

5. 走査型電子顕微鏡(SEM)によるエピ膜表面の欠陥の観察 1

・はじめに

4H-SiC ウエハのエピ膜表面を SEM で観察するとエピ膜成長時に形成された各種エピ欠陥を観察することができます。市販のエピウエハではこれらのエピ欠陥は年ごとに減少傾向ではありますが、残念ながら現在もしばしばエピ膜表面に存在しています。MOS キャパシターなどを作成すると、これらのエピ欠陥は歩留まりを落とす原因となっていることがわかっています[1]。私たちはそれらのエピ膜欠陥を SEM で観察し、分類し、構造を調べ、発生原因を調査し、デバイス作製時の影響を調べています。以下にそれらの観察例を示します。観察は日立製 S-4800 または FEI 製ヘリオス 600i を使って行いました。

・ 3C 粒子 (ダウンフォール)

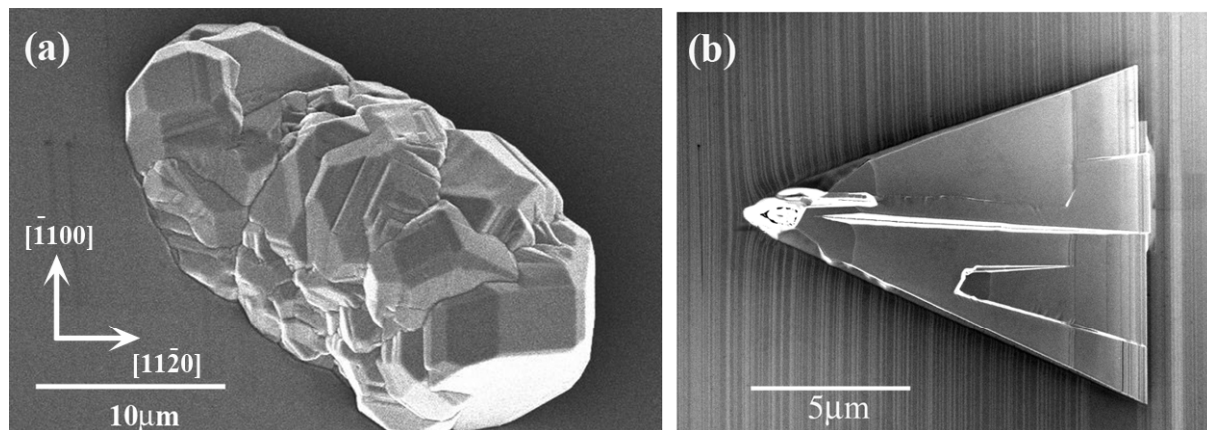


図 1. SEM で観察される(a) 3C 粒子、(b)三角欠陥

図 1(a)は市販ウエハのエピ膜表面で観察される 3C 多結晶粒子 (ダウンフォール) の SEM 像を示しています。これらの 3C 粒子は、CVD 炉の壁面の 3C コート材や、炉内に付着している 3C 構造の SiC のくずが剥離しエピ膜表面に付着し、エピ膜成長とともに成長したものと考えられています。3C 多結晶粒子は 4H 構造のエピ膜の深い所にめり込んでいます。この 3C 粒子多結晶の結晶方位とエピ膜の 4H 構造との間には結晶方位の整合性はありません。エピ膜成長は[1120]方向へのステップフローモードで行われていて、図 1(a)の 3C 粒子の右側つまり川下側のエピ膜の内部には多量の 8H(4,4)型の積層欠陥が広い面積で形成されています [2]。また 3C 粒子から離れた位置で MOS キャパシターの絶縁破壊が発生することが観察されています[1]。透過型電子顕微鏡による観察では 3C 粒子の側壁部から 3C の板状のドメインが 4H 構造のエピ膜内部に形成され、離れた位置で 3C 板状ドメインが表面終端する場所で絶縁破壊が観察されることが分かりました。これらの 3C の板状のドメインは、エピ膜表面で終端している場合とエピ膜内部で終端している場合があり、後者の場合エピ膜表面からはその存在はわかりにくいことがあります。一般的にステップフローの川下側である 3C 粒子の[1120]方向側では、エピ膜内部は結晶欠陥が広範囲に存在しています。

・ 三角欠陥

図 1(b)は市販ウエハのエピ膜表面で観察される三角欠陥の SEM 像の一例を示しています。三角欠陥は 3C 構造の層がエピ膜の 4H 構造と結晶方位の整合性を持って形成されています。三角欠陥の内部では 3C の複雑な双晶構造が形成されていて、双晶構造に種類が複数ありそれにより外見が若干異なっています。三角欠陥中心部に位置する双晶構造部では 4H 構造と結晶方位の整合性はありません。三角欠陥の発生起点には微小な 3C 粒子などが確認されることもありますが、原因が不明のものも観察されます。

・ コメットとマイクロパイプ

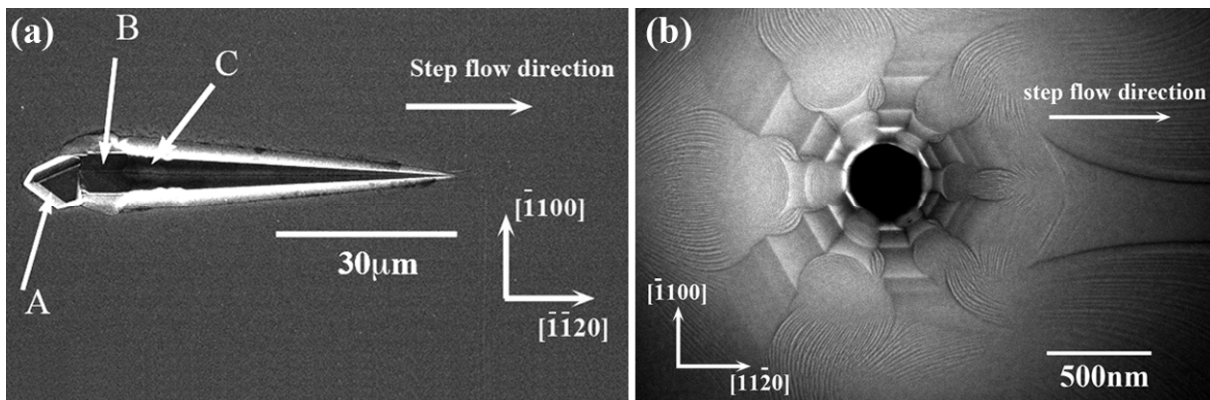


図 2. SEM で観察される(a) コメット、(b)マイクロパイプ

図 2(a)は市販の C 面のエピ膜表面で観察されるコメットの SEM 像を示しています。A の部分は 3C の多結晶粒子で、エピ膜奥深く突き刺さっています。コメットの尾部 B C 部は 3C の結晶構造を持ち、三角欠陥の中心部分と類似した立体的な双晶構造を形成していますが、三角欠陥とは異なりステップフロー方向へ向かって広がっていくことはありません[3]。

図 2(b)は市販のエピ膜表面で観察されるマイクロパイプの SEM 像を示しています。近年の 4H-SiC ウエハではマイクロパイプの密度は低下していますが、完全には消滅はしていません。以上の図 1、2 で示した欠陥はパワーデバイスのキラー欠陥であることは以前より指摘されています。

・ キャロット類

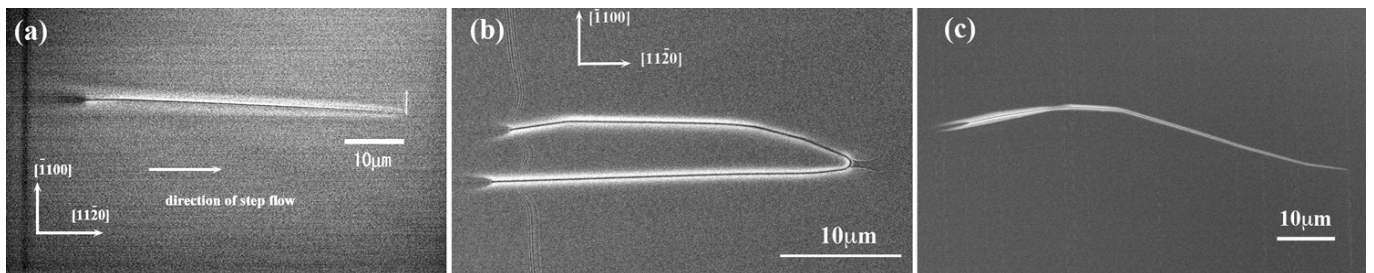


図 3. SEM で観察される(a) キャロット、(b)、(c) フランク型刃状転位エピ膜表面終端部

図 3(a)は市販ウエハのエピ膜表面で観察されるキャロットの SEM 像を示しています。キャロットは貫通らせん転位が、エピ膜成長中に複数の部分転位に分解し、部分転位間に立体的に積層欠陥が形成されて

いる状態の欠陥として報告され[4-5]、SEMによる観察ではL字型をした積層欠陥の表面終端部が観察されます。c軸方向に向かって走る貫通らせん転位が方向を変えて基底面上を這う時に、フランク型刃状転位に変換されますが、図3(b)、(c)はそのフランク型刃状転位の表面終端部と考えられます。JBS構造を持つSBDの実験では、図1,2で観察されるエピ欠陥部ではSBDは働かないものの、図3で観察されるようなキャロット類では歩留まりは低下しないと報告されています[7]。

走査型電子顕微鏡(SEM)によるエピ膜表面の欠陥の観察は連載の6に続きます。

[1] T. Hatakeyama et al., Mat. Sci. Forum 645-684 (2010) 799.

[2] B. Chen et al., Acta Material 60 (2012)51.

[3] T. Yamashita et al., Proceedings of ECSCRM 2014 to be published.

[4] M. Benamara et al., Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 021905.

[5] H. Tsuchida et al., Phys. Stat. Sol. B246 (2009) 1553.

[6] S. Hamada et al., Mat. Sci. Forum 725 (2012) 31.

[7] 木下ら、エネルギー・産業技術総合開発機構プロジェクト「パワーエレクトロニクスインバーター基盤技術の開発」(2006-2008)報告書