

九州シンクロトロン光研究センター 県有ビームライン利用報告書

課題番号：1902003A

B L 番号：15

(様式第 5 号)

X線トポグラフィーによる 4H-SiC ウエハの結晶欠陥評価 (Ⅲ)
Characterization of crystallographic defects in 4H-SiC wafers by X-ray
topography (Ⅲ)

児島一聡^{1,2)}、先崎純寿^{1,2)}、西野潤一²⁾
Kazutoshi Kojima^{1,2)}, Junji Senzaki^{1,2)}, Junichi Nishino²⁾

¹⁾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 Power Electronics Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

²⁾産業技術総合研究所 TIA 推進センター 共用施設運営ユニット
パワーエレクトロニクスステーション
TIA Central Office Open Research Platform Unit Power Electronics Station,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

- ※ 1 先端創生利用 (長期タイプ) 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 (トライアル利用を除く)。
- ※ 3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※ 4 共著者には実験参加者をご記載ください (各実験参加機関より 1 人以上)。

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

VLS-CVD 法で作成した 4H-SiC エピタキシャル薄膜に対して反射 X 線トポグラフ測定を行い本成長方法における 4H-SiC 基板からエピタキシャル膜に伝搬する転位の挙動を観察した。その結果、VLS-CVD 法で作成した 4H-SiC エピタキシャル膜では貫通転位が減少し、基底面転位が増えていることがわかった。これは溶液成長同様貫通転位が基底面転位に変換したものと考えられる。

(English)

Propagation of dislocations from 4H-SiC substrates into epitaxial layers that were grown by VLS-CVD was characterized by using X-ray topography. As the result, threading dislocations (TDs) were decreased and basal plane dislocations (BPDs) were increased on the epitaxial layer grown by VLS-CVD. It means TDs were converted to BPDs like a solution growth of 4H-SiC crystal.

2. 背景と目的

電力エネルギー変換を高効率に行うためにワイドギャップ半導体材料の一つとして、4H型シリコンカーバイド (4H-SiC) を用いたパワーデバイスの実用化が進んでいる。4H-SiC 結晶成長技術の向上により結晶欠陥は低減されつつあるものの、依然として一定程度の結晶欠陥が存在しており、デバ

イスの特性不良や信頼性低下の要因となることが懸念されており普及拡大への枷となっている。一方、Si に比べてウエハが高コストであることも普及拡大に対する大きな課題となっている。そのため、結晶欠陥の観察をバルク結晶成長、エピタキシャル成長、デバイス開発等の研究者と連携しながら進め、欠陥の性状、発生原因、デバイス性能への影響等の諸問題を解決していく必要と共に SiC のウエハコスト低減に向けた新たな取り組みも求められている。

本研究では 4H-SiC の欠陥評価によって、SiC のパワーエレクトロニクス実用化に必要な課題解決を進めることを目的に 1) 貼り合わせ 4H-SiC ウエハ上に作成した 4H-SiC エピタキシャル層の結晶欠陥観察とその低減、2) 高濃度ドーパバルク p 型 SiC ウエハにおける積層欠陥発生抑制や貫通欠陥制御、3) 4H-SiC 埋め込みエピタキシャル層の結晶欠陥解析、4) 標準化として、「SiC エピ/ウエハ欠陥検出法」に関する国際規格原案作成と IEC TC47 への提案のためのデータ収集を行う。

本報告では当初の予定にはなかったが SiC のウエハコスト低減に向けた新たな取り組みとして期待される液相層を介在させて薄膜成長を行う Vapor-liquid-solid (VLS) を CVD 法に適応 (VLS-CVD) して作製した 4H-SiC エピタキシャル膜中の転位の挙動を X 線トポグラフにより評価した。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

液相層を介して薄膜成長を行う VLS 法は成長温度の低温化、高速成長が期待される。4H-SiC の VLS 法では液相組成として Si-Pt が有効であることがわかっており [1]、この Si-Pt を塗布した 4H-SiC 基板を熱 CVD 装置内セット、SiH₄ 及び C₃H₈、H₂ の各ガスを供給して VLS 法と CVD 法を組み合わせた

VLS-CVD 法によるエピタキシャル成長を実施した。図 1 に示す様に VLS-CVD 法では気相中の原料ガスが液相中を拡散、基板と液相の界面に供給されることでエピタキシャル成長が起きる。

この様にして作成したエピタキシャル膜に対して BL-15 のビームラインに置いてベルグバレット配置による X 線トポグラフを実施した。入射 X 線の波長は 1.5 Å、回折面は (-1-128)、x 線の入射角度は結晶表面に対して約 5° である。

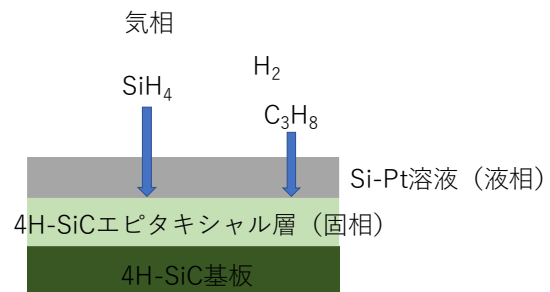


図 1 VLS-CVD のイメージ

4. 実験結果と考察

図 2 に VLS-CVD 法で作製した 4H-SiC エピタキシャル膜の反射 X 線トポグラフ像を示す。本試料ではウエハの一部に Si-Pt を塗布していたため、塗布していない領域には通常の 4H-SiC 基板上のエピタキシャル成長が生じている。Si-Pt を塗布していない通常のエピタキシャル成長が起こっている領域には多数の貫通転位に対応する白点が観察される。一方、Si-Pt を塗布していた VLS-CVD 領域は塗布していない領域に比べて明らかに観察される転位の数が減少している。特に貫通転位に対応する白点の減少していることが見てとれる。一方、[11-20] 方向に黒く伸びる基底面転位が VLS-CVD 領域にも観察

され、これは貫通転位が基底面転位に変換したためと考えている。この現象は 4H-SiC の溶液成長で報告されている現象に近いと考えられる。実際 VLS-CVD の領域では通常の CVD 成長の領域には観察されていない巨大なステップバンチングに起因するとみられる [1-100] 方向に伸びる線状のイメージが観察されておりこのことから VLS-CVD では溶液成長と似通ったメカニズムの成長が生じているものと考えられる。

以上のことから液相層を介在させて薄膜成長を行う Vapor-liquid-solid (VLS) を CVD 法に適応 (VLS-CVD) して作製した 4H-SiC エピタキシャル膜中の転位の挙動を X 線トポグラフにより評価した

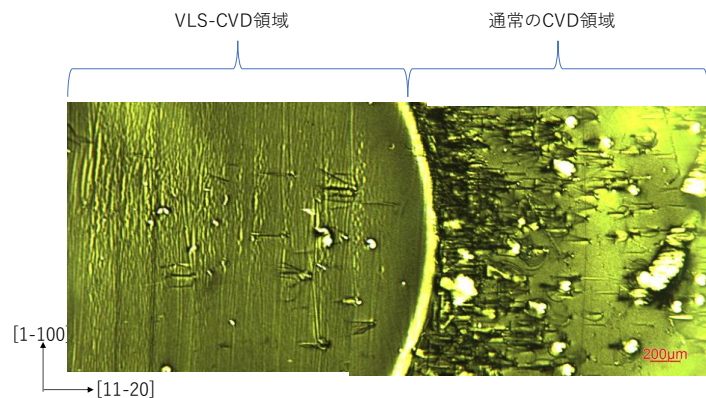


図 2 VLS-CVD による 4H-SiC エピタキシャル膜の X 線トポグラフ像

ところ、溶液成長と同様、貫通転位が基底面転位に変化していると考えられる現象が観察された。

5. 今後の課題

今回の測定では同一箇所の基板単独での X 線トポグラフ像を撮影していないため、VLS-CVD 成長において貫通転位が基底面転位へ変換する現象の確定にまでは至っていない。今後は事前に基板単独の X 線トポグラフ像を撮影することで転位を事前に確認、その後当該同一箇所で VLS-CVD 成長を行い、再度 X 線トポグラフを行って本貫通転位の挙動を確定させる。

6. 参考文献

[1]A.Osumi, K.Nakano, N.Sannodo, S.Maruyama, Y.Matsumoto, T.Mitani, T.Kato, Y.Yonezawa, H.Okumura, *Materials Today Chemistry*,16,100266, 2020

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)

“Relationship between depth of basal-plane dislocations and expanded stacking faults by application of forward current to 4H-SiC p-i-n diodes”, S. Hayashi, T. Yamashita, J. Senzaki, T. Kato, Y. Yonezawa, K. Kojima, and H. Okumura, *Appl. Phys. Express* 12, 051007 (2019).

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)

4H-SiC、VLS、CVD、X 線トポグラフ

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。提出期限は利用年度終了後 2 年以内です。例えば 2018 年度実施課題であれば、2020 年度末(2021 年 3 月 31 日)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 | (報告時期: 2021 年 12 月) |
| ② 研究成果公報の原稿提出 | (提出時期: 年 月) |