The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	低熱伝導率ナノ構造を導入したSi系熱電材料における高出力因子化に関する研究
Author(s)	坂根, 駿也
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76594
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　坂　根　駿　也　）	
論文題名	低熱伝導率ナノ構造を導入したSi系熱電材料における高出力因子化に関する研究

論文内容の要旨

熱エネルギーを直接電気に変換可能な熱電変換を用いた廃熱の有効利用実現のために、熱電変換の無次元性能指数$ZT=S^2\sigma T/\kappa$（S: ゼーベック係数、σ: 電気伝導率、κ: 熱伝導率、T: 絶対温度）の向上が必要とされている。

本論文では、環境調和性に優れたSi系熱電材料の開発を目指し、低κを有するナノ構造を用いたサーマルマネージメントによる高出力因子（$S^2\sigma$）化の新規手法を提案する。通常、高S及び高σの同時実現は難しいが、本手法は、高S、低κ 材料中に高σ、高κ 材料を導入し、σ を増大させながら選択的に高S材料に温度差を与えて同時に高Sを維持して高出力因子化を狙うものである。

本手法のためには、まず高S、低κ のSi系材料が必要である。そこで、本論文では超低κ を示す極小エピタキシャルナノドット（ND）含有Si薄膜に注目した。本薄膜において構造因子がS及び出力因子に与える影響を調べるために、面方位、ND材料の異なる様々な試料を作製した。その結果、β-$FeSi_2$ ND含有Si薄膜において、積層欠陥に起因したS 向上が観察され、高出力因子（~12 μW $cm^{-1}K^{-2}$）が得られた。さらに、高結晶性のND含有Si薄膜の作製プロセスを開発してバルクSiに匹敵する高い出力因子を得ることに成功し、高S、低κのSi系材料を実現した。

上記知見から、高S、低κのSi系材料として高結晶性Ge ND含有SiGeバルク材料に注目し、そこに高σ、高κとしてAuを導入することで高出力因子化の実現を目指した。差圧鋳造法を用いて、高S、低κが期待できるGe ND (Ge-rich SiGeナノ結晶)とマイクロメートルスケールのAu結晶ドメインを含むSiGe-Auバルク材料を開発した。本材料の出力因子は、通常のAuのないSiGe材料に比べて約2倍の値（~22 μW$cm^{-1}K^{-2}$）を示し、SiGe系材料の最高値を更新した。また、熱と電気の輸送方程式を用いた計算と温度分布のシミュレーションにより、この出力因子増大効果が、高σ 高κのAuと低κのGe ND由来のサーマルマネージメントによるものであることを明らかにした。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　坂 根 駿 也　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	中 村 芳 明
	副 査　教 授	酒 井 朗
	副 査　教 授	浜 屋 宏 平
	副 査　教 授	森 伸 也　（工学研究科）

論文審査の結果の要旨

熱エネルギーを直接電気に変換可能な熱電変換を用いた廃熱の有効利用実現のために、熱電変換の無次元性能指数$ZT=S^2\sigma T/\kappa$（S: ゼーベック係数、σ: 電気伝導率、κ: 熱伝導率、T: 絶対温度）の向上が必要とされている。しかし、それらの物性には相関があるため性能向上は難しく、現在、ナノ構造を用いた熱伝導率低減と熱電変換出力因子（$S^2\sigma$）増大を同時実現することが求められている。

本論文では、環境調和性に優れたSi系熱電材料の開発を目指し、低κを有するナノ構造を用いたサーマルマネージメントによる高出力因子化という熱電性能向上の新規手法を提案している。通常、高S及び高σの同時実現は難しいが、本手法は、高S、低κ 材料中に高σ、高κ 材料を導入し、σ を増大させながら選択的に高S材料に温度差を与えて同時に高Sを維持して高出力因子化を狙うものである。

本手法のためには、まず高S、低κ のSi系材料が必要である。そのため、本論文では超低κ を示す極小エピタキシャルナノドット（ND）含有Si薄膜に注目し、構造因子がS及び出力因子に与える影響が詳細に調べられている。その結果、β-$FeSi_2$ ND含有Si薄膜において、積層欠陥に起因したS 向上が観察され、高出力因子（~12 μW $cm^{-1}K^{-2}$）が得られている。さらに、高結晶性のND含有Si薄膜の作製プロセスを開発してバルクSiに匹敵する高い出力因子を得ることに成功し、高S、低κのSi系材料が実現されている。これらの知見をもとに、高S、低κのSi系材料として高結晶性Ge ND含有SiGeバルク材料に注目し、そこに高σ、高κとしてAuを導入して高出力因子化を得ることが提案されている。具体的には、差圧鋳造法を用いて、高S、低κが期待できるGe ND (Ge-rich SiGeナノ結晶)とマイクロメートルスケールのAu結晶ドメインを含むSiGe-Auバルク材料が開発されている。本材料の出力因子は、通常のAuのないSiGe材料に比べて約2倍の値（~22 μW$cm^{-1}K^{-2}$）を示し、SiGe系材料の最高値が更新されたことを意味している。また、熱と電気の輸送方程式を用いた計算と温度分布のシミュレーションにより、この出力因子増大効果が、高σ高κのAuと低κのGe ND由来のサーマルマネージメントによるものであることが明らかにされている。以上のように、本論文は、ナノ構造の物理に立脚して、熱伝導率低減と出力因子増大を同時実現可能にする、ナノ構造を用いたサーマルマネージメントという新方法論を確立したといえるものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。