

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 23 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

デバイスの作製・特性評価により、以下を推進する。

- (1) 単電子転送技術: 極低温における単電子転送精度絶対評価と転送エラー率 10^{-8} 以下の実現
- (2) 単電子検出技術: 単電子乱数の物性解明ならびに確率共鳴応用における性能向上
- (3) 光電子融合技術: 薄層シリコン発光ダイオードの物性制御と発光効率改善

2. 研究の実施状況

H23年度については、以下の進捗があった。

(1) 単電子転送において、デバイス中の界面トラップ準位などの結晶欠陥を介した単電子転送モード(図1)が存在することを見出した。また、高精度達成のため希釈冷凍機を用いた極低温測定においては、単電子転送の基本動作の確認ができた。転送エラー率 10^{-8} 以下実現には至らなかったが、トラップ準位生成の抑制、エラー検出のための電荷計の感度改善などデバイス構造やプロセスの最適化に基づく新しいデバイス作製が必要なことがわかり、今後の方針を定めることができた。一方、界面準位や不純物準位などの局在準位は、その位置をある程度制御できれば、大きな束縛エネルギーでの単電子捕獲と電界による単電子放出が可能となるので、高精度単電子転送に利用できる可能性がある。今回、シリコン中に意図的に不純物(ドーパント)を添加し、ドーパントを介した単電子転送の動作(図2)を実証した。複数個のドーパントを用いれば1回の転送で複数個の電子を転送できるため高電流化につながる。

(2) 単電子検出技術を用いた単電子計数により、単電子ショット雑音を直接観測し、その性質を詳細に調べた。トランジスタ中を流れる電流をゲート電圧により変化させ、2桁以上の広範囲の電流範囲での伝導がほぼ単電子のポアソン過程で支配されており、良質の物理乱数として機能することを確認した。また、伝導機構が熱的活性からトンネルに変化する限られた領域で雑音の低減が観測された。原因は不明だが、伝導する電子間に何らかの相互作用が生じている可能性がある。

(3) 薄層シリコン発光ダイオードについては、前回より更にシリコン膜厚が薄いデバイスの作製を実施し完了した。3nm 程度のシリコン発光層に電流注入を行い発光特性を確認することができた。今後ゲート電界による制御により発光効率を詳細に評価していく。

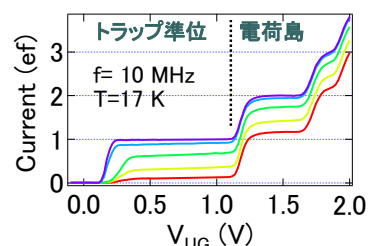


図1. 単電子転送による電流の階段特性 (e: 素電荷, f: 転送クロック周波数)。通常の転送モードと異なり、トラップ準位を介した転送は、動作条件を変えると $1ef$ より小さい中途半端な電流を示す。

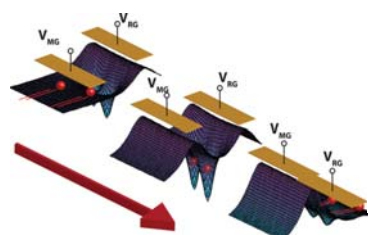


図2. 不純物(ドーパント)などの局在準位を用いた単電子転送の動作原理を示すポテンシャルとゲート操作の模式図

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 5 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 5 件 [1] K. Nishiguchi and A. Fujiwara: Single-electron stochastic resonance using Si nanowire transistors, Jpn. J. Appl. Phys. 50, 06GF04 (2011). [2] K. Nishiguchi, Y. Ono and A. Fujiwara: Single-electron counting statistics of shot noise in nanowire Si metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, Appl. Phys. Lett. 98, 193502 (2011). [3] G. Yamahata, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara: Accuracy evaluation of single-electron shuttle transfer in Si nanowire metal-oxide-semiconductor field-effect transistors, Appl. Phys. Lett. 98, 222104 (2011). [4] M. A. H. Khalafalla, Y. Ono, G. P. Lansbergen, and A. Fujiwara: Low temperature carrier transport in p-channel silicon-on-insulator transistors doped with indium, J. Appl. Phys. 110 014512 (2011); [5] G. Lansbergen, Y. Ono and A. Fujiwara: Donor based single electron pumps with tunable donor binding energy, Nano Lett. 12 763–768 (2012).</p>
<p>会議発表 計 10 件</p>	<p>専門家向け 計 10 件 [1] G.P. Lansbergen , Y. Ono and A. Fujiwara: Charge switching in wire MOSFETs studied by separation of capture and emission, 2011 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW-11), (Jun 2011, Kyoto) [2] G. Yamahata, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara: Accuracy of Single-electron Shuttle Transfer in Si Nanowire MOSFETs, 19th international conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS19), (Jul. 2011, USA) [3] G.P. Lansbergen , Y. Ono and A. Fujiwara: Charge transfer by multiple donors in a Si nanowire, 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Nagoya, Japan (Sep. 2011). [4] K. Nishiguchi and A. Fujiwara: Stochastic resonance using a steep-subthreshold-swing transistor, 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2011), Kyoto, Japan (Oct. 2011). [5] G.P. Lansbergen , Y. Ono and A. Fujiwara: Donor based SE pumps with tunable donor binding: the International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2012), Session 11.8-2, Perth, Australia (Feb. 5-9). [6] 山端元音、西口克彦、藤原聡、“シリコン細線 MOSFET における単電子転送メカニズム”、第 73 回応用物理学学会学術講演会、山形大学、2011. 8.29.-9.2. [7] G.P.Lansbergen, Y.Ono, A.Fujiwara, “Donor-based charge pump”、第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012. 3.15-18. [8] 西口克彦、藤原聡、“シリコン・ナノワイヤ・トランジスタ確率共鳴素子による高速センサ”、第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012. 3.15-18. [9] 西口克彦、藤原聡、“急峻な電流特性のトランジスタを利用した確率共鳴”、電子情報通信学会技術研究報告 電子デバイス研究会、北海道大学、2012. 2.7-8. [10] 登坂 仁一郎、西口 克彦 影島 博之 藤原 聡、“シリコン量子井戸におけるトンネル電流注入発光”、電子情報通信学会技術研究報告 電子デバイス研究会、北海道大学、2012. 2.7-8.</p>
<p>図書 計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計 0 件</p>	
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.brl.ntt.co.jp/people/afuji/index-j.html</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>平成23年11月22日(火) 研究所訪問の高校生(約40名)に対して「NTTの研究者となって17年」という題目でセミナーを実施し、研究成果や研究者という仕事の紹介を行うとともに、将来の進路についての悩みについてのQ&Aなどの対話を行った。</p>

様式19 別紙1

新聞・一般雑 誌等掲載 計0件	
その他	

4. その他特記事項

特になし

実施状況報告書(平成23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	115,000,000	0	7,000,000	0
間接経費	36,600,000	34,500,000	0	2,100,000	0
合計	158,600,000	149,500,000	0	9,100,000	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	114,914,194	0	0	114,914,194	42,846,352	72,067,842	0
間接経費	34,474,259	0	0	34,474,259	12,853,905	21,620,354	0
合計	149,388,453	0	0	149,388,453	55,700,257	93,688,196	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	41,141,152	マスクアライナー装置、等
旅費		
謝金・人件費等		
その他	1,705,200	マスクアライナー工事、等
直接経費計	42,846,352	
間接経費計	12,853,905	
合計	55,700,257	

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
マスクアライナー	ズース・マイクロ テック株式会社	1	40,950,000	40,950,000	2012/2/17	NTT物性科学 基礎研究所
CVD装置 ユー ティリティ工事	日本メックス株 会社	1	1,638,000	1,638,000	2012/3/22	NTT物性科学 基礎研究所
				0		