

平成 21 年 5 月 14 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2008

課題番号：17068001

研究課題名（和文）光ファイバー通信波長帯量子ドットを用いた高次機能光子源の研究

研究課題名（英文）Single-Photon Generation and Detection and Its Conversion to Electron Spin States for Quantum Information Applications

研究代表者

末宗 幾夫（SUEMUNE IKUO）

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：00112178

研究成果の概要：

量子情報通信では、量子情報を伝送する光子状態とこれを量子情報処理することが期待されている電子スピン状態の量子情報変換が重要である。これまでに励起子状態を準共鳴励起することにより、入射円偏光状態を92～100%の量子効率で電子スピン状態に変換し、再度電子スピンから同じ円偏光状態に変換することを試みた。その結果、全体としての量子効率として92%という高い値を達成した。これは量子情報変換を実現する基礎となる。

光子の検出に関しては、InGaAs APD を正弦波変調することにより、アフターパルスなどの雑音発生を防ぎ、単一光子検出器の動作を 800MHz まで高速化した。この高速光子検出器を使って NTT と共同で量子鍵配送実験を行った。これによって、15km の通信距離では鍵生成率 1.5M ビット/秒、ビットエラー率 2.3% の高性能を実現した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	17,400,000	0	17,400,000
2006年度	20,800,000	0	20,800,000
2007年度	17,400,000	0	17,400,000
2008年度	13,900,000	0	13,900,000
年度			
総計	69,500,000	0	69,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子電気材料工学

キーワード：量子ドット、単一光子源、単一光子検出器、量子状態変換、電子スピン、円偏光

1. 研究開始当初の背景

膨大な情報量の伝送を可能にした光通信も、ネットワーク化のためのルーティング等を電気信号処理に依存する現在のシステムでは、インターネットトラフィックの急増とともに、そのボトルネックの顕在化が危惧される。また、これまでは光の強度に情報をのせる伝送技術が中心であったが、将来の柔軟で信頼性の高いネットワークへ発展させるためには、光の位相や量子状態を自在に制御するなど、いわば光の高次機能を発現させる

新しい学術基盤の構築と光デバイスのイノベーションが急務である。

2. 研究の目的

量子ドットは、その特有の離散的な準位を利用した低しきい値高速高性能レーザや波長多重通信多チャンネル増幅器への応用などに向けて、研究が活発に進められている。これに加えて、単一量子ドットの量子準位を用いた単一光子発生に関する研究も、将来の量子暗号通信への応用を目指して近年急速

に活発化している。その研究の中心である InAs 量子ドットはこれまで、ひずみの効果のために長波長化することが困難であった。これを真に長波長光通信用光源に適用できるようにする方法として、圧縮応力を内包する InAs 量子ドットと引っ張りひずみを持つ GaAsN を組み合わせて、全体としてのひずみを低減する方法を提案し、関連の研究を続けてきた。当該研究の研究目的は、(1) GaNAs ひずみ補償層を用いた長波長単一 InAs 量子ドットと高い共振 Q 値を持つ微小光共振器の共振モードとを結合させ、長波長光ファイバー通信用単一光子源を開発する。(2) 単一光子源の動作確認として、一度にただ一つの光子が発生していること(光子アンチバンチング)を2経路同時観測によって確認する。(3) 量子ドットから発生する光子対について光子相関測定し、量子科学で最も重要なエンタングルした(量子的に絡み合った)光子対発生の基礎を固める。(4) さらに高速に光子を検出できる単一光子検出器を開発する。

3. 研究の方法

効率の良い単一光子源を実現するには、微小光共振器の共振モードに発生した光子を結合させ、これを外部に指向性良く取り出すことが必要である。フォトニック結晶の共振モードとの結合も考慮してこのような性能の実現に努める。

鍵配布実験に適した実用的な光子源を実現するため、ダイオード光源化の検討を進める。

単一光子検出器の動作をさらに高性能化して動作速度の実現を目指す。

4. 研究成果

これまでに InAlAs 量子ドットでは単一光子の発生を光子相関測定で確認しているが、このような単一光子の発生をいわゆる「オンデマンド」の動作にするためのポイントは、光子を半導体外部に取り出す効率を上げることである。現在、金属共振器で検討を続けており、一桁以上の発光増強が観測されており、このような動作に近づける可能性を見いだしている。また量子ドット発光波長の長波長化についても、GaAsN ひずみ補償層の導入により、1.55 ミクロンの光ファイバー通信波長帯まで長波長化することが可能である。

量子情報通信では、量子情報を伝送する光子状態とこれを量子情報処理することが期待されている電子スピン状態の量子情報変換が重要である。これまでに励起子状態を準共鳴励起することにより、入射円偏光状態を92~100%の量子効率で電子スピン状態に変換し、再度電子スピンから同じ円偏光状態に変換することを試みた。その結果、全体としての量子効率として92%という高い値を達成した。こ

れは量子情報変換を実現する基礎となる。

光子の検出に関しては、InGaAs APDを正弦波変調することにより、アフターパルスなどの雑音発生を防ぎ、単一光子検出器の動作を800MHzまで高速化した。この高速光子検出器を使ってNTTと共同で量子鍵配送実験を行った。これによって、15kmの通信距離では鍵生成率1.5Mビット/秒、ビットエラー率2.3%の高性能を実現した。

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 20 件) **全て査読有り**

①Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, M. Jo, H. Kumano, and I. Suenune: “Superconductor-based Light Emitting Diode: Demonstration of Role of Cooper Pairs in Radiative Recombination Processes” *Appl. Phys. Express* **1**, 011701-1~3 (2008).

②S. Adachi, H. Sasakura, N. Yatsu, R. Kaji, K. Yamada, S. Mito, H. Kumano, I. Suenune: “Fourier Spectroscopy of Decoherence of Exciton and Their Complexes in Single InAlAs Quantum Dots” *phys. stat. sol. (c)*, Vol. **5**, Issue 1 pp. 351-355 (January 2008).

③I. Suenune, T. Akazaki, K. Tanaka, M. Jo, K. Uesugi, M. Endo, H. Kumano, and E. Hanamura: “Role of Cooper Pairs for the Generation of Entangled Photon Pairs from Single Quantum Dots” *Microelectronics Journal*, Vol. **39** pp. 344-347 (2008).

④H. Kobayashi, H. Kumano, M. Endo, M. Jo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Mito: “Highly Circular-polarized Single Photon Generation from a Single Quantum Dot at Zero Magnetic Field” *Microelectronics Journal*, Vol. **39**, pp. 327-330 (2008).

⑤H. Kumano, H. Kobayashi, Y. Hayashi, M. Jo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Mito: “Single Photon Emission with High Degree of Circular Polarization from a Single Quantum Dot Under Zero Magnetic Field” *Physica E* Vol. **40**, pp. 1824-1827 (2008).

⑥J. Ibanez, R. Gusco, E. Alarcon-Llado, L. Artus, A. Patane, D. Fowler, L. Eaves, K. Uesugi, and I. Suenune: “Electron Effective Mass and Mobility in Heavily Doped n-Ga(As) Probed by Raman Scattering” *Journal of Applied Physics*, Vol. **103** (2008) pp. 103528-1~5.

⑦P. Thilakan, G. Sasikala, and I. Suenune: “Fabrication

and Characterization of a High Q Microdisc Laser Using InAs Quantum Dot Active Regions” *Nanotechnology* Vol. **18**, 055401-1~4 (2007).

⑧ R. Kaji, S. Adachi, H. Sasakura, S. Mito, H. Kumano, and I. Suenune: “Detailed Measurements of Nuclear Spin Polarizations in a Single InAlAs Quantum Dot Through Overhauser Shift of Photoluminescence” *J. Supercond. Nov. Magn.* Vol. **20** pp. 447-451 (2007).

⑨ N. Matsuura, S. Mito, S. Ganapathy, I. Suenune, K. Numata, and K. Yabuta: “Anisotropic Lattice Deformation of InAs Self-assembled Quantum Dots Embedded in GaNAs Strain Compensating Layers” *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.* Vol. **45**, No. 2, pp. L57-L59 (2006).

⑩ I. Suenune, G. Sasikala, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani, T. Matsumoto, J.-T. Maeng, and T.-Y. Seong: “Role of a Nitrogen Precursor Supplied on InAs Quantum Dots Surfaces in Their Emission Wavelengths” *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. **45**, No. 21 pp. L529-L532 (2006).

⑪ W. Zhang, K. Uesugi, and I. Suenune: “Application of InGaAs/GaN Strain-compensated Superlattice to InAs Quantum Dots” *J. Appl. Phys.* Vol. **99**, No. 10, pp. 103103-1-7 (2006).

⑫ H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: “Triggered Single Photon Emission and Cross-correlation Properties in InAlAs Quantum Dot” *Physica E*, Vol. **32**, pp. 144-147 (2006).

⑬ H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, and I. Suenune: “Deterministic Single-photon and Polarization-correlated Photon-pair Generations from a Single InAlAs Quantum Dot” *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics* Vol. **1**, pp. 39-51 (2006). (*Invited Review Paper*)

⑭ I. Suenune, H. Kumano, S. Kimura, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usui: “Origin of Asymmetric Splitting of a Neutral Exciton in a Single Semiconductor Quantum Dot” *phys. stat. sol. (c)* Vol. **3**, No. **11** (2006) pp. 3908-3911

⑮ Y. Nabetani, T. Matsumoto, G. Sasikala, X. Q. Zhang and

I. Suenune: “Theoretical Studies of Strain States in InAs Quantum Dots and Dependence on Their Capping Layers” *J. Appl. Phys.* Vol. **98**, No. 6, 063502-1~7 (2005).

⑯ S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suenune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: “Photon Antibunching Observed from an InAlAs Single Quantum Dot” *Jpn. J. Appl. Phys. Express Lett.* Vol. **44**, No. 25 pp. L793-L796 (2005).

⑰ S. Mito, S. Adachi, T. Yokoi, S. Kayamori, H. Sasakura, and I. Suenune: “Photon-spin Qubit-conversion Based on Overhauser Shift of Zeeman Energies in Quantum Dots” *Appl. Phys. Lett.* Vol. **87**, No. 11, 112506-1~3 (2005).

⑱ G. Sasikala, I. Suenune, P. Thilakan, H. Kumano, and K. Uesugi, Y. Nabetani, T. Matsumoto and H. Machida: “Structural and Luminescence Properties of InAs Quantum Dots: Effect of Nitrogen Exposure on Dot Surfaces” *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.* Vol. **44**, No. 50, pp. L1512-L1515 (2005).

⑳ S. Adachi, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Mito, H. Kumano, and I. Suenune: “Dynamic Nuclear Polarization in a Self-Assembled InAlAs Dot” *phys. stat. sol. (c)* Vol. **2**, No. 11, pp. 3838-3842 (Nov. 2005).

㉑ S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suenune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: “Single-Photon Generation from InAlAs Single Quantum Dot” *phys. stat. sol. (c)* Vol. **2**, No. 11 (2005) pp. 3833-3837. [学会発表] (計 39件)

㉒ I. Suenune, H. Kumano, Y. Hayashi, M. Jo, and Y. Idutsu: “Photon Generations from Semiconductor Quantum Dots and Their Applications to Next-Generation Information Technology” 2008 International Symposium on Global OCE Program of Center for Next-Generation Information Technology based on Knowledge Discovery and Knowledge Federation, Sapporo, Japan (2008). January 22-23, 2008

㉓ Y. Idutsu, H. Sato, S. Ito, and I. Suenune: “Development of Nanofabrication Techniques for Nanophotonic Structures and Devices” 2008 RIES-Symposium, Sapporo, Japan, P41 (2008). January 28-29, Sapporo, Japan

㉔ I. Suenune, Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, M. Jo, and H. Kumano: “New Light Emitting Diode with Superconducting Electrodes” 2008 Japanese-German-Spanish Joint Workshop, Workshop on Frontier Photonic and Electronic Materials and Devices, Hakone, Kanagawa, Japan, (2008). (*Invited*) March

5-6, 2008

④ H. Kumano, S. Ekuni, H. Kobayashi, H. Sasakura, I. Suenune, S. Adachi, and S. Mito: "Optical-phonon Mediated Efficient Spin-state Transfer Between Electron Spin and Photon Polarization with a Single Quantum Dot without External Field" International conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (PLMNS), Tokyo, Japan, WeP-9, p. 64(2008). April 7 - 11, 2008,

⑤ S. Adachi, R. Kaji, K. Yamada, S. Mito, H. Sasakura, H. Kumano, I. Suenune: "Nuclear Field-mediated Measurement of Effective g factors of Quantum Dots" International conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (PLMNS), Tokyo, Japan, TuB-3, p. 28(2008). April 7 - 11, 2008

⑥ H. Kumano, H. Kobayashi, S. Ekuni, H. Sasakura, I. Suenune, S. Adachi, and S. Mito: "Spin-flip Quenching during Energy Relaxation Processes Mediated by Optical-phonons in a Single Quantum Dot" 5th International Conf. on Semiconductor Quantum Dots, Gyeongju, Korea, THP-030(2008). May 11-16, 2008

⑦ M. Takada, Y. Idutsu, Y. Hayashi, T. Akazaki, H. Sasakura, H. Kumano, I. Suenune: "Observation of Enhanced Luminescence Emitted from InAs Quantum Dots with Direct Contact to Superconducting Niobium Stripe" 5th International Conf. on Semiconductor Quantum Dots, Gyeongju, Korea, Th1-0-03(2008). May 11-16, 2008

⑧ Y. Idutsu, S. Miyamura, and I. Suenune: "Improved Luminescence Efficiency of InAs Quantum Dots Grown on Atomic Terraced GaAs Surfaces Prepared with In-situ Chemical Etching" 5th International Conf. on Semiconductor Quantum Dots, Gyeongju, Korea, THP-056(2008). May 11-16, 2008

⑨ M. Jo, Y. Hayashi, H. Sasakura, H. Kumano, I. Suenune, S. Adachi, S. Mito, S. Suraprapich, and C. W. Tu: "Reduced Fine Structure Splitting of Excitons in Self-assembled InAs/GaAs Quantum Rings" 5th International Conf. on Semiconductor Quantum Dots, Gyeongju, Korea, THP-051(2008) May 11-16, 2008.

⑩ Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, M. Jo, H. Kumano, and I. Suenune: "Luminescence of n-InGaAs/p-InP Diode with Superconducting Nb Electrode" The 20th IEEE Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'08), Versailles, France, MoB3-1(2008). 25-29 May 2008

⑪ H. Sasakura, Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, S. Kuramitsu, H. Kumano, I. Suenune: "Superconducting Effect on Radiative Recombinations in Long-wavelength Light Emitting Diode" 66th Device Research Conference, University of California, Santa Barbara, CA, VII.B-3(2008). June 23-25, 2008

⑫ H. Kumano, S. Ekuni, H. Sasakura, I. Suenune, S. Adachi, and S. Mito: "Photon-state Conversion with Well-defined Spin States in a Single Quantum Dot Without Magnetic Field" 29th International Conference on the Physics of Semiconductors, Rio de Janeiro, Brazil, TuP-C1-084(2008). July 27-August 1, 2008

⑬ Y. Idutsu, M. Takada, Y. Hayashi, T. Akazaki, H. Sasakura, H. Kumano, and I. Suenune: "InAs Quantum Dots with Direct Contact to Niobium Electrode: Enhancement of Luminescence Intensity Below Superconducting Critical Temperature" The 15th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, University of British Columbia, Vancouver, Canada, THP15, p. 223 (2008). August 3-8, 2008

⑭ M. Sato, M. Jo, and I. Suenune: "Conversion from Type-II to Type-I Transition due to Sb Composition in GaAsSb/GaAs Single Quantum Wells" The 15th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, University of British Columbia, Vancouver, Canada, MP5, p. 21(2008). August 3-8, 2008,

⑮ H. Kobayashi, H. Kumano, M. Endo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Mito: "Spin Splitting of Neutral Exciton Emission from A Single Quantum Dot" The 8th RIES-Hokudai International Symposium, Sapporo(2007). December 11-12

⑯ H. Kobayashi, H. Kumano, M. Endo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Mito: "Highly Circular-polarized Photon Generation from a Single Quantum Dot at Zero Magnetic Field" Sixth International Conference on Low Dimensional Structures and Devices (LDS2007), San Andres, Mexico(2007). April 15 -20

- 17) I. Suenune, T. Akazaki, K. Tanaka, M. Jo, K. Uesugi, M. Endo, H. Kumano, and E. Hanamura: "Role of Cooper Pairs for the Generation of Entangled Photon Pairs from Single Quantum Dots" Sixth International Conference on Low Dimensional Structures and Devices (LSD2007), San Andres, Columbia (2007). April 15 -20
- 18) Y. Idutsu, M. Endo, K. Uesugi, and I. Suenune: "Surface Passivation Effect of Electron-beam Resist on InAs Quantum Dots and Their Improved Luminescence Efficiency" 19th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM' 07), Matsue, Japan, PB21, Conference Proceedings, pp. 285-288 (2007). May 14-18,
- 19) K. Uesugi, M. Sato, Y. Idutsu, and I. Suenune: "Growth Process of GaAs Cap Layers on GaSb/GaAs Quantum Dot Surfaces" 19th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM' 07), Matsue, Japan, ThA1-4, pp. 462-465 (2007). May 14-18,
- 20) Ikuo Suenune: "Photon Generation Processes from Single Quantum Dots" International Symposium for the Promotion of Academic Exchange, Sapporo, (2007). March 22
- 21) H. Kumano, H. Kobayashi, Y. Hayashi, M. Endo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Mito: "High Degree of Circular Polarization Single Photon Emission from a Single Quantum Dot Under Non-Resonant Excitation and Zero Magnetic Field" International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems and Modulated Semiconductor Structures, Genova, Italy, S. M2, pp. 18-20 (2007). July 15-20
- 22) N. Yatsu, S. Adachi, H. Sasakura, S. Mito, H. Kumano, and I. Suenune: "Fourier Spectroscopy of Decoherence of Exciton and Exciton Complexes in Single InAlAs Quantum Dots" 15th International Conference on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS-15) Tokyo (2007). July 23-27
- 23) J. Ibanez, E. Alarcon-Llado, R. Gusco, L. Artus, D. Fowler, A. Patane, K. Uesugi, and I. Suenune: "LO Photon-Plasmon Coupled Modes and Carrier Mobilities in Heavily Se-doped Ga(As, N) Thin Films" The International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA2007) London (2007). July 30-August 3
- 24) Y. Hayashi, K. Tanaka, T. Akazaki, H. Kumano, and I. Suenune: "Luminescence Observed from A Junction Field-Effect Transistor with Nb/n-InGaAs/Nb Josephson Junction" 34th International Symposium on Compound Semiconductors, Kyoto, Japan, WeB I-3, p. 260 (2007). October 15-18
- 25) H. Takayanagi, R. Inoue, T. Akazaki, K. Tanaka, M. Jo, and I. Suenune: "Differential Resistance Oscillations in a Superconductor-semiconductor Junctions" International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology, Waikoloa, Hawaii, USA (2007). December 2-7
- 26) I. Suenune, H. Kumano, S. Kimura, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Origin of Asymmetric Splitting of a Neutral Exciton in a Single Semiconductor Quantum Dot" 4th International Conference on Quantum Dots, Chamonix-Mont Blanc, France (2006). May 1-5,
- 27) Wei Zhang, Katsuhiko Uesugi, and Ikuo Suenune: "Influence of Strain Modulations in Capping Layers of InAs Quantum Dots with Compressive-InGaAs and Tensile-GaN Layer Structures" TMS 2006 Electronic Materials Conference, Pennsylvania State University, PA, USA (2006). June 28-30
- 28) M. Jo, M. Endo, H. Kumano, and I. Suenune: "Discrimination of isoelectronic centers and type-II quantum dots with ZnTe embedded in ZnSe" TMS 2006 Electronic Materials Conference, Pennsylvania State University, PA, USA (2006). June 28-30
- 29) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, S. Adachi, H. Sasakura, S. Mito, and I. Suenune: "Polarization Preservation between Photon Pairs from a Biexciton-Exciton Cascaded Decay Process in a Single InAlAs Quantum Dots" 28th International Conference on the Physics of Semiconductors, Vienna, Austria (2006). July 24-28
- 30) T. Mikumoto, T. Yokoi, S. Adachi, H. Sasakura, H. Kumano, S. Mito and I. Suenune: "Optically Pumped Nuclear Spin Polarization in a Self-assembled Quantum Dot" 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV), Sendai (2006). August 15-18

- 31) H. Nishida, S. Kayamori, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, and I. Suenune: "Time-resolved Photoluminescence in Annealed Self-assembled InAs Quantum Dots" 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV), Sendai (2006). August 15-18
- 32) I. Suenune: "Superconductor-based Quantum-dot Light Emitting Diodes (SQLED) - Role of Cooper-pairs in the Recombination Processes in Quantum Dots" Workshop on Photon and Spins: Their Generation, Manipulation, and Detection, Sapporo (2006). December 12-13
- 33) N. Matsuura, S. Mito, S. Ganapathy, I. Suenune, K. Numata, and K. Yabuta: "Anisotropic Lattice Deformation of InAs Self-assembled Quantum Dots Strain Compensated with GaAsN Burying Layers" 47th IIMS 2005 Electronic Materials Conference, University of California Santa Barbara, MB (2005). June 22-24
- 34) T. Yokoi, S. Adachi, H. Sasakura, S. Mito, H. Kumano, and I. Suenune: "Overhauser Shift in a Self-assembled Quantum Dot" Spintech III, Awaji Island, (2005). August 1-5
- 35) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suenune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Highly Pure Single Photon Generation from Single Quantum Dot" 5th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, Glasgow, Scotland, S11-2 (2005). June 8-11
- 36) K. Uesugi, W. Zhang, and I. Suenune: "Bright Luminescence from InAs/GaAs Open Quantum Dots at Room Temperature: Dependence on GaAs Surface Reconstructions" The 23rd International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS-23) Awaji Island, Hyogo, ThP-81 (2005). July 24 - July 29
- 37) W. Zhang, K. Uesugi, N. Matsuura, and I. Suenune: "Strain-compensation of InAs Quantum Dots: Dot Size Dependence" International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR2005) Tokyo, JTh2-1 (2005). July 11-15
- 38) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suenune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Mito, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki:

"Correlations and Anti-bunching of a Charged Exciton State and Exciton and Biexciton States in a Single Quantum Dot" Modulated Semiconductor Structure (MSS12) Albuquerque, USA, PC3-245 (2005). July 10-15

39) Hidekazu Kumano, Satoshi Kimura, Michiaki Endo, Ikuo Suenune, Hirotaka Sasakura, Satoru Adachi, Shin-ichi Mito, Hai Zhi Song, Shin-ichi Hirose, Tatsuya Usuki: "Relations of Neutral and Charged Excitons in a Single Quantum Dot Studied with Dynamic and Photon Correlation Measurements" 9th Optics of Excitons in Confined Systems and 2nd International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems, Southampton, UK, p. 34 (2005). September 5-11

[その他]

ホームページ等

<http://opmac06.es.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末宗 幾夫 (SUEMUNE IKUO)
北海道大学・電子科学研究所・教授
研究者番号：00112178

(2) 研究分担者

井上 修一郎 (INOUE SHUICHIRO)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：30307798

植杉 克弘 (UESUGI KATSUHIRO)
室蘭工業大学・工学部・准教授
研究者番号：70261352

熊野 英和 (KUMANO HIDEKAZU)
北海道大学・電子科学研究所・准教授
研究者番号：70292042

(3) 連携研究者

なし