



# 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：1502002A

B L 番号：15

(様式第 5 号)

## SiC のウェーハ欠陥とデバイス特性の評価 (Ⅲ) Characterization of wafer defect and device performance

山下任、内城貴則、着本享、小松直佳、山口博隆  
Tamotsu Yamashita, Takanori Naijo, Susumu Tsukimoto,  
Naoyoshi Komatsu, Hirotaka Yamaguchi

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 Powerelectronics Research Center,  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

- ※ 1 先端創生利用（長期タイプ、長期トライアルユース、長期産学連携ユース）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。（トライアルユース、及び産学連携ユースを除く）

### 1. 概要（注：結論を含めて下さい）

SiC による高耐圧パワーデバイスの実現に必要な厚いエピ膜の形成技術を検討するため、厚いエピ膜中の欠陥評価を行った。厚さ  $100\mu\text{m}$  までのエピ膜中の転位の発生状況を X 線トポグラフィーで評価し、膜厚の増加とともに界面転位の発生領域が拡大することがわかった。厚いエピ膜形成の場合には、薄いエピ膜形成の場合よりも成長温度の均一性への要求が厳しくなると考えられる。また、 $\beta$  型酸化ガリウム ( $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) の X 線トポグラフィーによって転位評価を行うとともに、その解析のために結晶構造に基づいてすべり系の解析を行った。

Defects in thick epilayer of 4H-SiC, which is required for high-voltage power device, have been investigated by means of X-ray topography. Dislocations in epilayers of thickness up to  $100\mu\text{m}$  were observed by X-ray topography. It was found that dislocations were induced at substrate-epilayer interface regions more often with increasing thickness of epilayer. The present result indicates growth-temperature distribution should be controlled to be more homogeneously in the thicker epilayer process. X-topographic study on a wide bandgap semiconductor  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  has been performed to analyze dislocations in the crystal. For characterization of dislocation, slip system was analyzed based on the crystal structure.

### 2. 背景と目的

SiC によるパワーエレクトロニクス素子を実現するためには、欠陥の制御とそのデバイス特性への影響を明らかにすることは重要である。これまで X 線トポグラフィ法と光学顕微鏡、フォトルミネッセンス (PL)、電子顕微鏡などによる評価を組み合わせ、ウェーハ加工、エピタキシャル成長からデバイス特性・信頼性にわたる各段階における結晶欠陥の評価と影響を調べてきた。本年度もさらに詳細な評価を進めているが、今期は高耐圧化のための厚エピ膜成長に関する研究とパワーデバイスとして期待される酸化ガリウムの転位に関する研究を報告する。また、最後に一年間の利用について総括する。

### 3. 高耐圧化のための厚エピ膜歪み制御

#### 3.1 はじめに

SiCを用いたパワーデバイスは、より大きな耐電圧をもつデバイスを目指して研究開発が展開している。SiCパワーデバイスはSiCウェーハ上に形成したエピタキシャル膜に作りこまれるが、大きな耐電圧を持つデバイスには厚いエピ膜が必要であり、現在、研究の最先端である耐電圧10kV以上のデバイス形成には100 $\mu\text{m}$ 以上の厚さのエピ膜が必要となる。このような厚いエピ膜の形成技術を確認するために、本研究では、厚エピ膜中の歪み制御を行い、反りの低減や、エピ膜の内部歪みや厚膜成長プロセスに起因する結晶欠陥の低減を試みる。

#### 3.2 実験

エピ膜中に発生している転位を、基板（ウェーハ）中のそれとは分離して観察、定量することを目的に反射X線トポグラフィーを利用した。用いた波長は0.15 nm、回折ベクトルは $g=\bar{1}\bar{1}28$ である。2015年度は、20 $\mu\text{m}$ から100 $\mu\text{m}$ の膜厚を有するいくつかの4H-SiCエピ膜を3インチウェーハ上に作製し、エピ膜中の転位を観察してその発生の膜厚依存性を調べた。特に、デバイス特性に影響を及ぼす基底面転位と界面転位に着目して解析した。

#### 3.3 結果と考察

図1は厚さ100 $\mu\text{m}$ のエピ膜中の上記の転位の発生状況の概略である。円は3インチウェーハの外周位置を示しており、格子状に示した領域がX線トポグラフィーの撮影範囲である。色を付けたマス目はその箇所において高密度の基底面転位列や界面転位が発生していることを示している。高密度の転位列が発生している領域は3通りに分類できる。第一はウェーハの外周部付近である。この付近ではエピ成長が不適切な条件になっていて膜厚が局所的に厚いために、エピ膜中に大きな歪みが作用して多数の基底面転位が発生したと考えられる。これは膜厚20 $\mu\text{m}$ 、50 $\mu\text{m}$ のエピ膜でも同様であった。第二は図中(a)で示した領域である。ここでは(c)のトポ像に示したように、異物が存在しており、これが多くの基底面転位の発生源になっているように見える。この異物はおそらく成長装置内壁の堆積物が成長表面に落下してきたものと考えられる。膜厚が薄い場合には、このような異物は少ないかあっても大きさが小さく、(c)図のような高密度の転位列は発生してはいなかった。100 $\mu\text{m}$ のエピ成長には2時間以上を要し、その間に装置内壁の堆積物も拡大、厚膜化するので剥離しやすくなる。厚膜形成の際にはこれらの落下に留意する必要がある。第三は図中(b)で示した個所である。この領域で

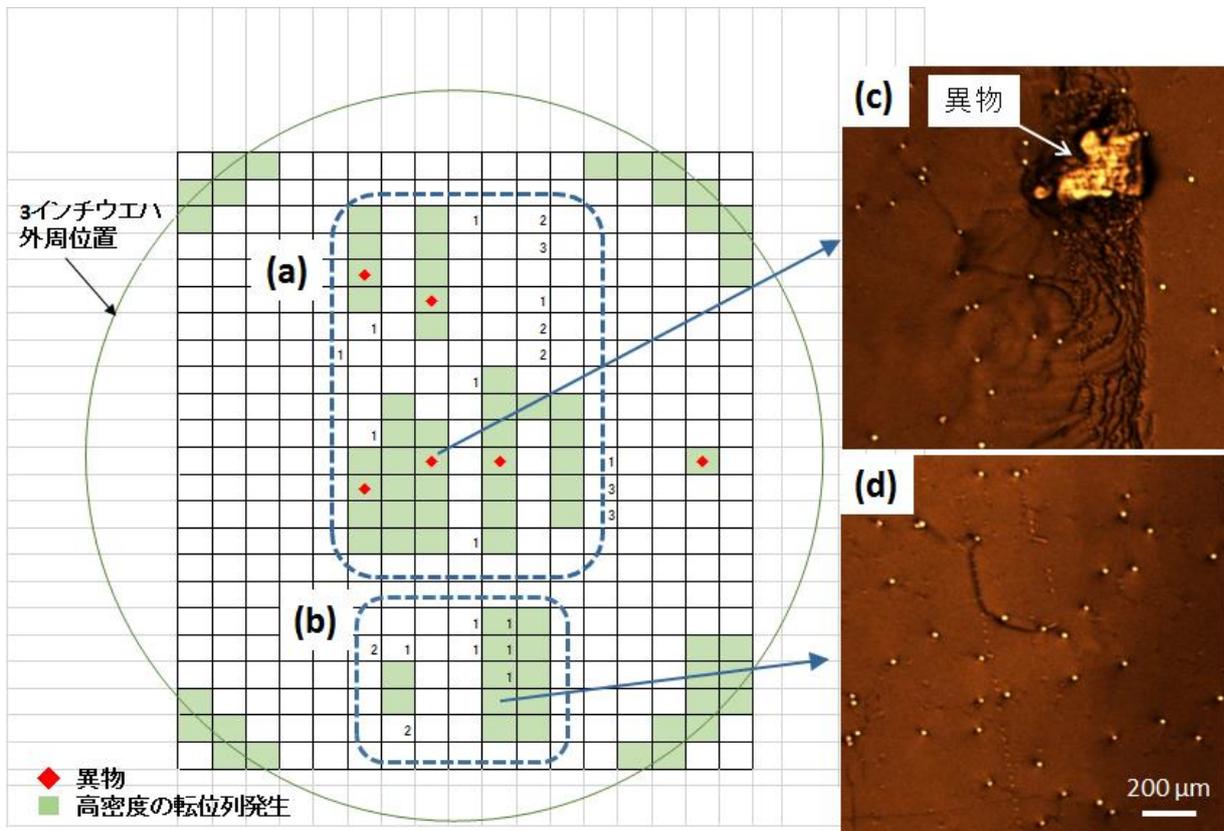


図1 3インチウェーハ上に形成した厚さ100 $\mu\text{m}$ の4H-SiCエピ膜における転位の分布

は、(d)のトポグラフ像にみられるような、いわゆる界面転位が発生している。界面転位の発生の要因はウェーハ内の成長温度の不均一といわれている。膜厚  $20\ \mu\text{m}$  のエピ膜では、界面転位は発生しておらず、 $50\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$  と膜厚が増大するに伴って、界面転位の生ずる領域が拡大している傾向がみられることから、厚いエピ膜形成の場合には、薄いエピ膜形成の場合よりも成長温度の均一性への要求が厳しくなると考えられ、対策が必要である。

今後は、膜厚の異なるエピ膜のデータを蓄積して、上記の検討結果の信頼度を高めるとともに、 $100\ \mu\text{m}$  のエピ膜における高密度の基底面転位列の低減を図る。

#### 4. $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の転位評価

##### 4.1 はじめに

ワイドバンドギャップ半導体酸化ガリウム ( $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) は高い絶縁破壊電界などパワーデバイス材料として期待されている。すでにウェーハは市販されており、ダイオードなどデバイスの動作が確認されている。本研究では、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ウェーハの X 線トポグラフィーによって欠陥観察を行うとともに、結晶構造からすべり系を解析し、実験結果への適用を試みた。

##### 4.2 実験

試料は EFG 法によるタムラ製作所のウェーハである。X 線トポグラフィーは (001) ウェーハに対しては波長  $1.54\text{\AA}$  で  $405$  および  $024$ 、 $(\bar{2}01)$  ウェーハに対しては、 $1.50\text{\AA}$  と  $1.7\text{\AA}$  で、それぞれ  $006$ 、 $\bar{6}23$  について、反射配置で原子核乾板に撮影した。

##### 4.3 結果と考察

ウェーハの面方位に特徴的な欠陥像が得られた (図 2)。それらは  $g$  ベクトルによって像のコントラストに変化があり、多くは転位が映し出されていると考えられる。ウェーハ表面の転位を投影しているので、面内に伸びる転位が線状に現れているのに対して、表面と交差する転位が点状に見えている。これらの転位の形態を明らかにするために、すべり系の解析をおこなった。結晶構造は単斜晶系であるが、酸素 (O) の副格子が (歪んだ) 最密充填構造を持つ特徴から、 $(\bar{2}01)$ 、 $(101)$ 、 $(\bar{3}\bar{1}0)$ 、 $(\bar{3}10)$  をすべり面の候補と考え、各面内の並進対称性によりバーガースベクトルの可能性を考察した。今後、転位の解析を進めるとともに、パワーデバイスへの影響を調べていきたいと考えている。

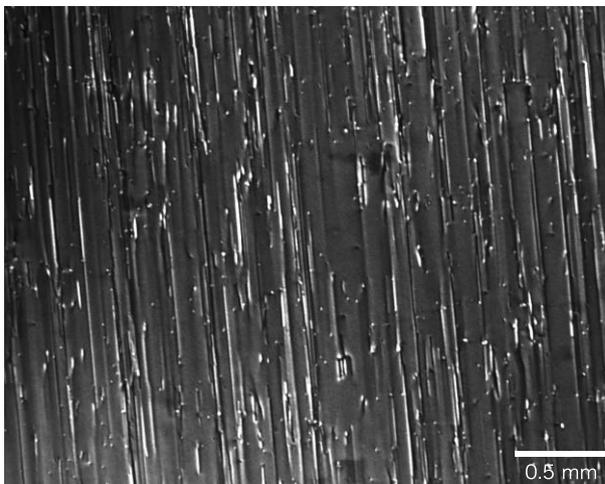


図 2  $(\bar{2}01)$  面ウェーハの X 線トポグラフ。  
 $\bar{6}23$  反射。波長  $0.17\ \text{nm}$ 。

#### 5. おわりに

本年度は長期利用課題として合計 10 日のビームタイムを利用した。そのなかには SiC 結晶欠陥の構造解析を目的とした実験のほか、結晶成長、ウェーハ加工、エピタキシャル成長の各プロセスの評価のための実験、および「SiC エピ/ウェーハ欠陥検出手法」の国際規格提案のためのデータ収集を含んでいる。本研究は総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代パワーエレクトロニクス/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理法人: NEDO) によって実施された。

#### 6. 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)

7. キーワード（注：試料及び実験方法を特定する用語を2～3）

X-ray topography, SiC, dislocation,  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

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（2015年度実施課題は2017年度末が期限となります。）

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：

2016年 4月）