



SiC レクチャーシリーズ

8. SiC エピタキシャル成長技術

SiC エピタキシャル成長技術

SiC には安定な多くの結晶多形(ポリタイプ)が存在します。このため、SiC 基板の特定の結晶多形を引き継いだエピタキシャル成長層を得るには、原子の三次元的な配列情報をエピタキシャル成長層に与える必要があります。この方法として、低指数面に小さなオフ角を付けた表面を持つ SiC 基板に対し、適切な成長条件のもとで化学的気相成長を行う SiC のエピタキシャル成長法があります。本手法は京都大学名誉教授の松波先生らにより見出された手法で、ステップ制御エピタキシー法(Step-Controlled Epitaxy)と名付けられています。

図 1 にステップ制御エピタキシー法を用いた SiC のエピタキシャル成長の概念図を示します。オフ角をもつ SiC 基板の表面を清浄化することにより、分子層オーダーのステップやテラスの構造が形成されます。原料ガスを流すとこの表面に原料種が供給されますが、原料種はテラス面上を動き回り、所々に現れているステップに捕捉されます。補足された原料種は、その位置で、下地である SiC 基板の結晶多形と一致する配列をもつ結晶を形成し、エピタキシャル層が成長します。

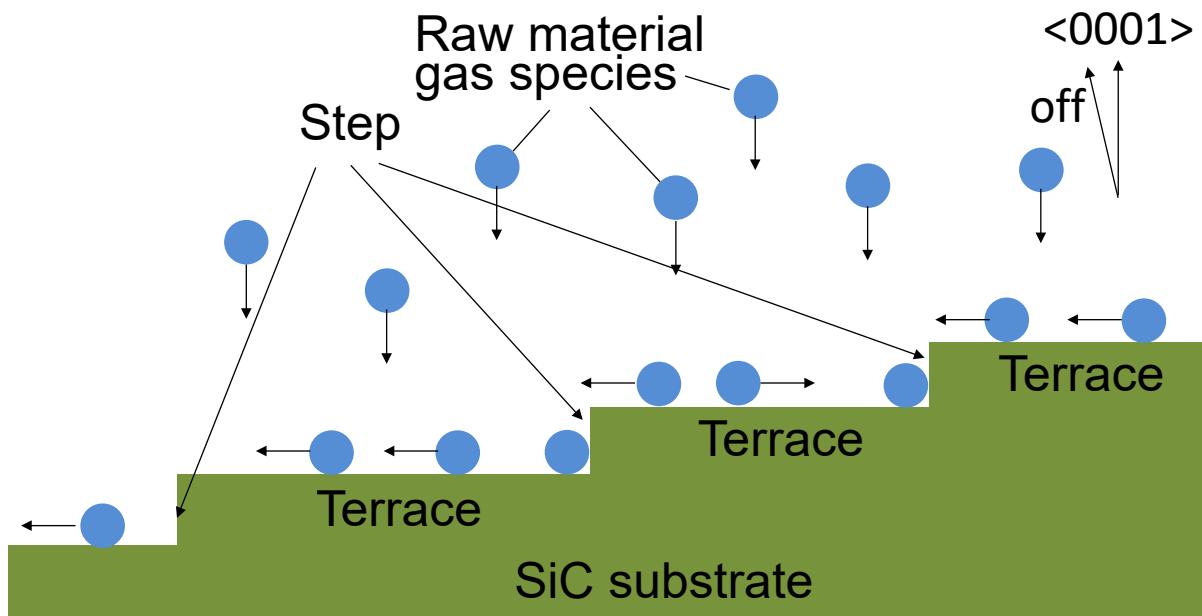


図 1 オフ角をもつ(0001)基板上の SiC エピタキシャル成長の概念図

ステップ制御エピタキシーにおいて、ステップではなくテラス面上で原料種が核形成し、結晶が形成されると、縦方向の配列情報が無いため、異なるポリタイプの結晶が成長します。エピタキシャル層に混入した異種ポリタイプは、デバイスにとって致命的な欠陥であることより、ステップ制御エピタキシーでは、適切なテラス幅が得られるようにオフ角を設定し、かつ、原料ガス中の Si 種、C 種の濃度、成長温度などを最適化して、ステップで結晶を優先的に形成する条件が選択されます。今日、市販されている 4H 型 SiC 基板の表面が 4° オフ (0001) 面となっていることは、ステップ制御エピタキシーからの要請とブルー(boule)から取れるウェハの枚数を増やすことの二つの要請により決まっています。

化学的気相成長法によるSiCのエピタキシャル成長は、通常、高純度水素をキャリアガスとし、 SiH_4 などのSi原料および C_3H_8 などのC原料を1500~1600°Cの高温に保持したSiC基板の表面に供給して行われます。このような高温では、装置の内壁などの周囲の温度が低いと、基板表面への原料供給の効率が大幅に低下するため、ホットウォール型のリアクターが用いられます。SiCのエピタキシャル成長装置については、縦型、横型、マルチウェハ式、シングルウェハ式など、種々の方式のものが使用されています。図2に各種エピタキシャル成長装置のリアクター部のガス流と基板配置の例を示します。

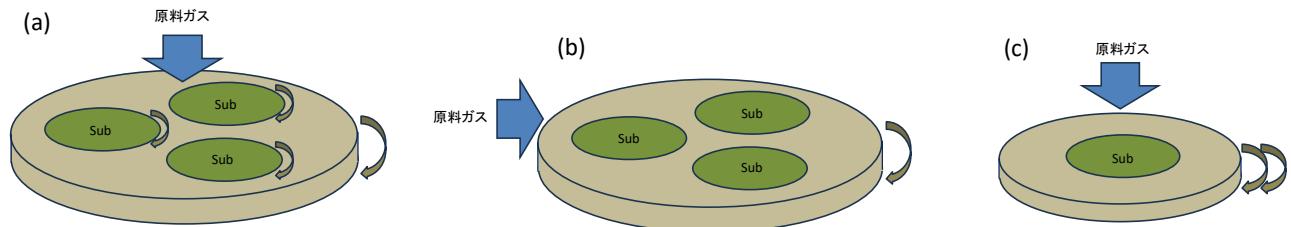


図2 SiC 気相成長装置のリアクター部のガス流および基板配置

- (a)マルチウェハ式自公転型 (上部からガス導入)
- (b)マルチウェハ式公転型 (側面からガス導入) (c)シングルウェハ式高速回転型

SiCエピタキシャル基板の量産を考えた場合、エピ層の厚さの均一性やドーピング濃度の均一性、発塵、スループット、部材の交換頻度、メンテナンスのし易さなどが考慮すべきポイントとなります。ドーピング濃度の均一性については、デバイスの耐圧分布に直接影響するため、ウェハ面内やバッチ内、run to run の均一性が要求されます。現在、SiCのエピタキシャル成長装置は8インチ基板に対応するものの開発が進められており、コスト低減の観点から、さらに量産に適した装置の実現が待たれています。また、リアクター内の部材や排気系に付着する反応生成物は発塵源となるため、これらの除去を容易に行えるガスエッチングについての開発も行われています。

SiCのエピタキシャル成長によってパワーデバイスを作製可能な、そして高純度なSiC単結晶層を形成できますが、このことに加えてエピタキシャル成長は基板内に存在する基底面転位(BPD)を基板/ドリフト層の界面で貫通刃状転位(TED)に変換します(図3参照)。第5講で記しましたように、バイポーラ電流が流れるとBPDは積層欠陥として拡張し、オン抵抗の増加などのデバイス特性の劣化を生じさせ得ますが、変換されたTEDはデバイスの電気特性に影響を与えません。このため、適切なエピタキシャル成長によって、バイポーラ通電による劣化の起源を大幅に低減することができます。

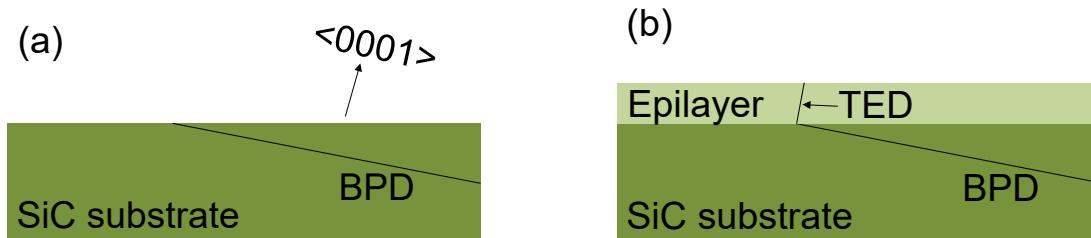


図3 SiC 基板およびエピタキシャル層中のBPDと変換されたTEDの断面模式図
(a) エピタキシャル成長前 (b)エピタキシャル成長後

通常、SiC のエピタキシャル成長ではドリフト層と基板との間にバッファ層を挿入します。バッファ層は高濃度の n 型のドーピングを行うことが多く、これは少数キャリアの再結合を促進します。バッファ層の形成は、上で述べた BPD の変換の役割も担っており、また、コストへの影響も大きく、デバイス作製における重要な技術の一つです。

以上
2025 年 1 月