

自己評価報告書

平成 23 年 5 月 10 日現在

機関番号：92704

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008 ~ 2011

課題番号：20241036

研究課題名 (和文) シリコン・シングルドーパント・エレクトロニクス

研究課題名 (英文) Silicon Single-Dopant Electronics

研究代表者 小野 行徳 (ONO YUKINORI)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所

量子電子物性研究部 主幹研究員

研究者番号：80374073

研究分野：ナノエレクトロニクス

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：シングルドーパント、単一電子制御

1. 研究計画の概要

「シングルドーパントエレクトロニクス」とは、量子ドット (artificial atom) を、ドーパントの局在準位 (true atom) に置き換えることにより、新物性、新機能を実現しようとするものである。人工原子と異なりその電気的特性が加工精度に依存しないというメリットがあり、大きな波及効果が期待できる。本研究は、シリコントランジスタ中のドナー (あるいはアクセプター) の位置同定、及びドーパントレベルを用いた新しい素子の開発を目指している。

2. 研究の進捗状況

(1) ボロンを極低濃度にドーピングした微細 MOS トランジスタの特性を低温にて詳細に調べ、単一のボロンアクセプターを検出し、そのチャンネル方向の位置を定性的に同定するとともに、ソース端のドーパントがドレイン端のドーパントよりもより大きな影響を MOSFET に与えることを明らかにした。

(2) リンやボロンといった浅い準位を有するドーパントだけではなく、深い準位を有する遷移金属ドーパントの検討も開始した。マンガンシリコン中にイオン打ち込みし、その後熱処理を行うことにより、強磁性が発現することを実験的に示した。

(3) リンドナーからの電子の脱離過程が、大きなシュタルクシフトを伴うことを、シリコンからの発光をしらべることにより、明らかにした。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

(理由)

ドーパントの位置特定技術は、予定通りに順調に進捗した。これに加え、当初予定していたドーパント以外に、マンガン等の磁性に関して、新たな強磁性発現の可能性が示された。また、発光によりリンドナーに関与する発光から、強いシュタルク効果を観測した。これらの結果は、いずれも新しいデバイスコンセプトに繋がる成果である。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 新たに電子スピン共鳴法を微細トランジスタに適用することにより、原子オーダーでのドーパント位置特定技術に関する道標を得る。

(2) ドーパントクラスターの電子状態を詳細に調べることにより、強磁性発現の可能性を探索する。

(3) 以上とこれまでの結果をまとめ、新たな技術分野を創生する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① J. Noborisaka, K. Nishiguchi, Y. Ono, H. Kageshima, A. Fujiwara: Strong Stark effect in electroluminescence from phosphorous-doped silicon-on-insulator metal-oxide-semiconductor-field-effect transistors, Appl. Phys. Lett. Vol. 98, 033503_1 - 3, (2011). 査読有

②M. Tabe, D. Moraru, M. Ligowski, M. Anwar, R. Jablonski, Y. Ono, T. Mizuno: Single-electron transport through single dopants in a dopant-rich environment Phys. Rev. Lett. Vol. 105, 016803_1 - 4 (2010). 査読有

③ M. A. H. Khalafalla, Y. Ono, K. Nishiguchi, A. Fujiwara: Horizontal position analysis of single acceptors in Si nanoscale field-effect transistors Appl. Phys. Lett. Vol. 94, 223501_1 - 3 (2009). 査読有

④S. Yabuuchi, H. Kageshima, Y. Ono, M. Nagase, A. Fujiwara, E. Ohta: First-principles study on origin of ferromagnetism of MnSi_{1.7} nanoparticles in Si Phys. Rev. B Vol. 78, 045307_1 - 7 (2008).

[学会発表] (計5件)

①[招待講演] Y. Ono, M. Khalafalla, K. Nishiguchi, A. Fujiwara: Single dopant effects in silicon nano transistors, Single Dopant Control (March 29 - April 1, 2010, Leiden, Netherlands).

②[招待講演] Y. Ono, M. Khalafalla, K. Nishiguchi, A. Fujiwara: Single dopant effects in silicon nano transistors 2010 International Symposium on Atom-scale Silicon Hybrid Nanotechnologies for 'More-than-Moore' & 'Beyond CMOS' Era (March 1 - 2, 2010, Southampton, UK)

③[招待講演] Y. Ono, M. Khalafalla, S. Horiguchi, K. Nishiguchi, A. Fujiwara: Identification of single dopants in nanowire MOSFETs 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM-2009, October 7-9, 2009, Sendai)

④[招待講演] Y. Ono, M. Khalafalla, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, K. Takashina, S. Horiguchi, Y. Takahashi, H. Inokawa: Single-dopant effect in Si MOSFETs IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008 (NMDC-2008, Oct. 20-22, Kyoto)

⑤[招待講演] Y. Ono Single boron detection in nano-scale SOI

MOSFETs

The 2008 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IEEE IMFEDK-2008, May. 22-23, Osaka, Japan)

[図書] (計2件)

①Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Nishiguchi, H. Inokawa: Silicon Single-Electron Devices, in "Device Applications of Silicon Nanocrystals and Nanostructures" pp. 125-172 (Springer, 2009)

②Y. Ono, K. Nishiguchi, H. Inokawa, Y. Takahashi and A. Fujiwara: Single-electron transistor and its logic application, in "Information Technology II (volume 4) of Nanotechnology" (Wiley-VCH Verlag, 2008)