

## 博士論文要旨

学位申請者:松本 雄太

論文題目: Ultra-fast and high fidelity single-spin qubit operation

(超高速で高忠実度な単一電子量子ビット操作)

### 論文要旨:

半導体量子ドット中の電子・スピン量子ビットは既存の半導体微細加工技術との親和性の高さから大規模集積化が期待され、最近ついに 1,2 量子ビットでは誤り訂正型量子コンピュータの要件を満たす操作忠実度(>99%)が Si 量子ドットデバイスにおいて達成された。しかし集積化した構造で安定した高操作忠実度を実現することは未だ困難を極めており、デバイス構造や操作手法などさまざまな観点から操作忠実度の向上を目指した研究が活発化している。

Si デバイスでの 1 量子ビット操作は、微細磁石による傾斜磁場中で電子を振動させることによって有効磁場を印加することで行われる。近年ドット間のトンネルによって大きな有効磁場を電子に作用させる手法が提案、原理検証され、微細磁石の設計やトンネル結合や離調をより最適化することによって忠実度を最大化できることが期待されている。

私たちは、すべての同位体が核スピンを持ち 99%以上の操作忠実度が達成されていない GaAs デバイスにおいて、多重量子ドット中のトンネル結合、エネルギーの離調を最適化することで高速かつ高忠実度な 1 スピン量子ビット操作を実現した。最大の操作速度としては 271MHz を達成し、非常に強いスピン軌道相互作用による超高速操作が近年実証された Ge ナノワイヤー系での値に匹敵する。また操作忠実度は高速なフィードバック制御や最適な操作パルスを用いることによって最大 99.72%の  $\pi/2$  ゲート忠実度を 8.1 ns の  $\pi$  回転速度で達成した。これは 99%以上の操作忠実度を達成した Si, Ge 系での値と比べて最も速く、全体の量子アルゴリズムの実行速度を向上させることも期待できる。また同一デバイスにおいて 200MHz を超えるラビ周波数、99%以上の忠実度を実現した量子ドットの研究成果は未だかつてなく、多重量子ドットのトンネル結合と離調の制御による 1 スピン量子ビット操作が極めて有効であることが示唆される。

本研究での忠実度最適化は集積化した多重量子ドット配列内のパラメータ制御、ソフトウェア制御で完結することから新たな要素をデバイスに組み込む必要がなく、微細磁石によって操作する Si やスピン軌道相互作用を用いる Ge 量子ドットデバイスへ適応が可能なことから、将来の高忠実度な大規模量子ビット操作の重要な構成要素になることが期待される。