

(様式第5号)

SiCのウェーハ欠陥とデバイス特性の評価 (I)

Characterization of wafer defect and device performance

山下任、内城貴則、着本享、山口博隆

Tamotsu Yamashita, Takanori Naijo, Susumu Tsukimoto, 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）

X線トポグラフィ法によって4H-SiCのエピタキシャルウェーハの積層欠陥およびウェーハ機械加工表面の評価法について検討した。フォトルミネッセンスによって新しい構造と考えられる積層欠陥はフランク型であるが貫通らせん転位を起点としていない特長をもつことがわかった。ウェーハ機械加工研磨の評価については、ウェーハに微小圧痕を導入してその近傍のX線トポグラフィを観察した。その結果、微分干渉顕微鏡やSEMで観察困難な微細キズの観察が可能であり、ウェーハ診断法として有用であることがわかった。

Characterizations of stacking faults in epitaxial layer and mechanical defects on wafer surface have been studied by using x-ray topography. We found a new type of Frank-type stacking fault without a threading screw dislocation at its origin. X-ray topographs from a wafer with defects intentionally induced by micro-size indentation revealed minute defects undetectable in differential interference optical microscopy or scanning electron microscopy.

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く予定である。今期の実験結果をテーマ別に報告する。

3. 4H-SiC エピタキシャルウェーハ中のフランク型積層欠陥の構造解析

3.1 はじめに

4H-SiC エピタキシャルウェーハ表面に形成される結晶欠陥の一つとして、積層欠陥が知られている。我々が最近の市販品エピウェーハ表面をPL観察した結果では、報告されているもの[1]とは異なる波長での発光を示す積層欠陥が多数認められた。当該積層欠陥がどのようなタイプの部分転位を含むか、さらにどのような結晶欠陥が起点となっているかを明らかにするため、X線トポグラフィ法による解析を行った。

3.2 実験

試料は市販品4H-SiCエピタキシャルウェーハで、斜入射X線トポグラフィ法（光学配置：図3-1）により、4H-SiCの $\bar{1}\bar{1}28$ 、 $11\bar{2}8$ 、 $\bar{2}118$ 、 $1\bar{2}18$ の各反射について原子核乾板に記録した。

3.3 実験結果と考察

図3-2に積層欠陥のPL像、図3-3、図3-4に同位置のX線トポ像を示した。なお、図3-2にはカラー表示PL像を示しているが、当該欠陥は553nmでの発光を示していることが確認された。また図3-3は $g=11\bar{2}8$ 、図3-4は $g=2\bar{1}18$ 条件で得たものである。図3-3、図3-4では、積層欠陥の輪郭部分に白黒一對の線状コントラストが確認され、さらに g を変化させてもこれらのコントラストは不変である。このことから、当該積層欠陥はフランク型積層欠陥を含んでいると考えられる。これまで報告されているフランク型積層欠陥のPL波長は積層構造によって420nm、460nm、488nmであるが、今回確認されたものは、いずれとも異なる積層構造を有していると考えられる。さらに、報告されているフランク型積層欠陥では、ほとんどの場合でウェーハ中の貫通らせん転位が起点となっているが、図3-3、3-4に見られるように、貫通らせん転位が起点となっている様子が認められない。このことから、当該積層欠陥は、欠陥発生起点についても、従来のフランク型のものとは異なっている可能性が示唆された。

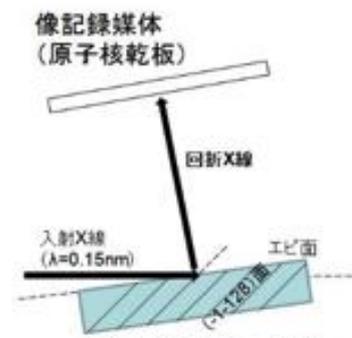


図3-1 X線トポグラフィ法の光学配置

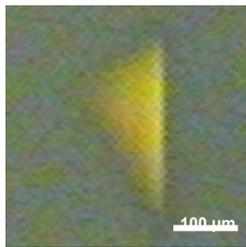


図3-2 553nm 発光積層欠陥
PL カラー像

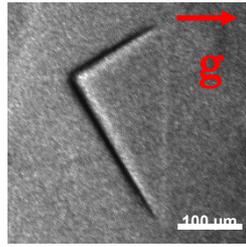


図3-3 553nm 発光積層欠陥
X線トポグラフィ法 ($g=11\bar{2}8$)

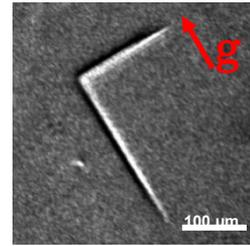


図3-4 553nm 発光積層欠陥
X線トポグラフィ法 ($g=2\bar{1}18$)

3.4 今後の課題

他の微細構造分析手法を併用し、当該欠陥についての詳細な構造解析を行う。

参考文献

[1] I. kamata, et. al., Mater. Sci. Forum Vol. 725 (2012) pp 15-18.

4. 4H-SiC ウェーハ機械加工表面の欠陥評価

4.1 はじめに SiC ウェーハにおいて研削や研磨など機械加工プロセスによって反りが発生する。この原因は表面近傍に導入される格子欠陥や弾性歪み(トワイマン効果)であり、反り制御にはこれら欠陥や弾性歪みの評価解析が重要である。SiC ウェーハ加工は高硬度砥粒(ダイヤモンド)による「切る・削る・磨く」プロセスであり、加工表面近傍には局所的に「き裂伝播による破壊」や「転位運動による塑性変形」が生じる。今回、この局所加工の把握に向けて、SiC ウェーハに微小圧痕を導入し、X線トポグラフィ法を用いて微小圧痕及びその近傍欠陥観察を行った。

4.2 実験

4H-SiC 単結晶ウェーハ(4° オフ、Si(0001)面)上にマイクロ・ビッカース装置を用いて微小圧痕を導入した。圧痕印加荷重は 10mN~1000mN である。ノマルスキー型微分干渉顕微鏡および走査電子顕微鏡(SEM)による圧痕分布の観察を行った後、単色 X 線トポグラフィ法(波長 $\lambda=1.5\text{Å}$ 、回折条件 $g=11\bar{2}8$)によって微小圧痕分布や内部欠陥観察を行った。記録媒体として原子核乾板を用いた。

4.3 結果と考察

SiC ウェーハに導入した微小圧痕の微分干渉顕微鏡観察(図4-1(a))の結果、高荷重で導入した圧痕(中心部マーカー)は明瞭に確認できるが、低荷重圧痕はその識別が困難であった。特に 10mN 圧痕のサイズはき裂伝播部を含めて $5\mu\text{m}$ 以下と非常に小さく、さらに圧痕直下の格子歪みや表面凹凸が小さいために微分干渉顕微鏡観察が困難であった。一方、X 線トポグラフィ法(図4-2(b))では圧痕直下の微小な格子歪みに反映したコントラストが得られるため、10mN 圧痕に対しても容易に観察するこ

とができた。本観察結果から、微分干渉顕微鏡や SEM で観察困難な研削や研磨で生じる微細傷の観察が X 線トポグラフィ法によって可能であり、最終加工(CMP 研磨)後のウェーハ診断法として非常に有用であると結論づけられる。その一方で X 線では局所格子歪み観察は困難(分解能の観点から中心部マーカの識別不能)であるが、高分解能な電子顕微鏡(SEM や TEM)を併用することで欠陥や格子歪みの局所分布解析が可能と考えられる。

4.4 今後の展望

上記 X 線トポグラフィ法に加えて、電子線後方散乱法を用いた「微小圧痕」の局所歪み解析を進めており、これら圧痕(き裂)周辺部の局所解析によってき裂先端部の異方的な応力集中分布が明らかとなった。本成果は、高硬脆性 SiC ウェーハにおける破壊力学(塑性変形や破壊・き裂伝播)を基軸とした加工プロセスにとって重要知見であり、今後は加工プロセスの最適化を図っていく。

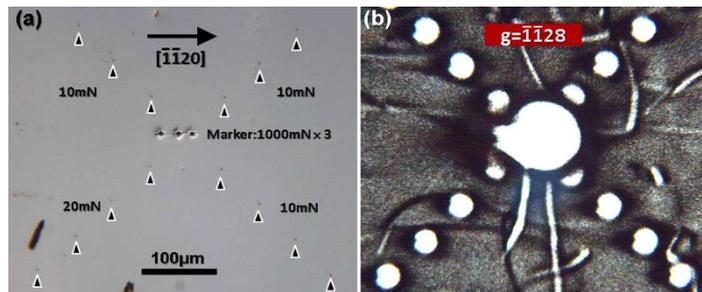


図 4-1 SiC ウェーハの微小圧痕分布: (a)微分干渉顕微鏡像, (b)X 線トポグラフィ.

5. 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)

6. 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、stacking fault