

論文審査の結果の要旨

氏名 山 本 薫

ここ数十年で、再生可能エネルギー源の開発は重要性を増してきており、熱電効果およびそれを利用した熱電素子はその一つの候補として活発に研究がされている。熱電効果は物質開発の観点から研究がなされているだけでなく、微細構造の加工技術を用いたメソスケールの量子熱電素子の研究・開発も近年盛んに行われている。また非平衡統計力学の観点から、量子熱電素子を定常状態の熱機関とみなしたときの熱効率は注目を集めており、高効率化・高パワー化についての一般的な法則が議論されている。本学位請求論文では、線形応答の範囲内で高い性能効率を持ち、かつ最大パワー時に高効率となるような量子熱電素子の探索を主目的とした研究が行われた。具体的には、アンダーソン局在近傍の領域を利用した熱電素子、および電子-フォノン相互作用が存在する熱電素子が理論的に解析され、その結果がまとめられた。

本論文は英語で5章からなる。まず第1章で量子熱電素子の熱効率およびパワーに関するこれまでの理論研究が簡単にまとめられた。第2章では、熱電効果に関する不可逆過程の熱力学について、先行研究が詳しく論じられた。また散乱理論を基にしたランダウアー公式についても詳しくまとめられた。

引き続き第3章と第4章において、本論文の主要な結果がまとめられた。まず第3章では、アンダーソン局在転移近傍における熱電効果が論じられた。局在転移近くでは、特に絶縁体側で熱電性能指数やゼーベック係数が大きな値を取ることが示された。さらにナノスケール素子で重要となる有限サイズの効果、および移動度端が2つある場合の解析結果もまとめられた。局在転移に関わる理論は多数提出されているが、有限サイズ効果および移動度端が複数ある場合の計算はこれまでほとんど行われておらず、本研究は新規なものであると認められる。

次に第4章では、ナノスケール素子の熱効率について論じられた。散乱理論に基づくランダウアー公式を用いた先行研究では、最大パワーが実現しているときの熱効率はカルノー効率より低いこと、および有限のパワー下でカルノー効率を実現できないことが示されていた。しかし、非弾性散乱があるモデルに対しては単純なランダウアー公式が適用できないため、これらの結果が成り立たない可能性がある。そこでアハラノフ-ボームリングの片側のアームを調和振動子(単一モードフォノン)と結合させ、片側のアームにだけ非弾性散乱を引き起こすモデルが考察された。電子-フォノン間の相互作用に対して、2次の摂動理論を適用し、片方のリードから入ってくる熱流がゼロとなるプローブ条件を考え、最大パワー時の熱効率が計算された。その結果、摂動論の範囲内で、従来

のランダウアー公式に対して知られていた最大パワー時の熱効率上限を超える熱効率が達成可能であることが示された。さらに応答行列の性質が考察され、有限パワーでカルノー効率が実現するとすればどのような条件を満たす必要があるかが論じられた。摂動論による計算には限界があるものの、非弾性散乱の効果を初めて考察した研究であり、その結果は興味深いものである。

最後の第5章では、得られた結果と今後の展望がまとめられた。

以上、各章の紹介と共に本論文で得られた知見を解説した。本論文は、ナノスケール素子を用いた熱電効果の熱効率を詳しく論じたものである。特に第4章で議論された、熱電性能に対する非弾性散乱の効果に着目したことは、本学位申請者のオリジナルな点であると評価される。本論文はナノスケール素子の熱電効果に関する理論研究の基礎を与え、今後の研究の進展に寄与するものと判断される。なお、本論文の第3章および第4章は、羽田野直道氏、Amnon Aharony 氏、Ora Entin-Wohlman 氏との共同研究の成果に基づくが、論文提出者が主体となって計算及び論文執筆を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の評価により、審査員全員が学位論文として十分なレベルにあり、博士（理学）の学位を授与できると判断した。