

令和7年度の研究（または活動）内容

本年度は、新たな共同研究の案件としては、ボールミルの貸し借りなどの小規模なものはあったが、それ以外では従来から進めている構成員間の共同研究を引き続き発展させる取り組みを行った。現在継続中の2件の共同研究について、その進捗状況を以下に報告する。

(1) 単一量子ドットを用いた磁気抵抗素子の電界制御と再現性評価(柴田・田河教授間の共同研究)

本研究では、強磁性体と量子ドットを組み合わせた電界変調可能な磁気抵抗素子について、前年度に得られた結果の再現性確認とメカニズム解明を目的として実験を進めた。前年度の研究では、直径約5nmの単一量子ドットを伝導チャンネルとし、その両端に強磁性体Ni電極を配置した強磁性体/単一量子ドット/強磁性体接合素子の作製に成功している。この素子において、単一電子伝導および磁気抵抗効果、さらにそれらのゲート電界による変調を確認しており、量子ドットを介したスピン依存輸送の基礎特性を示す重要な成果が得られていた(図1)。

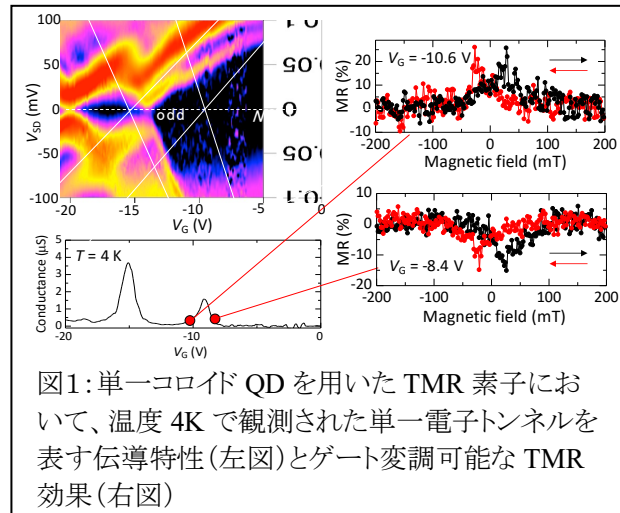


図1: 単一コロイド QD を用いた TMR 素子において、温度 4K で観測された単一電子トンネルを表す伝導特性(左図)とゲート変調可能な TMR 効果(右図)

本年度は、これらの結果の再現性を検証するとともに、データの蓄積によって輸送メカニズムの理解を深めることを目指した。実験の結果、昨年度と同様にトンネル磁気抵抗効果およびその電界変調を再び観測することに成功した。一方で、昨年度のデータと完全には一致しない振る舞いも新たに確認され、素子特性にばらつきが存在する可能性が示唆された。このことから、現象の本質的理解には、さらなる再現性の検証と追加データの取得が必要であると判断した。以上より、本研究テーマは引き続き重要な進展の余地があり、来年度も継続して実験を行う予定である。

(2) THz 光による単一電子制御の実現に関する研究(柴田・縄田准教授間の共同研究)

本研究では、THz 光照射によって単一電子制御を実現するための単一コロイド量子ドット素子の作製と評価を行った。THz 光は光子エネルギーが低く、コロイド量子ドット内に形成されるサブバンド間遷移を利用した光電流の制御や、光と電子の強い相互作用を用いたフロッケエンジニアリングによる電子状態制御が期待されており、量子デバイスの新たな制御手法として注目されている。本研究では、単一コロイド量子ドットを伝導チャンネルとするトランジスタ素子を作製し、THz 光照射の有無による電気伝導特性の変化を比較することで、THz 光による電子輸送制御の可能性を検証した。

THz 光と単一コロイド量子ドットの強い相互作用を実現する素子の設計・作製は昨年度から開始しており、本年度は素子の完成と特性評価、さらに THz 光照射実験を実施した。ゲート電極には従来の p 型 Si 基板ではなく膜厚 8 nm の NiCr 電極を用い、THz 帯域に適したボウタイアンテナ形状

のナノギャップ電極間に単一コロイド量子ドットを配置した。ゲート絶縁膜には、研究所内で立ち上げた ALD 装置により成膜した Al_2O_3 を用いた。伝導特性測定の結果、素子は単一電子トランジスタとして動作しており、目的とする構造が適切に実現できていることを確認した。

続いて THz 光照射下での伝導特性を測定したところ、図 2 に示すように光照射時には伝導度ピークがブロードに変化し、僅かながら伝導特性に変化が生じることが観測された。これは THz 光がコロイド量子ドット内の電子状態やトンネル障壁に影響を与え、電子輸送経路を変調している可能性を示唆する。一方で、期待したほど大きな変化は得られておらず、光支援による単一電子のトンネル伝導で予想される振る舞いは明瞭には観測されなかった。この理由としては THz 光と単一コロイド量子ドットの相互作用が十分ではないことが考えられ、より強い相互作用を実現するには、さらなる素子構造の改善が必要であると考えられる。

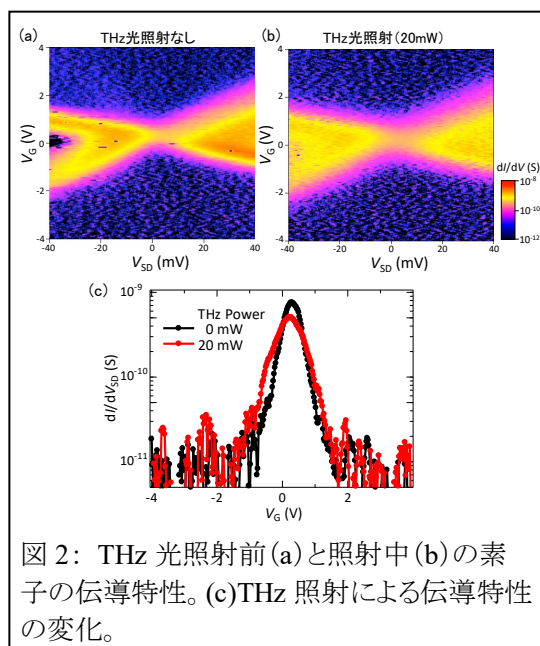


図 2: THz 光照射前 (a) と照射中 (b) の素子の伝導特性。(c) THz 照射による伝導特性の変化。

最後に、昨年度末に定年退職で内野教授が抜けたことから、内野教授が管理していた実験室を構成員で引き継ぎ、研究環境を再構築する作業を行った。装置の共有化の取り組みも引き続き継続しているが、今年度は新たに共有化された装置はなかった。