

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	Ge/Si コアシェル ナノワイヤの作製と熱電素子応用
Title(English)	Fabrication of Ge/Si core/shell nanowires and their application for thermoelectric devices
著者(和文)	野口智弘
Author(English)	Tomohiro Noguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10319号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 俊理,波多野 睦子,宮本 恭幸,河野 行雄,小寺 哲夫,深田 直樹
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10319号, Conferred date:2016/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	野口 智弘		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小田 俊理	教授		小寺 哲夫	准教授
	審査員	波多野 睦子	教授	審査員	深田 直樹	物質・材料研究機構 GL (学外審査員)
		宮本 恭幸	教授			
河野 行雄		准教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は Fabrication of Ge/Si core/shell nanowires and their application for thermoelectric devices (Ge/Si コアシェル ナノワイヤの作製と熱電素子応用)と題し英文7章からなっている。

第1章 “Introduction” (序章)では、本研究の背景と目的を述べている。充電不要なウェアラブルデバイスの開発においてエネルギーハーベスト機能が期待できる熱電変換材料の課題を説明し、これに関する先行研究の取り組みを記述している。本研究の目的は、従来材料より熱電変換効率が高い材料として有望である Ge/Si コアシェルナノワイヤの熱電素子応用可能性を検討することとしている。

第2章 “Theory of the growth of nanowires and thermoelectric characteristics” (ナノワイヤ成長と熱電特性の理論)では、本研究で取り扱うナノワイヤの結晶成長および熱電特性に関する理論について述べている。具体的には、Ge ナノワイヤの成長における vapor-liquid-solid 機構の原理を説明すると共に、熱電材料に関する熱輸送方程式、熱電変換効率の理論について記述している。

第3章 “Experimental techniques” (実験技術)では、本研究で作製した Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長条件と、デバイス構造およびデバイス作製プロセスについて述べている。具体的には、Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長に利用した低圧化学気相堆積 (LPCVD) 装置の種々の成長パラメータについて記述している。また、ボトムアッププロセスで成長した Ge/Si コアシェルナノワイヤの電気特性および熱電特性を評価するために必要なデバイスの構造と作製プロセスについて記述している。

第4章 “Growth of Ge/Si core/shell nanowires” (Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長)では、本研究で必須となる Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長方法について記述している。具体的には、Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長の過程で問題として浮上した Ge ナノワイヤの融解、金粒子のマイグレーションによる枝構造の形成とその解決法について述べている。金粒子のマイグレーションに関しては、原料ガスの GeH<sub>4</sub> を Si シェル堆積直前まで継続的に流し続けるという独創的な形成条件を提案し、透過型電子顕微鏡 (TEM) 及びエネルギー分散 X 線分析 (EDX) による構造評価を用いて、これらの課題を解決出来たと述べている。

第5章 “Electrical characteristics of Ge/Si core/shell nanowires” (Ge/Si コアシェルナノワイヤの電気特性)では、Ge/Si コアシェルナノワイヤの電気伝導度とそのコア径依存性に関する実験について述べている。具体的には、4 端子電気測定の結果、コア径が減少すると Ge/Si コアシェルナノワイヤの電気伝導度は増加すると述べている。また、Ge/Si コアシェルナノワイヤの最表面にある SiO<sub>2</sub>/Si 界面の欠陥にトラップされた電荷による影響を考慮したシミュレーションによりこの現象を説明できると述べている。Ge コア径を 20nm より小さくすると Si/Ge/Si ダブルヘテロ構造に閉じ込められた正孔濃度が増加する効果により、キャリア濃度は更に増加すると述べている。

第6章 “Thermoelectric characteristics of Ge/Si core/shell nanowires” (Ge/Si コアシェルナノワイヤの熱電特性)では、Ge/Si コアシェルナノワイヤの熱電特性のコア径依存性に関する実験結果と考察について述べている。具体的には、Ge/Si コアシェルナノワイヤの一端に熱を加えたときに得られる起電力を測定し、ゼーベック係数とパワーファクターを算出した結果について記述している。コア径が 20nm から 80nm の範囲ではゼーベック係数のコア径依存性は認められず、電気伝導度の特性を反映して、Ge コア径が細いほどパワーファクターが向上すると述べている。また、シミュレーションにより、20nm 以下のコア径では、現状達成されている Ge/Si コアシェルナノワイヤのパワーファクターを超える可能性があるとして述べている。

第7章 “Conclusions” (結論)では、本論文のまとめと結論について述べている。  
以上を要するに、本研究では Ge/Si コアシェルナノワイヤの成長に関して Ge ナノワイヤの融解、金粒子のマイグレーションによる枝構造の形成などの課題を解決した上で、Ge/Si コアシェルナノワイヤの電気特性・熱電特性の Ge コア径依存性の実験データを提示し、シミュレーションを用いて、Ge コア径を 20nm 以下に細線化することにより更なる熱電変換効率の向上が期待できることを示している。これらは Ge/Si コアシェルナノワイヤによる熱電素子応用の可能性を明確にしたもので、工学上貢献するところが大きい。よって我々は本論文が博士 (工学) の学位論文として十分な価値があると認める。