

5. 走査型電子顕微鏡(SEM)によるエピ膜表面の欠陥の観察 2

・はじめに

前回の連載では 4H-SiC ウエハのエピ膜表面に現れる各種エピ欠陥の観察を報告しました。引き続き、エピ膜表面の各種エピ欠陥の SEM 観察について報告します。

・ピット類 1

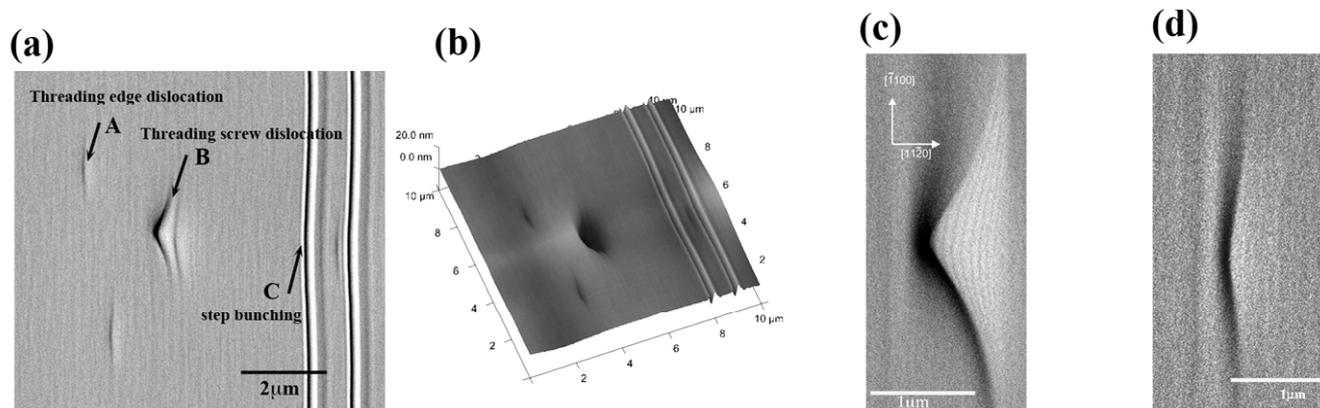


図 1 (a) SEM で観察されるピット類、A 貫通刃状転位、B 貫通らせん転位、C ステップバンチング (b) AFM で (a)と同じ場所を観察した像。 (c) 貫通らせん転位終端部ピットの SEM による観察像の拡大像。 (d)貫通刃状転位終端部ピットの SEM による観察像の拡大像。

図 1(a)は市販ウエハのエピ膜表面で観察されるピット類の SEM 像を示しています。A は貫通刃状転位のエピ膜表面終端部で観察されるピット、B は貫通らせん転位終端部で観察されるピットです。C は何らかの原因により発生したステップバンチングです。これらのピットの形状と転位の種類との関係は X 線トポグラフィ法によって調べられました。図 1(b)は、AFM による観察像で(a)と同じ場所を観察した結果を示します。SEM で観察した像と同じ像が観察されています。AFM は凹凸構造を定量的に調べることが可能という利点がありますが、曲率の小さな凹凸を伴う立体構造を AFM で観察すると実際の構造とは異なる形状が観察されることがあり SEM で形状を確認しておくことは重要です。定量性を必要としない時には SEM による観察が立体構造を効率よく高い分解能で鮮明に観察することができるという利点があります。図 1(c) (d)はそれぞれ貫通らせん転位、貫通刃状転位部のピットの拡大像を示します。当連載の 2 で述べたように、貫通らせん転位によるピットは MOS キャパシタの絶縁破壊の原因になりますが、これらのピットの凹凸の程度は、水素エッチングやエピ膜成長のやり方によっても異なっていて、ピットが観察されにくいウエハも存在しています。

・鈍角三角形欠陥とピット類 2

現状の 4 度オフのエピウエハの表面には鈍角三角形欠陥と呼ばれる巨大な表面欠陥が多数観察されます。鈍角三角形欠陥は表面の凹凸により構成されていて表面直下には格子欠陥は伴っていませんが、3C 粒子、

三角欠陥、キャロット、スクラッチ、潜傷などが発生原因となって、いくつかの鈍角三角形欠陥が形成されることは光学顕微鏡観察より確認されています[1]。しかしながら大部分の鈍角三角形欠陥の発生原因はしばらくの間不明でした。

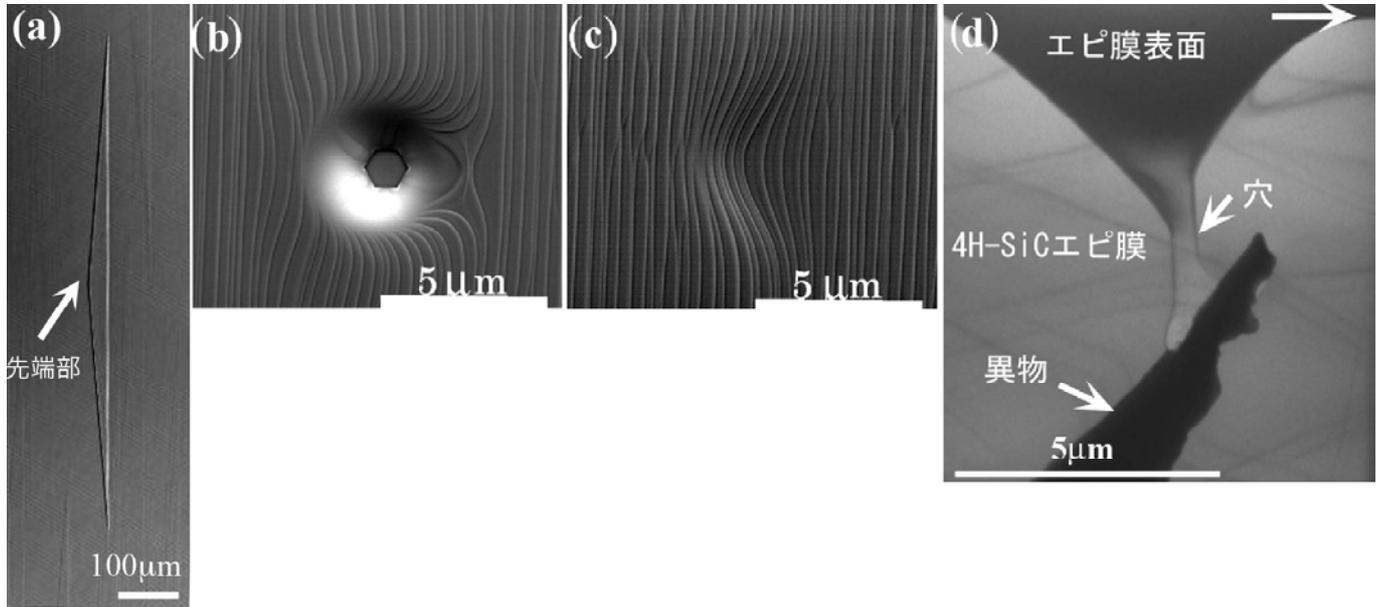


図 2 (a) 光学顕微鏡で観察される鈍角三角形欠陥。(b) 鈍角三角形欠陥の先端部で観察されるピットの SEM による観察像。(c) 鈍角三角形欠陥の先端部で観察される閉塞痕。(d) ピットの断面の透過型電子顕微鏡観察像。

発生原因不明の鈍角三角形欠陥の先端部を SEM で観察すると図 2 (b)、(c)に示すようなピットや、ピットの閉塞痕が観察されます。図 2(d)はこのピットの断面を示します。ピットの奥には異物が観察されます。閉塞痕の下にも異物が観察されます。異物のサイズは図 2(c)に見られるように数ミクロンに達するものから 1 ミクロン以下の大きさのものも観察されています。この異物は CVD 炉由来と考えられ、炉の構成材が高温時に表面から剥離し炉内を舞ってエピ膜表面に付着していると考えています。この異物と 4H-SiC との界面には空洞やピットが形成されるので界面エネルギーは高いと考えられます。この異物が多くの鈍角三角形欠陥の発生原因となっています[2]。鈍角三角形欠陥は MOS キャパシターのキラ欠陥になるので、異物混入の対策が期待されています。

・ ステップバンチング

上記で述べたエピ膜表面に現れる各種欠陥の近傍のエピ膜表面にはステップバンチングが出現します。これらのステップバンチングは、ステップフロー方向に垂直方向の[11 00]に延びています。ステップバンチングは MOS キャパシターの歩留まりを落とすことが知られています。ステップバンチング部を SEM で観察すると図 3(a)に見られるようにステップとテラスの構造を観察することが出来ます。図 3(b)は三角欠陥の縁の 3C|4H 構造の界面を観察した例です。SEM の 3C と 4H 構造では SEM のコントラストにも違いが現れ、またステップバンチングの現れ方にも違いが観察されています。これらのステップバンチングはエピ膜表面に現れる各種の欠陥に起因してその近傍で出現しているため、エピ膜成長に伴い出現する各種の欠陥の密度を下げることは重要であると考えられます。

以上示したように SEM で 4H-SiC のエピウエハの表面を観察すると、容易に微細構造を観察することが

可能です。今回紹介したピット類や、ステップバンチングは、MOS 構造の歩留まりの低下の原因になっています。

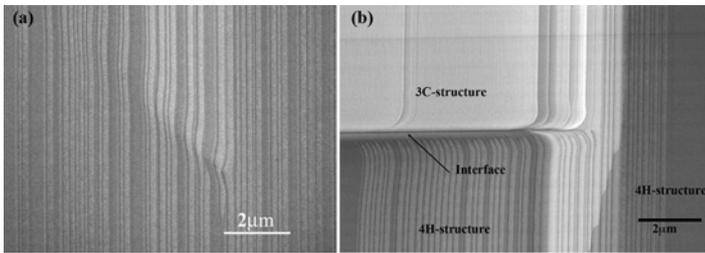


図 3 (a) 8H(4,4)型の積層欠陥終端部の SEM 像。(b) 三角欠陥の 3C|4H 構造の界面の SEM 像。

[1] エネルギー・産業技術総合開発機構プロジェクト「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」報告書

[2] T. Yamashita et al., Mat. Sci. Forum 740-742 (2012) 649.