 研究成果公報の原稿提出

(提出時期： 年 月)