

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	RF Reflectometry Readout of Spins in Silicon Quantum Dots to Create Quantum Networks and Surpass Classical Limit
著者(和文)	SINANBUGU
Author(English)	Sinan Bugu
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12046号, 授与年月日:2021年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小寺 哲夫,波多野 睦子,若林 整,河野 行雄,岩崎 孝之,鈴木 左文, Sahin K. Ozdemir
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12046号, Conferred date:2021/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)
論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Sinan BUGU		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小寺 哲夫	准教授		岩崎 孝之	准教授
	審査員	波多野 睦子	教授	審査員	鈴木 左文	准教授
		若林 整	教授		Sahin K. Ozdemir	ペンシルベニア 州立大学 准教授
		河野 行雄	特定教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「RF Reflectometry Readout of Spins in Silicon Quantum Dots to Create Quantum Networks and Surpass Classical Limit(量子ネットワークの創出と古典限界の超越に向けたシリコン量子ドット中のスピンの RF 反射読み出し)」と題し、英文 7 章から構成されている。

第 1 章「Introduction (序論)」では、本研究の背景について説明し、目的および構成を述べている。量子ネットワークや量子計算の基礎となる量子ビット、論理ゲート、スピンコヒーレンス時間について説明している。

第 2 章「Quantum dots and RF reflectometry (量子ドットと RF 反射測定)」では、量子ドットの輸送現象について説明し、スピンの関与するトンネル現象であるパウルスピンブロッケード (PSB) について述べている。また、量子ドット中の量子状態を読み取る技術について説明している。特に、量子ビットの読み出しには位相緩和時間よりも短い時間での測定が必要のため、RF 反射測定が利用されると述べ、その測定手法について説明している。さらに、本研究に用いたデバイスであるシリコン量子ドットについて説明している。その利点として、量子ドットの中に閉じ込めた電荷スピンの比較的に長いコヒーレンス時間をもつため量子情報応用において信頼性が高く、シリコン微細加工技術と互換性のあるプラットフォームとして認識されていると述べている。

第 3 章「Preparing multipartite entangled spin qubits in via PSB in double quantum dots (二重量子ドットにおける PSB を介した多体エンタングルメント状態の準備)」では、量子ドットの PSB 現象を利用して、大規模な量子ネットワークを創成する理論提案を行っている。2 つの W 状態と呼ばれるエンタングルメント状態を量子ドットの PSB を介して融合させ多体エンタングルメント状態を創成できると示している。光子を使用してフォトニック量子ネットワークを創成する提案と比較して、本研究の提案は量子ドット中の電荷のスピンのを用いて大規模な量子ネットワークを作ることが特徴であると述べている。補助量子ビットやキャビティの作製が必要なく、周辺回路と集積可能な点や既存技術で実現可能な点に優位性があると述べている。

第 4 章「Surpassing classical limit via distant quantum dots coupled to cavity (共振器に結合した離れた量子ドットによる古典限界の超越)」では、光共振器に結合された離れた量子ドットを利用して、魔方陣ゲーム (MSG) の古典限界を超越する実験的なセットアップの理論提案を行っている。審判と対戦する疑似テレパシーゲームである MSG に、量子のリソースとしてエンタングルメント状態の共有を利用すると、プレーヤーが審判に対して成功確率 1 で勝利することができると述べている。一方で、古典的なリソースでは最大でも成功確率は 8/9 に留まり、量子のリソースにより古典限界を超越することを示している。

第 5 章「RF leakage in quantum dots with top gate (トップゲートを有する量子ドットにおける RF リーク)」では、MOS 型量子ドットデバイスの RF リークを克服するためのトップゲートの縮小について議論している。トップゲートがある場合、2 次元正孔ガスとの間に寄生容量が生じてインピーダンスが小さくなり、ソースやドレインのリード部と量子ドット領域のインピーダンスの大きな違いにより、グラウンドへの RF リークが起こる問題を指摘している。本研究では、トップゲート面積を従来の $400 \mu\text{m}^2$ から $0.09 \mu\text{m}^2$ まで縮小したデバイスにおいて、210 MHz の RF 信号が量子ドット領域に到達したと述べている。また、トップゲート面積が $1 \mu\text{m}^2$ のデバイスにおいては、201 MHz の RF 信号によりクーロン振動を観測したと述べている。

第 6 章「Tuning impedance matching: towards perfect matching in quantum dots (インピーダンスマッチングの調整: 量子ドットにおける完全なマッチングに向けて)」では、RF 反射測定の信号対雑音比を高めるための完全なインピーダンスマッチングについて議論している。デバイスのトップゲート電圧を変化させると静電容量が変化し、マッチング条件から外れる問題があると述べている。これを抑制するために、GaAs の 2 重バラクタを使用して最適なマッチングに調整して信号対雑音比を向上し、量子ドットのクーロンダイヤモンドを RF 反射測定により観測したと述べている。さらに、信号対雑音比を向上させた RF 反射測定により、物理形成 PMOS 型 2 重量子ドットデバイスにおいて PSB を示唆する信号を検出したと述べている。

第 7 章「Conclusion and outlook (結論と展望)」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の展望を述べている。

以上を要するに、本研究では、量子ドットを利用し PSB の検出を必要とする研究として、量子ネットワークの創出と量子リソースによる古典限界の超越に関する 2 つの理論提案を行った。実験においては、RF 反射測定の RF リークの問題を克服し信号対雑音比を改善して、スピン現象としての PSB を示唆する信号を検出した。これらの研究は、学術上貢献することが大きい。よって、我々は本論文を博士 (学術) の学位論文として十分に価値があると認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。