

## 平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

◆ 記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字		SUEMUNE IKUO					
① 研究代表者氏名		末宗 幾夫		② 所属研究機関・部局・職 北海道大学・電子科学研究所・教授			
③ 研究課題名	和文	ピラミッド微小光共振器を用いた量子ドット励起子状態のコヒーレント制御に関する研究					
	英文	Study on coherent control of exciton states in quantum dots embedded in pyramidal microcavities					
④ 研究経費		平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	総 合 計
18年度以降は内約額 金額単位：千円		27,300	24,800	15,900	8,200	8,500	84,700
⑤ 研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在							
氏 名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
末宗 幾夫	北海道大学・電子科学研究所・教授	ナノフォトニクス	ピラミッド共振器を用いた励起子状態のコヒーレント制御ならびに量子情報処理基幹デバイスに関する総合的な研究と研究総括				
植杉 克弘	北海道大学・電子科学研究所・助手	結晶工学	ピラミッド構造の選択成長と単一量子ドットの埋め込み成長				
熊野 英和	北海道大学・電子科学研究所・助手	量子構造光物性	共振器において励起子状態をコヒーレント制御するための $\pi$ パルスの研究と関連した光子相関の研究				
⑥ 当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>電子系と光子の相互作用を、その位相関係も含めてコヒーレントに制御することを目指した研究が活発化している。これが可能になれば、電子系の波動関数そのものを、位相も含めてコヒーレントに制御することができる。光子を用いた量子計算や量子暗号通信では、位相関係も含めて真に同じ単一光子状態のパルス列を発生する必要があり、そのコヒーレント制御はその基礎を築く重要なマイルストーンとなる。さらに真のコヒーレント光通信も可能となり、飛躍的な通信容量の拡大が可能である。その鍵を握るのが電子系と光子が結合して両者の状態間をコヒーレントに周期的に遷移するラビ振動の制御である。特に周りの系からの摂動が少なくコヒーレンス時間が長い孤立した原子内の2準位は、コヒーレントな光と相互作用させるという点からは理想的な原子系であり、コヒーレント制御の研究が活発に進められている。ただ、光と相互作用する相対原子位置を確定することができず、相互作用には揺らぎの問題が不可避の問題として残る。その点人工原子とも言うべき半導体量子ドットは固体化の点で有利である。その代償として、孤立原子系に比べてフォノンなどによる緩和が激しく、緩和時間より相互作用時間を短くするといった条件を満たす必要がある。</p> <p>当該研究では、材料の観点からInAs系より数10倍振動子強度が大きいII-VI族半導体量子ドットを用いて相互作用を増強するとともに、これまで研究を続けてきたピラミッド型を中心として微小共振器で予測されている大きなパーセル増強因子を組み合わせ、真空場ラビ分裂の実現を目指す。さらに量子ドット内の励起子基底状態と励起状態間の遷移をコヒーレントに制御する<math>\pi</math>パルス技術を開発する。また励起子状態が実際にコヒーレントに制御されているか、遅延時間と位相関係を制御した2つの光パルスを用いた相関測定による確認を進める。さらに微小共振器へ高い量子効率で光子を入出力する光結合方法を開発し、コヒーレントに制御された状態からの単一光子列の発生によって量子情報処理への応用に向けた基礎を固める。</p>							

⑦これまでの研究経過 (研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。)

(1) 微小光共振器特性の改善

(1-1) ピラミッド微小共振器の DBR との結合による特性改善

研究開始当初 GaAs 基板上に作製した ZnS ピラミッド構造において共振 Q 値 $\sim$ 5000 の共振モードが観測された。これは GaAs における X, L 間接遷移帯の大きな状態密度による波長 400nm 付近における屈折率の増大による ZnS/GaAs 界面における反射率の増大によると考えられた。そこで下地の GaAs をより反射率の大きい分布反射ミラー(DBR)にすればより共振特性の向上が期待されると考え MOCVD 成長した反射率 $\sim$ 85%の 5 周期 ZnSe/(ZnSe-MgS SL) DBR 上に ZnS ピラミッドを作製した。しかし理論計算も併用することにより、両者の位相関係によって特性が微妙に変化することが分かった。理論計算では DBR の反射率が 99%まで高められれば、そのような位相感性を抑えることができることが分かり、Bremen Univ.の Prof. Hommel 教授との共同研究を進め、反射率 99%を持つ 20 周期の ZnSe/(ZnSe-MgS SL) DBR を作製し、特性向上の検討を続けている。

(1-2) マイクロディスク微小光共振器の室温レーザー発振

研究計画ではピラミッド型と並行してマイクロディスク(MD)型の微小共振器の検討を予定した。GaAs 系の MD 中に InAs 量子ドットを埋め込み、共振 Q 値 $\sim$ 5400 の共振器モードを観測すると共に、光励起ではあるが 80K で 9mW、室温で 120mW の極めて低いしきい値におけるレーザー発振を観測した。

(1-3) 短波長域フォトニック結晶・欠陥モード共振器の開発

研究開始の頃に比べるとフォトニック結晶は高い共振 Q 値が報告されるようになり、特性改善が著しい。当該研究でも高い共振 Q 値を実現する一研究方法として、特に当該研究で主に扱っているワイドギャップ量子ドットにフィットした短波長領域でのフォトニック結晶製作の検討を進めている。

(2) 単一量子ドットの作製と特性評価

(2-1) ZnCdS 単一エネルギー状態の動的特性評価

大きな振動子強度を持つ量子ドット(単一量子状態)として ZnCdS を取り上げ、薄い超格子構造にすることと、サブミクロン領域に選択成長することにより、単一量子状態からのシャープな発光を観測した。またストリークカメラを用いた時間分解分光により、単一量子状態へのエネルギー緩和過程の検討をすすめた。現在微細加工技術も駆使して、関連の研究を進めている。

(2-2) CdO 量子ドットの実現

II-VI 系量子ドットはこれまで主に研究が進められている InAs 系に比べて大きな振動子強度が期待されるが、特に ZnO など酸化物ではその効果が大きい。ヘテロ構造を作製する観点からは、同じ酸化膜である CdO 系で量子ドットを作製し、ZnO バリアで量子閉じ込めするのが有望と思われる。そこで CdO 量子ドットの作製を試み、第一歩としてのドットの作製に成功した。

(3) 量子ドットラビ分裂・ラビ振動の検討

これまでに ZnSe/(ZnSe-MgS SL) 微小共振器に埋め込んだ CdS 量子ドットを LO フォノン放出により共鳴励起することによってラビ分裂を観測しており、現在ラビ振動の観測に向かって検討を続けている。これまで報告されているラビ振動ではコヒーレンスの時間減衰が大きい、観測方法に関連した励起状態の緩和がデコヒーレンスの原因になっている場合も多い。この点を改善していく予定である。

(4) 励起子状態コヒーレント制御の検討

現在励起子状態のコヒーレンスを観測するための干渉系を構築中であり、ラビ振動が観測され次第、コヒーレント制御の検討を進める。

(5) 単一光子発生の検討

当該研究では最終的に単一光子レベルでコヒーレントに制御された単一量子ドットにおける励起子から、コヒーレントに制御された単一光子列の発生を試みる予定であるが、そのためには、単一量子ドットから単一光子の発生を確認する必要がある。これまでに、InAlAs 系量子ドットを用い、波長 $\sim$ 750nm において励起子状態からの単一光子の発生、励起子分子・励起子の時系列発光による光子バンディング特性を光子相関測定で確認した。InAlAs 系量子ドットでは世界初である。

(6) 微小共振器への光子入出力特性改善の検討

微小光共振器へ光子を入出力する効率を上げる方法として、ソリッドイマルジョンレンズ(SIL)の検討を進めた。大気中から入射する光はその波長程度に回折広がりを出すため、波長程度の大きさしか持たないピラミッド共振器(他の共振器でも同じ問題が起こるが)との結合効率が低下する。SIL を用いることによって半値全幅を SIL 無し $\sim$ 1/4 である $\sim$ 190nm まで収束できることを示し、さらに検討を続けている。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

### (InAlAs 系単一量子ドットにおける単一光子の on demand 発生の確認)

当該研究で最終的に試みようとしているコヒーレントに制御された単一光子列の発生のためには、単一量子ドットから単一光子の発生を確認する必要がある。この研究プログラムを進める上で、まず現在主に使われているシリコン単一光子検出器が高い量子効率を示す波長 700nm 帯で発光する InAlAs 自己形成量子ドットを用いた。GaAs(001) 基板の上に MBE 成長した  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  バリア層表面上に Stranski-Krastanow モードで形成され、ドット密度は  $\sim 5 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$  である。この試料を電子線リソグラフィによって直径 150nm 程度のメサ構造に加工し、平均して数個程度の量子ドットを観測した。

発光寿命の評価、励起強度依存性等から単一量子ドットからの励起子発光を同定すると共に、光子相関測定によって図 1 に示すように 2 次光子相関関数  $g^{(2)}(0)$  の明瞭な低下を観測し、単一光子の発生を確認した。しかし量子ドットの光励起強度の増加によって  $g^{(2)}(0)$  は明瞭な増大を示し、on-demand 光子発生には大きな障害になると思われた。光子発生過程のレート方程式解析ならびに光子相関測定系の解像度等の詳細な検討により、こうした問題が測定系に依存する要素と、量子ドットから光子発生過程の本質的な問題に別れることが分かった。その結果、図 2 に示すように、ある励起強度(励起子分布としては  $\sim 33\%$ )まではほぼ純粋な単一光子の発生が可能であることが分かった。InAlAs 系量子ドットにおいて励起子状態からの単一光子の発生、励起子分子・励起子の時系列発光による光子バンチング特性を確認したことは、InAlAs 系量子ドットでは世界初であるとともに、発光寿命の短い系について光子相関測定する際の課題の指摘と、これと区別して本質的な単一光子発生純度を議論できるようになったことが今後詳細な検討を進める上で重要な成果となる。

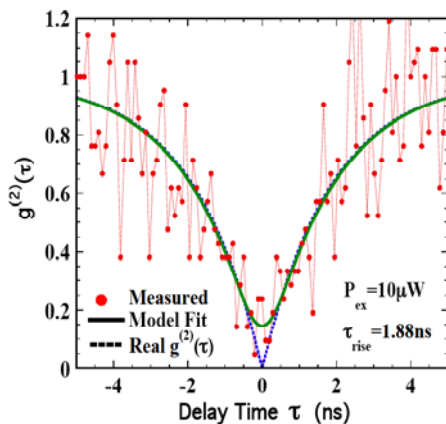


図 1 2 次光子相関関数の測定結果。

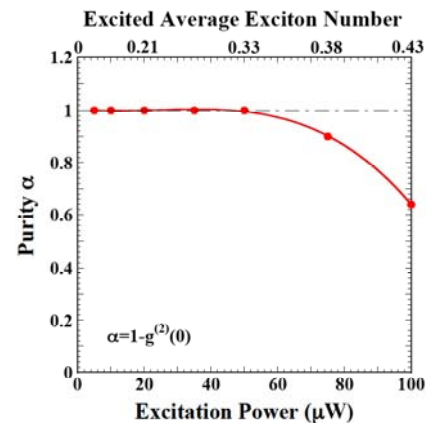


図 2 観測された単一光子発生の純度。

### (CdO 量子ドットの作製)

ZnO など酸化物では大きな振動子強度が期待される。ヘテロ構造を作製する観点からは、同じ酸化膜である CdO 系で量子ドットを作製し、ZnO バリアで量子閉じ込めするのが有望と思われる。そこで MOMBE 法を用い、ZnO 基板表面を熱アニーリングによって原子レベルに平坦化した後、CdO 層の成長と in-situ post-growth thermal annealing によって、図 3 に示すような CdO 量子ドットの作製に成功した。作製した量子ドットは主に ZnO 基板表面に形成された原子ステップの部分に沿って配列しており、CdO 量子ドットの配列制御の可能性を示している。今後の振動子強度の確認が次の課題である。

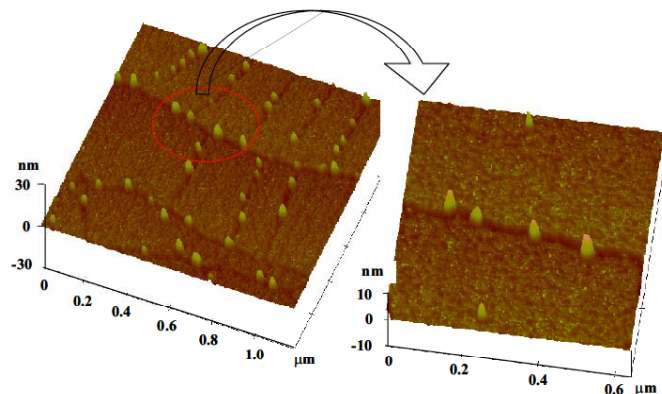


図 3 作製された CdO 量子ドット。主に ZnO 表面の原子ステップに沿って配列している。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

(査読のある学術誌に発表した論文)

- 1) H. Kumano, Y. Hitaka, and I. Suemune: "Dynamical properties of atom-like emissions from single localized states in ZnCdS ternary mesa-shaped structures" phys. stat. sol. (b) Vol. 241, No. 3 (2004) pp. 503-506.
- 2) D. Nakaya, Y. Hitaka, S. Kimura, H. Kumano, and I. Suemune: "Study of Optimal Coupling of ZnS Pyramidal Microcavities with Distributed Bragg Reflectors" phys. stat. sol. (c) Vol. 1, No. 4 (2004) pp. 1034-1037.
- 3) Makoto Kurimoto, A. B. M. Almamun Ashrafi, Masato Ebihara, Katsuhiko Uesugi, Hidekazu Kumano, and Ikuo Suemune: "Formation of ohmic contacts to p-type ZnO" phys. stat. sol. (b) Vol. 241, No. 3 (2004) pp. 635-639.
- 4) I. Suemune, ABM. Almamun Ashrafi, M. Ebihara, M. Kurimoto, H. Kumano, T.-Y. Seong, B.-J. Kim, and Y.-W. Ok: "Epitaxial ZnO Growth and p-Type Doping with MOMBE" phys. stat. sol. (b) Vol. 241, No. 3 (2004) pp. 640-647. (**Invited Paper**)
- 5) X. Q. Zhang, I. Suemune, H. Kumano, J. Wang, and S. H. Huang: "Surface-emitting Stimulated Emission in High-quality ZnO Thin Films" J. Appl. Phys. Vol. 96, No. 7 (2004) pp. 3733-3736.
- 6) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, 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 (2005) pp. L793-L796.
- 7) K. Hayashi, S. Mizuno, S. Tanaka, H. Toyoda, H. Tochiyama, and I. Suemune: "Nucleation Stages of Carbon Nanotubes on SiC (0001) by Surface Decomposition" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44, No. 25 (2005) pp. L803-L805.
- 8) Y. Nabetani, T. Matsumoto, G. Sasikala, X. Q. Zhang, and I. Suemune: "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
- 9) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Single-Photon Generation from InAlAs Single Quantum Dot" phys. stat. sol. (c) No. 11 (2005) pp. 3833-3837.
- 10) S. Muto, S. Adachi, T. Yokoi, S. Kayamori, H. Sasakura, and I. Suemune: "Photon-spin Qubit-conversion Based on Overhauser Shift of Zeeman Energies in Quantum Dots" Appl. Phys. Lett. Vol. 87, No. 11 (2005) 112506.
- 11) G. Sasikala, I. Suemune, P. Thilakan, H. Kumano, and K. Uesugi, Y. Nabetani, T. Matsumoto and H. Machida: "Improved Structural and Luminescence Homogeneities of InAs Quantum Dots with Nitrogen-precursor Supplies on Their Surfaces" Jpn. J. Appl. Phys. Lett. Vol. 44, No. 50 (2005) pp. L1512-L1515.
- 12) S. Adachi, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Muto, H. Kumano, and I. Suemune: "Dynamic Nuclear Polarization in a Self-Assembled InAlAs Dot" phys. stat. sol. (c) Vol. 2, No. 11 (2005) pp. 3838-3842.
- 13) N. Matsumura, S. Muto, S. Ganapathy, I. Suemune, 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 (2006) pp. L57-L59.
- 14) M. Ebihara, I. Suemune, H. Kumano, T. Nakashita, and H. Machida: "Formation of CdO Dots on Atomically Flat ZnO Surfaces" phys. stat. sol. (c) Vol. 3, No. 4 (2006) pp. 933-937.
- 15) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Triggered Single Photon Emission and Cross-correlation Properties in InAlAs Quantum Dot" Physica E: Low-Dimensional Systems & Nano-Structures. (印刷中)
- 16) W. Zhang, K. Uesugi, and I. Suemune: "Application of InGaAs/GaAsN Strain-compensated Superlattice to InAs Quantum Dots" J. Appl. Phys. (印刷中)
- 17) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, and I. Suemune: "Deterministic Single-photon and Polarization-correlated Photon-pair Generations from a Single InAlAs Quantum Dot" Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics (印刷中)
- 18) I. Suemune, 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. Lett. (印刷中)

⑨研究成果の発表状況（続き）（この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（掲載が確定しているものを含む。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。）

(国際会議発表)

- 1] P. Thilakan, G. Sasikala, H. Kumano and I. Suemune: “Improved Optical Quality in GaAsN-strain-compensated InAs Quantum Dots and Room Temperature Stimulated Emission from InAs QDs Embedded in a GaAs Microdisk Cavity” the 5th International Conference in Low Dimensional Structures and Devices (LDSD2004), December 12-17, 2004, Cancun - Mayan Riviera, Mexico, ,We-04, p.35.
- 2] G. Sasikala, I. Suemune, H. Kumano, and K. Uesugi, Y. Nabetani, and T. Matsumoto: “Improved Structural Homogeneities and Luminescence Efficiencies of InAs Quantum Dots with Nitridation on Dots Surfaces” 8th International Symposium on Contemporary Photonics Technology, January 12-14, 2005, Tokyo, Japan.
- 3] H. Kumano and I. Suemune: “Formation of Single Localized States in ZnCdS Alloys Semiconductor and Their Time-resolved Properties” First International Symposium on Nanometer-scale Quantum Physics, January 26-28, 2005, Ookayama.
- 4] I. Suemune: “Coupling of Quantum Dots and Microcavities: Towards Quantum Information Communications and Processing” RCIQE International Seminar, February 8-10, 2005 Sapporo. (*Invited*)
- 5] H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, T. Usuki: “Single Photon Emission from a Single InAlAs Quantum Dot” International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions (NNIC2005) Jan. 30-Feb. 2, 2005, Atsugi.
- 6] I. Suemune, G. Sasikala, K. Uesugi, N. Matsumura, Y. Nabetani, and T. Matsumoto: “Role of Nitrogen on Emission Wavelength of InAs Quantum Dots: InAs/GaAs Interfaces and Strain-compensating GaAsN Burying Layers” APS March Meeting, 21-25 March, LA, 2005, Symposium on Dilute Nitride Semiconductors: from Atoms to Devices.
- 7] N. Matsumura, S. Muto, S. Ganapathy, I. Suemune, K. Numata, and K. Yabuta: “Anisotropic Lattice Deformation of InAs Self-assembled Quantum Dots Strain Compensated with GaAsN Burying Layers” 47<sup>th</sup> TMS 2005 Electronic Materials Conference, June 22-24, 2005, University of California Santa Barbara, MM3.
- 8] T. Yokoi, S. Adachi, H. Sasakura, S. Muto, H. Kumano, and I. Suemune: “Overhauser Shift in a Self-assembled Quantum Dot” Spintech III, Awaji Island, August 1-5, 2005.
- 9] S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: “Highly Pure Single Photon Generation from Single Quantum Dot” 5<sup>th</sup> International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, June 8-11 (2005) Glasgow, Scotland, S11-2.
- 10] K. Uesugi, W. Zhang, and I. Suemune: “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) July 24 - July29, 2005, Awaji Island, Hyogo, Japan, ThP-81.
- 11] W. Zhang, K. Uesugi, N. Matsumura, and I. Suemune: “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-PR 2005) July 11-15, 2005, Toshi Center Kaikan, Tokyo, Japan, JTuH2-1.
- 12] H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, 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) July 10-15 (2005) Albuquerque, USA, PC3-245.
- 13] M. Ebihara, I. Suemune, H. Kumano, T. Nakashita, and H. Machida: “Formation of CdO Dots on Atomically Flat ZnO Surfaces” 12<sup>th</sup> International Conference on II-VI Compounds, September 12-16 (2005) Warsaw, Poland, Thu-P-49.
- 14] H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song: “Relations of Neutral and Charged Excitons in a Single Quantum Dot Studied with Dynamic and Photon Correlation Measurements” 9<sup>th</sup> Optics of Excitons in Confined Systems and 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems, Southampton, UK, September 5-11, 2005, p.34.

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- 15] H. Kumano, S. Kimura, M. Endo and I. Suemune: "Single-photon and Correlated-photon-pair Generations Based on Semiconductor Quantum Dots for Quantum Information Devices" the 13th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, (New Delhi, India, Dec. 13-17, 2005) .(*Invited*)
- 16] I. Suemune: "Prospects of Superconducting Photonics" Ninth International Symposium on Contemporary Photonics Technology (Tokyo, January 11-13, 2006) D-1, pp. 39-42. (*Invited*)
- 17] I. Suemune, H. Kumano, and K. Uesugi: "Control of Photon Wavelength and Correlations Emitted from Single Quantum Dots" 4<sup>th</sup> NIMS Conference (March 8-10, 2006, Tsukuba) . (*Invited*)
- 18] I. Suemune, H. Kumano, S. Kimura, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Origin of Asymmetric Splitting of a Neutral Exciton in a Single Semiconductor Quantum Dot" 4<sup>th</sup> International Conference on Quantum Dots, May 1-5, 2006, Chamonix-Mont Blanc, France.
- 19] Wei Zhang, Katsuhiko Uesugi, and Ikuo Suemune: "Influence of Strain Modulations in Capping Layers of InAs Quantum Dots with Compressive-InGaAs and Tensile-GaAsN Layer Structures" TMS 2006 Electronic Materials Conference, June 28-30, 2006, Pennsylvania State University, PA, USA.
- 20] M. Jo, M. Endo, H. Kumano, and I. Suemune: "Discrimination of isoelectronic centers and type-II quantum dots with ZnTe embedded in ZnSe" TMS 2006 Electronic Materials Conference, June 28-30, 2006, Pennsylvania State University, PA, USA.

(学会発表)

- (1) 熊野英和, 末宗幾夫: 「InAlAs単一量子ドットの顕微分光と単一光子発生の検証」精研シンポジウム「フットニック ネットワークデバイスの新展開(4)」東京工業大学すずかけ台キャンパス 精密工学研究所, 2005年3月1日.
- (2) 末宗 幾夫, 植杉 克弘, 熊野英和: 「ひずみ補償InAs量子ドットを用いた高次機能光子源の研究」2005年(平成17年)春季第52回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「新世代光通信へのイノベーション」(平成17年3月29日-4月1日, 埼玉大学) 30a-ZH-3.
- (3) 熊野英和, 末宗幾夫: 「単一量子ドットから発生する単一光子対の光子相関特性の評価」2005年(平成17年)秋季 第66回応用物理学学会学術講演会シンポジウム「新世代光通信へのイノベーション II -革新的な光デバイスを基点として-」(平成17年9月7日-10日, 徳島大学)
- (4) 木村聡, 熊野英和, 遠藤礼暁, 末宗幾夫, 横井伴紀, 笹倉弘理, 足立智, 武藤俊一, 宋海智, 廣瀬真一, 臼杵達哉: 「単一量子ドット発光による光子相関測定での同時計数確率と光子antibunchingの励起光強度依存性」第12回量子情報技術研究会QIT12:NTT厚木研究開発センター2005.5.12-13.
- (5) M. Ebihara, H. Kumano, I. Suemune, T. Nakashita, H. Machida: "Control of Crystalline Structure of Cd0 in Zn0/Cd0 Periodic Structures" 24<sup>th</sup> Electronic Materials Symposium, 2005, July4-6, Matsuyama, L3.
- (6) 熊野英和, 末宗幾夫: 「InAlAs単一量子ドットの形成と単一光子および光子対発生の検証」電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ主催「材料デバイスサマーミーティング」次世代ナノ技術に関する研究専門委員会主催講演会 「量子ナノ構造の作製とデバイス化」2005年6月24日(金)機械振興会館, 東京. 電子情報通信学会 信学技報 pp. 9-13
- (7) 熊野英和, 末宗幾夫: 「高効率量子鍵配送に向けた半導体単一光子光源の作製」電子情報通信学会レーザー・量子エレクトロニクス研究会技術報告 2005年8月25, 26日, 札幌.

その他 2004年度と2005年度における応用物理学学会発表: 計 27件