

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	物理的パターン形成による少数電子シリコン量子ドットの電気特性と電子スピン量子ビットへの応用に関する研究
Title(English)	Physically-defined few-electron silicon quantum dots for electron spin qubits
著者(和文)	堀部 浩介
Author(English)	kosuke Horibe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9784号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 俊理,波多野 睦子,宮本 恭幸,河野 行雄,小寺 哲夫, 藤原 聡
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9784号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻: Department of	電子物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野): Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名: Student's Name	堀部 浩介		指導教員 (主): Academic Advisor(main)	小田 俊理 教授	
			指導教員 (副): Academic Advisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は **Physically-defined few-electron silicon quantum dots for electron spin qubits** (物理的パターン形成による少数電子シリコン量子ドットの電気特性と電子スピン量子ビットへの応用に関する研究) と題し英文 9 章からなる。

第 1 章 "Introduction" (序論) では、本研究の背景と目的について述べる。従来のコンピュータでは不可能な高い計算能力が期待される量子コンピュータについて説明し、これまでの量子ビットに関する研究の状況について述べる。特にシリコン量子ドット内の電子スピンを利用した系が量子コンピュータ実現に向け有望である理由を説明し、先行研究における主要な課題について記述する。本研究の目的は多重量子ビットの集積化に有望である物理的パターン形成によるシリコン量子ドット構造の開発および電子スピン量子ビット実現に向けた諸問題を解決することであり、目的を達成するための道筋について説明する。

第 2 章 "Theory for quantum dots and charge sensors" (量子ドットと電荷センサに関する理論) では、本論文で取り扱う量子ドット中の電子輸送および電荷センサの理論について述べる。具体的には複数の静電結合した導体の静電エネルギー、単電子輸送とクーロンブロックード、単一量子ドットおよび二重結合量子ドットにおける電子輸送理論、電荷センサの感度、RF-単電子トランジスタ (SET) の原理について記述する。

第 3 章 "Experimental Techniques" (実験技術) では、本研究で作製したデバイス構造およびデバイス作製プロセスについて述べる。具体的には物理的パターン形成によって作製された量子ドットデバイスの構造と、その作製プロセスについて実験条件を含め詳細に記述する。

第 4 章 "Realization of charge sensing measurements and observation of few-electron silicon single and double quantum dots" (電荷センシング測定の実現と、単一および二重量子ドットにおける少数電子占有状態の観測) では SET 電荷センサ構造の作製と電荷センシング測定の実現、電荷センシング測定を用いた単一および二重結合量子ドットにおける少数電子占有状態の観測について述べる。これらは電子スピン量子ビット実現に向け必須の課題であり、5 章以後の実験においても前提の技術となる。

第 5 章 "Key capacitive parameters for designing single-electron transistor charge sensors" (SET 電荷センサを設計するための主要な容量パラメータ) では、SET 電荷センサの容量パラメータの実験および理論的評価について述べ、量子ビット測定における SN 比を向上させるための SET 電荷センサの設計指針の確立について述べる。SET 電荷センサの直径を小さくすると、量子ビットとの容量結合が減少してしまうが、同時にセンサ自身の感度が向上し、結果的に量子ビット測定時の SN 比が向上することを示す。

第 6 章 ”Control of the tunnel coupling between coupled quantum dots” (結合量子ドット間トンネル結合の制御) では、交換相互作用を用いた電子スピン量子ビットの実現に必須である結合量子ドット間トンネル結合制御を実現した実験について述べる。物理的パターン形成によるシリコン量子ドット構造ではトンネル結合が量子ドットパターンの形状に大きく依存するが、トッゲート電圧を変調することによりこのトンネル結合の変調を行っている。

第 7 章 ”Back-action-induced excitation of electrons in a silicon quantum dot with a single-electron transistor charge sensor” (SET 電荷センサのバックアクションによるシリコン量子ドット内の電子励起) では、SET 電荷センサのバックアクションによる量子ドット内電子の励起現象の観測と、実験結果の理論フィッティングによる解析について記述する。また電流が小さい領域で量子ビット測定を行うことによりバックアクションの影響を抑えることができることを述べる。

第 8 章 ”Pulse measurements of Pauli spin blockade in few-electron silicon double quantum dots” (少数電子シリコン量子ドットにおけるパウリスピンブロックエードのパルス測定) では、少数電子シリコン二重結合量子ドットにおけるパルス電圧測定によるスピンプロックエード現象の観測について述べる。シングレットとトリプレット状態間のエネルギー幅を見積もり、またパルスの周波数からシングレット-トリプレット量子ビットの縦緩和時間を見積もっている。本測定はパルス操作を用いた電子スピン量子ビットのシングルショット測定に向けた重要な進展となる。

第 9 章 ”Conclusions” (結論) では本論文のまとめと結論について述べる。

以上を要するに、本研究では、電子スピン量子ビットの集積化を見据えたシリコン量子ドットデバイス構造の開発を行い、電荷センサの実装と少数電子量子ドットの形成、また結合量子ドット間トンネル結合の制御やパウリスピンブロックエードのパルス測定といった重要な課題の達成に成功した。また電子スピン量子ビットの諸問題である電荷センサの SN 比やバックアクションの抑制策の提示を行った。本研究は、シリコンデバイスにおける電子スピン量子ビットの実現と集積化への道を拓くものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電子物理工学 専攻  
Department of  
学生氏名： 堀部 浩介  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 小田 俊理 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)  
Thesis Summary (approx.300 English Words)

The thesis entitled "Physically-defined few-electron silicon quantum dots for electron spin qubits" consists of 9 chapters.

Chapter 1 "Introduction": Background and research objectives of this study are described. Physically-defined silicon quantum dots have a great advantage for integration of quantum bits (qubits) and our objective is the development of experimental techniques to apply this structure to the electron spin qubit architectures.

Chapter 2 "Theory for quantum dots and charge sensors": Theories used for analyzing experimental results in this study, such as the theory for transport of electrons through quantum dots and charge sensitivity of charge sensors, are described.

Chapter 3 "Experimental Techniques": Physically-defined silicon quantum dot structures and the device fabrication process are introduced in detail.

Chapter 4 "Realization of charge sensing measurements and observation of few-electron silicon single and double quantum dots": Experimental results of the charge sensing measurements and observation of few-electron regime in silicon single and double quantum dots are presented.

Chapter 5 "Key capacitive parameters for designing single-electron transistor charge sensors": Measurements and calculation of the capacitive parameters of the charge sensor are presented in order to obtaining the ideal design of the charge sensor to reduce the signal-to-noise ratio in the charge sensing.

Chapter 6 "Control of the tunnel coupling between coupled quantum dots": Here it is shown that tunnel couplings between quantum dots could be controlled by tuning the gate voltages.

Chapter 7 "Back-action-induced excitation of electrons in a silicon quantum dot with a single-electron transistor charge sensor": Back-action measurements and fitting calculations of the measurement results are presented in order to investigate and obtain the reduction methods of the back-action.

Chapter 8 "Pulse measurements of Pauli spin blockade in few-electron silicon double quantum dots": Pulsed measurements of the Pauli spin blockade in few-electron occupancy of a silicon double quantum dot are presented.

Chapter 9 "Conclusions": Summaries and conclusions of this study are described.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).