

(様式第4号)

## X線トポグラフィーによるSiC結晶の欠陥評価 Characterization of SiC crystals by X-ray topography

山口博隆  
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  
ADPERC, AIST

※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 線トポグラフィーによって評価した。任意の回折面（ブラッグケース、ラウエケースを含む）に適用できるようにするために専用の面内回転ステージ（ $\phi$  軸）と試料ホルダーを設置した。これによって、3 インチ径の市販 4H-SiC ウエハの X 線トポグラフを原子核乾板に撮影した。

### (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. We prepared the in-plane rotation stage ( $\phi$ -circle) and a sample holder specially for our experiments. We obtained clear topographic images of commercial 4H-SiC wafers of 3 inches in diameter.

### 2. 背景と研究目的

電力の変換と制御を高速に効率よく行うためのエレクトロニクスである「パワーエレクトロニクス」は、電気機器や鉄道などの電力系統など幅広い分野で活用されている。さらに今後は、電気自動車の普及、高度情報通信機器の増加、分散電源や電力貯蔵装置などを含む低電圧配電システムが電力系統に幅広く導入されるのに伴い、パワーエレクトロニクス機器の電力変換容量拡大、変換損失低減と小型化の必要性が高まっている。一方、従来のシリコン (Si) を用いたパワーエレクトロニクスは、Si の物性的限界から、さらなる性能向上は困難となりつつある。これを打破するための新材料としてのワイドギャップ半導体 SiC によるパワーエレクトロニクス機器の超低損失化・小型化・軽量化をめざした研究開発が経済産業省の主導のもと、1998 年度以来進められており、昨年度から始まった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(新材料プロジェクト;経済産業省事業。2010 年 7 月～)に引き継がれている。そのなかで、基板結晶、エピタキシャル膜の結晶性評価、および素子特性に与える結晶欠陥の効果の検証のために、X 線トポグラフィーを利用してきた。

本課題では、本施設での X 線トポグラフィー実験を試行し、実験方法、条件、得られる結果について検証した。

### 3. 実験内容 (試料、実験方法の説明)

試料は市販の 3 インチ径の 4H-SiC ウエハで、表面方位は  $4^\circ$ あるいは  $8^\circ$ 傾斜(0001)面である。おもな観察条件は、波長 0.15 nm の単色 X 線によるブラッグケース  $\bar{1}\bar{1}28$ および  $\bar{1}\bar{1}08$ である。このほか、

波長 0.07 nm によるラウエケース  $\bar{1}\bar{1}20$  などの観察も行った。

図 1 はブラッグケースでの観察時における実験配置を示している。試料を面内回転ステージ ( $\phi$  軸) 上に設置された試料ホルダーの中心に置き、フラットパネルセンサーによる画像モニターによって回折条件を最適化し、原子核乾板へ撮影記録した。



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

入射角の低い  $\bar{1}\bar{1}28$  反射でも 3 インチ径ウエハの全面を一度には撮影できないため、試料の高さ ( $z$  軸) を一定間隔で移動させて撮影した (図 2)。露光条件を最適化することによって、鮮明な転位像を観察することができた。

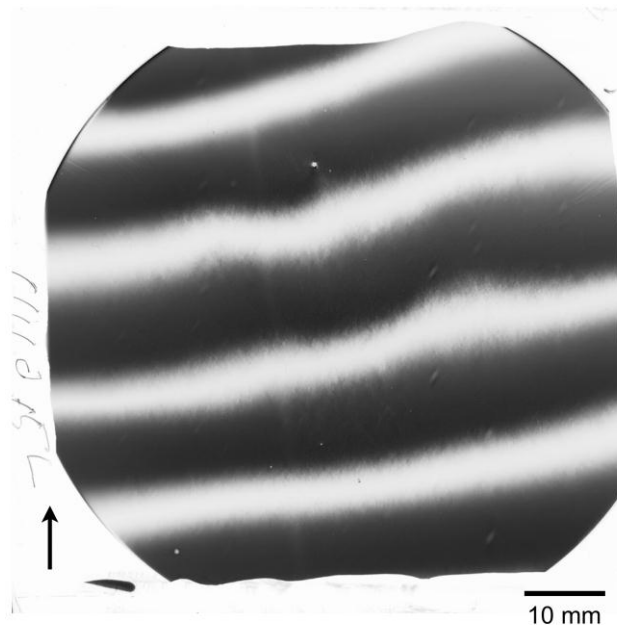


図 2  $\bar{1}\bar{1}28$  反射のトポグラフ。矢印は  $\vec{g}$  の投影方向。

転位の観察例として、フランク型積層欠陥を図 3 に示す。線状のコントラストを示す転位の多くは基底面らせん転位 ( $\vec{b} = (1/3)[1\bar{1}20]$ ) であるが、その場合、 $\bar{1}\bar{1}28$  と  $1\bar{1}28$  のように  $\vec{g}$  を基底面内で反転させると  $\vec{g} \cdot \vec{b}$  の符号が逆転し、転位コントラストの白黒も逆転する。しかし、図 3 ではそれが観察されていないため、線状コントラストは  $\vec{b} = (n/4)[000]$  で表される ( $n$  は整数) 部分転位であり、この 2 本の転位に囲まれた部分がフランク型積層欠陥であると考えられる。

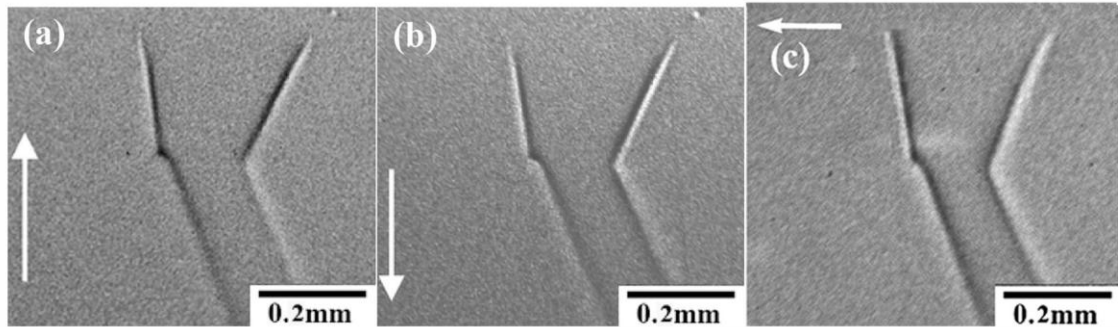


図3 転位コントラストの例：(a)  $\bar{1}\bar{1}28$ 、(b)  $1\bar{1}28$ 、(c)  $\bar{1}\bar{1}08$ 。矢印は  $\vec{g}$  の投影方向。

## 5. 今後の課題

本課題では、われわれのプロジェクト研究における 4H-SiC の欠陥評価を行うために必要な X 線トポグラフィーの実験配置を構成し、また、それによって評価を行った。結果として、十分な成果が得られることがわかった。3 インチ径のウエハ全面のトポグラフを撮影するためには、z 軸移動とシャッターの開閉による撮影を繰り返す必要がある。今回は、手動でこの操作を行ったが、今後は自動化するなど、効率化を図りたいと考えている。

## 6. 論文発表状況・特許状況

特になし。

## 7. 参考文献

1) 荒井和雄, 吉田貞史編「SiC 素子の基礎と応用」(オーム社, 2003) など.

## 8. キーワード (試料及び実験方法を特定する用語を 2~3)

・ 4H-SiC

炭化ケイ素。多くの多形が存在するが、その中で、Si-C 四面体が 4 層周期の六方細密充填構造をとる六方晶系のものが、パワーエレクトロニクス材料としておもに研究されている。