



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：2205038S

BL番号：07

(様式第5号)

X線CTによる4H-SiC SJ構造内部のボイド観察
Observation of Voids in 4H-SiC SJ structures by using X-ray computed tomography

児島一聡、紀世陽、山口博隆
Kazutoshi Kojima, Ji Shiyang, Hirotaka Yamaguchi

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

- ※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）

4H-SiCのトレンチのCVD埋め戻し成長において、トレンチ端部にはボイド欠陥が発生しやすく、リーク電流の経路になることが分かっている。通常、ドライエッチングによるボイドを除去する特別なプロセスが必須である。そして、ボイド欠陥の位置と3次元形状を把握することが不可欠なプロセス情報であるために、マイクロX線コンピュータ断層撮影（X線CT）によって、端部ボイドの諸空間寸法を求めて、ボイド欠陥の3次元形状を同定することができた。

(English)

During the 4H-SiC trench filling by CVD, the voids-defect always happens on the longitudinal edges of trenches. That kind of voids-defect has been found to be the path of leakage-current for a final device. In general, an extra process step of removing those voids by dry-etching is necessary. Thus, the dimensional size of voids is thought to be pre-requisite for proceeding a removal process. By using micro X-ray computed tomography method, all parameters relevant to the spatial shape of the voids on the trench edges have been obtained and the corresponding 3D images have been constructed.

2. 背景と目的

SJ構造を用いた4H-SiCデバイスは材料物性で決まる理論限界を超えてさらなる低損失化が可能となり、その実用化が期待されている。SiCは不純物の拡散係数が小さくSi-SJ (CoolMOS) で用いられているエピ/イオン注入を繰り返すマルチエピタキシャル法を用いることが難しく、エピタキシャル成長を用いたトレンチ埋込技術によりSJ構造を作製する必要がある。産総研ではLine&Spaceのトレンチを用いて4H-SiC SJ構造の作製に成功している。しかしながらLine&Spaceのトレンチ端部において高い確率でボイドが発生する。このボイドは幅数ミクロン、長さ数10~100 μm 、深さ10~15 μm のサイズを持ち逆方向電圧印加時のリーク源になることが予想されSJデバイスの特性・歩留ま

りに影響を与えてしまう。このボイドはトレンチ埋込時の成長表面でのオーバーラップにより成長表面側が閉塞、トレンチ内部に原料が供給されないことにより生じる。そのため成長表面から見ると一見ボイドが無いように見えてしまう。そのため現状ではFIB加工を用いた断面観察によりボイドの有無を確認するしか方法が無い。FIB加工を行ったウエハはプロセスを行うことが出来なくなってしまふ。そのためこの4H-SiC SJデバイス実用化に向けては非破壊でトレンチ端部のボイドの観察をする必要があり、そのための第一歩としてX線CTを用いた4H-SiC SJ構造内部のボイド観察を行う。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

試料はトレンチ埋込方法で作製した4H-SiC SJウエハで厚さ350 μ mの4H-SiC基板に深さ12 μ mのトレンチを形成して埋め込んだものを使用したX線CTはBL-7のビームラインにおいて

(1) 15mm角のトレンチ埋込方法で作製した4H-SiC SJウエハの透過コントラストイメージングによって空隙(ボイド)の検出を試みた。

(2) ボイドを含む部分を切り出した1mm角の試料についてCT撮影をおこない、画像処理ソフトによりCTデータの再構成・解析作業を行ってボイドの非破壊観察を試みた。

4. 実験結果と考察

図1はあるピッチを持つトレンチの埋め戻し成長前と成長後の光学顕微鏡図とそれぞれ方向のX線CT像を示している。成長の前にトレンチ構造の端部とサンプル表面を明らかに区別できた。成長後の試料表面は、巨大なステップバンチングのような厚いエピ層で覆われている。顕微鏡像ではトレンチ端部は区別することはできないので、試料の内部にボイドがあるかどうかは判明できなかった。

図1のX線CT像の水平断面図は、ウエハ表面と平行なCT画像をスライスしたものである。トレンチ端部付近にエピ膜の下にボイド欠陥を確認することができた。トレンチ垂直方向のX線CT像断面図には、ボイド横方向幅を示している。水素エッチングによって、成長前のトレンチ幅より細くなっても、繋がっていないことが確認できる。また、トレンチ方向に沿ってスライスしたX線CT像からはボイドの長さは約 $\sim 40\mu$ m、深さ約 $\sim 20\mu$ mであることが判った。トレンチ埋め戻し成長初期にボイドがトレンチ端の底部から発生すると考えられる。図2は、X線CTの画像データから作成した3次元可視化モデルであり、ボイド欠陥の形状と寸法の立体的な画像として把握できる。これらのX線CT像は、トレンチ埋め戻し成長やデバイス加工には有効な評価方法と考えられる。

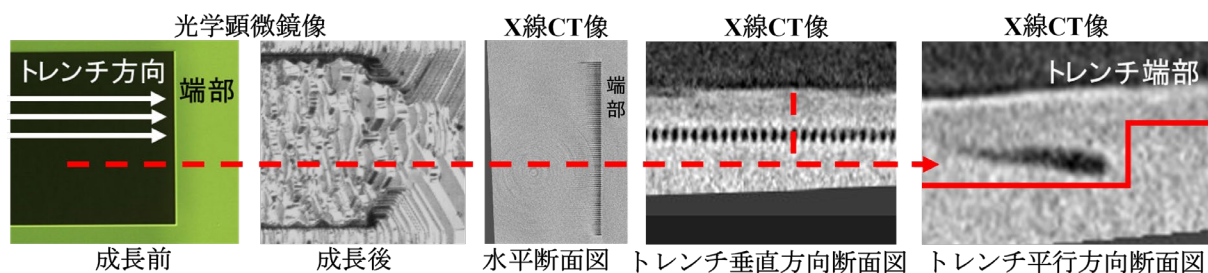


図1 埋め戻し成長したトレンチ光学顕微鏡写真とX線CT像



図2 トレンチ端部を内部可視化した3D構造図

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、CVD、X線CT、埋め戻し成長、欠陥評価

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：2024年 3月）

② 研究成果公報の原稿提出

（提出時期： 年 月）