



SiC レクチャーシリーズ

6. SiC バルク単結晶の成長技術

SiC バルク単結晶の成長技術

SiC は常圧で化学量論組成(Si:C = 1:1)からなる液相が存在しません。このため SiC バルク単結晶の作製には Si で一般に用いられている融液を原料とする方法は使えず、昇華法(PVT, Physical Vapor Transport)が用いられます。昇華法は、グラファイト製のるつぼの中に原料となる SiC の粉末と種結晶である SiC 基板を入れ、SiC 粉末側の温度がやや高くなるように温度勾配をつけて、全体を 2000~2500°C に保って行われます。今日の SiC の種結晶を用いた昇華法は改良レイリー法と呼ばれており、SiC 基板の生産に広く用いられています。

図 1 に改良レイリー法による SiC 結晶成長法の概念図を示します。2000°C 以上に加熱されたグラファイト製るつぼの中で SiC 粉末は Si_2C 、 SiC_2 、Si などの分子の状態で昇華し、種結晶の表面に供給されます。供給された原子は種結晶の表面で動き回り、結晶を形成するサイトに取り込まれ、SiC バルクの単結晶が成長します。雰囲気には通常、減圧状態の Ar が用いられ、n 型のドーピングには窒素ガスが加えられます。

現在、SiC 単結晶の作製に広く用いられる昇華法ですが、Si 単結晶の成長に用いられる融液を原料とするものに比べて成長速度が遅いこと、品質は徐々に向上してきているものの未だ多くの転位が結晶に含まれていることなどの問題が残されています。

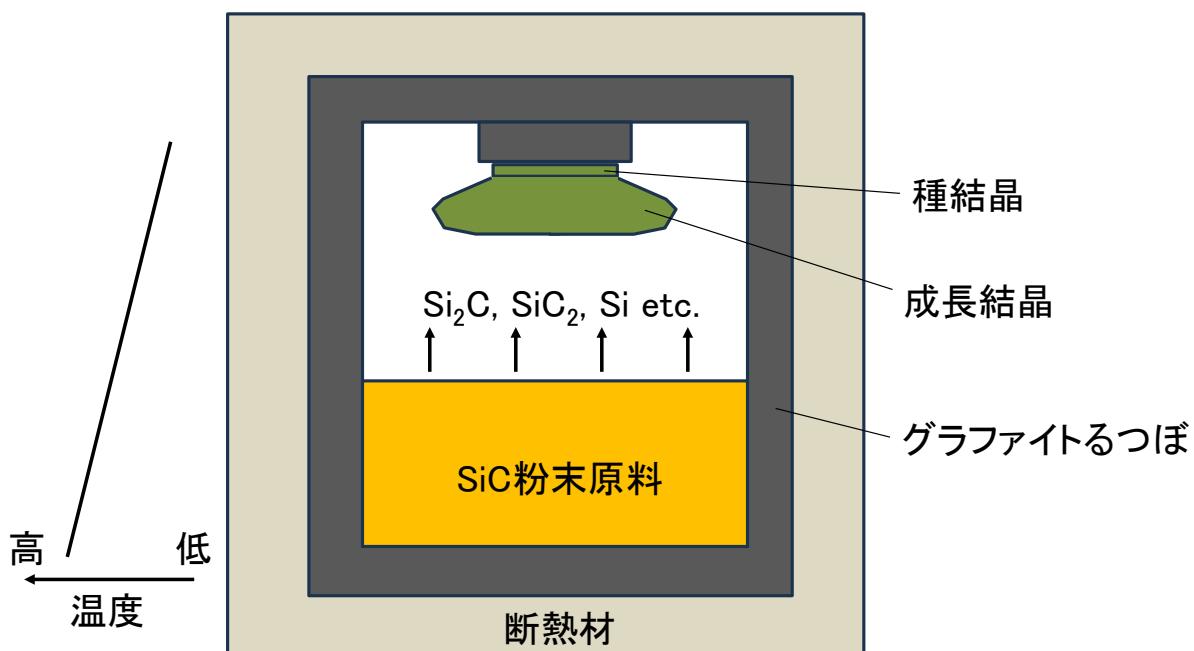


図 1 昇華法による SiC バルク単結晶成長の概略

昇華法以外の成長法による SiC バルク単結晶の作製の試みとして、溶液からの液相成長法や気相成長法である高温 CVD 法などが報告されています。図 2 および図 3 に、SiC 単結晶の溶液成長法および高温 CVD 法の概念図を示します。

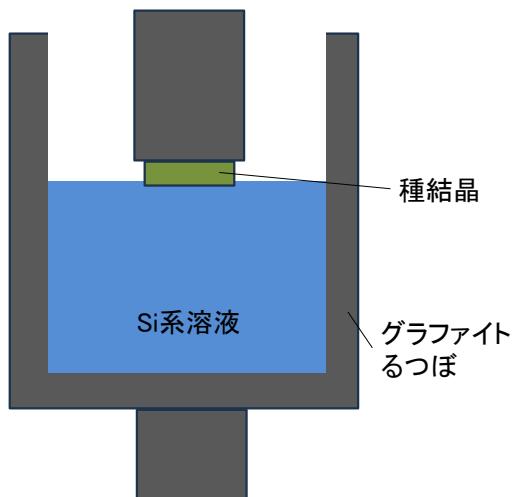


図 2 SiC バルク結晶の溶液成長法の概略

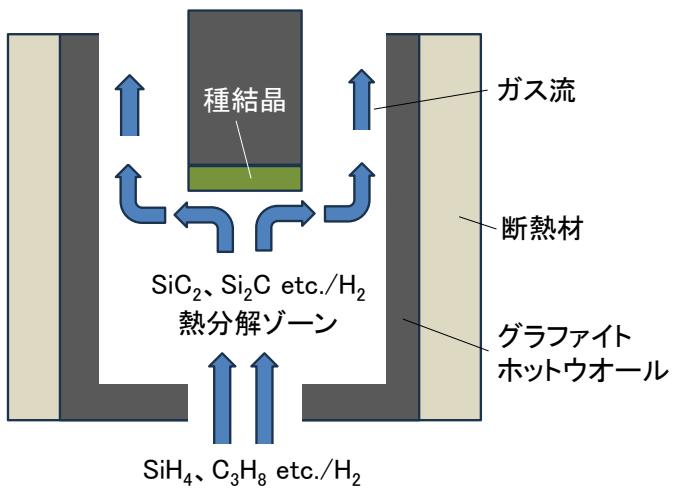


図 3 SiC バルク結晶の高温 CVD 法の概略

まず溶液成長法について記載します。炭素のシリコン溶媒への溶解度は非常に小さいです。このため、Ti、Cr など様々な元素を溶媒に添加し、炭素の溶解度を向上させています。炭素はグラファイトるつぼから供給され、温度をやや低く保った種結晶の表面に SiC 単結晶が成長します。成長温度は昇華法より低い 1500~2000°C とすることが多く、成長速度は数百 $\mu\text{m/h}$ 程度が報告されています。

SiC の溶液成長法の利点として、[0001]方向に結晶を成長させる場合、[0001]方向に延びる転位を直交方向に曲げ、それらを側壁から結晶外部に掃き出せることができます。[0001]方向に延びるらせん転位は、現状の SiC 結晶中に高密度で存在し、デバイスのリーク電流の発生源になるが、液相成長法を用いた SiC 結晶では、らせん転位の密度の大幅な低減が報告されています。

溶液成長の課題としては、成長速度の向上や成長結晶の長尺化、結晶の表面モフォロジーの改善などが挙げられています。

次に高温 CVD 法による SiC 単結晶の成長について記載します。この方法は減圧水素雰囲気で、Si 原料として SiH₄、C 原料として C₃H₈などを供給し、高温(通常は 2000°C 以上)に保たれた SiC 基板の表面に単結晶 SiC 層を成長させる方法です。成長炉に導入された原料ガスは、ホットウォールで囲まれた熱分解ゾーンで SiC₂ や Si₂C などの分子に分解され、種結晶の表面に供給されて単結晶 SiC が成長します。

高温 CVD 法の長所としては、高純度な原料ガスを使用できること、ガス流量の制御により欠陥密度に影響する重要な成長パラメータである気相中の C/Si 比を精密に制御できること、SiC のバルク成長では比較的高速な成長速度 1mm/h 以上が可能などがあげられます。他方、短所としては、反応生成物が成長炉内や排気ラインに大量に付着し、装置の保守に大きな負荷がかかること、ガス中における気相反応によりパーティクルが生成され、異物として結晶中に取り込まれることなどがあげられます。

高温 CVD 法は高品質な SiC バルク結晶の作製法として有望であるため、昇華法を上回る低コスト化や生産性向上、低転位密度化に向けて開発が続けられています。

加えて、結晶欠陥の少ないSiCバルク単結晶の昇華法による作製法として、RAF(repeated a-face)法が報告されています。RAF法では、[0001]方向に成長させた結晶から、[0001]方向に直交する方向の面方位を持つ種結晶を切り出し、その上にSiC単結晶を成長させます。さらに、その成長方向に直交する面方位を持つ種結晶を切り出し、SiC単結晶を成長させます。このサイクルを繰り返すことによって、転位を結晶の外に掃き出し、欠陥の少ないSiCバルク単結晶を得ています。RAF法により作製したSiC単結晶では転位密度が通常のものと比較して1~2桁低いものも得られています。

以上
2025年1月