

平成29年9月7日

埼玉工業大学大学院工学研究科長殿

学位論文審査委員会

主査 内田 正哉 印

副査 巨 東英 印

副査 古谷 清藏 印

副査 根岸 利一郎 印

副査 田村 明 印

学位（博士）論文及び最終試験の審査結果について（報告）

専攻名：博士後期課程 電子工学専攻

学籍番号：1222002

院生氏名：龍見 洋平

論文題目：量子囲いにおける量子化された走査型トンネル顕微鏡電流
ならびに顕微鏡像の理論的研究

上記の学位（博士）論文について、平成29年9月7日に審査および最終試験を行い、その結果を下記のとおり報告します。

記

1 学位論文の内容の要旨 *別添の通り

2 審査意見：

当該学位（博士）論文は2つの研究テーマについて記述されている。1つ目は研究対象である矩形量子囲い（Quantum Corral 以下QCと略）に準定常状態として形成されたショックレイ電子状態の解析に基づき、走査型トンネル顕微鏡法（STM）のSTM探針とQC間に流れるSTM電流の表式を示すとともにSTM電流の電流-電圧特性（I-V特性）ならびに局所状態密度（LDOS）の印加電圧依存性を理論的に明らかにしている。またこれらのI-V特性ならびにLDOSのQCサイズ依存性を導出し、それらがフラクタル構造を有することを示すとともにサイズの異なるLDOS画像においてもフラクタル性が見られることを指摘している。今までこれらの物理量が有するフラクタル構造は研究されてこなかったものであり新規性が見られる。

2つ目の研究テーマは1次元有限井戸型ポテンシャルに束縛された電子に関

する不確定性関係の解析である。今まで十分な研究がなされてこなかった1次元の有限高さ井戸型ポテンシャルに束縛された電子が示す運動量と位置の標準偏差に関する不確定性関係の詳細を理論的に明らかにしている。本研究において有限井戸に束縛された基底状態ならびに励起状態にある電子の運動量ならびに位置の標準偏差の井戸幅依存性が初めて提示されている。これらに加えて他のポテンシャル内に束縛された電子の不確定性関係を導出し、有限井戸型ポテンシャルに束縛された電子の場合との比較検討結果を示している。特に、無限障壁ポテンシャルに束縛された電子の運動量および位置の標準偏差との比較検討において、井戸幅が大きいときと小さいときの2つの場合について、独自の摂動論を用いた理論解析手法を示していることは意義がある。

また学位（博士）論文の最終審査ならびに口頭試問により当人は当該分野に関する知識および学力を有しており学位（博士）を授与するに相応しいものであることを確認し、本審査委員会は本論文は博士（工学）学位論文として合格と判定した。

3 学位に付記する専攻分野の名称（いずれかを○で囲む）

工学 学術

4 学位を授与できるか否かの意見

1) 審査結果（いずれかを○で囲む）

① 学位論文及び最終試験の判定 合格 不合格

2) 意見

当該学位（博士）論文は研究の新規性、独自性を有していること、最終試験（公聴会）での発表ならびに質疑に対する応答も的確であったこと、またこれらの成果は査読つき原著論文2報として公表予定であり現在印刷中であることを踏まえ、学位（博士）を授与するに充分であると全員一致で判定した。なお学位論文に関わる原著論文2報は英文であることから英語試験を免除した。

1 学位論文の内容の要旨

第1章 序論

本章において物質表面の解析手法の説明ののち、走査型トンネル顕微鏡の総論ならびに測定条件が明示されている。また研究対象である量子囲い (Quantum Corral 以下 QC と略記) について従来の研究結果を含め総括的に議論されている。さらに QC に束縛される電子がショックレイ電子であることが明示され貴金属表面に局在するショックレイ電子の状況を詳述している。

第2章 量子囲い内に束縛された電子状態

1次元ならびに2次元 QC 内に準定常状態として束縛された電子の状態を詳述している。また STM 電流の表式が明記され、その印加電圧微分の表式に含まれる LDOS を示している。また STM 画像の解析ならびに走査型トンネルスペクトル (STS) の導出を行い実験結果との比較検討を行い、実験結果とよく一致していることが示されている。

第3章 STM 電流の量子輸送とフラクタル

本章の目的ならびに STM の I-V 特性について詳細が記述されている。さらに QC 内の異なる位置での I-V 特性の変化ならびに QC サイズ依存性を論じている。なお I-V 特性の障壁幅依存性から障壁幅が厚くなるにつれ、電子の量子化が顕著となり、STM 電流の電圧に対する複数のステップが急峻になることが示されている。また新たな知見として STM 電流の I-V 特性ならびに LDOS 画像においてフラクタル構造が見られることを明らかにしている。QC サイズが大きいとき LDOS は2次元系の DOS に対応することが示され、I-V 特性がオーミックになることを明らかにしている。

第4章 有限矩形井戸型ポテンシャルに束縛された粒子の不確定性関係

不確定性関係については多くの研究がなされ、知り尽くされた観があったが、有限系に束縛された粒子に関しては十分な研究がなされてこなかったことを提示している。さらに1次元の有限高さ井戸型ポテンシャルに束縛された電子が示す運動量と位置の標準偏差に関する不確定性関係を理論的に明らかにしている。本章では有限井戸に束縛された基底状態ならびに励起状態にある電子の運動量ならびに位置の標準偏差の井戸幅依存性の詳細な状況が示されている。具体的には、運動量の標準偏差は井戸幅に対してピークをもつが位置の標準偏差は谷をもつことを明らかにしている。また運動量の標準偏差と位置の標準偏差の積は谷をもつことが初めて示されている。特に井戸幅ゼロの場合、上記の積は有限値に収束することを示すとともに、デルタ関数型井戸型ポテンシャルに束縛された電子の状況に対応することを明らかにしている。これらに加えて無限障壁ポテンシャル、調和振動子ポテンシャルならびにデルタ関数型引力ポテンシャルに束縛された電子の不確定性関係を導出し、有限井戸型ポテンシャルに束縛された電子の場合との比較検討結果を示している。特に、井戸幅が大きいときと小さいときの運動量および位置の標準偏差と無限障壁ポテンシャルに束縛された電子のこれらの標準偏差との比較検討において、独自の摂動論を用いた理論解析手法が示され有用な知見を提供している。

付録

A から D までの4つの付録があり、各章の表式を導出するための詳細な途中式が示されている。