

課題番号	GR084
------	-------

**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	単一光子-半導体量子ドット電子スピン集団励起間の 革新的量子インターフェースの実現
研究機関・ 部局・職名	慶應義塾大学・理工学部・准教授
氏名	早瀬 潤子(伊師 潤子)

1. 当該年度の研究目的

本研究では、フォトンエコー法及び単一光子検出技術を駆使して、単一光子レベルの極微弱な光と半導体量子ドットとのコヒーレントな相互作用を徹底的に明らかにし、量子情報技術の実現に必要な量子インターフェースを実現するための新しい技術を開拓することを目的とする。

本研究の目的達成のために、平成 23 年度は以下の研究開発を行なう。

(1) 量子インターフェース形成に適した良質な半導体量子ドットサンプルの作製・物性評価  
電子ドーピングされた歪補償量子ドットサンプルの作製及び構造特性・発光特性評価を行ない、サンプル作製の最適化を進める。また歪補償量子ドット以外の新規量子ドット材料の探索を行なっていく。

(2) フォトンエコー測定の高感度化、極微弱光と量子ドットサンプルとのコヒーレントな相互作用の解明  
光ヘテロダイン検出を導入し、フォトンエコー測定の高感度化を進めるとともに、単一光子検出器の立ち上げを進める。比較的強励起下においてフォトンエコー測定を行ない、量子ドットにおけるコヒーレント応答を詳しく調べていく。

2. 研究の実施状況

(1) 量子インターフェース形成に適した良質な半導体量子ドットサンプルの作製・物性評価  
歪補償量子ドットに電子ドーピングするために、歪補償量子ドットへのシリコン層の導入を行なった。その結果、構造・発光特性共に良質のサンプルを得ることに成功した。今後は電子ドーピングの有無の定量的評価を行ない、良質なサンプル作製を目指す。なお歪補償量子ドットサンプルの作製は、以前まで共同研究者に作製を依頼していたが、平成 23 年度より研究者の研究グループの大学院生が作製グループに加わり作製ノウハウを取得した。さらに新規量子ドットサンプルとして、ダイヤモンド中の窒素-空孔欠陥の研究を開始した(産業総合研究所との共同研究)。ダイヤモンド中の窒素-空孔欠陥の電子スピン状態は、室温においても長いコヒーレント時間を有し、光によるアクセスが可能であることから、量子インターフェース形成に適していると期待される。平成 23 年度は、化学気相成長中に窒素ガスを導入することにより、厚さ 5 nm の単結晶ダイヤモンド薄膜中に高品質な窒素-空孔欠陥をドーピングすることに成功した。

(2) フォトンエコー測定の高感度化、極微弱光と量子ドットサンプルとのコヒーレントな相互作用の解明  
フォトンエコー測定システムにヘテロダイン検出を導入し、検出感度を従来よりも 4 桁向上させることに成功した。この技術を用いて、フォトンエコー法による歪補償量子ドットへの光コヒーレンスの転写・再生実

様式19 別紙1

験を行ない、干渉度 98 %で光コヒーレンスを転写再生することに成功した。今後は超伝導単一光子検出器を用いて、極微弱光を用いたフォトンエコー測定を行なっていく予定である。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 2 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 2 件</p> <p>[1] S. Mitsutake, M. Kujiraoka, J. Ishi-Hayase, K. Akahane, N. Yamamoto, K. Ema, and M. Sasaki, "Macroscopic response of Rabi oscillations in a quantum dot ensemble", <i>physica status solidi (c)</i>, <b>8</b>, 2601 (2011). ISSN 1862-6351, <a href="http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pssc.201084081/abstract">http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pssc.201084081/abstract</a></p> <p>[2] 早瀬潤子, "歪補償量子ドット集合体における超高速非線形分光", <i>表面科学</i>, <b>32</b>, 767 (2011). <a href="http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsssj/32/12/32_767/_article/-char/ja/">http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsssj/32/12/32_767/_article/-char/ja/</a></p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件 (未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 10 件</p>	<p>専門家向け 計 9 件</p> <p>[1] Junko Ishi-Hayase, "Coherence in a quantum dot ensemble - fundamentals and applications", Japanese-French Frontiers of Science Symposium 2011, Nice, France, Jan. 20-22, 2012, JSPS.</p> <p>[2](invited) Junko Ishi-Hayase, "Nonlinear optics in semiconductor quantum-dot nanostructures", Japan-French Frontiers of Engineering Second Symposium, Kyoto, Japan, Feb. 25-27, 2012, JST.</p> <p>[3] S. Tomizawa, Y. Nakao, K. Akahane, N. Yamamoto, K. Ema, and J. Ishi-Hayase, "Strong anisotropic characteristics of excitons in strain compensated self-assembled InAs quantum dots", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Shimane, Japan, Aug. 1-5, 2011.</p> <p>[4] J. Ishi-Hayase, K. Akanane, N. Yamamoto, K. Ema, and M. Sasaki, "Coherence Transfer between Photonic Time-bin Pulse and a Semiconductor Quantum Dot Ensemble", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6), Matsue, Shimane, Japan, Aug. 1-5, 2011.</p> <p>[5] Junko Ishi-Hayase, Kouichi Akahane, Naokatsu Yamamoto, Kazuhiro Ema, and Masahide Sasaki, "Coherence Transfer of Time-bin Pulse to a Semiconductor Quantum Dot Ensemble using Photon Echo Technique", Nonlinear Optics 2011 (2011 NLO), Kauai, USA, Jul. 17-22, 2011, The Optical Society of America.</p> <p>[6] 中尾陽象, 末森亮介, 富澤周平, 赤羽浩一, 早瀬潤子, "歪補償量子ドットにおける励起子緩和のスペーサ層厚依存性" 2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学早稲田キャンパス, 2012 年 3 月 15 日~18 日, 応用物理学会.</p> <p>[7] (招待講演) 早瀬潤子, 江馬一弘, 赤羽浩一, 山本直克, 佐々木雅英, "Coherence in a quantum dot ensemble - fundamentals and applications -", 日本磁気学会第 181 回研究会, 中央大学駿河台記念館, 2011 年 12 月 7 日, 日本磁気学会.</p> <p>[8] 永井正也, 早瀬潤子, "若手連携によって加速される光科学の可能性", 72 回応用物理学会学術講演会, 山形大学, 2011 年 8 月 29 日~9 月 2 日, 応用物理学会.</p> <p>[9] (招待講演) 早瀬潤子, "歪補償量子ドット集合体の光量子制御とその応用", 第 72 回応用物理学会学術講演会, 山形大学, 2011 年 8 月 29 日~9 月 2 日, 応用物理学会.</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>[1] 早瀬潤子, "半導体量子ドットの基礎と量子光エレクトロニクスへの応用", 第 13 回産学連携セミナー, 慶應義塾大学, 2012 年 2 月 24 日, 慶應義塾大学 KLL センター.</p>
<p>図書 計 0 件</p>	<p>なし</p>

様式19 別紙1

<p>産業財産権 出願・取得状 況  計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>・新版窮理図解(日本語版)、早瀬研究室の研究紹介(日本語版)、 http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai/07_hayase/pdf/hayase06_j.pdf ・新版窮理図解(英語版)、早瀬研究室の研究紹介(英語版)、 http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai/07_hayase/pdf/hayase07_e.pdf ・早瀬研究室研究紹介ビデオ(日本語版)、Youtube、http://www.youtube.com/watch?v=D3wvAgDzPQc ・早瀬研究室研究紹介ビデオ(英語版)、Youtube、http://www.youtube.com/watch?v=JwZKzpiuvyE</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>・高校生向け研究室見学会の実施、実施日:平成23年10月8日、場所:慶應義塾大学、対象者:高校生、 参加者数:約60名、内容:研究室見学を行なった。 ・高校生向け夏休み研究体験の実施、実施日:平成23年8月22日、場所:慶應義塾大学、対象者:高校生、 参加者数:3名、内容:分光器を自作させ様々な光を観察する。研究室見学を行なった。 ・「産学連携セミナー」での講演、実施日:平成24年2月24日、場所:慶應義塾大学、対象者:一般市民・企業 従事者、参加者数:約40名、内容:最先端・次世代研究開発プログラムの研究内容を一般市民及び企業従事 者向けに詳しく紹介した。 ・一般向け慶應科学技術展「KEIO TECHNO-MALL」への参加、実施日:平成23年12月9日、対象者:一般市 民来場者、来場者数総計:約1,000名、内容:慶應科学技術展「KEIO TECHNO-MALL」にて、わかりやすく科 学に触れるラウンドテーブルセッションを複数の研究者と共に行なった。 ・一般向け広報誌「窮理図解(冊子及びWeb版、日本語及び英語)」の発行、実施日:平成23年8月、対象者: 一般市民、発行部数:5,000部、内容:最先端・次世代研究開発プログラムの研究内容を一般市民にもわかり やすく解説する広報誌を作成し配布した。 ・インターネット上の無料動画サイト YouTube での研究成果ビデオ(日本語版および英語版)の配信、アクセス 数:日本語版 4,835、英語版 4,921(平成24年5月現在)</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計0件</p>	<p>なし</p>
<p>その他</p>	<p>なし</p>

4. その他特記事項

## 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ます

## 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	124,000,000	75,300,000	0	48,700,000	0
間接経費	37,200,000	22,590,000	0	14,610,000	0
合計	161,200,000	97,890,000	0	63,310,000	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	73,550,175	0	0	73,550,175	63,808,849	9,741,326	0
間接経費	21,690,781	0	0	21,690,781	21,690,781	0	0
合計	95,240,956	0	0	95,240,956	85,499,630	9,741,326	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	61,377,229	広帯域波長可変フェムト/ピコ秒レーザー光源ほか
旅費	248,790	SPINTECH6にて発表
謝金・人件費等	364,047	
その他	1,818,783	研究場所賃料
直接経費計	63,808,849	
間接経費計	21,690,781	
合計	85,499,630	

## 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
XYZステージ	TRITOR102SG	1	869,400	869,400	2011/7/26	慶應義塾大学
デジタルオシロスコープ	RTO1004	1	1,230,600	1,230,600	2012/2/17	慶應義塾大学
ハイパニング超高性能三次元空気ばね式防振システム	h-TDIS-4015LA(Y)J	1	6,825,000	6,825,000	2012/2/21	慶應義塾大学
超伝導シングルフォトンカウンティングSSPD検出システム	TCOPRS-001-10	1	6,615,000	6,615,000	2012/3/1	慶應義塾大学
広帯域波長可変フェムト/ピコ秒レーザー光源	—	1	39,270,000	39,270,000	2012/3/21	慶應義塾大学