

審査の結果の要旨

氏名 星乃紀博

シリコンカーバイド (SiC) は、電力の変換・制御を行うパワーデバイスの次世代材料としてその実用化が求められている。SiC デバイス実用化のためには、デバイスの信頼性を妨げる要因となる構造欠陥の調査と検査手法の開発が急務となっている。本論文は、「フォトルミネッセンスを用いた SiC 結晶中の構造欠陥の評価」と題し、非破壊、高速かつ高感度な評価手法であるフォトルミネッセンス (PL) を用いて、SiC デバイスの特性劣化の原因となる構造欠陥の評価ならびに評価法の提案について論じたものである。論文は 7 章より構成されており、日本語で記されている。

第 1 章は「研究背景」であり、エネルギー・環境問題の同時解決のため、電力変換を行うパワーデバイスの重要性とその現状を示し、SiC の有用性とデバイス開発の動向を概説している。

第 2 章は「SiC 結晶と結晶性評価の重要性」と題し、SiC 結晶の物性、バルク単結晶およびエピタキシャル層 (エピ層) 成長技術、これまでの結晶性評価の知見による成長技術の改善、デバイス特性向上についてまとめている。SiC デバイスの実用化のために、転位、積層欠陥 (SF) などの構造欠陥がデバイス特性に影響を与えることが報告されており、その評価および低減が必要とされていることを述べている。

第 3 章は「本研究の目的と実験方法」であり、本論文の目的、SiC の結晶性評価法として有効な PL について原理と実験装置を示している。本研究で用いた PL 装置として、欠陥や不純物の分析を行う PL スペクトル、特定の欠陥または不純物起因の PL のウエハー面内強度分布を得る PL マッピング装置の構成を説明している。

第 4 章は、「エピ層中 Single Shockley Staking Fault の評価」と題し、エピ層の (0001) 面である基底面内に分布する基底面転位や、転位ループを発生核としたすべりによる Shockley 型 SF (SSF) の評価を示している。SSF は、通電中にバイポーラデバイスに注入されるキャリアの再結合により、基底面内の転位から拡張した SF であり、順方向電流特性の劣化の原因として知られている。本研究では、デバイス作製前のエピ基板の段階で、PL の励起光照射によって励起キャリアの再結合を促し、他の評価法と同様の 2.9 eV 付近の SSF 起因発光パターンの拡張現象を見出している。一般的に使用される (0001) 面オフ基板に対する PL 評価では、基底面転位、転位ループを発生核とした SSF 拡張パターンの差異を示

している。さらに、エッチピット観察による転位分析が困難な(11-20)面基板において観測された SSF 拡張パターンと、(0001)面オフ基板中の SSF 拡張パターンの知見から、(11-20)面基板では転位ループが支配的な SSF 発生核であると推察している。

第 5 章は、「バルク基板起因 in-grown SF の非破壊解析」と題し、エピおよびバルク基板に観測される、結晶成長中に発生した (in-grown) SF の特徴と構造を明らかにしている。この SF 起因棒状パターン幅が、エピ層基底面の投影幅に対応するため、基底面と平行に分布する SF であることを確認している。SF の発生起源の解明のため、バルク基板に対し、深紫外光励起 PL マッピングを行い、従来まで非破壊観測が困難であったバルク基板中 SF の観察に成功するとともに、エッチピット観察との一致からバルク結晶成長中に発生した in-grown SF であることを明らかにしている。さらに、エピ層成長前後の PL 評価より、in-grown SF は、エピ/バルク界面からの発生ではなく、バルク基板から伝播した SF であることを見出している。in-grown SF に対する TEM 構造解析の結果、Si-C 分子層の欠如による Frank 型 SF であることを解明している。

第 6 章では、「PL イメージングによる SiC 中構造欠陥の高速観察」の研究を記している。構造欠陥の簡便かつ高速な評価法として、太陽電池用 Si 基板評価用に開発された LED による広範囲の励起光照射と 2 次元 CCD による PL イメージングを利用した SiC フルウェハー中構造欠陥の高速観察を述べている。一般に SiC の PL 評価では、紫外光源による Above-gap 励起が用いられているが、PL イメージングの際、光源に伴うバックグラウンドに問題がある。SiC のバンドギャップよりも低い光子エネルギーの光源を用いた Below-gap 励起によって、PL マッピングよりも高速に、明瞭なフルウェハー PL イメージングが得られたことを示している。

第 7 章は「結論」であり、本研究で得られた知見の結論を述べている。

以上これを要するに、本論文は、次世代パワーデバイスとなる SiC デバイスの機能発現を目的とした SiC 結晶の高品質化のために、フォトルミネッセンスを用いた SiC 結晶中の構造欠陥の評価法を開発し、従来まで非破壊観測が困難であった結晶成長中に発生する積層欠陥の存在を明らかにしたばかりでなく、デバイス動作中に特性を劣化させる構造欠陥をデバイス作製前の段階で発生させその正体と振る舞いを解明したものであり、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。