

(様式第5号)

X線トポグラフィによる SiC ウェーハの結晶欠陥評価 (I) X-ray Topographic Study on defects in SiC Wafers (I)

山下任¹, 宮坂佳彦¹, 佐々木雅之¹, 迫秀樹¹, 松畑洋文², 山口博隆²
Tamotsu Yamashita, Yoshihiko Miyasaka, Masayuki Sasaki, Hideki Sako,
Hirofumi Matsuhata, Hirotaka Yamaguchi

¹ 技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構 (FUPET)

² 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

¹ R&D Partnership for Future Electronics Technology (FUPET),

² 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 利用情報の開示が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後二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)

傾斜角 0.85° の 4H-SiC ウェーハ Si 面上のエピタキシャル成長 (C/Si 比=0.7) における基底面転位 (BPD) から貫通刃状転位 (TED) への変換について、X線トポグラフとエッチピットの観察により考察した。X線トポグラフによって、BPD-TED 変換が確認され、変換位置はエピタキシャル層の厚さ $1.5 \mu\text{m}$ 以下の位置にあることがわかった。これは、深いエッチピットの光学顕微鏡観察からも直接確認され、BPD はエピタキシャル成長によって 99% 以上の高率で TED に変換されることがわかった。

We have investigated a conversion of basal plane dislocation (BPD) in 4H-SiC Si-face vicinal substrates with an off-angle of 0.85° to threading edge dislocation (TED) during the epitaxial growth under the condition with low C/Si ratio of 0.7 by using observations of X-ray topograph and microscope of deep etch pits. X-ray topographs revealed the BPD-TED conversion occurred at the epitaxial layer thickness less than $1.5 \mu\text{m}$ during the epitaxial growth. The conversion was directly observed in microscopies of deep etch pits. It was found that BPDs in the substrate was converted to TEDs with quite high ratio over 99%.

2. 背景と目的

SiC ウェーハの表面方位の(0001)からの傾斜角を 1° 以下に小さくすることによって、トレンチ型デバイスにおけるサイドウォールの異方性を抑制する効果がある[1]。一般に傾斜角を小さくすると、三角欠陥の発生や多形の混入が起りやすくなるが、これらの欠陥密度は成長時に C/Si 比を 0.7 程度に小さくすることによって抑制することができる[2]。一方、エピタキシャル層内の基底面転位 (BPD) を抑制することも重要である。BPD から派生した積層欠陥が、とくにバイポーラ素子の性能に影響を与えるからである。傾斜角が 8° あるいは 4° の場合、エピタキシャル成長によって BPD は貫通刃状転位 (TED) に変換されるため、BPD 密度は小さくなることが知られている[3-5]。しかし、さらに傾斜角が小さいときの BPD-TED 変換については報告がない。一方、C/Si 比が小さい条件下では BPD が成長中に増加することも報告されている[6]。したがって、微傾斜で C/Si

比が小さい条件での成長における BPD のふるまいは不明である。

本研究では、1°以下の微傾斜ウェーハ上に低 C/Si 比で成長したときの BPD とその TED への変換について、KOH エッチングと X 線トポグラフとの比較によって調べた。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

試料は 3 インチあるいは 4 インチ径の傾斜角 0.85°の Si 面ウェーハ上に水平ホットウォール CVD 炉においてエピタキシャル膜を成長したものである。エピタキシャル成長は欠陥の発生を抑制するため C/Si 比を 0.7 とし、エピタキシャル膜厚は 8-13 μm であった。エピタキシャル成長の前後に透過 X 線トポグラフを実験室において撮影した (Mo Kα, $g = 11\bar{2}0$)。また、エピタキシャル成長後に SAGA-LS BL15 において、反射 X 線トポグラフ ($\lambda = 0.14$ nm, $g = \bar{1}\bar{1}28$) を撮影し、表面の転位分布を調べた。熔融 KOH により深いエッチピットを形成したエピタキシャル層表面の光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡による観察を行い、表面の転位形態を直接観察した。

4. 実験結果と考察

図 1 に、エピタキシャル成長前(a)、成長後(b)の透過 X 線トポグラフ、および成長後の反射 X 線トポグラフ(c)を示す。(a) の BPD はウェーハ表面で終端しているが、(b) ではエピタキシャル成長によって傾斜下流方向に伸長している。この様子を反射トポグラフで見ると (c)、BPD がエピタキシャル層で伸長した BPD が TED に変換し表面 (A) に達している様子がわかる。BPD のエピタキシャル層での伸長距離は 100 μm 程度であり、傾斜角を考慮すると、BPD から TED への変換位置はエピタキシャル成長開始から約 1.5 μm と見積もられる。

図 2 は、図 1 と同じ場所のエピタキシャル膜のエッチピットの光学顕微鏡像である。エッチピットが放射光 X 線反射トポグラフ (図 1 (c)) の転位コントラストとよく一致していることがわかる。A 点の TED のエッチピットは、12 分のエッチングによって、底部に BPD に特徴的な貝殻形状が現れ、BPD から変換された TED であることが確認された。また、エピタキシャル成長による BPD-TED 変換率は、エッチピット観察から 99 % 以上であり、傾斜角 1°未満、C/Si 比 0.7 の条件下でも BPD-TED 変換が高効率で起こることが示された。

5. 今後の課題

微傾斜 Si 面成長において BPD-TED 変換が高効率で起きたが、エピ膜中の BPD は完全に消滅することが望ましい。そのためにまず、変換しなかった BPD の特徴を調査することが必要である。

6. 参考文献

- [1] S. Harada, S. Ito, K. Kato, A. Takatsuka, K. Kojima, K. Fukuda, H. Okumura, Mater. Sci. Forum 645-648, 999 (2010).
- [2] K. Masumoto, K. Kojima, H. Okumura, Mater. Sci. Forum 740-742, 193 (2013).
- [3] H. Jacobson, J. Birth, R. Yakimova, M. Syvajarvi, J. P. Bergman, A. Ellison, T. Tuomi, E. Janzen, J. Appl. Phys. 91, 6354 (2002).
- [4] T. Ohno, H. Yamaguchi, S. Kuroda, K. Kojima, T. Suzuki, K. Arai, J. Cryst. Growth 260, 209 (2004).
- [5] H. Song, T. S. Sudarshen, J. Cryst. Growth 371, 94 (2013).

[6] W. Chen, M. A. Capano, J. Appl. Phys. 98, 114907 (2005).

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）

K. Masumoto, S. Ito, H. Goto, H. Yamaguchi, K. Tamura, C. Kudou, J. Nishio, K. Kojima, T. Ohno and H. Okumura, Materials Science Forum to be published.

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）

SiC, X-ray topography, etch pit, dislocation

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（2013年度実施課題は2015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：印刷中

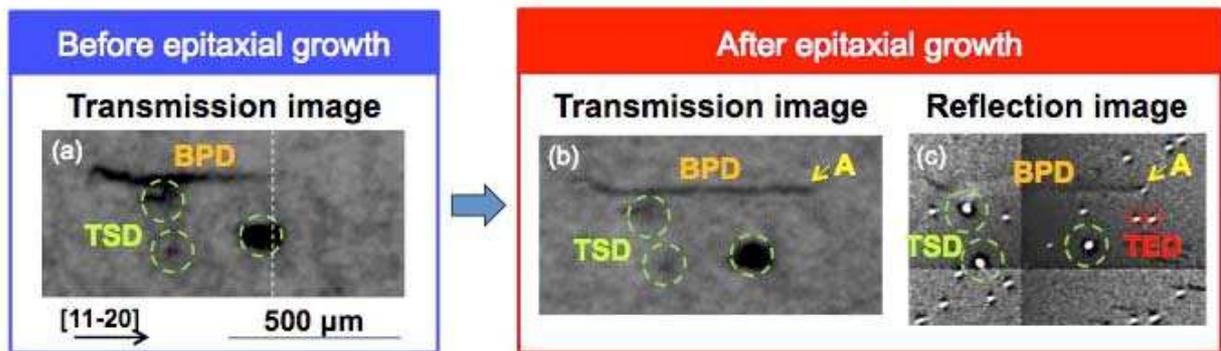


図1 (a) エピタキシャル成長前、(b) 成長後の透過X線トポグラフ ($\text{Mo K}\alpha$, $g = 11\bar{2}0$)、および (c) 成長後の放射光X線による反射X線トポグラフ ($\lambda = 0.14 \text{ nm}$, $g = \bar{1}\bar{1}28$)。 (a) の破線はエピタキシャル成長前のBPDの終端位置を示す。TSDは貫通らせん転位。

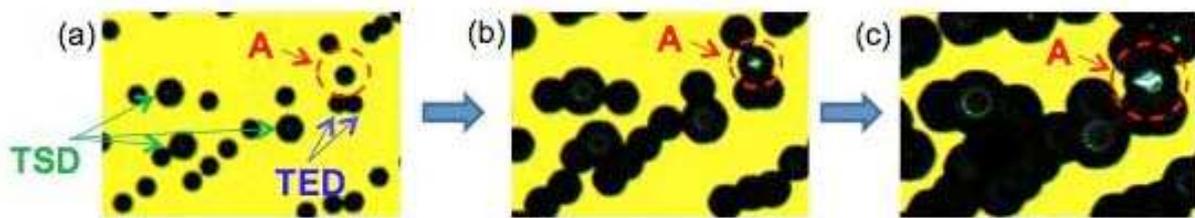


図2 図1と同じ位置のエッチピットの光学顕微鏡像。エッチング時間は (a) 6分、(b) 9分、(c) 12分。