



Title	ランダムに分布した金属ナノドットアレイにおける単電子伝導特性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	瘧師, 貴幸
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15540号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89763
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takayuki_Gyakushi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 瘡師 貴幸

審査担当者 主査教授 葛西 誠也
副査教授 末岡 和久
副査教授 植村 哲也
副査 高橋 庸夫 (北海道大学名誉教授)

学位論文題名

ランダムに分布した金属ナノドットアレイにおける単電子伝導特性に関する研究
(Study on single-electron conduction properties in randomly distributed metal nanodot array)

近年、トランジスタの微細化による特性バラツキ、高集積化に伴う消費電力の増大が問題になっている。そのため、再構成可能コンピューティングやリザーバーコンピューティング等の情報処理技術や、CMOS と異なる動作原理のナノデバイスを用いて、低電力・高機能な情報処理の実現が試みられている。単電子デバイス (SED) は候補の一つであり、出力電流が入力ゲート電圧に対して振動する単電子特性を示す。SED はソース・ドレイン電極間に 1 個または複数のナノドットを有する構造であり、1 個のドットからなる SED は単電子トランジスタ (SET) と呼ばれる。複数の SET の結合により高機能動作を期待できるが、SET 間の配線の充電に時間を要し、十分な動作速度の確保が困難である。この低動作速度を補い、バラツキの問題を回避する方法として、多数のドットが内包・連結された SED の利用が考えられる。これまでに、複数ドットからなる SED(マルチドット SED) が提案され、高機能動作の可能性が示されている。

このようなデバイスの作製方法として、金属ドットの利用が考えられている。化学合成したドットの散布や蒸着によって多数のドットが配置された構造を容易に作製できるため、マルチドット SED の作製に有利である。しかし、形成される構造は多数のドットがランダムに配置した複雑な系であり、個々のドット特性が平均化されて単電子特性の観測は困難であると予想される。そのため、金属マルチドット SED の詳細な研究はなされておらず、単電子特性の評価・理解が進んでいない現状にある。

これに対し、本論文では Fe 薄膜の成長初期に形成される自己組織化ドットアレイの単電子特性評価を行い、デバイス応用について検討している。その結果、連続膜となる膜厚よりも少し薄い条件において、(数百個以上のドットが存在するにも関わらず)1 個のドットに由来する単電子特性が観測されることを見出した。また、長期に渡る特性評価を行い、 MgF_2 に埋め込まれたドットアレイの動作安定性を示した。更に、複数ゲートを用いた特性制御に成功している。また、現象を理解するために、アレイ内の微細構造と単電子特性との相関について議論している。異なる表面状態の基板上にドットアレイを形成し、いずれの基板においても膜厚増加に伴って複雑な振動特性から単純な振動特性に変化すること、その変化が似通ったコンダクタンスで生じることを示した。この種の研究は他に類が無く、金属ナノドットアレイのデバイス利用に関する重要な知見を与えるものである。

以下に本論文における各章の概要を述べる。

第1章は序章である。研究背景、SETの動作原理と課題、その課題を解決し得る金属マルチドット SED について説明した後、目的と論文の構成について述べている。

第2章では、Fe ナノドットアレイにおける単電子特性について述べている。多数のドットがランダムに存在する系においても明瞭な単電子特性が得られること、Fe 膜厚の調整によって1個のドットに由来する単電子特性を一定頻度で観測されることを示している。これにより、多ドット系においても単電子特性を抽出できうるとの結論を得ている。

第3章では、デバイスの動作安定性について議論している。数日以上にわたって単電子特性を評価し、当該デバイスにおいて安定動作を実現できるとの結論を得ている。これはドット周辺の可動電荷の影響が小さいことを示唆しており、材料系やデバイス構造に起因すると考察している。

第4章では、複数ゲートによる特性制御について述べている。まず、ダブルゲートデバイスの測定結果から、Fe ドットアレイを用いた論理ゲート動作が可能であることを示している。その際、動作特性がドット形状に大きく影響されることを見出し、デバイスの機能向上について指摘している。更に、高機能な特性を目指したトリプルゲートデバイスについても言及している。

第5章では、単電子特性とドットの分散状況の関係について述べている。Fe 膜厚と基板の表面状態が異なるデバイスの温度およびドレイン電圧に対する応答を比較し、特性に寄与する実効的なドット数が Fe 膜厚により変化すること、その変化がコンダクタンスで整理され得ることを示している。

第6章では、本研究の内容を総括している。

これを要するに、著者は、金属ナノドットアレイの持つ単電子伝導特性を評価し、論理演算デバイスとしての可能性を示した。動作安定性、膜厚・基板などの実験パラメータによる特性変化、アレイ微細構造の影響など、ナノドットアレイの応用に向けた重要な指針を得ている。今後のナノデバイス研究へ貢献するところ大である。

よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。