

4H-SiC 溶液成長における貫通らせん転位変換 Threading Screw Dislocation Conversion during Solution growth of 4H-SiC

原田 俊太*, 山本 祐治, 関 和明, 肖 世玉, 堀尾 篤史, 武藤 拓也, 古池 大輝, 國松 亮太,
宇治原 徹

名古屋大学工学研究科, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
Shunta Harada*, Yuji Yamamoto, Kazuaki Seki, Shiyu Xiao, Atsushi Horio, Takuya Mutoh,
Daiki Koike, Ryota Kunimatsu and Toru Ujihara
Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

1 はじめに

SiC は、高い熱伝導率と絶縁破壊電界強度を有するワイドギャップ半導体であり、次世代パワーデバイス材料として期待されている。SiC は同一の組成で、多様な積層構造をとる結晶多形（ポリタイプ）現象を示す材料として古くから知られており[1]、中でも 4H-SiC はパワーデバイス材料として優れた特性を示す。SiC 結晶中の格子欠陥は、パワーデバイスの特性や信頼性を低下させることが知られており[2]、マイクロパイプや転位のない高品質結晶が求められている。

溶液成長法は、熱平衡に近いプロセスであるため、高品質 SiC 結晶を得る方法として近年注目を集めている。これまでの研究で、溶液成長過程においてマイクロパイプが閉塞することや、基底面転位が減少することが報告されている[3], [4]。また、最近の放射光を用いた X 線トポグラフィ法によって、溶液成長過程における欠陥挙動の詳細が解明されつつある[5]。これまでの我々の研究から、(0001) On-axis 種結晶上での溶液成長では、スパイラル成長により数 100 nm 以上のマクロステップに囲まれた島状のヒロックが形成し、これらのマクロステップが横方向にステップフロー成長をした部分では、貫通らせん転位が基底面の欠陥に変換する事が明らかとなっている。

本稿では、貫通らせん転位の変換を促進するために、(0001) から微傾斜を設けたオフ角種結晶を用いて溶液成長を行った結果を紹介する[6]。

2 実験

SiC 結晶成長は、Top Seeded Solution Growth (TSSG) 法によって行った。カーボンるつぼの中で Si を溶解し、温度勾配下で保持し、そこに種結晶を張り付けたディップ軸を挿入する。高温部分でるつぼのカーボンが Si 溶媒中に溶出し、温度の低い種結晶付近で結晶が成長する。種結晶には(0001) Si 面から[1120] 方向に 1.25° のオフ角を設けた 4H-SiC を使用した。成長時間は 3 時間であり、厚さ約 20 μm の単結晶を得た。表面モフォロジーの観察はノマルスキープリズムを用いた微分干渉顕微鏡法、走査型共焦点レーザー顕微鏡法によって行った。欠陥

変換挙動の評価は、KEK-PF BL-15C において、X 線トポグラフィ法により行った。使用した X 線の波長は 0.15 nm、(1128) の反射を用いて原子核乾板に結像した。

3 結果および考察

Fig. 1 に成長後の結晶表面のモフォロジーと結晶成長前後の X 線トポグラフィ像を示す。成長表面はステップバンチングによって、のこぎり歯状のジグザグの形をしたマクロステップが形成していた。マクロステップの高さは約 100 nm であった。また、オフ角を設けた [1120] 方向にステップフロー成長をしていた。

種結晶の X 線トポグラフィ像 (Fig. 1(b)) において、貫通らせん転位は A で示されるような点状のコントラスト、基底面転位は B のような線状のコン

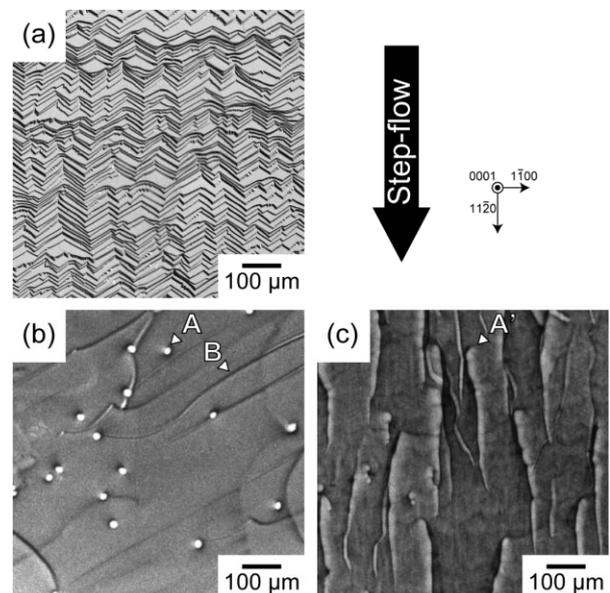


Fig. 1 溶液成長結晶のノマルスキー像 (a)、および種結晶、溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像 (b), (c)。X 線トポグラフィ像は、溶液成長前後の全く同一の部分である[6]。Copyright 2012 The Japan Society of Applied Physics.

トラストとして結像される。溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像では、貫通らせん転位は一切観察されず、その代わりに種結晶において貫通らせん転位があった場所を起点に、A'のようなステップフロー方向に伸びる線状のコントラストが観察された。このことから、マクロステップのステップフロー成長によって、貫通らせん転位が基底面の欠陥に変換したことがわかる。On-axis 結晶での貫通らせん転位の変換はごくわずかであったが、オフ角を設けた種結晶での成長では、変換率は非常に高く、20 μm の成長で、ほとんどすべての貫通らせん転位が基底面の欠陥に変換していた。

このような貫通らせん転位の変換は高品質化につながるメカニズムである。4H-SiC 溶液成長では、ステップフローによってほとんど全ての貫通らせん転位は基底面の欠陥に変換する。変換後の基底面欠陥は成長するにつれて、結晶の側面よりどんどん外部に掃き出される。したがって、結晶中の貫通らせん転位はどんどん減少していき、最終的に貫通らせん転位のない結晶を得ることが原理的に可能である。本手法では、一度の結晶成長で効率的に貫通らせん転位を低減できることが最大の特徴である。例えば、種結晶のオフ角を 1° 、2 インチ径での成長を考えた場合、約 1 mm の成長を行うだけで、種結晶中の貫通らせん転位が外部に排出され、その上に貫通らせん転位のない結晶を得ることができる。

4 まとめ

放射光 X 線トポグラフィ法により、オフ角種結晶上での 4H-SiC 溶液成長過程において、非常に高い変換率で貫通らせん転位が基底面の欠陥に変換する事が明らかとなった。溶液成長過程における貫通らせん転位の変換現象を用いることで、高品質結晶成長が達成できることが期待できる。

謝辞 (オプション)

放射光 X 線トポグラフィ実験は、KEK-PF BL-15C (共同利用番号 2011G247) において実施した。測定に際して、ご協力をいただいた、AIST の山口博隆氏、KEK の平野馨一氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Jagodzinski, *Acta. Crystallogr.*, **7**, 300 (1954).
- [2] P. G. Neudeck, *Mater. Sci. Forum* **338-342**, 1161 (2000).
- [3] R. Yakimova *et al.*, *Inst. Phys. Conf. Ser.* **142**, 101 (1996).
- [4] K. Kusunoki *et al.*, *Mater. Sci. Forum* **615-617** 137 (2009).
- [5] S. Kozawa *et al.*, *Mater. Sci. Forum* **679-680** 28 (2011).
- [6] Y. Yamamoto *et al.*, *Appl. Phys. Express* **5** 115501 (2012).

成果 (論文発表)

- 1 **High-Efficiency Conversion of Threading Screw Dislocations in 4H-SiC by Solution Growth**
Y. Yamamoto, S. Harada, K. Seki, A. Horio, T. Mitsuhashi, T. Ujihara
Applied Physics Express, **5**, 115501 (3 pages) (2012)
- 2 **Effect of Surface Polarity on the Conversion of Threading Dislocations in Solution Growth**
Y. Yamamoto, S. Harada, K. Seki, A. Horio, T. Mitsuhashi, T. Ujihara
Materials Science Forum, **740-742**, 15-18 (2013)
- 3 **Reduction of Threading Screw Dislocation Utilizing Defect Conversion during Solution Growth of 4H-SiC**
S. Harada, Y. Yamamoto, K. Seki, T. Ujihara
Materials Science Forum, **740-742**, 189-192 (2013)

* harada@numse.nagoya-u.ac.jp