

Title	二次元ナノ構造を用いた熱電性能向上に関する研究
Author(s)	上松, 悠人
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96110
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (上松 悠人)	
論文題名	二次元ナノ構造を用いた熱電性能向上に関する研究
論文内容の要旨	
<p>持続可能エネルギー源として、身の周りの未利用熱を直接電気に変換可能な薄膜熱電デバイスが期待される。熱電材料の性能は無次元性能指数$ZT=S^2\sigma T\kappa^{-1}$ (S: ゼーベック係数、σ: 電気伝導率、κ: 熱伝導率、T: 絶対温度)によって評価され、熱電材料の性能向上に向けて低熱伝導率化によるZTの増大が進められてきたが、高出力因子 ($S^2\sigma$) との両立は困難であった。そこで本研究では、大幅な$S^2\sigma$増大とκ低減が期待できる二次元ナノ構造の利用に注目した。$S^2\sigma$については、従来の矩形井戸二次元電子ガス (2DEG) に対して、三角井戸2DEGにおいて複数のサブバンドが伝導に寄与することで$S^2\sigma$増大 (複数サブバンド効果) が期待できると着想した。本研究では、この新学理を実証するとともに、低熱伝導率化と出力向上を狙って2DEGを積層した薄膜熱電デバイスを作製し、IoTセンサ駆動を可能にする出力電力を得ることを目標とする。</p> <p>本論文の成果を以下に述べる。まず、単一サブバンドを有する矩形井戸2DEGを用いて、S、σの同時増大による$S^2\sigma$増大の学理を明らかにした。また、三角井戸2DEGでは、複数のサブバンドが伝導に寄与することで$S^2\sigma$が増大することを理論的に示した。次に、本複数サブバンド効果により、三角井戸2DEGは、矩形井戸2DEGよりも高い$S^2\sigma$を実験的にも示し、従来2DEGの理論予測を大幅に上回ることを明らかにした。本研究の複数サブバンド効果の実証は、新$S^2\sigma$増大方法論として今後の熱電材料開発を推進する成果と言える。</p> <p>次に、高$S^2\sigma$を有する三角井戸2DEGを積層した熱電デバイスを作製した。このデバイスの性能因子は、最大で$3.7 \mu\text{Wcm}^{-2}\text{K}^{-2}$に到達し、同様形状の薄膜熱電デバイスの中で極めて高い値であり、1 cm^2でIoTセンサ動作基準を満たす。さらに、デバイス性能の向上に向けて、積層構造の層間原子質量差の増加、熱電デバイスの中空構造化という将来展望を示した。</p> <p>以上より、2DEGにおける新学理である複数サブバンド効果による$S^2\sigma$増大と、これを利用した2DEG積層薄膜熱電デバイスの高い性能を実証した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (上松 悠人)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	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	黒崎 健 (京都大学 複合原子力科学研究所)

論文審査の結果の要旨

持続可能な社会の実現に向けて、身の周りの熱から発電する薄膜熱電デバイスが注目されている。しかし、実際に身の周りで利用されている材料系では、熱電材料としての性能を表す無次元性能指数 $ZT=S^2\sigma T\kappa^{-1}$ (S : ゼーベック係数、 σ : 電気伝導率、 κ : 熱伝導率、 T : 絶対温度) の値は低く、 ZT を飛躍的に増大する方法論が求められる。

本論文では、 ZT 向上をもたらす普遍的な学理の構築に向けて、二次元電子ガス (2DEG) におけるサブバンドの電子伝導に着目している。二次元電子系を用いた熱電性能の向上が1993年に提唱されて以来、ナノ構造を用いた熱電研究が盛んに進められてきたが、実際に二次元電子系を活用したデバイス開発は進められていない。これに対し、三角井戸2DEGにて現れる多数のサブバンドに存在する電子の伝導による熱電性能向上 (複数サブバンド効果) という新概念を実証するとともに、それらを積層化した熱電デバイスを作製することで高出力電力を得ることを目標としている。

材料系としては、通信機器をはじめとして実用化されており、量子閉じ込め効果を容易に得られる熱的ド・プロイ波長の長いGaAsに注目し、単一サブバンドを有する変調ドーブ矩形井戸2DEGを用いて、実際の2DEGの性能向上を評価するための学理を構築している。それをもとに、複数サブバンドを有する変調ドーブ三角井戸2DEGを用いて、新概念である複数サブバンド効果によって従来理論を大幅に上回る熱電性能向上を実証している。さらに、変調ドーブ三角井戸2DEGを積層化した薄膜熱電デバイスの高出力電力を実証しており、この新概念が応用に向けて大いに期待できることを示している。

以上より、本論文は、熱電材料の性能向上をもたらす新概念として、二次元電子ガスを用いた複数サブバンド効果を提案・実証し、その概念を取り入れた熱電デバイスの作製まで達成しており、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。