

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13131 号
------	---------------

氏 名 彭 英

論 文 題 目

Investigation on Thermoelectric Properties Improvement of
Group IV Alloy Thin Films
(IV族混晶薄膜の熱電特性改善に関する研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	中塚 理
委員	名古屋大学	教授	生田 博志
委員	名古屋大学	教授	竹延 大志
委員	名古屋大学	講師	黒澤 昌志

論文審査の結果の要旨

彭英君提出の論文「Investigation on Thermoelectric Properties Improvement of Group IV Alloy Thin Films (IV族混晶薄膜の熱電特性改善に関する研究)」は、次世代の薄膜熱電デバイスの高性能化に向けて、絶縁膜上への多結晶IV族多元混晶薄膜の形成とその結晶物性、電気的特性、熱電特性の相関性を解明し、制御技術を構築した報告である。本論文は7章からなり、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、本研究における試料作製、測定評価方法に関する説明を行っている。はじめに、シリコン (Si) /ゲルマニウム (Ge) 多層膜およびシリコンゲルマニウム錫 (SiGeSn) 混晶薄膜の作製プロセスを説明している。次に、薄膜堆積装置の動作原理および薄膜作製の詳細な条件を述べている。さらに、イオン注入装置の原理や条件、急速熱処理装置について述べている。次に、測定評価手法について、X線回折、ラマン散乱分光、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡などの薄膜の物性分析装置について説明している。また、Seebeck係数および熱伝導率を試験するための測定装置について説明している。

第3章では、室温付近におけるSi/Ge多層膜の熱電性能改善について実験結果を示し、議論している。ボロン (B) ドープSi/Ge多層膜をマグネトロンスパッタリングと急速熱処理法により作製し、その結晶学的ナノ構造について詳細な分析を行った結果、BドープSi層およびBドープGe層からなる多層構造を見出している。急速熱処理によって形成された量子ドットが埋め込まれた多層構造中は、室温付近において、高温領域におけるバルクSiGeに匹敵する優れた熱電性能を示すことを見出したことは重要な成果である。

第4章では、p型SiGeSn混晶層の結晶構造、電子物性および熱電物性の制御を目指して、Bイオン注入が及ぼす影響とその制御に関する研究を行っている。Bイオン注入および熱処理を経てSi酸化膜上に形成された多結晶SiGeSn混晶層について、X線回折などの手法を用いて、その結晶構造を明らかにしている。SiGeへのSnの導入によって、室温において、比較的高いSeebeck係数を得ながら、SiGe二元混晶薄膜に比較してより低い熱伝導率を実現できることを示したのは重要な成果である。その結果、最適条件で作製した試料において、室温で $11.3 \mu\text{W}/\text{cmK}^2$ の高い優れたパワーファクタを達成した。

第5章では、様々なSn含有量、イオン注入量における、試料作製、結晶物性評価、熱電特性評価を行った結果、Sn含有量の連続的な増加によって変調ドーピングが発生する可能性について議論している。SiGeへのSn導入によって、変調ドーピング効果により比較的高いSeebeck係数を得ながら、室温でSiGeに比較しての熱伝導率を著しく改善できることを実証している。

第6章では、n型SiGeSn層の熱電特性制御に向けて、リン (P) イオン注入を含む混晶層作製、結晶物性および熱電特性の評価を行った。Pドーズ量によって、ゼーベック係数やキャリア密度を適切に制御し、優れた熱電特性を実現できることを見出した。優れた熱電特性の理由を解明するため、TEMを用いて薄膜のナノ構造を詳細に解析した結果、高性能試料が数nmサイズの高密度で均一に分布した量子ドットを含んでおり、これが熱電特性の向上に寄与している可能性を示した。

第7章は本研究の総括であり、本研究で得られた結論および今後の展望が述べられている。

以上のように本論文では、積層構造やイオン注入法を駆使して作製されたSiGeSnを代表とする多結晶IV族多元混晶薄膜について、その結晶物性、電気的特性、熱電物性の相関と作製プロセスが及ぼす効果について結晶学的、電子論的視点から論じている。その結果として、多元混晶化やナノ構造制御が薄膜の熱電特性の向上に効果的であることを多角的な分析から実証しており、見出された成果、構築された技術は工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である彭英君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。