

数理物質科学研究科 博士論文の要約

専攻名 電子・物理工学専攻
学籍番号 201830096
学生氏名 周防 裕政
学位名 博士(工学)
指導教員 奥村 元

博士論文題目 コドーピング法を用いたパワーデバイス向け低抵抗 n 型 4H-SiC 単結晶の研究

本研究では SiC パワーデバイスの性能向上のために、従来デバイス利用が難しかった低抵抗領域の $10\text{ m}\Omega\text{cm}$ 以下のパワーデバイス向け低抵抗 n 型 4H-SiC 単結晶の作製と、作製した低抵抗結晶の評価を本研究の目的とする。本論文は以下 7 章からなる。

第 1 章では研究背景と SiC の特性、結晶成長方法と SiC デバイスの概要、および高濃度ドーブ結晶における積層欠陥形成の先行研究についてまとめ、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、低抵抗 n 型 4H-SiC 単結晶成長および結晶評価の実験方法についてまとめた。

第 3 章では、先行研究で用いられた窒素アルミニウム(N-Al)コドーピングに変え、窒素ボロン(N-B)コドーピングを用いた結晶成長の結果を述べた。N-B コドーピングにおいても、N-Al コドーピングと同様の積層欠陥抑制効果が存在することを発見した。この積層欠陥抑制効果について、原子サイズ効果の観点から N-Al、N-B コドーピングの比較を行い、原子サイズ効果では説明が難しいことを示した。

第 4 章では、各結晶に意図的に導入した積層欠陥の拡大速度の評価結果についてまとめた。N-B コドーピングおよび N-Al コドーピングによって $2\text{--}4\text{ mJ/m}^2$ 程度、4H と積層欠陥の自由エネルギー差が減少している(同じ自由電子濃度の場合)と推測され、この自由エネルギー差の減少がコドーピングの積層欠陥抑制効果の起源であると推察された。

第 5 章では、パワーデバイス向けの 3 インチ以上の大口径かつ低転位密度(市販バルク基板同等)の低抵抗バルク結晶の作製のための研究についてまとめた。低転位密度化のための検討として、昇華法の結晶成長初期での貫通転位増加に関して、熱応力と窒素濃度変化の影響を示唆する結果および、低温成長と窒素濃度変化を抑えることで貫通転位増加が抑制できる知見が得られた。さらに N-Al、N-B コドーピング成長の不純物濃度と成長条件の定量的な関係を明らかにし、コドーピング結晶の不純物濃度制御方法を確立した。上記の知見をもとに N-Al、N-B コドーピング 3 インチ低抵抗バルク結晶を作製した。作製した結晶の転位密度を評価し、低抵抗の N-B コドーピング結晶では転位密度が 5000 cm^{-2} 以下であり、N-B コドーピングを用いてパワーデバイス向けとして良好な転位密度の低抵抗結晶が作製できることを実証した。

第 6 章では、高温プロセスであるエピ成長プロセス中の積層欠陥形成についてまとめた。低抵抗窒素単ドーピングバルク基板ではバルク基板内で積層欠陥が形成、拡大しエピ膜に引き継がれることがわかった。このエピ成長プロセスにおける積層欠陥形成は低抵抗 N-Al コドーピングバルク基板では起こらず、N-Al コドーピング結晶は結晶成長後の高温プロセスにおいても積層欠陥形成の耐性があることを見出した。

第 7 章は総括であり、本研究の総括と今後の課題および展望についてまとめた。