

# 博士論文の内容の要旨

氏名	鈴木皓己
学位名	博士（工学）
学位授与年月日	2020年3月20日
論文題目	Si を含まない金属溶媒からの SiC 溶液成長

(博士論文の内容の要旨)

省エネルギーや自然エネルギーの活用の促進が急務とされている中で、電力エネルギーの利用に対して重要な役割を担うのが、パワーデバイスである。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となっている。しかし、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。そこで、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。

現在主流のバルク結晶育成法は昇華法であるが、育成した結晶は欠陥が比較的多く、デバイスへの悪影響が懸念される。そこで、高品質な SiC 結晶を育成できる溶液成長法が注目されている。代表的な SiC 溶液成長法である Top-Seeded Solution Growth (TSSG)法では、溶媒として Si をベースとした溶媒を使用し、溶媒中の Si と溶媒保持容器である炭素るつぼから溶解した C を種結晶上に輸送し、SiC 結晶を育成する。しかしながら、昇華法と比較した際の成長速度や、成長中の溶液内組成変動に起因する長尺成長阻害といった課題が存在する。

本研究では、上述したような SiC 溶液成長法の課題を解決するために、本研究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。提案法では Si 以外の溶剤金属を溶媒として使用し、溶質供給源として SiC セラミックを配置し、それを溶解させることで種結晶上に再結晶化させる方法である。本研究では、この方法での SiC 結晶成長の可否および、この方法に適した溶剤金属の探索と平坦成長に向けての条件を検討する。将来的には、提案法にて高速かつ長尺 SiC 結晶育成の実現を目指す。

本論文は、全 7 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 の特徴を紹介する。SiC 結晶で注目される結晶多形（ポリタイプ）現象と物理的性質を述べ、パワーデバイス応用の Si に対する優位点を示した。

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 TSSG 法、および提案する本研究独自の方法である Metal Solvent Solution Growth (MSSG)法の、3 つの育成方法の原理、特徴を示す。また、育成結晶の評価方法も示した。

第 4 章では、独自法である MSSG 法における溶剤金属を選定する。溶剤金属としては、Cr、Ni、Fe、Al の 4 つについて検討した。Al、Ni、Fe では、SiC が形成されなかったが、Cr のみが SiC を再結晶化させる結果となった。そこで、Cr を溶媒として実際に SiC 結晶育成を行った。低温度勾配下、溶液高さが 10mm 以下と低く、1900°C という比較的高温条件での育成により、4H-SiC 単一で成長することが分かった。また、TSSG 法との比較では、C 溶解量の増加による成長速度の増加を確認した。

第 5 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 章での溶媒が炭素るつぼと接触する系に対し、本章では溶媒と炭素るつぼが非接触である系になるよう、SiC セラミックの形状を変更した。成長速度が同温で増加する傾向があることが分かった。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。しかし、成長表面が荒れ、複数の成長ポリタイプの発生が認められ、課題となった。

第 6 章では、MSSG 法における第 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。本研究においても同様の Al 添加効果が見られた。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 Al 添加は有効であることが分かった。

第 7 章では、結論を示し、本研究の内容を総括する。

本研究の成果として、新規提案した MSSG 法においては、Cr をベースの溶媒として用いることで SiC 結晶育成が可能であり、高温、低液面高さおよび温度勾配、溶液-炭素つぼ非接触系、Al 添加といった育成条件が望ましいことが分かった。

本研究で未検討である、高品質で SiC が結晶化する溶剤金属の最適化や、高速成長実現へ向けた育成条件の検討、長時間育成での現象分析、Al 以外の第 2 溶剤金属の選定が今後の課題である。

最終目標に対して、本論研究は、MSSG 法における SiC 結晶育成の可否や今後の課題を明確にするという、初期検討の位置づけとしてはそれを十分に達成することができた。