

## Study of two-dimensional Si Esaki diodes at ultra-high doping with semimetal behavior

メタデータ	言語: en 出版者: 公開日: 2023-03-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Moraru, Daniel メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/00029652">http://hdl.handle.net/10297/00029652</a>

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04529

研究課題名(和文) Study of two-dimensional Si Esaki diodes at ultra-high doping with semimetal behavior

研究課題名(英文) Study of two-dimensional Si Esaki diodes at ultra-high doping with semimetal behavior

研究代表者

Moraru Daniel (Moraru, Daniel)

静岡大学・電子工学研究所・准教授

研究者番号：60549715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はドナー原子とアクセプター原子の高ドーピングによるSiナノデバイスの新しい特性の実証である。特にバンド間トンネルはドーパントのエネルギー準位により、電流強化の可能性が明らかにされた。これにより高濃度共ドーブSiナノデバイスのsemimetalの特徴を明らかにしていくことが出来る。

実験では違う濃度のシリコンpn/pinダイオードを作製した。卓上型ランプ加熱装置を導入し、pnダイオードのドーピング・プロファイルを調整。シミュレーションではナノワイヤトランジスタの中にあるPドナーとBアクセプターの相互作用を報告し、ドナーアクセプタペアのSiナノワイヤダイオードの影響について重点を置いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通じて、シリコンナノデバイスのトンネル輸送制御における離散的なドーパントの役割が明らかになった。P-ドナーとB-アクセプターの相互作用は、ナノワイヤトランジスタのシミュレーションを行い、次にナノワイヤダイオードを拡張した。その結果、P-ドナーおよびB-アクセプターがトンネル輸送を媒介することが明らかになった。シリコンナノデバイスの電気伝導の実験から、ドーパント状態を介した量子トンネル伝導に関する観察結果が得られた。これらの結果は、原子スケールのエレクトロニクスを開発する上で重要である。この開発により、ナノスケールシリコンデバイスを用いた低電力エレクトロニクスが可能になると思われる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was to demonstrate new properties of Si nano-devices due to high doping of donor-atoms and acceptor-atoms. In particular, band-to-band tunneling was investigated to reveal the possibility of current enhancement due to energy states of dopants. Based on these results, the "semimetal" behavior can also be clarified in high-concentration co-doped Si nanodevices.

In experiments, we fabricated and characterized silicon pn/pin diodes in different concentrations. We introduced rapid thermal annealing (RTA) equipment in the fabrication process for pn diodes to obtain more controlled doping profiles.

In simulations, we reported interplay of P-donors and B-acceptors in nanowire transistors and then focused on the impact of donor-acceptor pairs in Si nanowire diodes.

研究分野：シリコンナノエレクトロニクス

キーワード：dopant atoms silicon nanodevices tunneling Esaki diode

## 1. 研究開始当初の背景

高濃度ドーピングされたナノスケールシリコン (Si) は、将来のエレクトロニクス応用に活用できる特性を示すことが期待されている。この特性の一つは、2つのドーパント (リン (P) ドナーとホウ素 (B) アクセプタ) の共ドーブまたは混合により、Si 層の電位分布が大きく変化することである。高濃度ドーピングでは、ドナークラスターのポテンシャルバレーとアクセプタクラスターのポテンシャル障壁が形成される。このような条件下では、Si が半金属のように振る舞う可能性があることが示唆された。

高濃度共ドーブ Si の半金属的な挙動は、SOI (シリコン・オン・インシュレータ) トンネルダイオードの空乏層を介したバンド間トンネル (BTBT 輸送) により調査することができる。以前の研究で、我々はナノスケールの SOI トンネルダイオードを介した BTBT 輸送を報告した [M. Tabe et al., Appl. Phys. Lett. (2016)]。その後、このようなデバイスのナノスケール空乏層でドーパントクラスターにより形成された量子ドットを介した単電荷 BTBT 輸送について報告した [G. Prabhudesai et al., Appl. Phys. Lett. (2019)]。また、中～高濃度の P ドナーのみをドーブしたナノスケールトランジスタでは、ドナークラスターが形成するポテンシャル井戸が高温 (~150 K) での単一電子トンネリング動作を可能にすることが示されている [A. Samanta et al., Appl. Phys. Lett. (2017)]。これは、量子ドットを形成する複数のドナーの結合に起因するとと思われる高いポテンシャル障壁によるものである。

このような背景から、本プロジェクトでは、Si ナノスケールデバイスの輸送を解析し、高濃度 Si ナノ構造の「半金属」的な性質を明らかにする研究を行った。

## 2. 研究の目的

このプロジェクトでは、まず、SOI トンネルダイオードの空乏層を通過する BTBT 輸送を観測することによって、上記に記載した共ドーブ Si の「半金属」的な挙動を調査した。その結果、いくつかのケースで単電荷 BTBT 輸送の挙動が観測された。この挙動の起源を明らかにするため、実験とシミュレーションを行った結果、この単電荷 BTBT 輸送は、P ドナーのクラスターが B アクセプタによって補償されずに空乏層に量子ドットを形成することが原因であることがわかった。また、このような Si ナノ構造におけるドーパント原子の効果を第一原理シミュレーションにより深く理解することも、このプロジェクトの目的の一つである。

さらに、もう一つの目的は、1種類のドーパントの効果しか観測できない、ドナー誘起量子ドットを介した単一電子トンネリングである。この目的のために、異なる濃度、異なるプロファイルの P ドナーをドーブしたナノスケール SOI トランジスタも調査した。その結果、ドナークラスターは、印加電圧によって制御可能なポテンシャル障壁を持つ量子ドットを形成することがわかった。

## 3. 研究の方法

このプロジェクトでは、(i) 第一原理計算等を用いた Si ナノワイヤデバイスのシミュレーション; (ii) クリーンルームプロセスを用いた SOI ナノスケールデバイス (ダイオードとトランジスタ) の作製と電気特性評価、という二つの方法に焦点を当てた。

Si ナノワイヤについては、第一原理計算を用いたシミュレーションを行った。又、単一のリ

ン(P)ドナーと単一のホウ素(B)アクセプタを含むSiナノワイヤを、外部環境から隔離した状態で、ドーパント間距離の関数として研究した。一方、同様のSiナノワイヤを静電的にドーブした延長部の間に配置し、ナノワイヤを外部環境に接続するためのリードとして使用した。研究の第一段階では、Bアクセプタに囲まれた複数のPドナーのクラスターとして置換することでドーパントをチャンネルに導入したSiナノワイヤトランジスタに焦点を当てた[C. Pandey et al., Appl. Phys. Express (2021)]。研究の第二段階では、主に1つのPドナーと1つのBアクセプタを共ドーブした等価なSiナノワイヤに焦点を当て、今回はpnダイオード構成で研究を行った。この研究の目的は、BTBT電流に対するドーパント間の距離の効果、およびドーパントとそれぞれのリード間の距離の効果进行分析することであった [C. Pandey et al., 69th Spring Meeting of the Japan Society of Applied Physics (JSAP)]。

実験では、ドーピング濃度とSi構造の寸法を変えて、SOIナノスケールトランジスタとダイオードの複数のサンプルを作製した。

まず、接合部にナノスケールの空乏層を形成するために、高濃度のドーパントで薄いSOI pnダイオードを作製した(図2(a))。ドーピングはまず、電気炉内で熱拡散ドーピングを行い、ドライブインは比較的長く(数分)した。しかし、ドーパントの横方向への拡散のため、ドーピングプロファイルの精度が低いという問題が発生した。そこで、RTA(Rapid Thermal Annealing)装置を導入し、RTA法によるドーピングを実施した。上記のプロセスを最適化した結果、数十秒オーダーのドライブイン時間でSOIトンネルダイオードを作製することができた。

次に、Pドナーのみ、あるいはPドナーとBアクセプタの両方をドーブしたSiナノスケールトランジスタ(いわゆる共ドーブトランジスタ)を、同じ手法で作製した。このように複数のトランジスタのサンプルを作製し、Siナノスケールのチャンネルにおけるポテンシャルプロファイルに対するカウンタードープの影響を調べた。経過報告は、T. Kaneko et al., 69th Spring Meeting of Japan Society of Applied Physics (JSAP) で報告した。

#### 4. 研究成果

上記のとおり、異なる方法と観点で共ドーブされたSiナノワイヤを分析することにより、その「半金属」的な挙動に関連する様々な特性が明らかになった。これらの結果は、他の目的、特にドーパントベースのエレクトロニクスの開発にとって興味深いものである。

図1(a)に示すように、共ドーブSiナノワイヤのトランジスタ構成のシミュレーションにより、少数のドナーを含むクラスターを通して電子がどのように輸送されるかを明らかにした。また、図1(b)に示すように、ドナークラスターを取り囲む複数のBアクセプタの効果も調べ、このような両ドーパントがナノスケールトランジスタのポテンシャルとエネルギー準位を調整できることを明らかにした。体系的な解析内容は、C. Pandey et al., Appl. Phys. Express (2021) で報告されている。

この研究に続いて、同様のアプローチで、pnダイオード構成におけるBTBT輸送に対するドーパント間距離だけでなく、ドーパント-リード間距離の効果も分析した。この研究はまだ進行中であるが、経過結果から、ドーパントとリード(ここでは静電ドーブと仮に定義)の間の「カップリング」がBTBT電流レベルに重要な役割を果たすことが示されている。

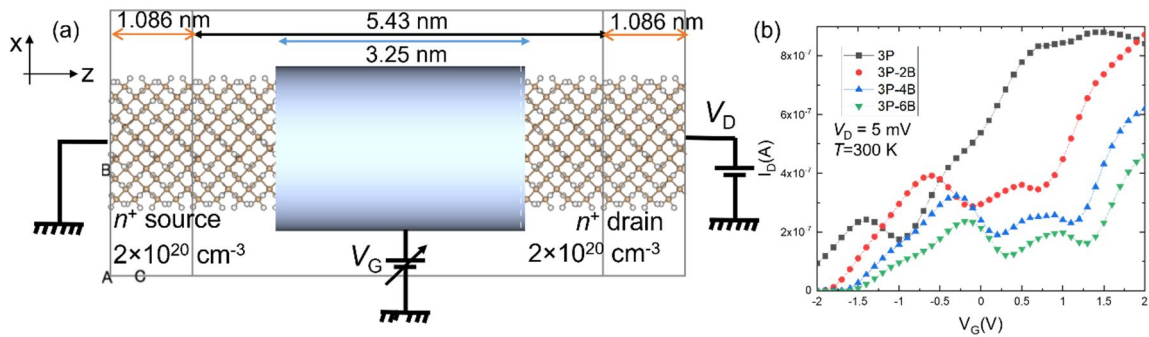


図 1. (a) 静電的にドーピングされたリード ( $n^+$ ) と共ドーピングされた 3P クラスターチャネルに持ち、両側に B-アクセプタを持つ Si ナノワイヤトランジスタのモデル (b) 異なる数の B アクセプタを含む共ドーピング Si ナノワイヤトランジスタの室温 (300K) での IV 特性のシミュレーション

実験では、比較的低いドーピング濃度 ( $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )での pn ダイオードにおける BTBT 輸送の基礎的な研究を行った。SOI 基板上に作製した pn ダイオードと pin ダイオードの体系的な研究から、BTBT 輸送が特定のバイアス領域で活性化されることを見いだした。この結果は、BTBT 輸送が幅広いドーピング濃度のデバイスで使用できることを示唆している。この最初の観測は、A. Udhiarto et al, Jpn. J. Appl. Phys. (2021) に報告されている。

より高いドーピング濃度 ( $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ )では、狭い空乏層 (わずか数十 nm) を形成することができ、BTBT 輸送が高い確率で発生する。このようなデバイスを介した BTBT 輸送を明らかにするために、相当量の研究が行われてきた。我々は、通常の BTBT 輸送 (逆バイアス時で順方向より高い電流値を観測、順バイアス時の負性抵抗) だけでなく、クーロンギャップの様な特徴 (図 2 (c) 参照) など、低次元 SOI トンネルダイオードにおける単電荷 BTBT 輸送に関する特徴を実験とシミュレーションによって観測している。ナノスケール SOI トンネルダイオードにおける単電荷 BTBT 輸送に関連する特徴 (図 2 (c) 参照、クーロンギャップの特徴など) を観測し、報告した。

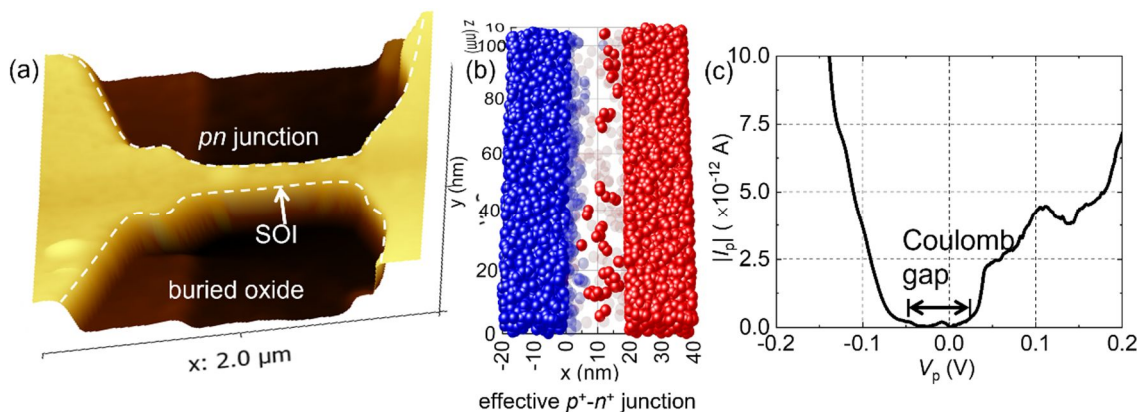


図 2. (a) SOI トンネルダイオードの pn 接合の AFM 測定図 (b) 空乏層周辺のドーパント分布 (P ドナー: 赤球、B アクセプタ: 青球) の模式図 (補償を考慮した場合) (c) ゼロバイアス付近でクーロンギャップと同様な特性を示す  $I_p$ - $V_p$  特性

クーロンブロッケイド輸送と同様な挙動と、そのようなデバイスにおけるドーパント分布の解析から、量子ドットの起源は、ナノスケールの空乏層に補償されずに残った P ドナーのクラスターであることが確認された (図 2 (b) 参照)。この結果を G. Prabhudesai et al, Appl. Phys. Lett. (2019) にて報告した。この報告に続いて、ドーパント分布の拡張解析が行われ、電気特性に対するドーパントのランダム性の影響についてさらなる知見を得た。

また、上記研究以外でも、選択的にドーピングされたチャンネルを持つ Si ナノスケールトランジスタを低温で研究し、単一電子トンネル輸送における少数ドナークラスターの役割を明らかにした(図 3(a) 参照)。このようなデバイスにおける単一電子トンネリング輸送に関する実験データは、主にドナークラスターによって形成されるポテンシャルに対する印加バイアスの影響を示すクーロンブロッケイドシミュレーション(図 3(b) 等価回路図)によって確認されている。安定性ダイアグラムの解析(図 3(c) 参照)を A. Afiff et al., Appl. Phys. Express (2019) で報告した。

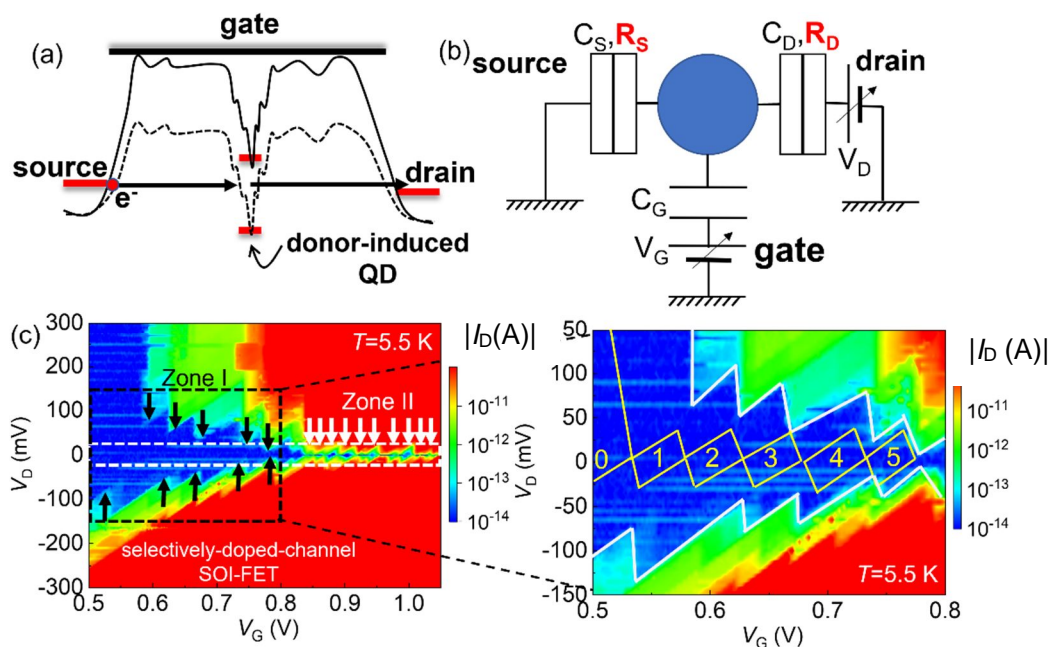


図 3(a) SOI-FET のナノスケールのチャンネルに選択的にドーピングされた複数のドナークラスター (b) (a) のポテンシャルプロファイルに対応する等価回路 (c) 低温 ( $T = 5.5 \text{ K}$ ) で測定したスタビリティダイアグラム (左図) クーロンダイヤモンドが徐々に減少しているゾーン 1 (右図) と細かいクーロンダイヤモンドがあるゾーン (左図)

以前の研究では、中程度のドーピング濃度でドーピングしたこのような選択的ドーピングトランジスタにおける高温 ( $150 \text{ K}$ ) 単一電子トンネリングを A. Samanta et al., Appl. Phys. Lett. (2017) で報告した。ドーピング濃度を高くすることで、さらに高い温度で単一電子トンネリングを観測することができる。最近の解析では、チャンネルが低次元 (厚みと幅が  $10\text{-}20 \text{ nm}$  のオーダー) であれば、このようなデバイスでも室温で単一電子トンネリング動作が可能であることが示されている。経過結果は、T. T. Jupalli et al., 6th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology; 13th International Conference on Physics of Advanced Materials などの学会で報告されている。現在、さらなる研究を進めている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Anwar, T. E. Saraswati, L. Anjarwati, D. Moraru, A. Udhiarto, F. Adriyanto, H. Maghfiroh, R. Nuryadi	4. 巻 14
2. 論文標題 Probing ionization characteristics of under-water plasma arc discharge using simultaneous current and voltage versus time measurement in carbon nanoparticle synthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micro and Nano Engineering	6. 最初と最後の頁 100099_1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mne.2021.100099	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 C. Pandey, G. Prabhudesai, K. Yamaguchi, V N Ramakrishnan, Y. Neo, H. Mimura, D. Moraru	4. 巻 14
2. 論文標題 Electron transport via a few-dopant cluster in the presence of counter-dopants in silicon nanowire transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 055002_1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abf404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Udhiarto, R. Nuryadi, M. Anwar, G. Prabhudesai, D. Moraru	4. 巻 60
2. 論文標題 Band-to-band tunneling mechanism observed at room temperature in lateral non-degenerately doped nanoscale p-n and p-i-n silicon devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 024001_1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abd69d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Afiff, A. Samanta, A. Udhiarto, H. Sudibyoy, M. Hori, Y. Ono, M. Tabe, D. Moraru	4. 巻 12
2. 論文標題 Coulomb-blockade transport in selectively-doped Si nano-transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 085004_1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab2cd7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 G. Prabhudesai, M. Muruganathan, L. T. Anh, H. Mizuta, M. Hori, Y. Ono, M. Tabe, D. Moraru	4. 巻 114
2. 論文標題 Single-charge band-to-band tunneling via multiple-dopant clusters in nanoscale Si Esaki diodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 243502_1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5100342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 金子 義, タルナ・テジャ・ジュパリ, 三浦 舜平, 山口 謙祐, モラル・ダニエル
2. 発表標題 高濃度共ドーブしたSiナノトランジスタの単一電子トンネリング評価
3. 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. T. Jupalli, A. Debnath, Y. Ono, D. Moraru
2. 発表標題 Study of single-electron tunneling in Si nano-transistors in different doping concentration regimes for room-temperature operation
3. 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 C. Pandey, K. Yamaguchi, Y. Neo, H. Mimura, D. Moraru
2. 発表標題 Theoretical analysis on the effect of coupling between dopants and leads in Si nanodiodes for band-to-band tunneling enhancement
3. 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting 2022
4. 発表年 2022年



1 . 発表者名 R. S. Singh, K. Takagi, T. Aoki, J. Moon, Y. Neo, D. Moraru, H. Mimura
2 . 発表標題 Inkjet printing of carbon nanotube array at low density for CMOS-compatible fabrication of nanoscale transistors
3 . 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. T. Jupalli, T. Kaneko, S. Miura, C. Pandy, D. Moraru
2 . 発表標題 Study of single-electron tunneling transport in high-concentration co-doped SOI-FETs
3 . 学会等名 The 8th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU 2022 ) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. S. Singh, K. Takahashi, K. Takagi, T. Aoki, J. H. Moon, Y. Neo, F. Iwata, D. Moraru, H. Mimura
2 . 発表標題 Study of deposition and manipulation of carbon-nanotube arrays at low density
3 . 学会等名 The 8th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU 2022 ) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 C. Pandy, K. Yamaguchi, Y. Neo, H. Mimura, D. Moraru
2 . 発表標題 Theoretical study of the impact of a front-end dopant pair on tunneling current in Si nanodiodes
3 . 学会等名 The 8th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU 2022 ) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Debnath, T. Teja Jupalli, C. Pandey, D. Moraru
2. 発表標題 Study of single-electron tunneling transport through coupled-donor molecule in low-doped SOI-FETs towards elevated temperature
3. 学会等名 7th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Moraru
2. 発表標題 Electron transport in silicon nano-devices at atomic and molecular-level scales
3. 学会等名 2nd International Conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 C. Pandey, G. Prabhudesai, K. Yamaguchi, V. N. Ramakrishnan, Y. Neo, H. Mimura, D. Moraru
2. 発表標題 Study of Electrical Characteristics of Codoped Si-Nanoscale Transistors
3. 学会等名 6th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Moraru, G. Prabhudesai
2. 発表標題 Band-to-Band Tunneling in Highly-Doped Silicon-on-Insulator Nanoscale Esaki Diodes
3. 学会等名 6th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. T. Jupalli, G. Prabhudesai, A. Debnath, P. Jeevan Kumar, D. Moraru
2 . 発表標題 Study of Randomly-Formed Interacting Quantum Dots in Highly-Doped Si Junctionless Transistors
3 . 学会等名 6th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Prabhudesai, K. Yamaguchi, M. Tabe, D. Moraru
2 . 発表標題 Coulomb-Blockade Charge-Transport Mechanism in Band-to Band Tunneling in Heavily-Doped Low-Dimensional Silicon Esaki Diodes
3 . 学会等名 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop 2020 (SNW 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. T. Jupalli, G. Prabhudesai, M. Hasan, A. Debnath, P. Jeevan Kumar, M. Tabe, D. Moraru
2 . 発表標題 A Study of Single-Electron Tunneling Functionalities in Highly-Doped Silicon-on-Insulator Junctionless Transistors
3 . 学会等名 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop 2020 (SNW2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 C. Pandy, A. Debnath, K. Yamaguchi, T. Teja Jupalli, G. Prabhudesai, Ramakrishnan V N, Y. Neo, H. Mimura, D. Moraru
2 . 発表標題 Effects of Co-doping on the Transport Characteristics of Nanoscale n-type Silicon-on-Insulator Transistors
3 . 学会等名 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop 2020 (SNW2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 小野 行徳, ヒンマ フィルダス, 渡邊 時暢, 堀 匡寛, ダニエル モラル, 高橋 庸夫, 藤原 聡
2. 発表標題 ナノスケール・シリコンにおける電子・電子散乱を利用したエレクトロン・アスピレーター
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 G. Prabhudesai, K. Yamaguchi, M. Tabe, D. Moraru
2. 発表標題 Novel dopant-mediated charge transport mechanisms in nanoscale Si Esaki diodes
3. 学会等名 The 6th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. T. Jupalli, G. Prabhudesai, A. Debnath, D. Moraru
2. 発表標題 Electrical characteristics of heavily-doped junctionless nanoscale silicon-on-insulator transistors with single-electron tunneling functionalities
3. 学会等名 The 6th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Debnath, M. Hasan, T. T. Jupalli, G. Prabhudesai, D. Moraru
2. 発表標題 Study of single-electron tunneling through competitive parallel paths via donor-atoms in Si nano-transistors
3. 学会等名 The 6th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University (ISFAR-SU2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Firdaus, T. Watanabe, M. Hori, D. Moraru, Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono
2 . 発表標題 Electron aspirator using electron-electron scattering in nanoscale silicon
3 . 学会等名 The 21st Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Moraru
2 . 発表標題 Control and observation of single-electron tunneling via dopants in Si nanoscale devices
3 . 学会等名 The 1st International Symposium on Single Atom Electronics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Moraru, M. Hasan, A. Debnath, A. Afiff, G. Prabhudesai
2 . 発表標題 Single-electron tunneling percolation in dopant-atom networks formed in sillicon nanoscale transistors
3 . 学会等名 Inter-Academia2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Yamaguchi, G. Prabhudesai, M. Muruganathan, H. Mizuta, M. Tabe, D. Moraru
2 . 発表標題 Ab initio study of the effect of electric field on a donor-acceptor pair in Si nanostructures
3 . 学会等名 Inter-Academia2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Moraru
2. 発表標題 Research on single-charge tunneling via multiple-dopant quantum dots in Si nanodevices
3. 学会等名 広島大学ワークショップ
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Shizuoka University, Moraru Lab website <a href="https://wpp.shizuoka.ac.jp/morarulab/">https://wpp.shizuoka.ac.jp/morarulab/</a>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------