

## 博士論文審査の結果の要旨

氏名	鈴木 皓己
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 733 号
論文題目	Si を含まない金属溶媒からの SiC 溶液成長
論文審査委員	主査 太子 敏則 橋本 佳男 樽田 誠一 番場 教子 加藤 智久 (産業技術総合研究所・先端パワーエレクトロニクス研究センター・チーム長)

(博士論文審査の結果の要旨)

現在、シリコン (Si) をベース材料としたパワーデバイスが主流であるが、材料物性の観点から、今以上のデバイス性能の向上は困難とされている。Si 以上の優れた材料物性値を有する半導体材料として、炭化ケイ素 (SiC) が注目されている。SiC は、Si と比較してワイドバンドギャップ、高絶縁破壊電界、高熱伝導であり、高耐圧かつ高温動作可能なパワーデバイスが作製できる。しかし、現在主流のバルク結晶成長法である昇華法で成長した結晶は、欠陥が比較的多いため、デバイスへの悪影響が懸念される。そこで、高品質な SiC 結晶を成長できる溶液成長法が注目されているが、昇華法と比較して成長速度が遅く、成長中の溶液内組成変動に起因する長尺成長を阻害するといった課題が存在する。

本研究では、上述した SiC 溶液成長法の課題を解決するために、独自の新たな溶液成長法を提案し、検討することを目的とする。従来法では、カーボンるつぽに Si をベースとした溶媒を保持して結晶成長を行うが、本提案法では溶媒に Si を用いず金属のみを用い、溶質には SiC セラミックを使用することが最大の特徴である。本研究では、溶媒となる金属の選定をはじめ、SiC 結晶成長の可否と、成長条件が結晶品質に与える影響について検討した。

本論文は、全 8 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景及び目的を示すとともに、本論文の構成について述べる。

第 2 章では、SiC の特徴と、パワーデバイスへ応用した際の影響を述べる。SiC 結晶で注目される結晶多形 (ポリタイプ) 現象と物理的性質について示し、パワーデバイス応用の Si に対する優位点や、その理由について示した。

第 3 章では、現在の SiC バルク結晶成長法の主流である昇華法と、代表的な溶液成長法である Top-Seeded Solution Growth (TSSG) 法、本研究で提案する独自の方法である Metal Solvent Solution Growth (MSSG) 法の、結晶成長の原理、特徴を示す。また、成長中の溶液中および成長結晶表面での現象、成長結晶の評価方法について述べる。

第 4 章では、本研究で提案する MSSG 法における溶剤金属の選定について述べる。溶剤金属としては、比較的高い炭素溶解度を有する Cr をはじめ、TSSG 法において Si 溶媒に対して添加金属として用いられている Ni、Fe、Al について検討した。Ni と Fe は、SiC ではなくグラファイトを形成し、Al は、アルミニウムカーバイドを形成する一方で、Cr のみが SiC を再結晶化させる結果となった。そこで、Cr を溶媒として SiC 結晶成長を実施した。低温度勾配下、1900°C の比較的高温の条件で、4H-SiC 単一で成長することがわかった。液面高さを高くし過ぎると、温度勾配も上昇し、多結晶化などの悪影響を及ぼすこともわかった。また、TSSG 法との比較では、成長速度の増加を確認した。

第 6 章では、MSSG 法における溶質供給源である SiC セラミックの形状を変化させ、その影響を検討する。第 5 章では、溶媒が炭素るつぽと接触する状態での結晶成長の結果を示したが、溶媒と炭素るつぽが接触しないように、SiC セラミックの形状を変更した。成長速度が同じ温度でも増加する傾向があることがわかった。また、溶液内の溶質濃度比 (C/Si 比) が 1 に近づく傾向にあり、溶液内組成変動抑制の可能性が示唆された。加えて、形状変更後は、溶液内にグラファイトが形成されなくなることもわかった。

第 7 章では、MSSG 法における溶剤金属を 2 元系にするため、第 2 溶剤金属として Al を選択

し、その影響を検討する。TSSG 法において Al 添加は、溶媒の表面エネルギーを低下させ、成長表面での二次元核形成頻度が低下することで、表面平坦化を実現させる。本章では、表面エネルギーの変化を溶媒の粘度の観点から議論した。Cr 溶媒に Al を添加することで粘度が減少し、表面エネルギーの低下につながる。その結果、二次元核形成頻度が低下し、表面平坦化効果が得られ、加えて成長ポリタイプ安定性も得られた。したがって、MSSG 法においても Cr 溶媒への Al 添加は有益であることがわかった。

第 8 章では、結論を示し、本研究の内容を総括する。

申請学位論文は、審査付発表論文 1 件、審査付国際会議議事録 1 件に基づいてまとめられており、学術的に十分高い評価を得ている。得られた研究成果は、今後の SiC 結晶の高速成長、長尺化に一石を投じる内容である。従って、本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと審査委員全員一致で判断した。

（公表主要論文名）

- (1) Koki Suzuki, Toshinori Taishi, “The Effect of Al Addition to a Cr Solvent without Molten Si on the Surface Morphology in Solution Growth of SiC”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.59, No.2, 025504, (2020).
- (2) Koki Suzuki, Koangyong Hyun, Toshinori Taishi, “Effect of the Growth Conditions on the Crystal Quality in Solution Growth of SiC Using Cr Solvent without Molten Si”, Material Science Forum Vol. 924, 35-38, (2018).