

課題番号 P-3

フォトニクス応用に向けたドーパント原子デバイス

[1] 組織

代表者：品田 賢宏
(早稲田大学)

対応者：田部 道晴
(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

水田 博 (サザンプトン大学)
土屋 良重 (サザンプトン大学)
小野 行徳 (NTT・物性科学基礎研究所)
ダニエル モラル (静岡大学電子工学研究所)
堀 匡寛 (早稲田大学)
平 圭吾 (早稲田大学)
小松原 彰 (早稲田大学)

[2] 研究経過

シリコン中のドーパント原子1個を利用したまったく新しい動作原理で動作するドーパント原子デバイスの光応用を目的とし、そのデバイス物理、作製プロセス、および評価技術の基礎的研究を行うことを目的とする。プロセス、デバイス、第一原理計算、などそれぞれ得意とする分野が異なる研究者が協力し合い、学際異分野融合により研究を推進する。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまで、過去2年間にわたって共同研究者が相互に研究成果を持ち寄り、ドーパント原子デバイスに関する研究動向について議論を重ねてきた。本プロジェクトでは、これまでの交流を踏まえながら、具体的な共同研究を遂行するものである。

以下、研究活動状況の概要を記す。

共同研究は、上記構成メンバーが随時学会・研究会の機会を得て討論を行い、実施しているが、特に重要なミーティングは、次の3件である。

- (i) 2010.9.24 共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び中間成果の発表・討論を行った。
- (ii) 2010.11.12 ITRS ERM Workshop 米国バークレーで開催された半導体国際ロードマップの研究会であり、ドーパント制御がテーマの会議であった。
- (iii) 2011.1.11-13 International Symposium on

Nanoscale Transport and Technology (ISNTT2011) NTT 主催のナノテク国際会議であり、この機会を利用して共同研究に関する討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(1) 品田 (早大) は、独自に開発してきたシングルドーパントイオン注入技術をさらに改善し、デバイスの埋め込み酸化膜を介して基板バイアスを制御することによって、ドーピングイオン数の精度を向上させた。

(2) 田部 (静岡大) は、シングルドーパントデバイスの研究、特に2ドーパント系のメモリ効果、ならびにドーパントのポテンシャル検出技術 (KFM) に関して大きな進展があった。

(3) 水田 (サザンプトン大学) は、第一原理計算でドーパント、特に1個のリンドナーの効果を調べ、原子配置の緩和と状態密度について知見を得た。

(4) 小野 (NTT) は、電子スピン共鳴法 (ESR) を用いてドナーのスピンを観察する予備的試みに成功した。

以上の成果は、本プロジェクト構成メンバーのさまざまな組み合わせによる共同研究として行った結果である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、得意分野の異なる学外研究者との交流が活発化し、芽生えの段階にあるシリコン系ドーパント原子デバイスの研究で世界をリードできる状況になりつつある。

[4] 成果資料

- (1) T. Shinada, M. Hori, Y. Ono, K. Taira, A. Komatsubara, T. Tanii, T. Endoh, I.

- Ohdomari, "Performance evaluation of MOSFETs with discrete dopant distribution by one-by-one doping method", International Electron Devices Meeting (IEDM) 2010, pp.592 (2010).
- (2) M. Hori, T. Shinada, K. Taira, A. Komatsubara, T. Tanii, T. Endoh, I. Ohdomari, "Enhancing Single-ion Detection Efficiency by Applying a Substrate Bias Voltage for Deterministic Single-ion Doping", Applied Physics Express Vol.4, pp. 046501 (2011).
- (3) E. Hamid, D. Moraru, J. C. Tarido, S. Miki, T. Mizuno and M. Tabe, "Single-electron transfer between two donors in nanoscale thin silicon-on-insulator field-effect transistors", Appl. Phys. Lett. 97, pp.262101-1-3 (2010).
- (4) M. Anwar, Y. Kwai, D. Moraru, T. Mizuno, M. Tabe, "KFM Observation of Electron Charging and Discharging in Phosphorus-Doped SOI Channel", Key Engineering Materials, Vol.470, pp.33-38 (2011).
- (5) D. Moraru, K. Yokoi, R. Nakamura, T. Mizuno, M. Tabe, "Tunable Single-Electron Turnstile using Discrete Dopants in Nanoscale SOI-FETs", Key Engineering Materials, Vol.470, pp.27-32 (2011).
- (6) K. Yokoi, D. Moraru, T. Mizuno and M. Tabe, "Electrical control of capacitance dispersion for single-electron turnstile operation in common-gated junction arrays", J. Appl. Phys. 108, pp.053710-1-5 (2010).
- (7) M. Tabe, A. Udhiarto, D. Moraru and T. Mizuno, "Single-photon detection by Si single-electron FETs", Phys. Status Solidi A, 208, pp. 646-651 (2011)..
- (8) M. Tabe, D. Moraru, M. Ligowski, M. Anwar, R. Jablonski, Y. Ono and T. Mizuno, "Single-Electron Transport through Single Dopants in a Dopant-Rich Environment", Phys. Rev. Lett., Vol.105, pp.016803-1-4 (2010).

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合について、全員分記載して下さい）

氏名：品田 賢宏
所属：早稲田大学
期間：2010年9月24日
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び研究会開催による中間成果の発表・討論を行った。
主たる対応者：田部 道晴

氏名：堀 匡寛
所属：早稲田大学
期間：2010年9月24日
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び研究会開催による中間成果の発表・討論を行った。
主たる対応者：田部 道晴

氏名：平 圭吾
所属：早稲田大学
期間：2010年9月24日
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び研究会開催による中間成果の発表・討論を行った。
主たる対応者：田部 道晴

氏名：小松原 彰
所属：早稲田大学
期間：2010年9月24日
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び研究会開催による中間成果の発表・討論を行った。
主たる対応者：田部 道晴

氏名：小野 行徳
所属：NTT・物性科学基礎研究所
期間：2010年9月24日
用務先：静岡大学電子工学研究所
用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究打ち合わせ及び研究会開催による中間成果の発表・討論を行った。
主たる対応者：田部 道晴