



Title	Studies on Thermal Transport Properties of Gold Nanowires and Nanogaps
Author(s)	花村, 友喜
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/101475">https://hdl.handle.net/11094/101475</a>
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。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏名 (花村友喜)	
論文題名	Studies on Thermal Transport Properties of Gold Nanowires and Nanogaps (金ナノワイヤおよびナノギャップの熱輸送特性に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>ナノスケールの物質は、量子効果による特異な輸送特性を示す。電荷輸送の量子化については、金のナノワイヤを中心古くから理論および実験の両面から研究が進められてきた。熱輸送の量子化に関しては、熱伝導度やゼーベック係数の量子化が報告されているが、いずれも数原子スケールのワイヤについてのみ確認されており、発現機構の議論には実験結果の蓄積が不可欠である。本博士論文では、原子スケールから百ナノメートルの広い範囲で太さが制御された金ワイヤを作製する手法を確立し、量子物質特有の熱輸送現象の確認とその発現機構の解明を行なった。</p> <p>第1章では、量子効果に関するこれまでの研究報告を整理し、現状と問題点、克服すべき課題を提示した。</p> <p>第2章では、課題解決に向けたアプローチ方法、実験手法について詳述した。ナノ物質の熱輸送の測定には、測定対象が周囲から熱的に絶縁されている必要がある。申請者は、リソグラフィー技術を駆使して、宙吊り構造の素子を設計し、断熱環境におけるエレクトロマイグレーション法を提案して、所望の太さの金ワイヤおよびその切断によるナノギャップを作製する技術を確立した。さらに、素子にアクチュエーターを組み込むことで、ナノギャップの距離を原子レベルで制御できることを示した。</p> <p>第3章では、この素子を用いて、金ナノワイヤのゼーベック係数の太さ依存性の結果をまとめた。百原子以上の太さの金ナノワイヤにおいてもゼーベック係数の量子化が観測されることを示した。電子の波動関数の閉じ込めによる量子化では説明がつかない太さであり、電気伝導度とゼーベック係数の同時測定から、電子の平均自由行程よりも細いワイヤにおいて、電子が空間的に束縛されるシェル効果によるものであると結論づけた。</p> <p>第4章では、金ナノワイヤの熱伝導度について、ワイヤの太さ依存性と温度依存性についてまとめた。500原子から数千原子に相当する太さの金ワイヤの熱伝導度は、いずれも温度に比例することを確認した。これは、量子化熱伝導度の理論式からの予測に一致するが、電子による熱輸送のみを仮定した量子化熱伝導度よりも大きな値を示し、フォノンの熱輸送への寄与が無視できないことを示した。フォノンによる熱伝導度とワイヤの太さの関係を測定し、熱輸送における電子とフォノンの寄与の温度依存性を明らかにした。</p> <p>第5章では、駆動機構を用いてナノギャップの熱伝導度のギャップ間距離依存性について考察した。ギャップ間の距離が離れているときは、輻射によるものと考えられる距離にはほとんど依存しない熱伝導度を示したが、距離が3 nm程度まで近接すると熱伝導度の急上昇がみられた。このような現象は輻射では説明がつかず、これまで理論的に予想されていた、電極を構成する原子間に働く力によって力学的に結合したフォノンによる熱輸送を実験的に確認した。</p> <p>第6章では、成果を整理するとともに、今後の展望について述べた。得られた研究成果は、ナノスケールから原子スケールへの過渡領域である、準パリスティック伝導領域での金ナノワイヤの熱輸送特性を明らかにするものである。本研究で確立した手法は、ナノギャップの熱伝導度の測定に応用できるなど高い断熱性能を有することから、今後、金ワイヤ以外の物質に応用することが可能で、量子物質の熱輸送特性に関する議論を深めるに資するものである。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 花 村 友 喜 )		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査 教 授	彥 田 博 一
	副 査 教 授	井 澤 公 一
	副 査 教 授	田 中 秀 和

## 論文審査の結果の要旨

ナノスケールの物質における電荷や熱の量子化現象の解明は、物質科学において最も重要な課題のひとつである。ナノテクノロジーの進展により、ナノワイヤや超薄膜の量子化輸送現象に関する知見が蓄積されているが、熱の輸送に関しては、実験の難しさから報告例は限られている。申請者は、微細加工技術を用いて宙吊り構造の金ワイヤ素子を作製し、断熱環境での熱輸送特性を解明することに取り組んだ。

ナノワイヤの太さを制御するためのエレクトロマイグレーション法においては、独自のプログラムを開発して、安定したワイヤの作製を実現し、また、電界メッキ法を併用して電極表面を修飾して、測定の歩留まりを向上させるなど、さまざまな工夫が提案され、博士論文に詳述されている。

実験結果と考察は、3つの章に整理されている。第3章では、金ナノワイヤのゼーベック係数の太さ依存性を測定し、百原子以上の太さの金ナノワイヤにおいてもゼーベック係数の量子化が観測されることを報告した。電気伝導度とゼーベック係数の同時測定から、電子の平均自由行程よりも細いワイヤにおいて、電子が空間的に束縛されるシェル効果によるものであると考察している。

第4章では、金ナノワイヤの熱伝導度について、ワイヤの太さ依存性と温度依存性を測定し、フォノンによる熱伝導度とワイヤの太さの関係を測定し、熱輸送における電子とフォノンの寄与の温度依存性を明らかにしている。

第5章では、金ワイヤを破断してナノギャップを作製し、駆動機構を用いてギャップ間隔を制御して熱伝導度を計測することに成功している。電極間隔が 3 nm 程度まで近接すると熱伝導度の急上昇がみられ、電極を構成している原子間に働く力によって力学的に結合したフォノンによる熱輸送の発現を実験的に示した。

申請者によって確立された実験手法はナノスケール物質のさまざまな物性解明の発展に寄与するものであり、詳述された成果は、いずれも量子物質の熱輸送特性の議論に新たな知見を与えるものである。よって、本論文を博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。