

## 4H-SiC 溶液成長における貫らせん転位変換挙動

## Evolution of 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, 原 奈都美,  
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, Natsumi Hara 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ことが知られている。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 4H-SiC 基板が求められている。

溶液成長法は、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（BPD）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, 6]。これまでの我々の研究から、オフ角種結晶上での溶液成長では、貫らせん転位（TSD）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、X 線トポグラフィの条件を変えることで、X 線の侵入深さを変化させ、貫らせん転位の変換挙動を調査した結果を示す[7]。

## 2 実験

SiC 結晶の成長は、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  $4^\circ$  のオフ角を設けた 4H-SiC を使用した。成長時間は 1 時間であり、厚さ約  $10 \mu\text{m}$  の単結晶を得た。表面モフォロジーの観察は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-3C, 20B において、X 線トポグラフィ法により行った。

X 線トポグラフィの測定条件は Table 1 にまとめた。

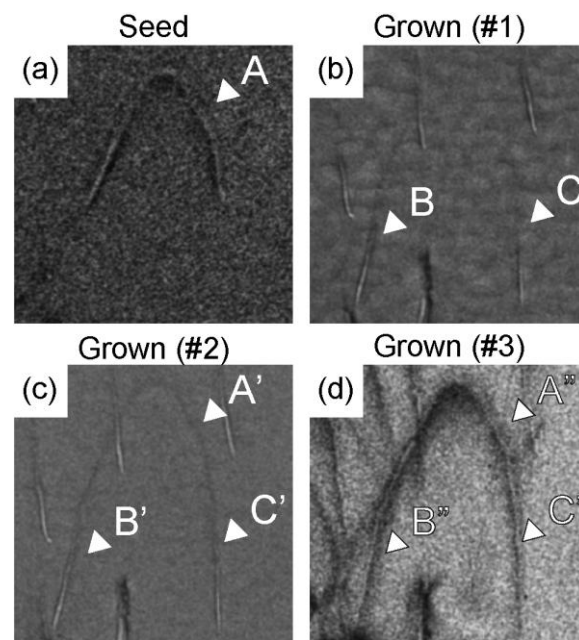


Fig. 1(a)種結晶及び、(b-d)各条件で撮影した溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像。

Condition number	Wavelength $\lambda$ (nm)	Applied g vector	Bragg angle $2\theta$ (deg.)	Incident angle $\gamma$ (deg.)	Output angle $\beta$ (deg.)	Penetration depth $x_{0.8}$ ( $\mu\text{m}$ )
#1	0.125	1 1 -2 8	80.0	4.8	79.2	16
#2	0.150	1 1 -2 8	101.0	15.3	89.7	26
#3	0.071	2 2 -4 16	92.2	7.7	86.1	67

Table 1. X 線トポグラフィの条件と X 線侵入深さ ( $x_{0.8}$ ) [7]。

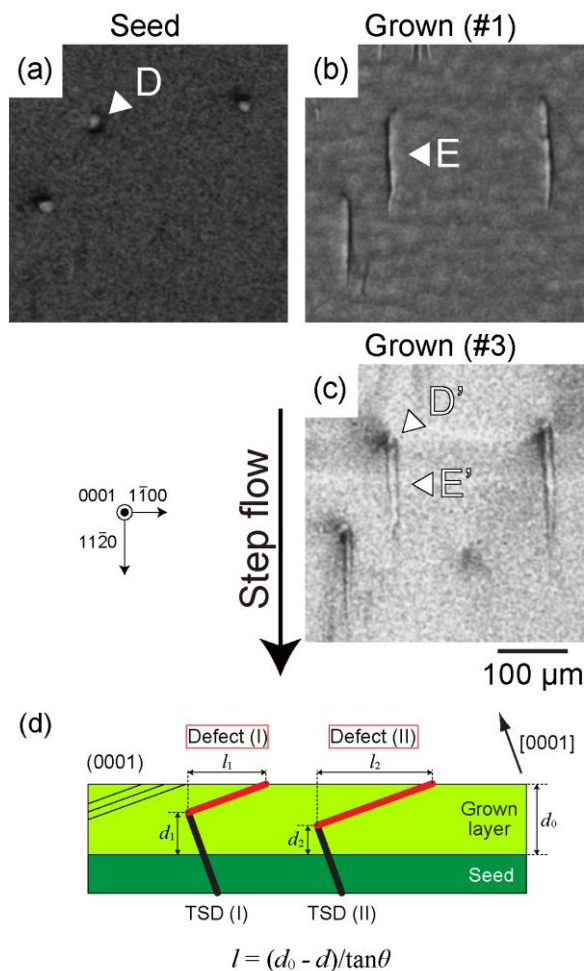


Fig. 2(a)種結晶及び、(b, c)各条件で撮影した溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像と、貫通らせん転位 (TSD) 変換現象の断面模式図。Reproduced with permission from [7]. Copyright 2013 AIP Publishing LLC.

測定条件#1、#2、#3 の順で X 線の侵入深さは深くなる。Fig. 1 に種結晶及び各条件で撮影した溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像を示す。種結晶中に存在する BPD のハーフループ A が、成長結晶中に伝播する様子 (B, C) がわかる。溶液成長結晶と種結晶のトポグラフィ像を比較すると、測定条件#1 では、成長結晶の基底面転位が結像され、測定条件#2、#3 では、成長結晶だけでなく、種結晶中の欠陥も結像されることが分かる。

### 3 結果および考察

Fig. 2 に種結晶及び各条件で撮影した溶液成長結晶の X 線トポグラフィ像を示す。種結晶中に存在する TSD は D のような点状のコントラストとして結像される。一方、溶液成長結晶のトポグラフィ像 (Fig.2(b)) では、E で示されるようなステップフロー方向にのびる線状のコントラストが観察された。また、種結晶中と成長結晶中の両方の欠陥が結像さ

れる、トポグラフィ測定条件で撮影した像 (Fig. 2(c)) では、種結晶中の TSD (D') を起点として、成長結晶中の基底面欠陥 (E') が結像されており、TSD が基底面の欠陥に変換していることが明確にわかる。

また、Fig. 2(b)の成長結晶中の基底面欠陥の長さを見ると、それぞれ長さが異なることが分かる。Fig. 2(d)の模式図に示すように、トポグラフィ像における変換後の基底面欠陥の長さ ( $l$ ) は、TSD 変換が起きた時の成長厚さ ( $d$ ) と下記のような関係がある。

$$l = (d_0 - d) / \tan\theta \quad (1)$$

ここで、 $d_0$  は成長厚さ、 $\theta$  は種結晶のオフ角である。したがって、成長結晶のトポグラフィ像において転位の長さが異なるのは、TSD 変換が同時に起こっているのではなく、漸次的に起こる現象であることを意味している。

### 4 まとめ

X 線トポグラフィの条件を変え、侵入深さを変化させることによって、貫通らせん転位が基底面転位に変換していることを明確にした。また、欠陥変換現象は、確率的に起こる現象である事が明らかとなった。

### 謝辞

測定に際して、ご協力をいただいた、AIST の山口博隆氏と KEK の平野馨一氏に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] H. Jagozinski, *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).
- [7] S. Harada *et al.*, *APL Mater.* **1** 022109 (2013).

### 成果 (論文発表)

- 1 **Evolution of Threading Screw Dislocation Conversion during Solution Growth of 4H-SiC**  
S. Harada, Y. Yamamoto, K. Seki, A. Horio, T. Mitsuhashi, M. Tagawa, and T. Ujihara  
*APL Materials*, 1(2), 022109 (7 pages) (2013)
- 2 **Surface Morphology and Threading Dislocation Conversion Behavior during Solution Growth of 4H-SiC Using Al-Si Solvent**  
S. Harada, Y. Yamamoto, S. Xiao, M. Tagawa, and T.

Ujihara

*Materials Science Forum*, 778-780, 67-70 (2014)

3 **Low-dislocation-density 4H-SiC crystal growth utilizing dislocation conversion during solution method**

Y. Yamamoto, S. Harada, K. Seki, A. Horio, T. Mitsuhashi, D. Koike, M. Tagawa, and T. Ujihara  
*Applied Physics Express*, 7, 065501 (3 pages) (2014)

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