

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00241

研究課題名(和文)電子流体効果を用いた新原理シリコンデバイスの研究

研究課題名(英文)Research on emerging devices based on electron-hydrodynamic effects

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) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、電子流体デバイスを創生すべく、電子間、あるいは電子正孔間の相互作用に関する実験を行い以下の知見を得た。第一に、電子間相互作用の制御に向けて、Silicon-on-insulator (SOI) 層に形成された2次元電子系の金属絶縁体転移を調べ、臨界伝導度をゲート制御できることを示した。第二に、新たに電子・正孔間の流体効果の発現とデバイス応用を念頭に、SOI層に形成された電子・正孔二重層のドラッグ効果を調べ、大きな遠隔クーロン相互作用が働いていることを示した。第三に、極近接した電子・正孔二重層の形成手法を提案し、ボア半径程度に極近接する電子・正孔二重層の形成とその観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外的散乱過程が電子伝導を支配する限り、電子の運動量とエネルギーの散逸は避けがたく、これが集積回路の性能向上を阻害する根源的な問題となっている。本課題は、この問題を解決するために、電子流体効果を利用した新規デバイスを創生すべく、その基礎検討を行うものである。電子流体効果発現のために重要となる電子間相互作用、電子正孔間相互作用を、シリコンMOSトランジスタ構造を基軸に調べ、幾つかの新規デバイス構造も提案した。特に極近接電子正孔2重層形成手法の提案と実証は、Communication Physics (Nature publishing) に掲載され、新聞等にも取り上げられるなど注目を集めた。

研究成果の概要(英文)： In this research, we performed experiments for investigating the electron-electron, and electron-hole interactions for the development of Si-based new devices based on the electron hydrodynamics.

Firstly, we investigated the metal-insulator transition in silicon-on-insulator MOS transistors and demonstrated that the critical conductance, which is an important parameter for the metal-insulator transition, can be controlled by the gate voltage. Secondly, we investigated the drag effects in electron-hole bilayers, with the interlayer distance of 18 nm, formed in the SOI film, and found that the Coulomb drag predominates due to the strong remote Coulomb interaction. Thirdly, we proposed and experimentally demonstrated a new method to form the electron-hole bilayer with the interlayer distance on the order of Bohr radius.

研究分野：ナノエレクトロニクス

キーワード：シリコン MOSトランジスタ 電子流体効果 金属絶縁体転移 クーロンドラッグ 電子正孔2重層

1. 研究開始当初の背景

シリコン集積回路は MOS トランジスタの微細化により発展してきたが、その微細化も終焉を迎えつつある。このため、トランジスタの構造や新規チャネル材料が活発に研究され、負性容量トランジスタやトンネルトランジスタなどの新型デバイスも提案されている。しかし、如何なるデバイス構造、チャネル材料、新規デバイスコンセプトを用いようとも、外的散乱過程が電子伝導を支配している限り、電子の運動量とエネルギーの散逸は避けがたく、これが集積回路の性能向上を阻害する根源的な問題となっている。

固体材料において、外的散乱の影響が小さい特別な場合には、電子・電子散乱が優勢となり、電子の伝導はその集団運動が支配する特異なものとなる。このような電子の状態は「電子流体」(Electron fluid) と呼ばれる。電子流体は古くからその存在が知られていたが、近年、グラフェンや PdCoO_2 などの 2 次元電子系の高純度化によりその観測事例が相次ぎ、物性解明に向けた基礎研究が急速に進展し、また、情報処理への応用の重要性も認識されはじめている。しかし、これらの材料では電子流体の発現する空間スケールがマイクロメートルオーダーに留まっていることもあり、デバイスコンセプトの提案もなく、応用研究はまったくの手つかずの状態であった。このような状況の中、研究代表者らは、初めてシリコン MOS (SiO_2/Si 界面) 2 次元電子系において、また、これまでは欠点であった重い有効質量というシリコンの特性を生かして初めてナノスケール ($\approx 100\text{nm}$) で電子流体効果 (ベルヌーイの原理に基づくポンプ効果) を観測した。さらに、同効果を利用した電流増幅器：エレクトロン・アスピレーターを (8K の低温下にて) 実証し、応用研究の端緒を開いた。

2. 研究の目的

電子流体運動の素過程である電子・電子散乱では、他の外的散乱と異なり、運動量とエネルギーは電子間で交換されるだけであり、したがって電子流体の運動は、運動量とエネルギーの散逸を伴わない。エレクトロン・アスピレーターはこのような電子流体の特性を利用したデバイスであり、外的散乱を抑えて、従来、不可避的に「熱」として散逸していた入射電子のエネルギーを電子・電子散乱により多くの電子に分配移送することにより、付加的な電源電圧なしで入力電流を増幅している。これは、従来型デバイスの原理的境界を超えて多くの仕事 (work) をしていることを意味しており、この特性をスイッチングなどの他のデバイス動作に応用できれば、極めてエネルギー効率の高い電子回路構築に繋がるものと期待できる。このデバイス動作の本質は、運動量とエネルギーが散逸しない状態で電子流体運動を機能化していることにあり、この「運動量・エネルギー無損失での電子流体運動機能化」が、本課題で提案するデバイスコンセプトの骨格となる。

本研究の目的は、上記の研究代表者の成果を基礎に置き、「電子流体の情報処理応用」という新たな学術分野をシリコン MOS テクノロジーを基盤として開拓するものである。具体的には、MOS 2 次元電子系の基礎物性を探索し、また、そのための基盤技術を確立する。また、電子流体応用に適したデバイス構造、動作指針を示すことである。

3. 研究の方法

電子流体効果は、材料 (デバイス) のサイズ L に比べ、その素過程である電子・電子散乱が起こる平均距離 (電子・電子散乱長 l_{ee}) が十分に小さく、また外的散乱長 l が大きい場合に顕著となる ($l_{ee} \ll L < l$)。一方、電子・電子散乱長、外的散乱長ともに大きい場合 ($L < l_{ee}$, $L < l$) には、電子の伝導は弾道的 (ballistic) となり、外的散乱長が小さい場合 ($l < L$) には拡散的 (diffusive) となる。

本課題では、上記の条件を念頭に、シリコンテクノロジーを基礎に MOS トランジスタ構造をベースとして作製された電界効果デバイスを対象とする。当該デバイスにおける電子間、あるいは電子・正孔間相互作用に関する基礎物性を把握し、新たなデバイス創生に繋げる。

以下では、代表的な研究成果として、1. シリコン MOS 2 次元電子系の金属絶縁体転移、2. 電子正孔間のドラッグ効果、および、3. 新たな電子・正孔共存系の形成手法の提案とその実証、について概説する。

4. 研究成果

(1) Silicon-on-insulator MOS トランジスタにおける金属絶縁体転移：参考文献[1]

金属絶縁体転移は、電子間相互作用に起因する現象であり、流体効果と密接に関係している。シリコン MOS 界面における金属絶縁体転移は古くから調べられているが、応用上重要となる Silicon-on-insulator (SOI) 上に形成されたトランジスタにおける金属絶縁体転移はよく調べられていない。研究代表者らは、SOI MOS トランジスタを用いることにより、金属絶縁体転移における重要なパラメータである臨界電導度 G_c が制御可能であることを示した。

金属絶縁体転移とは、系のパラメータ (例えば電子密度) を変化させることにより、絶対零度 ($T = 0 \text{ K}$) において、電子系の基底状態が金属的な状態 (ゼロでない伝導度を有する状態) か

ら絶縁体的な状態（伝導度ゼロとなる状態）に転移する現象を指す。実験的には、 $T = 0 \text{ K}$ を実現することはできないため、極低温における伝導度 G の温度依存性を調べ、 $dG/dT < 0$ なら金属的、 $dG/dT > 0$ なら絶縁体的と解釈する。

金属絶縁体転移は、従来、3次元の電子系の現象と考えられており、2次元の電子系では、金属絶縁体転移は起こらない（ $T = 0 \text{ K}$ に近づけると必ず絶縁体となり、金属的な状態は現れない）と考えられていた。しかし、1994年にKravchenkoらにより、高移動度のSi MOSトランジスタにおいて、1 K以下の極低温においても金属的な状態（ $dG/dT < 0$ ）が存在することが示され、「2次元電子系の金属絶縁体転移」という研究分野が形成された。当該研究分野において、Si MOSトランジスタを用いた研究は数多くあるが、応用上重要となるSOI MOSトランジスタにおける金属絶縁体転移はよく調べられていない。

図1(a)は、伝導度 G のフロントゲート電圧 (V_{FG}) 依存性であり、バックゲート電圧 (V_{BG}) をパラメータに取っている。また、温度を8 - 15 Kまで変化させたものを重ねている。図1(b)-(d)は、 $V_{BG} = 10, 4, -8 \text{ V}$ のものを抽出して示したものである。これらの図から分かるように、伝導度 G が温度に依存しない V_{FG} が存在し、これは金属的な状態（高 V_{FG} 領域、すなわち高電子密度領域）と絶縁体的状態（低 V_{FG} 領域、すなわち低電子密度領域）とが明確に区別できることを示しており、2次元金属絶縁体転移が観測されているものと考えられる。図1(b)-(d)が示すように、 V_{BG} を変化されることにより、臨界電導度 G_c が変化していることがわかる。このことは、SOI MOSトランジスタのバックゲート電圧を利用することにより、 G_c を制御できることを示しており、同手法を流体パラメータ（電子・電子散乱長等）の制御に拡張できることを示唆している。解析により、このような G_c の変化は、バックゲートにより電子系波動関数の急激な変化によるものであることが示唆された。

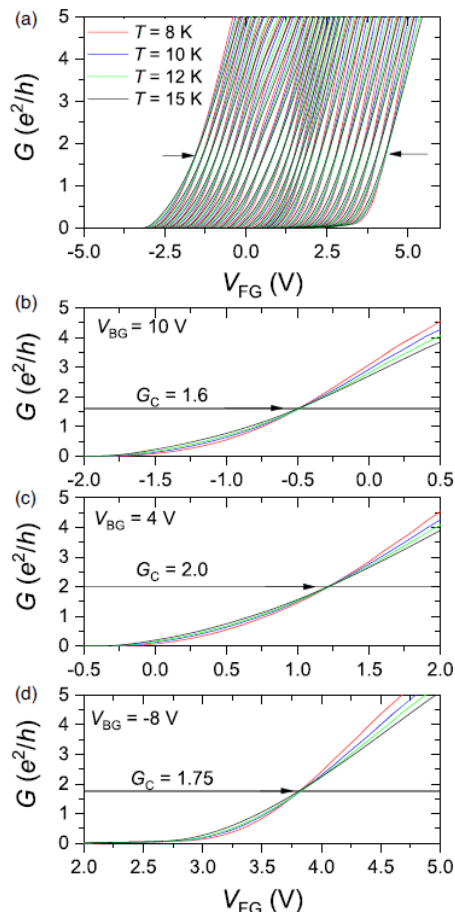


図1. (a) 伝導度 G のフロントゲート電圧 V_{FG} 依存性。バックゲート電圧 V_{BG} を -10 V から 15 V まで変化させている。矢印は、臨界電導度 G_c のおよその値を示している。(b)-(d) $V_{BG} = 10, 4, -8 \text{ V}$ における G の V_{FG} 依存性。温度は(a)同様に 8 K から 15 K まで変化させている。

(2) SOI MOS 構造における電子・正孔2層系のクーロンドラッグの観測：参考文献[2]

本研究は、流体効果を電子系から電子・正孔2層系へ拡張するための基礎検討である。電子・正孔2層系は、電子層と正孔層を極近接させることにより、2層間で励起子（電子・正孔ペア）が形成され、極低温下で量子凝縮を起こし超流動状態となることが期待されている。実際、一部の2次元物質において、量子凝縮を支持する結果が得られており、近年研究が活発化している。しかしながら、シリコンを用いた検討はなされておらず、電子層と正孔層の相互作用のメカニズムもほとんど分かっていない。そこでここでは、SOI層の上下界面にそれぞれ電子層と正孔層を形成し（層間距離 d は約 20 nm ）、その相互作用を調べた。その結果、極めて強いクーロン相互作用が働いていることが明らかとなった。

電子層と正孔層との相互作用は、ドラッグの観測により調べた。ドラッグ (drag) とは、「引きずる」の意味で、能動層 (drive layer, 例えば電子層) に電流 I_{drive} を流すと、層間相互作用により、受動層 (drag layer, 例えば正孔層) に電流が生じる現象のことを指す。受動層を開放すると開放電圧が生じ、この電圧はドラッグ電圧 V_{drag} と呼ばれる。ドラッグ抵抗は、 $R_{drag} = V_{drag}/I_{drive}$ により定義でき、この R_{drag} は2層間の相互作用に関する多くの情報を有している。

図2(a)は、ドラッグ抵抗 R_{drag} の測定系を示している。SOI層の上側界面に電子層、下側界面に正孔層を形成し、電子層を能動層、正孔層を受動層とした。能動層に電圧 V_{drive} を印加し drive 電流 I_{drive} を発生させ、受動層には層間電圧 V_h を印加した状態で他端を開放し、開放電圧 V_{out} を計測した。ドラッグ電圧 V_{drag} は $V_{drag} = V_{out} - V_h$ で与えられ、ドラッグ抵抗は、 $R_{drag} = V_{drag}/I_{drive}$ で与えられる。

測定は、 10 K の低温で行った。図2(b)は、 V_{drag} と I_{drive} のフロントゲート電圧 V_{FG} 依存性を示している。また、図2(c)は、図2(b)から求めた R_{drag} である。 R_{drag} は V_{FG} とともに単調に減少しており、遠隔クーロン相互作用に起因するドラッグ抵抗の理論と合致している。詳細な解析の結果、観測されたクーロンドラッグの強度は、同等の層間距離 ($d \sim 20 \text{ nm}$) を有するGaAsヘテロ構造の結果に比べ、約一桁大きな値を示すことが明らかとなった。このことは、SOI層における電子正孔2層系の間で強いクーロン相互作用が生じていることを示している。

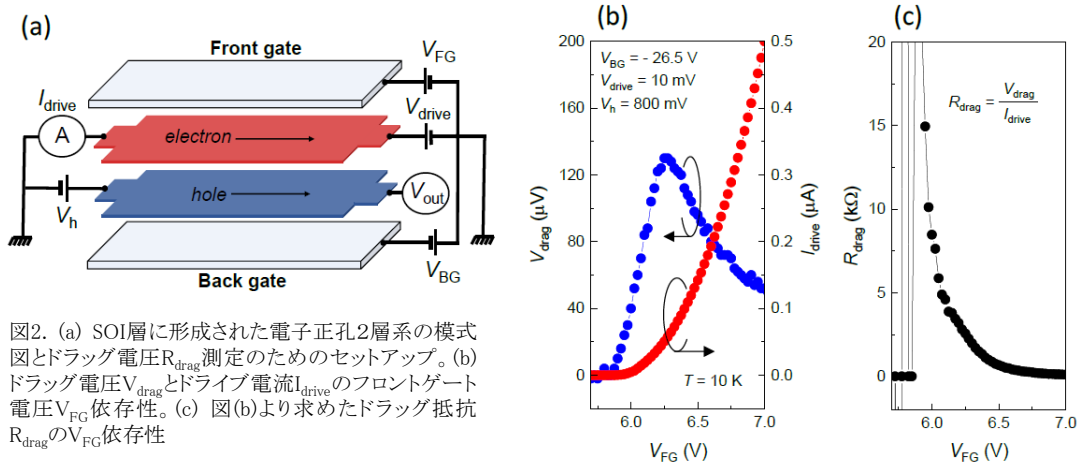


図2. (a) SOI層に形成された電子正孔2層系の模式図とドラッグ電圧 R_{drag} 測定のためのセットアップ。(b) ドラッグ電圧 V_{drag} とドライブ電流 I_{drive} のフロントゲート電圧 V_{FG} 依存性。(c) 図(b)より求めたドラッグ抵抗 R_{drag} の V_{FG} 依存性

(3) 極近接・電子正孔2層系形成手法の確立：参考文献[3]

(2) で説明した SOI 層を用いた電子正孔2層系の層間距離 d は約 20nm であるが、さらに層間距離を短くすると SOI 層の膜厚揺らぎにより、均一な電子正孔2重層の形成が困難になると予想される。そこでここでは、極近接電子正孔2重層の新たな形成手法を提案し、これを実験的に実証した。

N 型 MOS トランジスタを用いた電子正孔共存系の形成および測定のためのセットアップを図 3 (a) に示す。まずゲートに負電圧 V_{base} を印加し、界面に正孔を蓄積させる (パルスセット)。続いて、正方向の電圧 V_{amp} を与える (パルスオン)。同手法を低温下で実施することにより、蓄積正孔はポテンシャル障壁からの熱放出が抑制され界面に留まる。そして、大きな電圧変化 (V_{amp}) を与えることにより、界面の蓄積正孔に引き付けられるようにソース・ドレインから電子が流入し、その結果、電子と正孔が共存する (図 3 (b))。ここでは、電子正孔共存後に生じる再結合電流を計測することで、その形成を確認する。本測定では、シリコン N 型 MOSFET (チャンネル長/幅 50 μm /500 μm , ゲート酸化膜厚 30 nm, 不純物濃度 10^{15} cm^{-3}) を用いて、温度 8 K で計測した。

図 4 は再結合電流 I_{rec} のゲートパルス電圧 (V_{base} , V_{amp}) 依存性を示している。パルスセット時の蓄積正孔およびパルスオン時の流入電子は、ともにゲートと容量結合しており、それらの密度 N_{h0} と N_e はそれぞれゲートパルスのベース V_{base} と振幅 V_{amp} により制御できることを確認した (図 4 (a) 青線と 4 (b) 赤線)。また、ゲート-電子層間容量 $C_{g,h}$ 、ゲート-正孔層間容量 $C_{g,e}$ から電子正孔層間距離はおよそ 5 nm と見積もられ、シリコン中の励起子ボア半径と同等に近接していることが明らかとなった。さらに、電流実時間計測により再結合過程を観察したところ、ランダムで早い再結合を経てゆっくりとした再結合に切り替わることを見出した。これらの時定数から、高密度プラズマ状態から励起子状態へと遷移していることが示唆された。

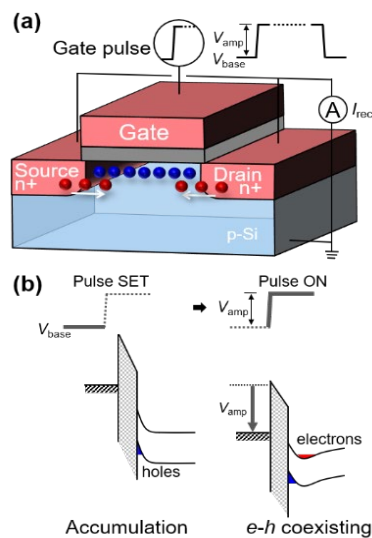


図3. (a) 電子正孔2層系形成のための、電圧設定。(b) 形成された電子正孔2重層のバンド図。

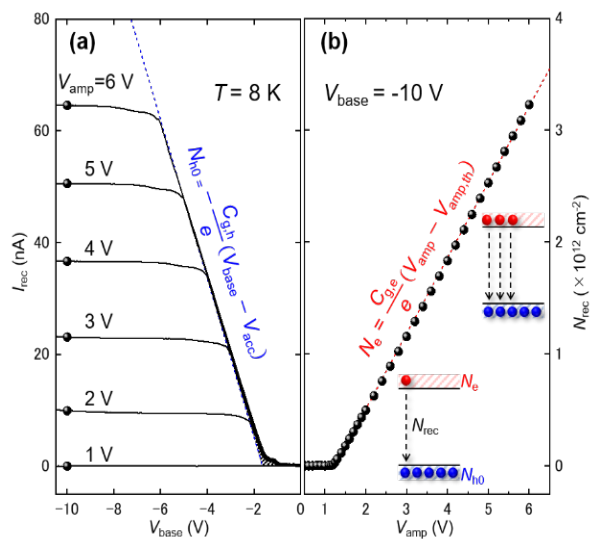


図4. (a) 再結合電流 I_{rec} (左縦軸)と再結合電子正孔ペア密度 N_{rec} (右縦軸)のパルスベース電圧 V_{base} 依存性。(b) I_{rec} 飽和値 (左縦軸)と N_{rec} 飽和値 (右縦軸)の V_{base} 依存性。

参考文献（代表的な研究成果）

- [1] M. Razanoelina, et. al., Appl. Phys. Express Vol.14 (2021) pp.104003_1-4.
- [2] A. Nabil, et. al., Appl. Phys. Express, to be published (2024).
- [3] M. Hori, et. al., Commun. Phys. Vol.6 (2023) pp.316_1-11.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hori Masahiro, Kume Jinya, Razanoelina Manjakavahoaka, Kageshima Hiroyuki, Ono Yukinori	4. 巻 6
2. 論文標題 Electrical control of transient formation of electron-hole coexisting system at silicon metal-oxide-semiconductor interfaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 316_1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-023-01428-1	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 Watanabe Ryo, Karasawa Fumiya, Yokoyama Chikamasa, Oshima Kazumasa, Kishida Masahiro, Hori Masahiro, Ono Yukinori, Satokawa Shigeo, Verma Priyanka, Fukuhara Choji	4. 巻 13
2. 論文標題 Highly stable Fe/CeO ₂ catalyst for the reverse water gas shift reaction in the presence of H ₂ S	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 11525 ~ 11529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3ra01323e	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 Hiraku Toida, Koji Sakai, Tetsuhiko F. Teshima, Masahiro Hori, Kosuke Kakuyanagi, Imran Mahboob, Yukinori Ono & Shiro Saito	4. 巻 6
2. 論文標題 Magnetometry of neurons using a superconducting qubit	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 19_1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-023-01133-z	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 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hori Masahiro, Ono Yukinori	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 -

〔学会発表〕 計30件(うち招待講演 8件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 堀匡寛, 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOS界面における電子正孔共存系の形成
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024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(10) - 捕獲電子の再結合課程()-
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024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 (10) - 捕獲電子の再結合課程 ()-
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024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 (9) - 捕獲電子の再結合課程 ()-
3. 学会等名 2023年第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023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 (8) - 捕獲電子の再結合課程 ()-
3. 学会等名 2023年第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Hori, Jinya Kume, Yukinori Ono
2. 発表標題 Electrical formation of electron-hole bilayer system in Si MOS transistors
3. 学会等名 2023 International conference on solid state devices and materials (SSDM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yukinori Ono
2. 発表標題 Silicon Electron Nano-Aspirator - Current enhancement based on electron-electron scattering
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2023 (SNW 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ahmed Nabil, Manjakavahoaka Razanoelina, Masahiro Hori, Akira Fujiwara, Yukinori Ono
2. 発表標題 Drag of Electron-Hole Bilayer in Silicon-on-Insulator at Low Temperature
3. 学会等名 Silicon Nanoelectronics Workshop 2023 (SNW 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 樋田啓, 酒井洸児, 手島哲彦, 堀匡寛, 角柳孝輔, Imran Mahboob, 小野行徳, 齊藤志郎
2. 発表標題 超伝導磁束量子ビットによる神経細胞の磁化測定
3. 学会等名 2023年 日本物理学会 春季大会
4. 発表年 2023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 (7) - Dに関する考察 -
3. 学会等名 2023年 第70回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023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 (6) -欠陥構造緩和()-
3. 学会等名 2023年 第70回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOS構造における電子流体の観測と低消費電力デバイス応用
3. 学会等名 共同プロジェクト研究(R02/S01) 先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用 東北大学 - 静岡大学合同冬季研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野行徳
2. 発表標題 シリコンMOS構造における電子流体の観測と低消費電力デバイス応用
3. 学会等名 第1回研究会「エネルギーの高効率利用を考える革新的システムナノ技術」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jinya Kume, Yukinori Ono, and Masahiro Hori
2. 発表標題 Electrical formation of electron-hole coexisting system at Si MOS interfaces
3. 学会等名 第24回高柳健次郎記念シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ono
2. 発表標題 Control of Electronic Charges and Currents in Nano-scaled Silicon
3. 学会等名 ICTA 2022 (招待講演) (国際学会)
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 (5) -タイプ4と5の識別-
3. 学会等名 2022年 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会
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 (4) -欠陥構造緩和-
3. 学会等名 2022年 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会
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 (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) 先端的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 Control of charges and current in nanoscaled silicon
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) (招待講演) (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 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 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 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 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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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

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	池田 浩也 (Ikeda Hiroya) (00262882)	静岡大学・電子工学研究所・教授 (13801)	
研究分担者	藤原 聡 (Fujiwara Akira) (70393759)	日本電信電話株式会社 N T T 物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・上席特別研究員 (92704)	

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