

温度分布の最適化による低貫通転位密度基板を用いた SiC 溶液成長法 Si 面成長での異種多形析出の抑制

Suppression of polytype transformation on Si-face growth with low density of threading dislocations by optimizing temperature distribution in solution

村山 健太^{1,*}, 原田 俊太^{1,2}, 肖 世玉², 堀 司紗², 岡島 鎮記², 藤 榮文博², 宇治原 徹^{1,2,3}

¹名古屋大学未来材料・システム研究所, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

²名古屋大学工学研究科マテリアル理工学専攻, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

³産業技術総合研究所窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ,
〒464-8603 名古屋市千種区不老町

Kenta Murayama^{1,*}, Shunta Harada¹, Shiyu Xiao², Tsukasa Hori², Shizuki Okajima², Fumihiko Fujie²
and Toru Ujihara¹

¹ Institute of Materials and Systems for Sustainability (IMaSS), Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8603, Japan

² Department of Materials Science and Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

³ GaN Advanced Device Open innovation Laboratory, National Institute of Industrial Science and Technology, Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8603, Japan

1 はじめに

SiC はシリコンパワーデバイスの性能を凌ぐ半導体材料として期待されている。SiC 結晶の成長法の一つである SiC 溶液成長法は高品質 SiC 結晶成長を実現する手法として研究が進められている。過去の研究ではオフ角のついた基板の Si 面を用いた SiC 溶液成長法で、貫通らせん転位 (threading screw dislocation, TSD) や貫通刃状転位 (threading edge dislocation, TED) を基底面欠陥 (basal plane defect, BPD) に変換し結晶外に排出することで低欠陥化できることが明らかになっている[1,2]。

しかし近年の研究で結晶中の TSD 密度を市販基板の 1/100 程度まで低減すると、二次元核形成が多発し異種多形が析出し、成長多形を維持することが困難になることが明らかになった[3]。

本研究では成長温度と温度分布を最適化して結晶を成長することでらせん成長丘によるステップフロー成長を安定させ、異種多形の析出の抑制を試みた。

2 実験

名古屋大学において転位変換現象を利用した SiC 結晶溶液成長を行った。4H-SiC の Si 面種結晶を用いて He 雰囲気下で Top-seeded solution growth 法により 5 時間の溶液成長を行った。種結晶端にはらせん成長丘による結晶表面へのステップの安定供給を目的として、ステップフロー上流部にオン部分が一部設けてある。図 1 に示す 3 つの温度分布 (成長温度は#1:1820°C、#2:1805°C、#3:1748°C) で実験を行い、結晶表面の多形分布評価をラマン分光法におい

て行った。また、Photon Factory において X 線トポグラフィにより欠陥密度の定量評価を行った。

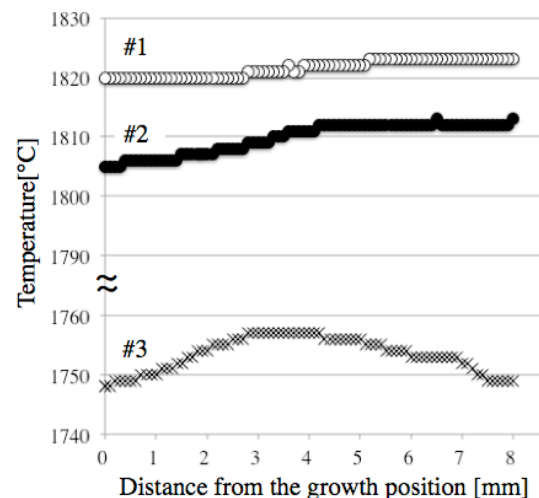


図 1. 溶液内の温度分布。横軸の原点は結晶の成長位置の温度を示す。

3 結果および考察

#1~#3 の温度条件で Si 面の厚膜成長を行い、成長した結晶の転位密度を反射配置 X 線トポグラフィ法によって評価した。反射 X 線は原子核乾板に照射し、現像後に透過型の光学顕微鏡を用いてトポグラフィ像を観察し、各転位の数を全数評価した。

Table 1 に市販 SiC ウェハと本研究で作製した SiC 結晶の各転位密度の比較を示す。#1~#3 の全ての結晶において TSD、TED 密度が市販基板に比べて密

度がおおよそ二桁低い値となった。BPDにおいても密度の桁数は変わらないが絶対数としては減少の傾向があった。SiC 溶液成長によってデバイス特性に重篤な影響を与える欠陥密度を市販基板に対して低減した。

表 1. 市販基板と成長結晶の欠陥密度 (cm⁻²)

Type of dislocation	Commercial wafers	This study
TSD	3500	8-10
TED	11500	160-200
BPD	3600	2000-3000

表 2 に核成長条件での平均ステップ間隔と結晶表面の 4H-SiC 被覆率を示す。#1 では他に比べてステップ間隔が狭くらせん成長丘によるステップフロー成長が支配的となり、4H-SiC が安定となった。#2 では#1 に比べてステップ間隔が広くなり、ステップ間に生じたテラスで二次元核形成が生じ異種多形が析出した。#3 ではらせん成長丘によるステップフローはほぼ見られずステップ間隔を測定することはできなかった。結晶表面は二次元核形成によって生じた二次元島に覆われ成長多形の維持が困難となっていた。

表 2. 平均ステップ間隔と結晶表面 4H-SiC 被覆率

	Interval of macrosteps	Coverage of 4H polytype
#1	4.9 μm	98.7 %
#2	11.4 μm	94.8 %
#3	-	74.2 %

以上から TSD 密度の低い高品質結晶において異種多形の析出を抑制し安定した成長を実現するためには高い成長温度かつ緩やかな温度勾配の条件下で成長させることが重要であることが明らかになった。

4 まとめ

溶液成長法で成長した SiC 結晶の TSD、TED、BPD 密度を反射配置 X 線トポグラフィ法によって定量的に評価した。TSD 密度が小さく二次元核形成による異種多形の析出を抑制することが難しい高品質結晶成長においても、高い成長温度かつ緩やかな温度勾配の条件下で成長させることで二次元核形成を抑制し安定した成長が可能であることが明らかになった。

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、杉山弘氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] Y. Yamamoto *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 115501 (2012).
- [2] S. Harada *et al.*, Acta Mater., **81**, 284 (2014).
- [3] K. Murayama *et al.*, Mater. Sci. Forum **897**, 24 (2017)

成果 (学会発表)

1. “Reduction of all types of dislocation in 4H-SiC crystal by two-step solution growth”, K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, September 27, The 11th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM), Halkidiki, September 25-29 (2016).
2. “Formation of basal plane dislocations introduced by collision of macrosteps on growth surface during SiC solution growth”, T. Hori, K. Murayama, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, September 26, The 11th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM), Halkidiki, September 25-29 (2016).
3. “Threading Screw Dislocation Conversion by Macrosteps during SiC Solution Growth for High-quality Crystals”, S. Harada, K. Murayama, S. Xiao, F. Fujie, T. Sakai, M. Tagawa, T. Ujihara, August 11, 2016, the 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya Japan, August 7-12 (2016).
4. “Two-step growth of SiC solution growth for reduction of dislocations”, K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, August 11, 2016, the 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya Japan, August 7-12 (2016).
5. “The realization of high-quality 4H-SiC C-face grown crystals by controlling the macrosteps formation during solution growth”, S. Y. Xiao, S. Harada, P. L. Chen, K. Murayama, T. Ujihara, August 11, 2016, the 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya Japan, August 7-12 (2016).
6. “溶液成長法二段階成長による SiC 結晶内の欠陥密度の低減”, 村山 健太, 堀 司紗, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, 先進パワー半導体分科会 第 3 回講演会, 2016 年 11 月 8 日, つくば国際会議場
7. “SiC 溶液成長における基底面転位と表面モフォロジーの関係”, 堀 司紗, 村山 健太, 原田 俊太, 肖 世玉, 田川 美穂, 宇治原 徹, 2016 年第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 20 日, 東工大岡山キャンパス

成果 (原著論文)

1. “Conversion behavior of threading screw dislocations on C face with different surface morphology during 4H-SiC solution growth”, S. Xiao, S. Harada, K. Murayama, M. Tagawa, T. Ujihara, *Cryst. Growth Des*, 16, (2016), pp.6436-6439.
2. “Characterization of V-shaped defects formed during the 4H-SiC solution growth by transmission electron microscopy and X-ray topography analysis”, S. Xiao, S. Harada, K. Murayama, T. Ujihara, *Cryst. Growth Des*, 16, (2016), pp.5136-5140.

*mura_mura@unno.material.nagoya-u.ac.jp