

#### 4. 放射光を利用した X 線トポグラフィ法によるエピ膜成長に伴う転位組織の変化

##### ・はじめに

過去の NEDO プロジェクトで、放射光を利用したベルク・バレット法で 4H-SiC エピ膜成長に伴うエピ膜中の転位組織の変化を観察しています。4H-SiC ベアウエハの上にエピ膜を成長させると、ベアウエハの表面で終端していた転位はエピ膜中に引き継がれますが、エピ膜中では転位組織に大きな変化が観察されます。これらのうち顕著に観察されるのはつぎの 3 つです。

##### ・基板中の基底面転位はエピ膜中で貫通刃状転位へ変換

エピ膜成長に伴い基板中の基底面転位は大部分貫通刃状転位へ変換されていることを放射光を利用したベルク・バレット法で観察しています[1],[2]。バイポーラーデバイスの作製を想定する場合、デバイス中に基底面転位が存在すると性能が劣化するので、エピ膜成長による貫通刃状転位への変換は重要であると考えられています。

##### ・エピ膜と基板との界面近傍に L 字状の界面転位が形成

放射光を利用した X 線トポグラフィ法(ベルク・バレット法)で市販のエピ膜つきウエハを観察すると図 1(a)のような L 字状の転位が観察されます [3],[4]。図 1(a)中の ABC は同一の(0001)基底面上に載っている基底面転位です。AB 部はエピ膜と基板の界面付近で界面に平行に存在している界面転位です。BC 部は界面転位の尻尾の部分で(0001)基底面に載ったままエピ膜中を横断してエピ膜表面 C で終端しています。この L 字状の界面転位は、エピ膜成長中に BC 部が左側方向へ移動して行き、これに伴い界面転位部 AB が延長されていくと考えられています。このようなエピ膜と基板の界面近傍に界面転位を導入させている原因の一つには、エピ膜成長時のウエハの温度分布が不均一であることが考えられています[5]。

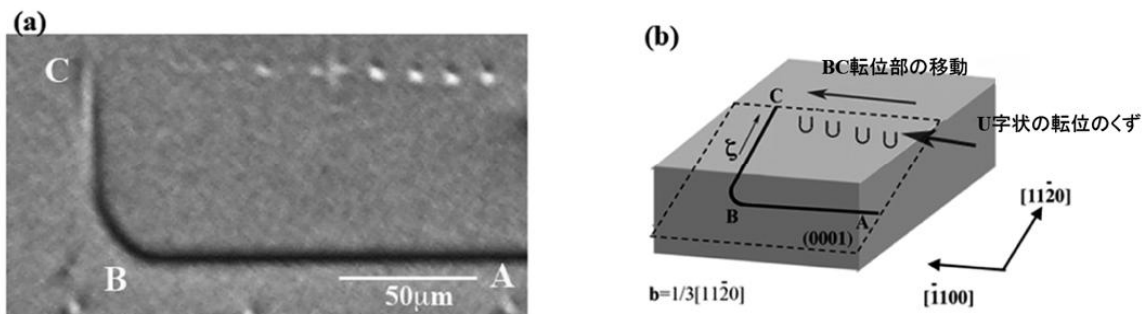


図 1(a)L 字状の界面転位の放射光トポグラフィ像。(b)左の像の模式図

ウエハベンダー各社のウエハを X 線トポグラフィ法で観察すると、界面転位の密度に違いが観察されますが、概して、ほぼすべてのウエハで観察されます。また、いずれのメーカーのものも、概してウエハの半径の 1/2 の内側に多く観察されます。このことは、高温ではウエハが、みな同じ形にカールしていることによると推察されます。

### ・エピ膜中に U 字状の転位半ループ列の形成

図 1(a)では界面転位がエピ膜表面で終端している C の部分がエピ膜成長とともに左へ動いていく時に、右側に小さな白いコントラストのたくさんの転位のくずを散らしながら動いて行くことが観察されることがあります[4]。各転位のくずは U 字型の形状をしていると考えられ、U 字の底部は基底面転位、U 字の両端は貫通刃状転位になっていると考えられます。図 1(a)では各転位くずのコントラストは左側のものほどコントラストが弱くなっています。左側のものほど、表面から浅い位置に存在しているので、十分なコントラストが付きにくくなっていると考えられます。界面転位は、基底面を動くことで応力緩和の調節しるに使われる役目を担っているため、基底面から出ることができません。つまりエピ膜成長にともない貫通刃状転位への変換ができません。一方で、基底面転位の表面での終端部、図 1(a)の“C”の部分では、エピ膜成長に伴い基底面転位から貫通刃状転位への変換が起こっていると考えられます。貫通刃状転位に変換されると、動き回って応力緩和を起こすことはできず転位の終端部はピンどめされます。応力緩和を担わされている界面転位はピンどめをはずし再び基底面転位に変換され左側へ動いて行きます。この時、ピン止めされていた貫通刃状転位部は小さな U 字状転位となり残存します。このことが繰り返し行われ、多量の微小な U 字状の転位半ループが形成されると考えられています。

### ・電子ホール対再結合により誘起され運動する転位

エピウエハにレーザー光をあてたり、電子線をあてたりすると、バイポーラーデバイスで発生する順方向特性劣化現象と類似の現象、つまりエピ膜中の基底面転位の拡張によるショックレー型積層欠陥の増大が観察されます。X 線トポグラフィ法で観察すると、エピ膜中の拡張する基底面転位は、図 1(a)の BC 部とまき散らされた U 字状の転位半ループ列の底部分で基底面転位の拡張が起こります[4,6]。また、界面転位の BC 部でも基底面転位の拡張が観察されます[7,8]。これらの転位のバーガス・ベクトルはすでに分かっており、それらの転位が形成する積層欠陥の最終形状も予測することができます。一方、pn ダイオードの順方向特性劣化の現象を調べた各種の文献では、予測された転位による積層欠陥の他に、異なるバーガス・ベクトルをもつ基底面転位が拡張したと考えられる積層欠陥の像などが確認できます。このことは、エピ膜成長時に導入された界面転位以外の基底面転位がデバイス内部に存在していることを示しています。バイポーラーデバイスの特性劣化を抑えるには、L 字状界面転位の導入を抑えることも重要ですが、一方で、それ以外のプロセスで基底面転位がどのようにエピ膜やデバイス内部に導入されているか調べて、特性劣化現象がどのプロセスで導入された基底面転位により引き起こされているのかを明確にすることは重要だと考えられます。

[1] T. Ohno et al., J. Crst. Growth 260 (2004)209

[2] T. Ohno et al., J. Crst. Growth 271 (2004) 1.

[3] H. Matsuhata et al., Mat. Sci. Forum Vol. 600-603 (2009) p615-618 .

[4] N. Zhang et al., Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 122108

[5] X. Zhang et al., Mat. Sci. Forum Vol. 679-680 (2011) p306-309.

[6] B. Chen et al., J. Appl. Phy. 106 (2009) 074502.

[7] B. Chen et al., Appl. Phy. Lett. 96 (2010) 212110.

[8] H. Matsuhata et al., Philo Mag. 94 (2014) 1674.