



# 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：1105051AS

(様式第4号)

## 低炭素社会を実現する新パワー半導体開発のための X 線トポグラフィによる SiC の結晶欠陥評価 (III) Characterization of SiC crystals by X-ray topography

山口博隆<sup>1</sup>、松畑洋文<sup>1</sup>、関根正樹<sup>1</sup>、山下任<sup>2</sup>、  
高橋聖一<sup>2</sup>、宮坂佳彦<sup>2</sup>、佐々木雅之<sup>2</sup>

**Hiroataka Yamaguchi, Hirofumi Matsuhata, Masaki Sekine,  
Tamotsu Yamashita, Seiichi Takahashi, Yoshihiko Miyasaka, Masayuki Sasaki**

<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  
**ADPERC, AIST**

<sup>2</sup>次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構  
**FUPET**

※長期利用課題は、実施課題名の末尾に期を表す (I)、(II)、(III) を追記すること。

### 1. 概要

BL15 を利用し、パワーエレクトロニクス材料としての SiC 結晶の欠陥評価を単色 X 線トポグラフィによって評価した。試料ステージの移動と撮影を連続的におこなうためのプログラムを整備し、効率の良い測定が可能になった。これによる欠陥評価から、エピ膜の表面形状異常や多形や積層欠陥の発生との関係について検討を進めた。

#### (English)

Characterization of defects in silicon carbide (SiC) as a material for future power electronics has been performed by means of monochromatic X-ray topography. These results were analyzed in comparison with macro defects consisting of stacking faults or polytypes.

### 2. 背景と研究目的

SiC によるパワーエレクトロニクス素子は、現在のシリコン (Si) ではその物性値による限界のために超えられない超低損失化・小型化・軽量化が期待される。しかし、現在の SiC ウエハには様々な形態の欠陥が存在し、それらが素子特性の劣化や信頼性の低下を引き起こす。したがって、各種欠陥の形態と原因、および素子特性への影響を整理することが重要である。われわれは、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」(経済産業省、NEDO)において、光学顕微鏡、電子顕微鏡、フォトルミネッセンスなどの発光測定とともに X 線トポグラフィを用いたウエハ表面形態や内部の格子欠陥評価を行うとともに、それらの素子特性への影響を総合的に調査している。

本研究では、X 線トポグラフィによる SiC ウエハ全面の高分解能な転位観察を行う。エピウエハ表面には、単純な転位の露出のほか、積層欠陥を伴うなどによる巨視的な異常形状が出現する。これまでに、いくつかの異なるタイプが存在することが報告されており、本研究でも見いだされている。その形状から「三角欠陥」と呼ばれているものはデバイスキラーとして知られているが[1]、今回は三角欠陥について詳細に解析した結果を報告する。

### 3. 実験内容（試料、実験方法の説明）

試料は、3インチ径のSiCウエハで、表面方位は4°傾斜(0001)面である。共焦点微分干渉顕微鏡によって三角欠陥を見出し、フォトルミネッセンスイメージングとX線トポグラフィーによって、それらの形態を評価した。また、三角欠陥の発生原因を明らかにするために、起点近傍をFIB加工によって切り出し、断面TEM観察をおこなった（本報告には結果を記載しない）。

X線トポグラフィーはビームラインBL15において行われた。X線波長は0.15 nm、回折ベクトルは $\bar{1}128$ と $\bar{1}108$ などのブラッグケースの場合である。前回と同様の面内回転ステージを使用し、原子核乾板(ILFORD L4)に撮影した。



図1 実験配置。赤矢印は試料に入射するX線の方向を示す。アルミニウム製の試料ホルダーは面内回転ステージ( $\phi$ )上に設置されている。

F: フラットパネルセンサー

P: 原子核乾板ホルダー

### 4. 実験結果と考察

三角欠陥のX線トポ像観察の結果、欠陥の二等辺のコントラストの現れ方に違いが見られ、二等辺コントラストが $g$ によって変化するもの（タイプ-Iと呼ぶ）、二等辺コントラストが明瞭に認められないもの（タイプ-II）、二等辺コントラストが $g$ によって変化しないもの（タイプ-III）に分類できることが確認された。ここではタイプ-Iの結果を図1(b)~(e)に示した。特にタイプ-Iでは、 $g=\bar{2}118$ と $\bar{1}218$ でコントラストが反転する様子が認められた。このようなコントラスト変化から、タイプ-Iでは三角欠陥内部(3C)と正常部分(4H)の境界に主にショックレー型部分転位が12積層中に6本存在し、それらのバーガースベクトルが一方向に偏っていると推定された。それに対してタイプ-IIでは、境界に形成されたショックレー型部分転位のバーガースベクトルに偏りがなく、互いに打ち消しあっていると推定された。なお、図2(f), (g)に示した420 nm、460 nmのPLイメージでは、タイプ-Iの三角欠陥の上下に積層欠陥の形成は認められず、積層欠陥は存在しないと考えられる。

図3には、鈍角三角欠陥の結果を示した。三角欠陥の場合と異なり、鈍角三角欠陥では内包三角欠陥の上下（もしくはどちらか片方）に(4,4)-8H積層欠陥が形成されている場合があることが、PLイメージ（図3(f)）から確認された。しかしながらX線トポ像（図3(c), (d)）では、8H積層欠陥に対応するコントラストは認められなかった。これらのことから、今回確認された鈍角三角欠陥では、正常部分と中央の三角欠陥の間に形成された8H積層欠陥が、ショックレー型部分転位4本を形成して正常部分と接合し、部分転位のバーガースベクトルが互いに打ち消しあっていると推定された。

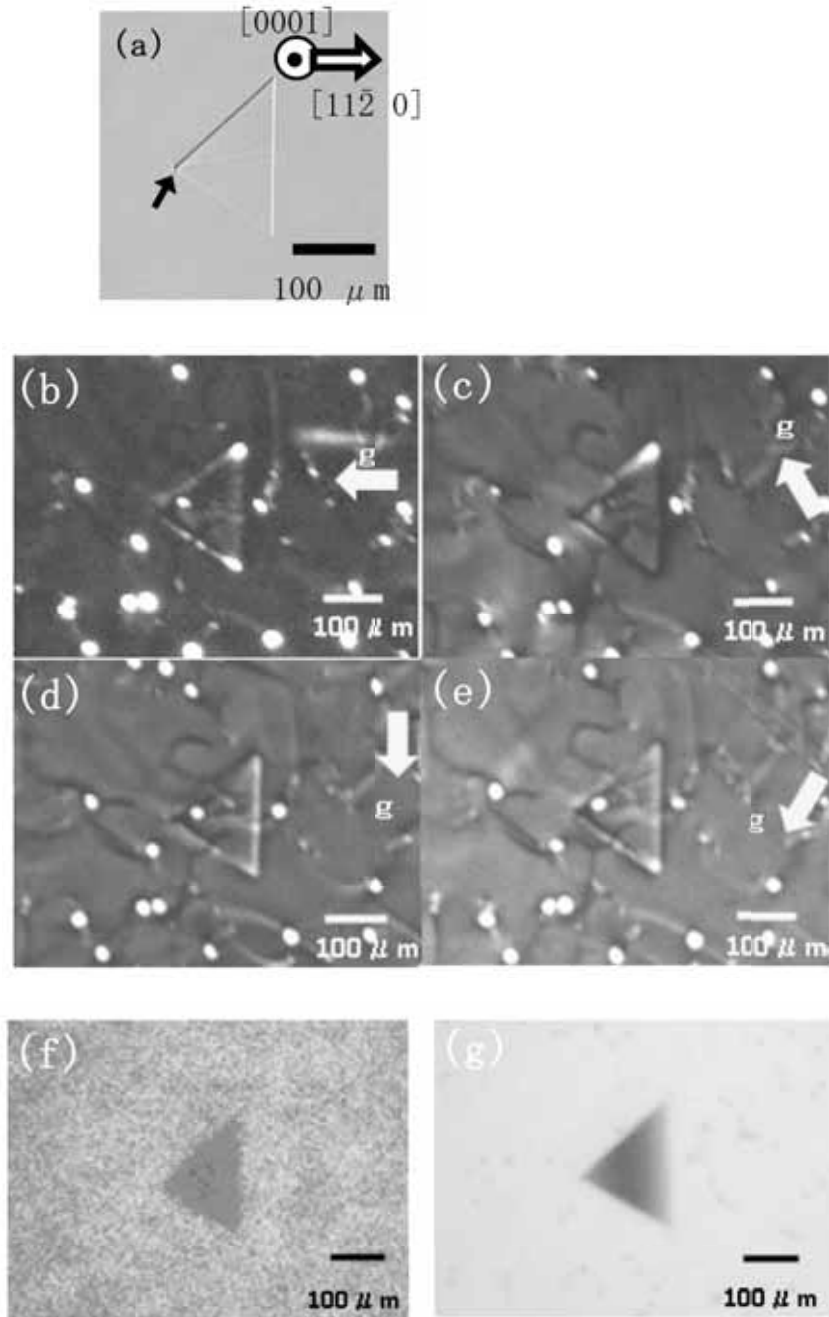


図 2 : 三角欠陥の

(a) : 共焦点微分干渉顕微鏡像

(b) : X 線トポ像  $g=1\bar{1}28$ 、(c) : X 線トポ像  $g=2\bar{1}18$

(d) : X 線トポ像  $g=1\bar{1}08$ 、(e) : X 線トポ像  $g=1\bar{2}18$

(f) : 420 nm PL 像、(g) : 460 nm PL 像

※ (a) ~ (g) は同一箇所から得た。

(a) の黒矢印は三角欠陥の起点を示す。

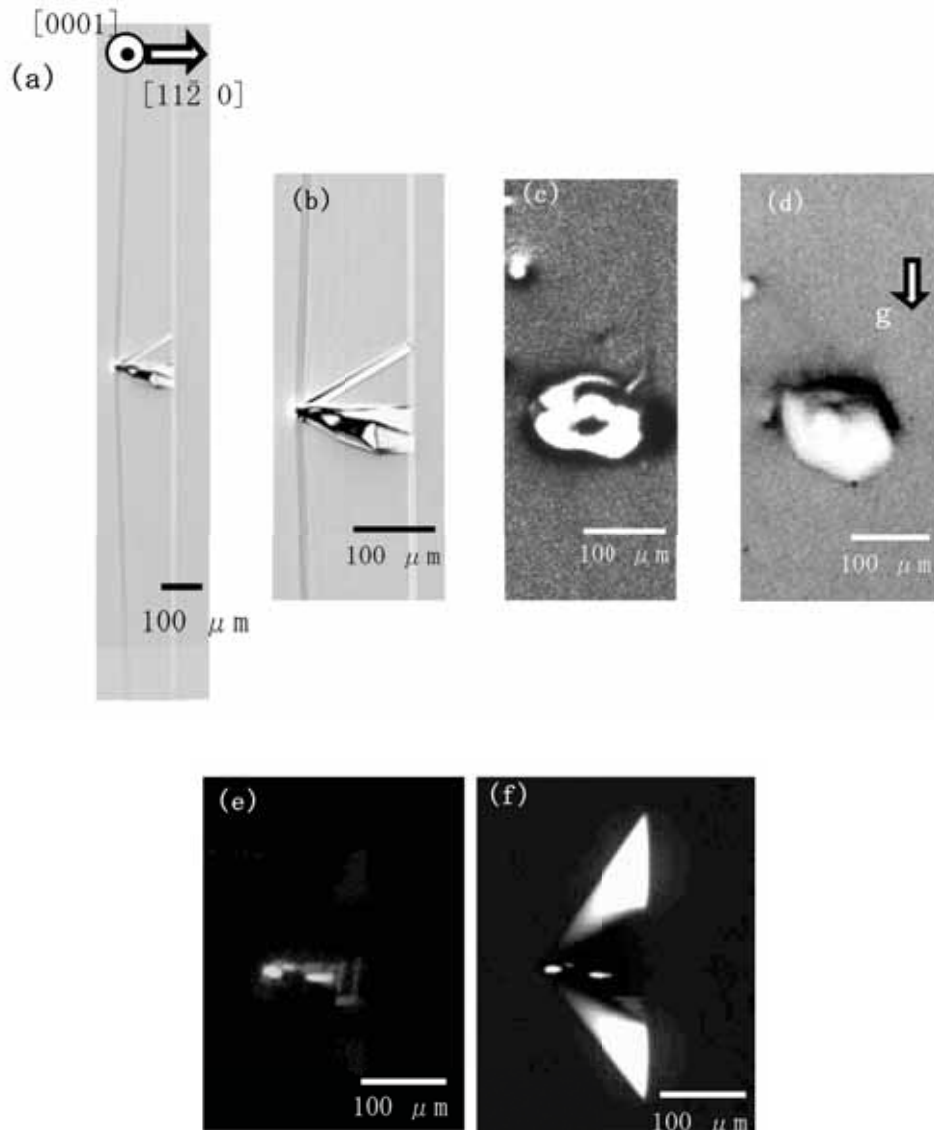


図3：鈍角三角欠陥の (a)：共焦点微分干渉顕微鏡像、(b)：(a)の中央部拡大像、  
(c)：X線トポ像  $g=\bar{1}128$ 、(d)：X線トポ像  $g=\bar{2}118$ 、  
(e)：420 nm PL像、(f)：460 nm PL像  
※(b)～(f)は同一箇所から得た。

## 5. 今後の課題

本報告では、解析の進んだ「三角欠陥」について述べた。しかし、ほかにも異なる形状の巨視的欠陥が見出されており、表面形態や格子欠陥などとの関係で整理を進めているところである。今後は、それらの構造と発生原因を解明するとともに、パワーエレクトロニクス素子としての性能や信頼性に与える影響を明らかにしなければならない。

## 6. 論文発表状況・特許状況

T. Yamashita, K. Momose, D. Muto, Y. Shimodaira, K. Yamatake, Y. Miyasaka, T. Sato, H. Matsuhata and M. Kitabatake

“Characterization of triangular-defects in 4°-off 4H-SiC epitaxial wafers by synchrotron X-ray topography and by transmission electron microscopy”

Materials Science Forum, to be published.

## 7. 参考文献

[1] T. Hatakeyama, T. Suzuki, K. Ichinoseki, H. Matsuhata, K. Fukuda, T. Shinohe and K. Arai, Mater. Sci. Forum 645-648, 799-804(2010).