

課題番号	GR103
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実施状況報告書(平成 25 年度)

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	単電子・少数電荷制御によるシリコン低消費電力ナノデバイス
研究機関・ 部局・職名	NTT 物性科学基礎研究所・ 量子電子物性研究部・グループリーダー・主幹研究員
氏名	藤原 聡

1. 当該年度の研究目的

- (1) 単電子転送の高精度化に取り組む。また、転送エラーを補正するスキームを検討する。
- (2) 単電子・少数電荷の高感度・高速検出技術を開発する。
- (3) 薄層シリコンにおける擬似直接発光の物理的機構を解明する。

2. 研究の実施状況

H25年度については、以下の進捗があった。

(1) 単電子転送の高精度化の一つのアプローチとして、トラップ準位を積極的に利用する方法を採用し、温度 17K で GHz 以上の高速動作に成功した(図1)。通常シリコン電荷島では実現が容易ではない数 10meV の帯電エネルギーを実現し、高温での高精度転送が期待できる。高速動作には、トラップ準位への電子の出し入れを高速に行うことが必要となるが、転送ゲート電圧条件を調整することにより、最大 3.5GHz で良好な電流プラトーを観測することができた。また、電流計の精度で決まる不確かさより小さいエラー(10^{-3} 以下)であることが確認できた。

一方、転送エラーの補正技術として、電荷島の電子数ゆらぎ(エラー)を電荷計で計測し、計測されたエラーを補償するような転送を行う、という手法を検討した。実際に、電荷島の電子数を計測し、個数を一定に保つようなフィードバック制御をすることにより、電子数の熱ゆらぎを抑制できることを実験で確認した。

(2) 微小容量を有するシリコンナノ細線トランジスタとLC共振回路組み合わせることにより、高速・高感度な電荷検出を室温で実現することに成功した。従来低温で用いられていた RF-SET(高速単電子トランジスタ)の技術を、室温動作のトランジスタに適用することにより、室温で 20MHz、 $2 \times 10^{-4} e/\sqrt{\text{Hz}}$ の高速・高感度の電荷検出を実現した。また、新規な手法として、共振回路を2つ組み合わせることにより、高感度帯を被検出信号の周波数に調節可能とする方法を考案し、その動作を実証した。

(3) 薄層シリコン MOSFET における直接型発光の増強効果とそのゲート電界制御を理論的に検証するために、包絡関数近似のバンド計算に基づく計算を行った。その結果、実験結果のゲート電界依存性をほぼ再現することができ、さらなる高電界化とシリコンの薄層化により、尚一層の発光効率の改善が期待できることがわかった。

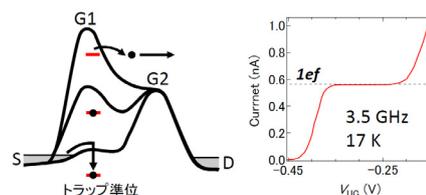


図1. トラップ準位を利用した単電子転送の動作模式図と高速転送特性。10-30meV 程度のエネルギー深さを有するトラップ準位で GHz 動作を実証した。

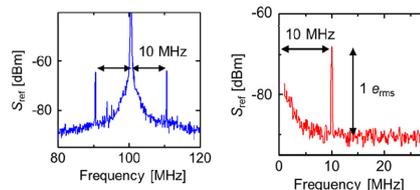


図2. LC共振回路中のシリコン細線トランジスタの反射特性。ゲートに 10MHz の微小信号を加えた場合、共振周波数に対して側帯波が発生する。図は、室温において、ゲート電荷として $1e$ (素電荷) に相当する信号を加えた場合の結果であり、単電子レベルの信号が十分検出できていることを示す。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 6 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 5 件</p> <p>[1] V. T. Renard, I. Ducheimin, Y. Niida, <u>A. Fujiwara</u>, Y. Hirayama and K. Takashina: Metallic behaviour in SOI quantum wells with strong intervalley scattering, Scientific reports 3 : 2011 DOI: 10.1038/srep02011 (2013).</p> <p>[2] Y. Niida, K. Takashina, Y. Ono, <u>A. Fujiwara</u> and Y. Hirayama: Electron and hole mobilities at a Si/SiO₂ interface with giant valley splitting, Appl. Phys. Lett. 102, 191603 (2013).</p> <p>[3] K. Takashina, Y. Niida, V. T. Renard, B. A. Piot, D. S. D. Tregurtha, <u>A. Fujiwara</u>, and Y. Hirayama, Phys. Rev. B 88, 201301(R) (2013).</p> <p>[4] K. Nishiguchi, H. Yamaguchi, <u>A. Fujiwara</u>, H. S. J. van der Zant, and G. A. Steele: Wide-bandwidth charge sensitivity with a radio-frequency field-effect transistor, Appl. Phys. Lett. 103, 143102 (2013).</p> <p>[5] G. Yamahata, K. Nishiguchi, and <u>A. Fujiwara</u>: Accuracy evaluation and mechanism crossover of single-electron transfer in Si tunable-barrier turnstiles Phys. Rev. B 89, 165302 (2014)</p> <p>(未掲載)</p> <p>[6] K. Nishiguchi, Y. Ono, and <u>A. Fujiwara</u>: Single-electron thermal noise, Nanotechnology (accepted).</p>
<p>会議発表 計 9 件</p>	<p>専門家向け 計 9 件</p> <p>[1] J. Noborisaka, K. Nishiguchi, <u>A. Fujiwara</u>: Enhancement of phononless optical transitions by large valley splitting in silicon MOSFETs, the 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC), (Makuhari, Japan, July 14-19, 2013).</p> <p>[2] V.T. Renard, Y. Niida, I. Ducheimin, <u>A. Fujiwara</u>, Y. Hirayama and K. Takashina: Influence of intervalley scattering on the metallic behavior in Si MOSFETs, 20th Int. Conf. on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20), (Poland , Jul. 1-5, 2013).</p> <p>[3] V.T. Renard, B.A. Piot, Y. Niida, D.S.D. Tregurtha, <u>A. Fujiwara</u>, Y. Hirayama, X. Waintal, G. Fleury, and K. Takashina: Effects of Valley Polarization on Spin Polarization in a Silicon 2DEG, 20th Int. Conf. on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20), (Poland , Jul. 1-5, 2013).</p> <p>[4] (招待講演 : Plenary talk) <u>A. Fujiwara</u>, Silicon-based nanodevices for diverse applications, 39th Int. Conf. on Micro and Nano Engineering (MNE) (London, UK, Sept. 16-19 2013).</p> <p>[5] Y. Takahashi, H. Takenaka, T. Uchida, M. Arita, <u>A. Fujiwara</u> and H. Inokawa: High-speed operation of Si single-electron transistor, 2013 ECS Autumn meeting (Oct.27-Nov.1, 2013, USA).</p> <p>[6] G. Yamahata, K. Nishiguchi, and <u>A. Fujiwara</u>: Mechanism crossover of single-electron transfer in Si tunable-barrier turnstiles, The International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (ISNTT2013), (Kanagawa, Japan , Nov. 2013)</p> <p>[7] J. Noborisaka, K. Nishiguchi, and <u>A. Fujiwara</u>: Electrical tuning of phononless optical transition by controlling valley splitting in silicon MOSFETs, The International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (ISNTT2013), (Kanagawa, Japan , Nov. 2013)</p> <p>[8] K. Nishiguchi, H. Yamaguchi, <u>A. Fujiwara</u>, H. S. J. van der Zant, and G. A. Steele: High-charge-sensitivity radio-frequency field-effect transistor with large and tunable readout frequency, 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2013), (Sapporo, Japan , Nov. 2013).</p> <p>[9] 山端元音、西口克彦、<u>藤原聡</u> “単一トラップ準位を介した高速単電子ポンプ”、第 6 1 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、2014. 3.17 -20.</p>

様式19 別紙1

図書 計0件	
産業財産権 出願・取得状況 計1件	(出願中) 計1件 「単一電荷転送素子」 発明者:山端元音、西口克彦、藤原聡、出願人:日本電信電話株式会社、特願2014-027269、平成26年2月17日出願 (国内特許)
Webページ (URL)	http://www.brl.ntt.co.jp/people/afuji/index-j.html
国民との科学・技術対話の実施状況	平成26年1月9日 研究所訪問の大学院生(約20名)に対して「シリコン単電子デバイス」の研究状況について説明をするとともに、実験室の紹介を行った。
新聞・一般雑誌等掲載 計0件	
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の累計)	③当該年度受領額	④(=①-②-③)未受領額	既返還額(前年度迄の累計)
直接経費	122,000,000	120,000,000	2,000,000	0	
間接経費	36,600,000	36,000,000	600,000	0	
合計	158,600,000	156,000,000	2,600,000	0	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執行額	②当該年度受領額	③当該年度受取利息等額 (未収利息を除く)	④(=①+②+③)当該年度合計収入	⑤当該年度執行額	⑥(=④-⑤)当該年度未執行額	当該年度返還額
直接経費	50,342	2,000,000	0	2,050,342	2,050,342	0	
間接経費	15,104	600,000	0	615,104	615,104	0	
合計	65,446	2,600,000	0	2,665,446	2,665,446	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	1,470,678	測定器
旅費	0	
謝金・人件費等	579,664	会議招待講演者への謝金(3名)
その他		
直接経費計	2,050,342	
間接経費計	615,104	
合計	2,665,446	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
リモート・ソース・メータ	ケースレー社	1	1,470,678	1,470,678	2014/1/22	NTT物性科学基礎研究所
				0		
				0		