

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24244044

研究課題名(和文)量子ドットにおける単一光子から単一電子スピンへの量子状態転写

研究課題名(英文)Quantum state transfer from a photon to an electron spin in a quantum dot

研究代表者

小坂 英男 (Kosaka, Hideo)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20361199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：単一NV中心の基底状態の電子と入射する光子の量子もつれ状態を吸収によって検出する量子もつれ吸収の実験に成功(Physical Review Letters掲載)。量子テレポーテーションの原理により単一光子から基底状態の単一電子スピンへの量子状態転写の実験に成功(Nature Photonics掲載)。ポストセクションによる転写を純粋化し90%以上の忠実度で量子状態転写の量子性を証明。量子メモリー時間(位相緩和時間)を独自の幾何学スピンエコーで100倍近く延長することに成功(Nature Communications掲載)。エコー操作の繰り返しで室温で世界最長の1.9ミリ秒の位相緩和時間を得た。

研究成果の概要(英文)：We succeeded experiments for quantum entanglement absorption to detect the entanglement between a ground state electron in an NV center and an incoming photon (published in Physical Review Letters), and quantum state transfer from a photon to a ground state electron based on the quantum teleportation scheme (published in Nature Photonics). Transfer fidelity of over 90% was achieved by purifying the transfer events based on post-selection. We also succeeded to prolong the quantum memory time (phase relaxation time) over 100 times by the developed geometric spin echo (published in Nature Communications). The phase relaxation time of world-longest 1.9 ms was achieved by repeating the echo.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：量子エレクトロニクス スピントロニクス 光物性 量子井戸 量子ドット

### 1. 研究開始当初の背景

近年、量子力学の原理を応用した量子情報処理や量子情報通信技術の発展が著しい。これらの技術の基礎となるのが「量子ビット」と呼ばれる、量子力学的性質をもつ粒子である。量子ビットして様々な提案があるが、従来の古典ビットが半導体中の電子であるように、量子ビットも同じく半導体中の電子であるのが、実装整合性の意味で好ましい。電子には大きく分けて電荷とスピンの自由度があるが、スピンは歴史的に見ても量子の代表であり、電子スピンを量子ビットとして利用するのが、最も素直な解である。量子のもつ基本的性質として、コヒーレンス(位相保存性)があるが、半導体などの量子ドット中の単一電子スピンの量子コヒーレンスを、入射する単一光子によって直接的に書き込むことには未だ成功していない。申請者は近年、半導体量子井戸中の電子スピンのコヒーレンスを、光の偏光状態から一対一に対応して書き込むことに世界で初めて成功している。また、半導体量子井戸中に生成された電子スピンのコヒーレンスを、反射光によって直接的に観測することにも世界で初めて成功している。しかしながら、現状の実験は半導体量子井戸を用いた集団的なコヒーレンスの生成に限られたものであり、いまだ単一電子のスピン状態の単一光子による書き込みには成功していない。過去に申請者は、独自構造の電界閉じ込め型量子ドットを用いて単一光子から単一電子スピンへの状態転写には成功しているが、これは量子井戸に対して上向きスピンか下向きスピンかという古典的な転写に留まっている。光子あるいは電子スピンの量子性は、2つの基底状態(光子では左右円偏光状態、電子では上下スピン状態)の重ね合わせ状態のコヒーレンスとして発現するものであり、量子情報技術への応用を考えれば、単一光子から単一電子スピンへの量子コヒーレンスの転写(量子状態転写)は早急に挑戦すべき課題である。

### 2. 研究の目的

半導体中に形成された単一量子ドットを用い、単一光子から単一電子スピンへの量子状態転写を始めて実現することを目的とする。これにより、伝達に適した光子の量子状態を、処理に適した電子スピンの量子状態に量子位相を保存して転写する仕組みを明らかにし、様々な量子の形態を相互接続する量子インターフェースの基礎学理を構築することを目的とする。

### 3. 研究の方法

提案者が独自に考案した原理を応用し、単一光子から量子ドット中の単一電子スピンへの量子状態転写を世界で始めて実現する。この実現に向け、従来の偏光を用いた転写の手法に代わり、時間のコヒーレンスを用いたタイムピン転写と呼ぶ新たな独自手法を開

発し応用する。これにより、伝達に適した光子の量子状態を、処理に適した電子スピンの量子状態に転写仕組みを明らかにし、様々な量子の形態を接続する量子インターフェースの基礎学理を構築する。

各年度の当初の計画は以下の通りである。

#### 平成 24 年度

- ・量子井戸を用い正孔スピンの歳差運動を利用したタイムピン転写の原理実証
- ・量子井戸を用い電子スピンの歳差運動を利用したタイムピン転写の原理実証

#### 平成 25 年度

- ・単一量子ドットを用いた光子から電子スピンへのタイムピン転写の実証
- ・転写の忠実度 66% 以上の実証による量子性の証明

#### 平成 26 年度

- ・量子ドットに残された基底状態の単一電子スピンへの量子状態転写の実証
- ・ポストセレクションによる転写の純粋化とその忠実度を評価
- ・転写後の電子は正孔との再結合によって崩壊することがないため量子メモリーとして最適であることを示す

### 4. 研究成果

#### 平成 24 年度

GaAs/AlGaAs 量子井戸を用い、タイムピン転写の原理実証を行った。量子井戸では、不均一性のために正孔スピンの位相緩和時間が 10 ピコ秒程度と短いため、これに合わせてタイムピンの時間間隔を 2 ピコ秒程度とし、磁場も 7 T 程度と大きく設定してこれを実現した。得られた成果をまとめると以下のようなになる。

- ・量子井戸を用い正孔スピンの歳差運動を利用したタイムピン転写の原理実証
- ・量子井戸を用い電子スピンの歳差運動を利用したタイムピン転写の原理実証

また、上記の原理実証実験と並行し、量子ドットの実験環境整備と基礎物性評価を進めた。まずは InGaAs 系の歪み形成量子ドットを用い、この単一光子吸収、発光特性と磁場応答を正確に評価するための実験環境を整えた。InGaAs 系の歪み形成量子ドットの吸収波長は今まで提案者が主に行ってきた GaAs 量子井戸の吸収波長とは大きく異なるため、多くの光学系の変更が必要となった。この実験系を用い、単一量子ドット中の中性励起子および負の荷電励起子を光学励起し、発光波長の磁場依存性から単一電子スピンおよび正孔スピンの g 因子を同定した。

さらに、上記 InGaAs 系の歪み形成量子ドットを用いた実験が計画通りに進まない場合の対策として、ダイヤモンド中の単一窒素欠陥中心(NV 中心)を量子ドットとして用

いた基礎実験を並行して行った。InGaAs 量子ドットの場合と同様に、単一欠陥の共鳴励起に成功し、共鳴励起発光強度の磁場依存性、光周波数依存性、マイクロ波周波数依存性などから、単一電子スピンの  $g$  因子のみならず、ラビ振動、ラムゼー干渉など、本研究の目的である単一光子から単一電子スピンへの量子状態転写の実現に不可欠な情報を取得した。

### 平成 25 年度

InGaAs 系の歪み形成単一量子ドットを用い、中性および負荷電励起子発光波長の磁場依存性から単一電子および正孔スピンの  $g$  因子を同定した。また、ダイヤモンド中の単一窒素欠陥中心 (NV 中心) を用い、共鳴励起発光強度の磁場・光周波数・マイクロ波周波数依存性から単一電子スピンの  $g$  因子のみならず、ラビ振動、ラムゼー干渉などの基礎実験を行った。これらの基礎実験から InGaAs 歪み量子ドットとダイヤモンド NV 中心を比較検討した結果、ダイヤモンド NV 中心の方がより制御性が高いという観点から、本研究の目的である量子状態転写に向けて最適な物理系であると判断し、中間年度ではダイヤモンド NV 中心を用いた実験を主にを行った。ダイヤモンドの研究は、従来の N 型のみならず P 型ドーピングにも成功し半導体特有の電流注入による NV 中心の LED 発光も可能になるなど近年急激に進み、ダイヤモンド NV 中心を半導体量子ドットと呼んでしかるべきである。

中間年度に得られた成果は以下である。

- ・ダイヤモンド中の単一 NV 量子ドットを用いた光子から電子スピンへの量子状態転写の実証を行った。
- ・転写の忠実度 98% 以上の実証による量子性の証明を行った。

転写には当初タイムピンの手法を用いる予定であったが、制御性のより高い縮退スピンコヒーレントポピュレーショントラッピングの手法を用いた。また電子スピントモグラフィ測定についても、当初計画したカー回転の手法よりも物理系に適した吸収・発光による手法を用いるなどの工夫を行った。

### 平成 26 年度

中間年度までの成果を受け、提案時計画の通り以下の成果を得た。

- ・単一 NV 中心の基底状態の電子と入射する光子の量子もつれ状態を、吸収によって検出する量子もつれ吸収の実験に成功した (Physical Review Letters 掲載)

**[詳細]** 平均光子数が 1 より十分小さい入射光を用い、電子と光子との間の量子もつれ検出

を、 $A_2$  と呼ばれる軌道とスピンのもつれた固有状態を持つ励起状態への共鳴吸収を用いることで実証した。まずは、電子スピン幾何学キュービットの任意状態生成を行った。これに  $A_2$  励起状態に共鳴する波長 (637nm) の任意偏光状態の光子を 10ns 照射し、その後発光する光子を単一光子検出器で検出した。様々な電子スピン状態と光子偏光状態の組み合わせで吸収確率を測定することにより、電子スピンと光子偏光の吸収過程の量子プロセストモグラフィを行った (図 1)。その結果、電子スピンと光子偏光との量子もつれが忠実度 98% で検出できることがわかった。本実験において、電子スピンは一つであることが確約されており、一方で光子は平均光子数 0.1 と 2 光子以上が関与する確立を 1% 以下にしているため、単一電子スピンと単一光子偏光の量子もつれ検出となっている。

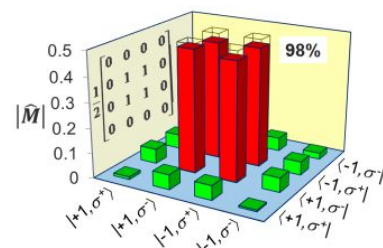


図 1 ダイヤモンドを用いた吸収による電子と光子の量子もつれ検出の実験結果。

- ・上記手法を応用した独自の量子テレポーテーションの原理により、単一光子から基底状態の単一電子スピンへの量子状態転写の実験に成功した (Nature Photonics 掲載)

**[詳細]** 光学波長帯 (637nm) の単一光子から電子スピンを補助量子として単一核スピン幾何学キュービットへの量子コヒーレンス転写を行った図 2。図 2(c) にラジオ波の明状態および暗状態に射影した核スピン偏極率の入射偏光依存性を示す。偏光に応じて明状態と暗状態が交代し、光子の偏光量子状態が核子のスピン偏極状態へと 91% の忠実度で転写されたことを意味している。本実験でも、吸収される光子の平均光子数が 1 より十分少ないため、単一光子から単一核子への量子メディア変換になっている。

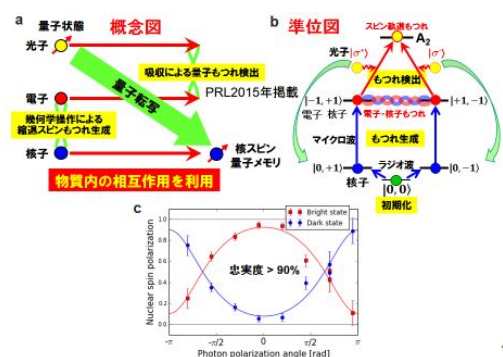


図 2 ダイヤモンドを用いた単一光子から単一核子への量子テレポーテーション転写

・ポストセレクションによる転写の純粋化とその忠実度の評価を行い、90%以上の忠実度で量子状態転写の量子性を明らかにした (PLMCN および PASPS 国際学会口頭発表)。

**[詳細]** 転写の成功を補助量子である電子スピンの変化を通して量子非破壊で読み出すポストセレクション(事後選択)により、転写の確率が低くとも、転写の忠実度を高く維持することができることを示した。

・量子メモリーとしての性能を決める位相緩和時間を、独自の幾何学スピンエコーの手法で世界最長の 1.9ms とすることに成功した (*Nature Communications* 掲載)。これにより、基底状態の電子は正孔との再結合によって崩壊することがないため量子メモリーとして最適であることを示すことに成功した。

**[詳細]** 電子スピンおよび核スピンの論理基底 ( $m_s = \pm 1$ ) をエネルギー縮退させるために外部磁場を地磁気よりさらに低減していくと、幾何学電子スピキュビットの位相緩和時間  $T_2$  (量子メモリ時間) が急激に伸長することを実験により明らかにした。エコー操作をしない場合の見掛けの位相緩和時間は  $0.6 \mu\text{s}$  であった。これに対し、エコー操作した場合の位相緩和時間は  $85 \mu\text{s}$  と 150 倍の量子メモリ時間延長効果が得られた。このエコー操作を繰り返し行うことで、同位体制御をしていない試料では世界記録となる室温で 1.9 ミリ秒の位相緩和時間を得た (QCrypt 発表)。

#### 5. 主な発表論文等

(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 15 件)

1. Sen Yang, Ya Wang, Thai Hien Tran, S. Ali Momenzadeh, M. Markham, D. J. Twitchen, Rainer Stohr, Philipp Neumann, Hideo Kosaka, and Jorg Wrachtrup, "High delity storage of arbitrary photon states in a single nuclear spin", *Nature Photonics*, in press (2016)
2. Yuhei Sekiguchi, Yusuke Komura, Shota Mishima, Touta Tanaka, Naeko Niikura and Hideo Kosaka, "Geometric spin echo under zero field", *Nature Communications*, 7,11668 (2016) ,(DOI: 10.1038/ncomms11668), 査読有, 謝辞有
3. Hideo Kosaka, Naeko Niikura, "Entangled Absorption of a Single Photon with a Single Spin in Diamond" *Phys. Rev. Lett.*, 114,(2015),053603. (DOI:10.1103/PhysRevLett.114.053603) , 査読有, 謝辞有
4. Burkhard Scharfenberger, Hideo Kosaka, William Munro, Kae Nemoto, "Absorption-based

Communication with NV centres", *New Journal of Physics*, NJP-103145.R1,(DOI: 10.1088/1367-2630/17/10/103012) , 査読有, 謝辞有

5. Sen Yang, Ya Wang, Thai Hien Tran, S Ali Momenzadeh, Rainer Stoehr, Philipp Neumann, Hideo Kosaka, Joerg Wrachtrup, "Optical quantum memory made from single nuclear spin in nitrogen vacancy in diamond", *Bulletin of the American Physical Society* vol. 60, Number 1, A37.4, APS. (2015), 査読有, 謝辞有
6. Takahiro Inagaki, Hideo Kosaka, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Process tomography of coherent state transfer from light polarization to electron spin polarization in a semiconductor", *Phys. Rev. B* 89, (2014), 085311.(DOI: 10.1103/PhysRevB.89.085311) , 査読有, 謝辞有
7. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, D. Kim, M. Nakayama, G. Oohata, H. Oka, H. Ajiki, and H. Ishihara, "Observation of bound and antibound states of cavity polariton pairs in a CuCl microcavity", *Phys. Rev. B* 89, (2014), 035317.(DOI:10.1103/PhysRevB.89.035317), 査読有, 謝辞有
8. Nobuhiko Yokoshi, Hiroshi Imamura, and Hideo Kosaka, "Creation of entangled spin qubits between distant quantum dots", *Phys. Rev. B* 88,(2013),155321.(DOI:10.1103/PhysRevB.88.155321), 査読有, 謝辞有
9. Rui-Bo Jin, Ryosuke Shimizu, Fumihiko Kaneda, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka and Keiichi Edamatsu, "Entangled-state generation with an intrinsically pure single-photon source and a weak coherent source", *Phys. Rev. A*, 88, (2013),012324.(DOI:10.1103/PhysRevA.88.012324) , 査読有, 謝辞有
10. Kenta Asakura, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka and Naoki Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in self-assembled quantum dots in the presence of a local field effect", *Phys. Rev. B*,87,241301(R)(2013),(DOI:10.1103/PhysRevB.87.241301), 査読有, 謝辞有
11. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Ryuta Hitomi, Fumishige Izawa, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori and Keiichi Edamatsu, "Coherent transfer of time-bin photons to electron spins in a semiconductor", *Phys. Rev. A*,85,(2012),042304.(DOI:10.1103/PhysRevA.85.042304), 査読有, 謝辞有
12. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, Y. Kanatani, D.

- Kim, M. Nakayama, G. Oohata, H. Oka, H. Ajiki, H. Ishihara, "Polarization dependence of four-wave mixing via biexcitons in CuCl microcavities", *Physica Status Solidi ( C )*, 2505-2508, 9 (2012),(DOI: 10.1002/pssc.201200326) ,[査読有](#), [謝辞有](#)
13. K. Asakura, Y. Mitsumori, [H. Kosaka](#), K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki and N. Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in self-assembled quantum dots studied by photon echoes", *Physica Status Solidi ( C )*, 2513-2516, 9 (2012),(DOI: 10.1002/pssc.201200328) ,[査読有](#), [謝辞有](#)
  14. M. Yabuno, R. Shimizu, Y. Mitsumori, [H. Kosaka](#), and K. Edamatsu, "Four-Photon Quantum Interferometry at a Telecom Wavelength", *Phys. Rev. A*, 86 (2012), 010302.(DOI:10.1103/PhysRevA.86.010302) , [査読有](#), [謝辞有](#)
  15. Fumihiro Kaneda, Ryosuke Shimizu, Satoshi Ishizaka, Yasuyoshi Mitsumori, [Hideo Kosaka](#), Keiichi Edamatsu, "Experimental Activation of Bound Entanglement", *Physical Review Letters* 109,(2012),040501.(DOI:10.1103/PhysRevLett.109.040501),[査読有](#), [謝辞有](#)
- [学会発表](計 76 件)
1. Yuhei Sekiguchi, Naeko Niikura, Ryota Kuroiwa, Joerg Wrachtrup, and [Hideo Kosaka](#), "Teleportation-based Quantum Media Conversion from photons to a nuclear spin in diamond", *Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (PLMCN)* ( Mar. 28, 2016, Nara )
  2. [小坂英男](#), 「ダイヤモンド NV 中心における光子 - 電子 - 核子の量子メディア変換」(招待講演) 日本物理学会 2016 年年次大会(2016 年 3 月 21 日、関西学院大学)
  3. [小坂英男](#), 「量子の正体～さまざまに形を変える量子～」(招待講演) 平成基礎科学財団「楽しむ科学教室」第 94 回講演、東京大学、2015 年 10 月 24 日
  4. Burkhard Scharfenberger, [Hideo Kosaka](#), William J. Munro and Kae Nemoto, "Absorption-based Quantum Communication with NV centres", *QCrypt* (Sep. 29, 2015, Tokyo)
  5. Yusuke Komura, Yuhei Sekiguchi, Shota Mishima, Touta Tanaka, Naeko Niikura and [Hideo Kosaka](#), "Diamond based quantum repeater device -Geometric bang-bang echo for quantum state preservation", *QCrypt* (Sep. 29, 2015, Tokyo)
  6. Yuhei Sekiguchi, Yusuke Komura, Shota Mishima, Touta Tanaka, Naeko Niikura, and [Hideo Kosaka](#), "Diamond based quantum repeater device -Degenerate spin echo for quantum state recovery-" (poster), 5th International Conference on Quantum Cryptography (QCrypt 2015), Tokyo, Japan, Sept. 28 – Oct. 2, 2015
  7. Naeko Niikura, Shota Mishima, Touta Tanaka, Yuhei Sekiguchi, Yusuke Komura and [Hideo Kosaka](#), "Diamond based quantum repeater device -Entanglement detection for quantum state swapping", *QCrypt* (Sep. 29, 2015, Tokyo)
  8. Yuhei Sekiguchi, Yusuke Komura, Shota Mishima, Touta Tanaka, Naeko Niikura, and [Hideo Kosaka](#), " Geometric echo of a purely geometric spin qubit in diamond ", *SpinTech* , (Basel., Aug. 2015)
  9. [Hideo Kosaka](#) and Naeko Niikura, " Entangled absorption of a single photon with a single spin in diamond ", *SpinTech* , (Basel., Aug. 2015)
  10. Sen Yang, Ya Wang, Thai Hien Tran, S Ali Momenzadeh, Rainer Stoehr, Philipp Neumann, [Hideo Kosaka](#), Joerg Wrachtrup, "Optical quantum memory made from single nuclear spin in nitrogen vacancy in diamond", *American Physical Society, March Meeting (APS Mar. 2, 2015)*, San Antonio, USA.
  11. Kaoru Ohno, Shota Ono, Swastibrata Bhattacharyya, Tomoyuki Horikiri, and [Hideo Kosaka](#), "Development of a time-dependent T-matrix theory", *ISC-QSD2014, Japan, 2014.12.1-3.*
  12. Burkhard Scharfenberger, [Hideo Kosaka](#) and Kae Nemoto, "14N nitrogen vacancy centers as three-qubit systems?", *Hefei, China, QCMC2014, 2014.11.2-6.*
  13. [H.Kosaka](#), "Quantum Repeater Approach based on Diamond Spin Qubit" (Invited talk), *Lasers and Electro-Optics (CLEO)/Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS)*, San Jose, USA, Jun. 8-13, 2014.
  14. Burkhard Scharfenberger, William J. Munro, [Hideo Kosaka](#) and Kae Nemoto, "NV- based quantum repeaters", *Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)*, Berlin 3.21.2014.
  15. [Hideo Kosaka](#), Naeko Niikura, Naofumi Abe, Yasuyoshi Mitsumori and Keiichi Edamatsu, "Photon-spin interaction in a single NV center in diamond", *JSPS-MRS*, 20a-M4-2, Kyoto, Japan, Sep. 20, 2013.

16. 小坂英男、「ダイヤモンド量子ビットを用いた量子中継素子の研究」(招待講演) 第74回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「量子情報デバイスとその周辺」17p-A13 - 9、立命館大学、2013年9月17日
17. Hideo Kosaka, Naeko Niikura, Naofumi Abe, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu, "Photon-spin conversion in a single NV center in diamond" (Poster), Spintech VII, Jul. 29-Aug.2, 2013, Chicago, USA. Presented on Aug. 1, 2013.
18. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu Spintech, "Process Tomography of Coherent State Transfer from Light Polarization to Electron Spin Polarization in a Semiconductor"(Oral), Spintech VII, Jul. 29-Aug. 2, 2013, Chicago, USA. Presented on Aug. 1, 2013.
19. "Naeko Niikura, Hideo Kosaka\*, Naofumi Abe, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu, Magneto-optical double resonance of a single NV center in diamond for photon-spin state transfer", The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2013), Jun. 30-Jul. 4, 2013, Kyoto, Japan.
20. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Process Tomography of Coherent State Transfer from Light Polarization to Electron Spin Polarization in a Semiconductor", The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2013), June 30-July 4, 2013, Kyoto, Japan.
21. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Ryuta Hitomi, Fumishige Izawa, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu, "Coherent transfer of time-bin photons to electron spins in a semiconductor"(oral), The 31st international conference on the physics of semiconductors (ICPS2012), 7/29-8/3, Zurich, Switzerland.
22. F. Kaneda, R. Shimizu, S. Ishizaka, Y. Mitsumori, H. Kosaka and K. Edamatsu, "Activation of Bound Entanglement in a Four-Qubit Smolin State"(poster), 11th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2012), 7/30-8/3, Vienna, Austria.
23. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Ryuta Hitomi, Fumishige Izawa, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu, "Time-bin photonic state transfer to electron spin state in solids" (poster), 11th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing (QCMC 2012), 7/30-8/3, Vienna, Austria.
24. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, Y. Kanatani, D. Kim, M. Nakayama, G. Ohata, H. Oka, H. Ajiki and H. Ishihara, "Polarization Dependence of Four Wave Mixing via Biexcitons in CuCl Microcavities" (poster), Fifth International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA12), 2012/6/4-7, Nara, Japan.
25. Hideo Kosaka, Takeshi Kutsuwa, Takahiro Inagaki, Ryuta Hitomi, Fumishige Izawa, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, and Keiichi Edamatsu, "Polarization state transfer from a photon to an electron spin in a gate-defined single quantum dot"(oral), The 7th International Conference on Quantum Dots (QD 2012), 5/13-5/19, SantaFe, USA.
26. Hideo Kosaka, Takahiro Inagaki, Ryuta Hitomi, Fumishige Izawa, Yoshiaki Rikitake, Hiroshi Imamura, Yasuyoshi Mitsumori, Keiichi Edamatsu, "Coherent Transfer of Time-bin Photons to Electron Spins in a Semiconductor"(oral), Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics & Laser Conference (CLEO/QELS2012), 5/6-5/12, SanJose, USA.

他 46 件

〔図書〕特になし  
 〔産業財産権〕特になし  
 〔その他〕ホームページ等

<http://www.quantum.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小坂 英男 (KOSAKA HIDEO)

横浜国立大学・大学院工学研究院 物理情報工学専攻・教授

研究者番号：20361199