

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801
研究種目：挑戦的研究（開拓）
研究期間：2017～2021
課題番号：17H06211・20K20289
研究課題名（和文）新原理エレクトロニクス創成に向けた電子系・格子系・高速エネルギー変換技術の確立
研究課題名（英文）Development of high-speed electron-lattice energy-conversion method for future electronics
研究代表者
小野 行徳（ONO, YUKINORI）
静岡大学・電子工学研究所・教授
研究者番号：80374073
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,800,000円

研究成果の概要（和文）：3個の電流端子を有するシリコン・ナノトランジスタの電流入出力特性を調べ、電子・電子散乱に起因する電流増幅効果を見出した。これは、高速（ピコ秒以下）で起こる電子同士の多重散乱により、チャネルおよびドレイン端で支配的となる電子・フォノン散乱を避けて入射電子のエネルギーを他の電子に伝達できることを示すものである。また、Silicon-on-insulator MOS 2次元電子系において、電子間相互作用に起因した金属絶縁体転移がゲート制御可能であることを示すと同時に、シリコン・エサキダイオードにおいて良好なフォノン放射トンネル電流、およびゼロバイアスにおける新奇クーロンギャップの観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電子デバイスのエネルギー消費を低減するためには、電子系から格子系へのエネルギー散逸機構を調べこの散逸を回避することが重要となる。本課題では、電子・フォノン相互作用によるフォノン放出を調べるための基盤技術を確立するとともに、電子・フォノン散乱と競合する電子・電子散乱について詳細検討を行った。その結果、電子・電子散乱を有効に働かせることにより、電子・フォノン散乱を避けて付加的な電源電圧なしに入力電流を増幅できることを示した。これらの成果は、新たな低消費電力トランジスタの開発に道を開くものである。

研究成果の概要（英文）：Current enhancement due to the electron-electron scattering is observed in nanometer-scaled silicon transistors with three current terminals. This demonstrates that it is possible to enhance the input current by electron-electron scattering taking place within the time period of pico-seconds, avoiding unwanted electro-phonon scattering in the channel and/or at the drain terminal. We also showed that the metal insulator transition can be gate-controlled in silicon-on-insulator MOS two-dimensional electron gases. In addition, we observed phonon emission and the zero-bias anomaly caused by the Coulomb gap in silicon Esaki tunnel diodes.

研究分野：シリコンをベース材料としたナノエレクトロニクス

キーワード：トランジスタ シリコン エネルギー消費 電子・電子散乱 フォノン

1. 研究開始当初の背景

1945年の点接触型トランジスタの発明以来、トランジスタは大規模集積化に向けて低消費電力化の一途を辿ってきた。しかし、トランジスタの微細化も間もなく終焉を迎え、集積回路のエネルギー消費削減には革新的なブレークスルーが必要となってきている。このため、ナノ領域における熱電変換技術をはじめとする、エネルギーハーベスティングに関する研究も活発化している。MOSトランジスタのエネルギー消費は、ホットキャリアのエネルギーが格子系（フォノン）のエネルギーへと変換され最終的に「熱」（常温下での音響フォノン）として散逸することにより起こるが、この過程は極端な非平衡プロセスであり、避けることのできないものと考えられている。トランジスタ中のホットキャリアの散乱過程に関する研究報告は膨大な数にのぼるが、いずれも、移動度、あるいはオン電流を解析するというものである。このため、不純物散乱、ドレイン端からの反跳など様々な外因的散乱過程が混然一体となり、エネルギー散逸に本質的な電子散乱過程は間接的にしか考察できておらず、その詳細は明らかとなっていなかった。

2. 研究の目的

シリコン MOS トランジスタのエネルギー消費は、ホットキャリアのエネルギーが格子系（フォノン）のエネルギーへと変換され最終的に「熱」（常温下での音響フォノン）として散逸することにより起こる。このエネルギー散逸過程において、エネルギーが 40meV を越える高エネルギーフォノンは、ホットキャリアのエネルギー損失の主因であるが、そのエネルギー散逸過程は、避けることのできないプロセスであると考えられており、実際、ホットキャリアのエネルギー散逸過程を観測する手法すら存在していない。

本課題では、これらの現状を打破するために、ナノ・トランジスタのエネルギー散逸過程の観測を可能とするデバイス構造、および測定手法を開拓し、また、フォノンの送受信のためのフォノン出射源等を開発することにある。

3. 研究の方法

- (1) ナノ・トランジスタのエネルギー散逸過程を観測し、エネルギー効率の高いデバイス創成に向けて、3個の電流端子を有するナノ・トランジスタを提案し、その伝導特性を評価する。
- (2) (1)に付随して、MOS 2次元電子系の電子相関の観測と制御の可能性について検討するために、silicon-on-insulator (SOI) MOS トランジスタの低温特性を評価する。
- (3) エサキ・トンネルダイオードに関する新構造を提案し、トンネル電流に伴うフォノンの出射を観測し、そのエネルギーを計測する。

4. 研究成果

(1) 図1(a)に SOI 基板上に作製したデバイスの上面図と断面図を示す。また、図1(b)に電子顕微鏡写真を示す。デバイスはエミッター、コレクター、ベースとこれらをつなぐ T 字型シリコン細線から構成されており、エミッターとコレクターはそれぞれ独自の微細ゲートを有している。同デバイスは、シリコン細線と二つのゲート全体を覆う幅広のゲート（上層ゲート）を有しており、この上層ゲートに正の電圧を印加することにより、T 字型細線、および微細ゲート近傍のエミッター、コレクター端子に電子反転層を誘起することができる。

測定は 8-120K の低温（主に 8K）で行った。上層ゲートと SOI 基板ゲートの電圧 V_{UG} 、 V_S は、それぞれ 3.87V、-15V に固定した。この条件では、SOI 層の上側界面のみに電子反転層が形成される。この時の電子密度 N とフェルミエネルギー E_F は、それぞれ $N=5.7 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 、 $E_F=36 \text{meV}$ である。エミッターから注入される電子のエネルギーと電流量は、エミッター電圧 V_E とエミッターゲート電圧 V_{EG} を用いて調整した。一方、ベースとコレクターは接地し ($V_B=V_C=0\text{V}$)、電流読み出し端子として用いた。

図2は、エミッター電流 I_E を -10nA に固定し、コレクター電流 I_C をコレクターゲート電圧 V_{CG} の関数として、温度 8K で測定した結果を示している。ただし同図では、電流増幅率（コレクター電流とエミッター電流の比の絶対値） $R_1 = |I_C/I_E|$ をプロットしている。また、同測定では V_{EG} をパラメータにとっている。 V_{CG} の閾値 ($V_{CG, Th} \approx 0\text{V}$) を超えると電流が流れ始めるが、 $|V_{EG}|$ が

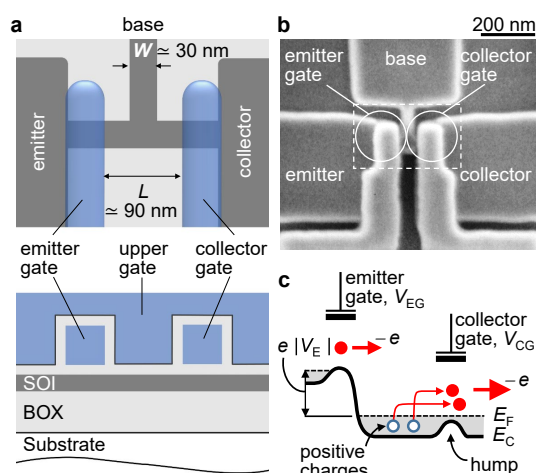


図1. (a)デバイスの上面図と断面図。(b)デバイスの電子顕微鏡写真。(c)T字型シリコン細線における電子-電子散乱の様子を表すポテンシャル図。

小さい (すなわち、 $|V_E|$ が小さい) ときには、 R_1 は 0.5 に近い値を示し、これは、エミッターから入射した電子が、コレクターとベースへほぼ等量流れ込んでいることを示している。しかし、 $|V_E|$ を大きくしていくと R_1 が増加し、1 を超えるようになる。これは、ベース電流の向きが反転しベースからコレクターに電子が流れ込んでいることを示している。これらの電流の向きを図 2 の上部に示した。

ここで観測された現象は、強い流れ (エミッターからの高エネルギー電子注入) により新たな流れ (ベースからコレクターへの電子流) が生成されるというものであり、汎用のアスピレーターにおける流体の流れに類似している。アスピレーターの動作原理は、ベルヌーイのポンプ効果に基づくものであり、その起源は流体を形成する粒子間の内部衝突 (今の場合、電子-電子散乱) にある。図 2 の挿入図は、縦軸を対数にとったものである。 $V_{CG, TH} (\approx 0V)$ 以下でホットエレクトロンに起因する電流が確認できるが、 $V_{CG, TH}$ 以上の領域の電流に比べ 3 桁以上も小さい値となっており、これは T 字型領域で強い電子-電子散乱が起こっていることを裏付けている。図 1(c) に示すように、電子-電子散乱が起こると、T 字型領域における低エネルギー電子がコレクター側へ弾き出され、結果として正電荷が蓄積される。この正電荷が T 字型領域のポテンシャルを下げ、これにより、ベースから T 字型領域への電子の逆流は、コレクターゲートが作る障壁 (図 1(c) における「hump」) によりブロックされる。このようにして、接地された二つの端子間に電流 (ポンプ電流) が発生する。電子系における静電ポテンシャルは、一般の流体における圧力に対応しており、ここで観測された現象は、ベルヌーイのポンプ効果に対応している。

図 3 は、 V_{CG} を固定し、 I_C と I_B を V_{EG} の関数としてプロットしたものである。図中の実線は、図 2 と同様にコレクターとベースを接地した場合の結果であり、 I_C の増加とともに I_B が負側に増加している、すなわち、アスピレーター動作をしていることがわかる。一方、図中の点線は、コレクターのみ接地し、ベースは強制的に $I_B=0A$ にバイアスした場合の結果を示している。この場合には、エミッターから入射した電子は全てコレクターへと流れ込むため、この動作は、通常のトランジスタ動作に対応している。 I_C の実線と点線を比べてみると分かるように、アスピレーターモードの電流がトランジスタモードの電流を上回っており、電流増幅効果が確認できる。

上述の結果は、トランジスタのソース端からチャネルに入射した電子が、格子系に散逸させる前にそのエネルギーを他の電子に移送し、これによりエネルギー消費を避けて高効率の電流転送することが可能であることを示すものである。これは、本課題で得られた新たな発見に基づく結果であり、新たな低消費電力デバイス開発に繋がる可能性を示すものである (Nat. Commun. 2018 掲載)。

(2) (1) の結果から、MOS 電子系のエネルギー消費を議論する際には、電子・電子散乱 (電子相

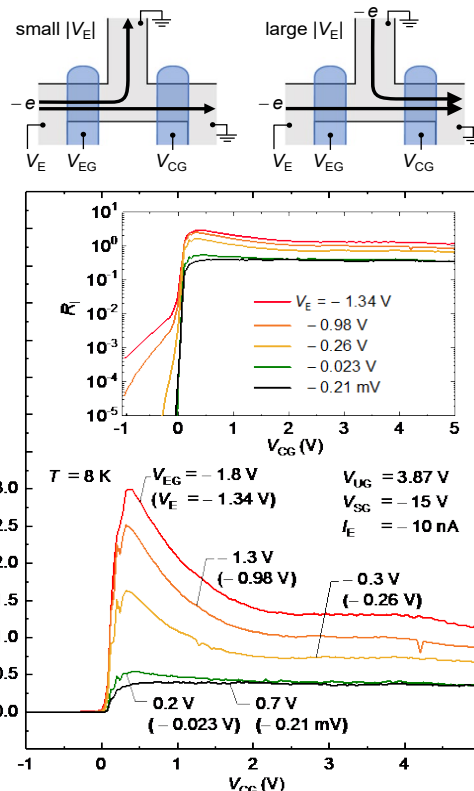


図2. $R_1 (=|I_C/I_E|)$ のコレクターゲート電圧 V_{CG} 依存性 [14]. 挿入図は縦軸を対数表示したもの。図上部に $|V_E|$ が小さい場合と大きい場合の、電子の流れる方向を示した。

T 字型領域へ電子が流れ込む。一方、コレクター側からの電子の逆流は、コレクターゲートが作る障壁 (図 1(c) における「hump」) によりブロックされる。このようにして、接地された二つの端子間に電流 (ポンプ電流) が発生する。電子系における静電ポテンシャルは、一般の流体における圧力に対応しており、ここで観測された現象は、ベルヌーイのポンプ効果に対応している。

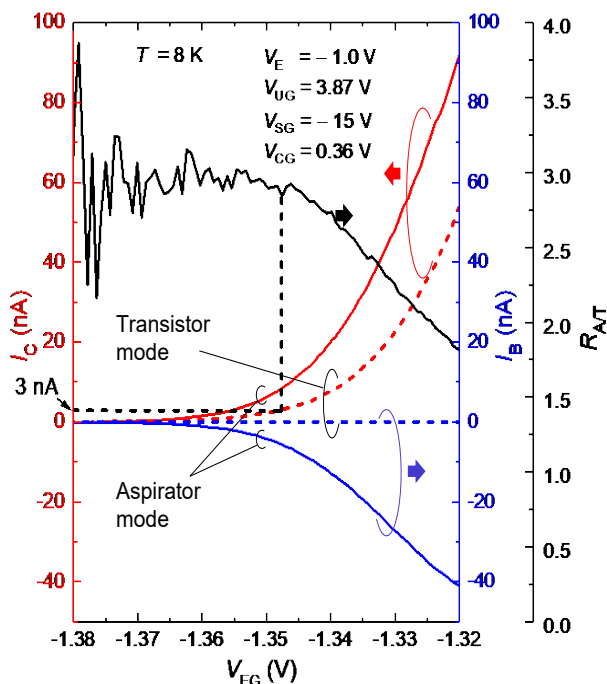


図3. コレクター電流 I_C のエミッターゲート電圧 V_{EG} 依存性。アスピレーターモード (ベース接地) は実線、トランジスタモード (ベース電流 $I_B=0A$ に固定) は点線で示されている。

関)が重要であることが示された。このため一部計画を変更して、SOI MOS 2次元電子系の電子相関に関連して金属絶縁体転移について、その臨界電子密度(あるいは臨界電導度)のゲート制御可能性を調べた。その結果、シリコン層の上下2層に二次元電子系が形成される場合には、上層、または下層のみに形成される場合に比べて、転移電導度(G_c)が増大するもののその増大量は単純理論では説明がつかずSOI層特有の効果であることを見出した。図4(a)は、コンダクタンス G の温度変化(15Kと8Kにおける G の値の差)をフロントゲート電圧 V_{FG} とバックゲート電圧 V_{BG} の関数として示したものである。図中の白線部分が金属絶縁体転移を与える境界線を示している。図4(b)はこの境界線におけるコンダクタンスの値(すなわち臨界コンダクタンス G_c)を V_{BG} の関数として示している。 G_c が大きく変化していることが見て取れるが、これは金属絶縁体転移の特性をゲート制御可能であることを示している(Applied Physics Express2021掲載)。

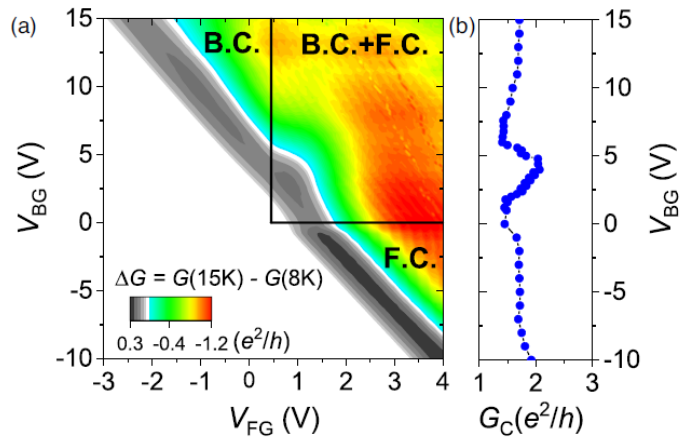


図4. (a) SOI MOSFETのコンダクタンス変化 ΔG のフロントゲート(V_{FG}),バックゲート(V_{BG})依存性。(b)転移電導度(G_c)の V_{BG} 依存性。

(3) フォノン放出・吸収制御に関しては、当初の期待に反してトランジスタにおける入射電子のエネルギー分布計測からは、明瞭なフォノン構造を観測することができなかった(図2の挿入図参照)。そこでここでは、新たにエサキ・トンネルダイオードを用いたフォノン放出現象の観測を試みた。図5(a)はそのデバイス構造(上面図)を示している。通常のエサキ・トンネルダイオードとは異なり4端子構造を有しており、これにより電極部の影響や寄生抵抗を避けて精密な出射フォノン計測を可能にしている。図5(b)は0.3Kにおける結果である。電流の2次微分信号から明らかなように主要フォノン(TA, TO, LA, LOフォノン)からの明瞭な信号が観測されている。また、そのエネルギーも高い精度で決定できた。さらに、ゼロバイアス付近では、弱いディップが新たに観測された。解析の結果、接合面におけるクーロンギャップ(電子間相互作用による状態密度変化)に起因するものであることが強く示唆された。

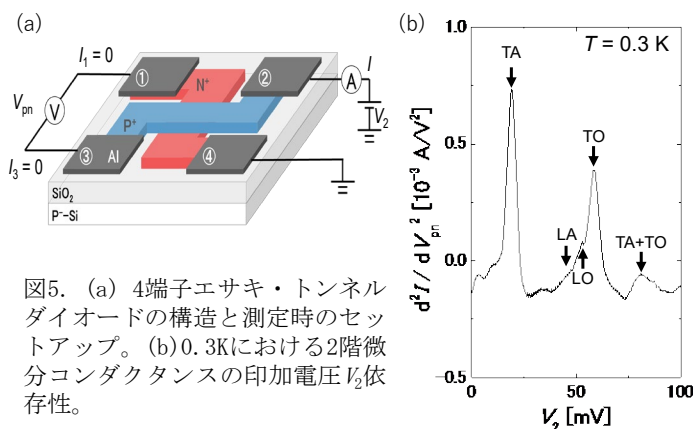


図5. (a) 4端子エサキ・トンネルダイオードの構造と測定時のセットアップ。(b)0.3Kにおける2階微分コンダクタンスの印加電圧 V_2 依存性。

これらの結果は、エサキ・トンネルダイオードが良好なフォノン出射源として働くことを示しているとともに、同ダイオードの未解明だったゼロバイアス異常のメカニズム解明に繋がるものである(論文投稿準備中)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 T. Teja Jupalli, A. Debnath, G. Prabhudesai, K. Yamaguchi, P. Jeevan Kumar, Y. Ono, D. Moraru	4. 巻 15
2. 論文標題 Room-temperature single-electron tunneling in highly-doped silicon-on-insulator nanoscale field-effect transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 065003_1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac68cf	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 -
1. 著者名 M. Razanoelina, M. Hori, A. Fujiwara, Y. Ono	4. 巻 14
2. 論文標題 Critical conductance of two-dimensional electron gas in silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor field-effect transistor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 104003_1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac25c4	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 -
1. 著者名 M. Hori, Y. Ono	4. 巻 118
2. 論文標題 Detection of arsenic donor electrons using gate-pulse-induced spin-dependent recombination in silicon transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 263504_1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0053196	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 -
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 Applied Physics 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 M. Hori, Y. Ono	4. 巻 11
2. 論文標題 Charge pumping under spin resonance in Si(100) metal-oxide-semiconductor transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064064_1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.064064	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 -

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 Applied Physics Letters	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

1. 著者名 H. Firdaus, T. Watanabe, M. Hori, D. Moraru, Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono	4. 巻 9
2. 論文標題 Electron Aspirator using Electron-electron Scattering in Nanoscale Silicon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4813_1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-07278-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Firdaus, T. Watanabe, M. Hori, D. Moraru, Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono	4. 巻 113
2. 論文標題 Detection of single holes generated by impact ionization in silicon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 163103_1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5046865	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 -

1. 著者名 T. Tsuchiya, M. Hori, Y. Ono	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection and Characterization of Single Near-Interface Oxide Traps with the Charge Pumping Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPFA.2018.8452495	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 -

1. 著者名 M. Hori, T. Watanabe and Y. Ono	4. 巻 -
2. 論文標題 Real-time Monitoring of Charge-pumping Process for SiO ₂ /Si Interface Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Intl. Symp. Elec. and Com. Eng	6. 最初と最後の頁 52-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/QIR.2017.8168450	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 -

〔学会発表〕 計48件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 MOS界面の単一欠陥チャージポンピングによって可能となった両性準位における電子捕獲素過程の直接観測 (1) -両性準位のDOS-
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 MOS界面の単一欠陥チャージポンピングによって可能となった両性準位における電子捕獲素過程の直接観測 (2) -アクセプタ型準位-
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 MOS界面の単一欠陥チャージポンピングによって可能となった両性準位における電子捕獲素過程の直接観測(3) - ドナー型準位 -
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 Si MOSFETにおける電子スピン共鳴チャージポンピング
3. 学会等名 東北大学-静岡大学合同冬季研究会 共同プロジェクト研究(R02/S01) 先端のコヒーレント波技術の基盤構築とその応用
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野行徳
2. 発表標題 ナノスケールシリコンにおける電荷と電流の制御
3. 学会等名 第23回高柳健次郎記念シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hori, Y. Ono
2. 発表標題 Charge Pumping under Electron Spin Resonance in Si MOSFETs - Identification of Interface Defects and Detection of Donor Electrons -
3. 学会等名 2021 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ELECTRON DEVICES: SCIENCE AND TECHNOLOGY (IWDTF 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金原涼伽, 加藤拓也, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 4端子シリコン・エサキダイオードの作製と低温特性評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久米仁也, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 シリコントランジスタのゲート制御による電子正孔系の形成手法の確立
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukinori Ono
2. 発表標題 Electron aspirator using electron-electron scattering in nanoscale silicon
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 令和2年度共同プロジェクト研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 チャージポンピングEDMRを用いたシリコントランジスタ中のヒ素ドナー電子の検出
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukinori Ono
2. 発表標題 Electron-electron scattering in silicon and its impact on future emerging devices
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 Yukinori Ono
2. 発表標題 Electron aspirator using electron-electron scattering in nanoscale silicon
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 令和2年度共同プロジェクト研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野行徳, フィルダウス ヒンマ, 渡邊時暢, 堀匡寛, モラル ダニエル, 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81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOSトランジスタにおける電子スピン共鳴下のチャージポンピング
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Razanoelina, H. Firdaus, Y. Ono
2. 発表標題 Performance and limitations of Si electron nano-aspirator
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOSトランジスタにおける電子スピン共鳴下のチャージポンピング
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 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 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 チャージポンピング法による単一Pb1センターの検出
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Hori, T. Tsuchiya, Y. Ono
2 . 発表標題 Charge pumping in silicon MOSFETs-towards ultimate control of charges and spins -
3 . 学会等名 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019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 M. Razanoelina, H. Firdaus, T. Watanabe, M. Hori, D. Moraru, Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono
2 . 発表標題 Si electron nano-aspirator en-route for energy-efficient hydro-electronic devices
3 . 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 堀匡寛, 土屋敏章, 小野行徳
2 . 発表標題 シリコンMOS界面のチャージポンピングEDMRにおける信号強度の温度依存性
3 . 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 単一 MOS 界面トラップの2電子準位の相関 I -準位密度分布-
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 単一 MOS 界面トラップの2電子準位の相関 II -電子捕獲過程-
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Zelenska, T. Watanabe, Y. Ono
2. 発表標題 Low-Temperature Transport Properties of SOI MOS Transistors
3. 学会等名 Inter Academia2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Firdaus, M. Razanoelina, Y. Ono
2. 発表標題 Performance Limitations of Nanoscale Si Electron-Aspirator
3. 学会等名 Inter-Academia2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Razanoelina, H. Firdaus, Y. Takahashi, A. Fujiwara, Y. Ono
2. 発表標題 Si Electron Nano-Aspirator towards Emerging Hydro-Electronics
3. 学会等名 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野行徳
2. 発表標題 シリコンにおける電子-電子散乱を用いたエレクトロン・ナノ・アスピレーター
3. 学会等名 電子情報通信学会 ED・CPM・SDM 共催 平成31年度5月研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G.Prabhudesai, M.Manoharan, M.Hori, Y.Ono, H.Mizuta, M.Tabe, D.Moraru
2. 発表標題 Effect of dimensionality on the formation of dopant-induced quantum-dots in heavily doped Si Esaki diodes
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 2トラップ間のチャージポンピング相互作用
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀匡寛, 土屋敏章, 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOS界面におけるチャージポンピングEDMR
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukinori Ono
2. 発表標題 Electron-electron scattering in nano-scaled silicon
3. 学会等名 5th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology(ICONN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Hori, Y. Ono
2. 発表標題 Charge pumping EDMR on silicon MOSFETs
3. 学会等名 5th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 チャージポンピングEDMR法を用いたSiO ₂ /Si界面の欠陥検出
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会中部支部研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H.Firdaus,M.Hori,Y.Ono
2 . 発表標題 Remote Detection of Holes Generated by Impact Ionization
3 . 学会等名 17th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Tsuchiya, M. Hori, Y. Ono
2 . 発表標題 Detection and Characterization of Single Near-Interface Oxide Traps with the Charge Pumping Method
3 . 学会等名 International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y.Ono, H.Firdaus and M.Hori
2 . 発表標題 Observation of Impact Ionization in Silicon at Low Temperature
3 . 学会等名 IV Bilateral Italy-Japan Seminar (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M.Hori and Y.Ono
2 . 発表標題 Charge pumping EDMR towards ultimate charge/spin control at room temperature in silicon
3 . 学会等名 IV Bilateral Italy-Japan Seminar (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 H.Firdaus, M.Hori, Y.Takahashi, A.Fujiwara and Y.Ono
2. 発表標題 Sensitive Detection of Holes Generated by Impact Ionization in Silicon
3. 学会等名 2017 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M.Hori, T.Watanabe and Y.Ono
2. 発表標題 Real-time Monitoring of Charge-pumping Process for SiO ₂ /Si Interface Analysis
3. 学会等名 The 15th International Conference on QIR (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y.Ono
2. 発表標題 Charge pump in silicon-Physics and application of charge transfer-
3. 学会等名 16th International Conference on Global Research and Education (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀匡寛, 土屋敏章, 小野行徳
2. 発表標題 チャージポンピング E D M R法を用いたシリコン酸化膜界面欠陥の検出
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊時暢, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 Silicon-on-insulatorデバイスにおける低温チャージポンピング
3. 学会等名 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊時暢, 多胡友, 杉浦史悦, 堀匡寛, 小野行徳, 塚本裕也, 大見俊一郎
2. 発表標題 PtHfSi/p-Si(100)ショットキー接合の低温特性
3. 学会等名 平成29年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅丈雄, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 身近な糖を燃料とするバイオ発電デバイスの開発
3. 学会等名 平成29年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀匡寛, 土屋敏章, 小野行徳
2. 発表標題 チャージポンピングEDMR法を用いたシリコン酸化膜界面欠陥の検出
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋敏章, 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 チャージボンピング法によるSi/SiO ₂ 界面近傍酸化膜トラップの評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤克哉, 堀匡寛, 土屋敏章, 小野行徳
2. 発表標題 チャージボンピングEDMR法における信号強度の温度異存性評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>静岡大学 小野・堀研究室ホームページ https://wpp.shizuoka.ac.jp/nano/</p>
--

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
研究分担者	Moraru Daniel (Moraru Daniel) (60549715)	静岡大学・電子工学研究所・准教授 (13801)	

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
---------	---------