

石橋極微デバイス工学研究室

Advanced Device Laboratory

主任研究員 石 橋 幸 治
ISHIBASHI, Koji

当研究室では、将来のナノエレクトロニクスを目指してナノメートル領域の極微構造の作製技術の開発、新奇物性の探索とその新機能デバイスへの応用という観点から研究を進めている。ナノエレクトロニクスでは電子以外にも、光子やスピンなど多種の素励起を情報媒体として用い、さらにその量子状態や相互作用を多様性を持って制御することにより、さまざまな新機能性が発現する。また、材料の観点からは、従来の伝統的な半導体だけにとらわれず、カーボンナノチューブやフラーレン、さらには分子性導体なども視野に入れ、機能発現に適した材料を選び、そのデバイス化のための独自のナノデバイスプロセスを開発する。具体的なナノエレクトロニクスとして、単電子エレクトロニクス、量子コンピューティングシステムやスピントロニクスなどを取り上げ、そのキーとなるナノデバイスを量子ドットなどで実現することを目指す。また、ガリウムナイトライドナノ構造を用いた新しい光デバイスや深紫外発光デバイスの開発も行う。

1. ナノメートルスケール極微デバイスプロセスの開発 (石橋、塩川、牧 *¹、鈴木 *²、島崎 *³、岩崎 *³、橋場 *³)

カーボンナノチューブは、単層の場合数ナノメートル、多層の場合でも数十ナノメートルの超微細な直径を有することから、リソグラフィー技術では作製が困難なナノ構造のBuilding Blockとして有効である。本研究では、カーボンナノチューブをナノデバイス応用するためのデバイスプロセスの研究を行っている。現在、具体的なナノ構造として、量子ドット構造に着目している。これまで開発してきたデバイス作製技術の基本は、溶液に分散した単層カーボンナノチューブを基板上に分散し、それに必要な電極を形成するという手法であった。昨年まで、この方法に改良を加えることにより1本のナノチューブからなるデバイスを作製することに成功したものの、まだまだデバイスプロセスの信頼性・再現性という観点からは十分であるとは言えない。

そこで、基板上に直接単層カーボンナノチューブを成長させる技術の開発を始めた。本年度は、メタンガスやアルコールを用いた熱CVD(気相成長)装置を試作し、コバルトや鉄微粒子を触媒として、単層ナノチューブを効率よく成長させる技術を確立した。ラマン分光測定により基本的な評価を行い、単層ナノチューブ由来のピークが観測されたことにより、実際に品質のよいナノチューブが成長していることが明らかとなった。また、成長したナノチューブの1本に電極を取り、電気伝導特性を調べることで試料構造作製プロセスの開発を行った。

2. ナノ構造の新規物性探索と新機能ナノデバイスの創成 (石橋、山口、石渡 *¹、新井 *¹、森山 *³、津谷 *³、布施 *³、塚本 *³、清水 *³)

[基礎科学研究・次世代ナノサイエンス・テクノロジー研究「ナノデバイス基盤技術研究」も参照]

(1) カーボンナノチューブを用いた単電子デバイス・スピンドバイスの研究

単層カーボンナノチューブはその微細な直径ゆえに、微細性だけが要求される単電子デバイス応用に有効である。

また、金属電極をナノチューブ上に蒸着するだけで蒸着された金属間のナノチューブが量子ドットとなるため、デバイスプロセスが比較的単純である。本年度は、単電子デバイスとして単電子インバータと単電子XORゲートを作製し、その動作の実証に成功した。しかし、同時に動作温度が帯電エネルギーから予想される温度よりもはるかに小さいことが明らかになった。その原因を明らかにするために、金属・半導体ナノチューブの電気伝導特性の温度依存性を測定し、その結果金属電極とナノチューブ界面に形成されるトンネル障壁の高さが十分大きくなく、それが動作温度を決めていることを明らかにした。

また、電極に強磁性金属を使用したスピンバルブ型試料を作製し、磁気抵抗の測定を行い、大きな磁気抵抗比を得ることができたが、その原因は明らかではない。再現性を確認するために、多層カーボンナノチューブを用いて同様の実験を行ったが、単層ナノチューブほどではないにしろ大きな磁気抵抗比が得られた。これらのことから、巨大磁気抵抗の起源はナノチューブと金属のナノスケールの接触に関係していると思われる。

(2) カーボンナノチューブ人工原子の研究

1本の単層カーボンナノチューブの両端をトンネル接合で終端した量子ドット構造は、ポテンシャルに束縛されているという意味で人工原子である。本年度は、人工原子ならではの電子殻構造や1電子準位のゼーマン分裂、さらには2電子の相互作用を直接観測することに世界で初めて成功した。実験では、カーボンナノチューブ量子ドットのクーロンブロック現象を極低温で詳細に調べ、クーロン振動のピーク間の間隔がオーソドックス理論では予測されない、2電子や4電子の周期を持つことを見だし、これが2電子あるいは4電子の電子殻構造であることを、クーロン振動のピークの磁場依存性を測定することにより明らかにした。また、4電子殻領域において、電子殻に電子を1個入れた場合には、自然の原子と同様の1電子準位のゼーマン分裂が観測できた。また、電子殻に電子を2個入れた場合には、2電子系の量子状態である1重項と3重項状態を直

接観測することに成功した。応用上の観点からは、1 電子殻の場合には、電子数が奇数の場合に不対電子が生じ、このことは同時に量子コンピュータにおける基本素子の1つであるスピン量子ビットが形成され、磁場により初期化までできている点で大変重要である。また、スピン3重項状態は、2つのスピンのエンタングルした状態と見ることができ、やはり量子情報処理の観点から重要な成果である。

(3) カーボンナノチューブ・半導体ハイブリッド構造の作製

これまで、カーボンナノチューブデバイスはすべて表面参加したシリコン基板上に作製されており、基板には特に役割を持たせることがなかった。将来の結合量子ドットシステムにおいては、局所的にゲート電圧を印可したり、特定のドット間の結合をオンオフしたりすることが求められる。そこで、これまで十分研究が積み重ねられている GaAs/AlGaAs 二次元電子ガス基板上にカーボンナノチューブ量子ドットを作製し、二次元電子ガス自身をゲート電極として用いることを試みた。その初期的な実験として、二次元電子ガスをゲート電極としてカーボンナノチューブ量子ドットのクーロン振動の観測に成功し、二次元電子ガスがゲートとして働くことを明らかにした。また、ゲート電圧のスイッチオンオフを二次元電子ガスを通して行うために、ゲート電極とナノチューブ量子ドットの間の二次元電子ガス上に量子ポイントコンタクトを作製し、量子ポイントコンタクトのオンオフによりゲート電圧のかかり方をオンオフできることを示した。このことは、量子ドット間の容量的結合を二次元電子ガスを通して行う場合、その間に形成した量子ポイントコンタクトでドット間の結合を制御できることを示しており、応用上大変有意義な成果である。

3. ナイトライド系半導体を用いた短波長発光素子の開発 (平山, 小幡^{*3}, 大橋^{*3})

[基礎科学研究・コヒーレント科学研究「コヒーレント量子状態制御に関する研究」も参照]

窒化アルミニウムガリウム (AlGaIn) は 200 nm から 360 nm にわたる広い深紫外発光領域を有し、高効率深紫外発光デバイスの発光材料として有用である。我々は、AlGaIn にインジウム (In) を微量加えることで、ナノサイズの In 組成変調領域を形成し、電子・ホールを束縛することにより、発光効率を飛躍的に向上させることに成功した。4 元混晶量子井戸からの深紫外発光は、市販素子に用いられている InGaIn (窒化インジウムガリウム) 量子井戸からの青色発光と、常温において同等の発光効率であることをすでに示している。しかし、深紫外発光材料であるワイドバンドギャップ窒化物半導体は結晶成長の過程で不純物を取り込まれやすく、その影響で十分な発光効率が得られないことが明らかになってきた。本研究では、成長圧力を上げることによって混入不純物濃度を 1 桁程度低減させることに成功し、それによって深紫外発光の高効率化を実現した。

^{*1} 基礎科学特別研究員, ^{*2} 訪問研究員, ^{*3} 研修生

1. Development of fabrication processes in nano-scale

The fabrication process is studied which would realize a device fabrication below 10 nm. To overcome the limitation set by the standard lithography, we take advantage of carbon nanotubes (CNTs) which have an extremely small diameter. The basic device fabrication process has been developed to use CNTs as a building block for nanodevices. It turned out to be important to grow high quality CNTs, so the CVD (Chemical Vapor Deposition) process with Fe or Co catalyst particles has been developed. High quality growth was confirmed by Raman spectra.

2. Study of physics in nanostructures and the creation of functional nanodevices

Nanoelectronics is one of the possible forms of a new functional electronic system which should play a complementary role to Si-based digital electronics. Single electronics, quantum computing and spintronics may be possible forms of nanoelectronics, we explore the necessary functionalities for them with nanodevices. Single electron devices, a charge qubit with coupled quantum dots, and a spin qubit with a single quantum dot are under investigation. These devices are going to be fabricated with carbon nanotube (CNT) quantum dots. We have succeeded in the fabrication of a single electron inverter and a XOR device with a two-input single electron transistor (SET). It was found that the upper limit of the operation temperature was not determined by the charging energy, but by the tunnel barrier height at the metal-CNT interface.

Shell structures have for the first time been observed in single-wall carbon nanotube quantum dots. It was found that a two or four electron shell structure is able to be observed, depending on the difference between the zero-dimensional level spacing and the subband mismatch. For one electron in a shell, the Zeeman splitting of the single particle state was observed, and for two electrons in a shell, the singlet and triplet states, the quantum state for two interacting electrons, have been directly observed.

Hybrid structures of the CNT device and the GaAs/AlGaAs two-dimensional electron gas (2DEG) were fabricated, and the SET was successfully demonstrated with the 2DEG as a gate. Furthermore, the gating with the 2DEG was switched on and off by biasing on a quantum point contact (QPC) that was fabricated between the CNT dot and the position where the gate voltage was applied.

3. Development of ultraviolet light source with GaN based materials

The demands for high-intensity ultraviolet (UV) laser diodes (LDs) and light-emitting diodes (LEDs) are increasing in the fields of high-density optical storage, high-efficiency lighting, and the biochemical and medical fields. GaN and III-nitride compound semiconductors are attracting considerable attention as candidate materials for the realization of UV-LDs and LEDs. The purpose of our work is to develop high-intensity UV-LEDs or LDs operating in the 250–350 nm wavelength range. We demonstrated room temperature (R.T.) intense deep UV emission with wavelengths in the range of 280–350 nm from quaternary $\text{In}_{x1}\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-x1-y1}\text{N}/\text{In}_{x2}\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-x2-y2}\text{N}$ multi-quantum wells (MQWs) grown by metal organic vapor-phase-epitaxy (MOVPE). We found that impurities incorporated in the InAlGaIn crystal heavily affect the emission efficiency of deep-UV light. A significant reduction of the impurity in quaternary InAlGaIn crystals were achieved by growing the crystal with a higher growth presser, which led to a drastical improvement of the emission efficiency in the deep-UV region.

Staff

Head

Dr. Koji ISHIBASHI

Members

Dr. Hideki HIRAYAMA

Dr. Takao SHIOKAWA

Dr. Tomohiro YAMAGUCHI

Dr. Koichiro ARAI^{*1}

Dr. Yoichi ISHIWATA^{*1}

Dr. Hideyuki MAKI^{*1}

Dr. Sohachi IWAI^{*2}

Mr. Masaru MIHARA^{*2}

^{*1} Special Postdoctoral Researcher

^{*2} Temporary Employee

Visiting Members

Dr. Hiroyuki KONDO (Matsushita Electr. Works, Ltd.)

Mr. Takashi KYONO (Sumitomo Electr. Ind., Ltd.)

Dr. Masaki SUZUKI (JST)

Trainees

Ms. Tomoko FUSE (Interdiscip. Grad. Sch. Sci. Eng.,
Tokyo Inst. Technol.)

Mr. Ryo HASHIBA (Fac. Sci., Chiba Univ.)

Mr. Ken IWASAKI (Fac. Sci., Tokyo Univ. Sci.)

Mr. Satoshi MORIYAMA (Interdiscip. Grad. Sch. Sci.
Eng., Tokyo Inst. Technol.)

Mr. Toshiyuki OBATA (Interdiscip. Grad. Sch. Sci.
Eng., Tokyo Inst. Technol.)

Mr. Tomoaki OHASHI (Fac. Sci., Saitama Univ.)

Mr. Koichi SHIMAZAKI (Fac. Sci. Technol., Chiba
Univ.)

Ms. Maki SHIMIZU (Fac. Sci., Tokyo Univ. Sci.)

Mr. Daiju TSUYA (Interdiscip. Grad. Sch. Sci. Eng.,
Tokyo Inst. Technol.)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Fuse T., Moriyama S., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Effect of the large current flow on the low-temperature transport properties in a bundle of single-wall carbon nanotubes”, *Appl. Phys. Lett.* **83**, 3803–3805 (2003). *

Arai K., Hashimoto S., Oto K., and Murase K.: “Spatial distribution of edge states in the quantum Hall plateaus investigated by magnetocapacitance”, *Phys. Rev. B* **68**, 165347-1–165347-5 (2003). *

Fuse T., Moriyama S., Aoyagi Y., Suzuki M., and Ishibashi K.: “Two-electron and four-electron periodicity in single-wall carbon nanotube quantum dots”, *Superlat-*

tices Microstruct. **34**, 377–382 (2003). *

Onoe J., Nakao A., and Hida A.: “Valence photoelectron spectra of an electron-beam-irradiated C₆₀ film”, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 2741–2743 (2004). *

Hirayama H., Akita K., Kyono T., Nakamura T., and Ishibashi K.: “High-efficiency 352nm quaternary InAlGa_N-based ultraviolet light-emitting diodes grown on GaN substrates”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L1241–L1243 (2004). *

Maki H., Suzuki M., and Ishibashi K.: “Local change of carbon nanotube-metal contacts by current flow through electrodes”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **43**, 2027–2030 (2004). *

Akita K., Nakamura T., and Hirayama H.: “Advantage of GaN substrate in InAlGa_N quaternary ultraviolet-light-emitting diodes”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **43**, 8030–8031 (2004). *

Elhassan M., Akis ., Bird J. P., Ferry D. K., Ida T., and Ishibashi K.: “Magnetically induced Bragg scattering of electrons in quantum-dot crystals”, *Phys. Rev. B* **70**, 205341-1–205341-4 (2004). *

Anceau S., Lefebvre P., Suski T., Lepkowski S., Teisseyre H., Dmowski L., Konczewicz L., Kaminska A., Suchocki A., Hirayama H., and Aoyagi Y.: “Surprisingly low built-in electric fields in quaternary AlInGa_N heterostructures”, *Phys. Status Solidi A* **201**, 190–194 (2004). *

Akita K., Nakamura T., and Hirayama H.: “Effects of GaN substrates on InAlGa_N quaternary UV LEDs”, *Phys. Status Solidi A* **201**, 2624–2627 (2004). *

Hirayama H., Akita K., Kyono T., and Nakamura T.: “Milliwatt power 350-nm-band quaternary InAlGa_N UV-LEDs on GaN substrate”, *Phys. Status Solidi A* **201**, 2639–2643 (2004). *

Obata T., Hirayama H., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Growth and annealing conditions of high Al content p-type AlGa_N for deep UV-LEDs”, *Phys. Status Solidi A* **201**, 2803–2807 (2004). *

Brunner R., Meisels R., Kuchar F., Elhassan M., Bird J. P., and Ishibashi K.: “Investigations of backscattering peaks and of the nature of the confining potential in open quantum dots”, *Physica E* **21**, 491–495 (2004). *

Aoki N., Lin L., Morimoto T., Sasaki T., Song J., Ishibashi K., Bird J. P., Budiyono A., Nakamura K., Harayama K., and Ochiai Y.: “Fractal behavior in magnetoconductance in coupled quantum dot systems”, *Physica E* **22**, 361–364 (2004). *

Brunner R., Meisels R., Kuchar F., Elhassan M., Bird J. P., and Ishibashi K.: “Interaction of microwaves with backscattering orbits in open quantum dots”, *Physica E* **22**, 514–517 (2004). *

Moriyama S., Toratani K., Tsuya D., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Electrical transport in semiconducting single-wall carbon nanotubes”, *Physica E* **24**, 46–49 (2004). *

Tsuya D., Suzuki M., Moriyama S., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: "Observation of discrete quantum levels in multi-wall carbon nanotube quantum dots", *Physica E* **24**, 50–53 (2004). *

Hirayama H. and Aoyagi Y.: "Quaternary InAlGa_N based deep UV LED with high-Al-content p-type AlGa_N", *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.* **5359**, 422–433 (2004). *

秋田勝史, 京野孝史, 上野昌紀, 中村孝夫, 平山秀樹: "紫外 LED における GaN 基板の効果", *SEI テクニカルレビュー* **165**, 75–80 (2004). *

平山秀樹, 秋田勝史, 京野孝史, 中村孝夫, 青柳克信: "InAlGa_N 4 元混晶を用いた紫外 LED の短波長化と高効率化", *レーザー研究* **32**, 402–409 (2004). *

権田俊一, 平山秀樹, 河村裕一: "パワー半導体レーザと応用の動向", *電気学会論文誌 C* **125**, 160–168 (2005). *

平山秀樹, 京野孝史, 秋田勝史, 中村孝夫, 石橋幸治: "窒化物 4 元混晶を用いた高効率紫外 LED", *電気学会論文誌 C* **125**, 225–232 (2005). *

(総説)

武内道一, 平山秀樹, 青柳克信, 田中悟: "アンチサーファクタントによる GaN 層の低転位化", *まてりあ* **40**, 1009 (2001).

石橋幸治: "量子ドットと単電子デバイス", *Comput. Today*, No. 109, pp. 30–37 (2002).

石橋幸治: "カーボンナノチューブを用いた量子ナノデバイスプロセスの開発", *ケミカルエンジニアリング* **49**, 103–110 (2004).

[単行本・Proc.]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Hirayama H.: "Quaternary InAlGa_N-based UV-LEDs", *Optoelectronic Devices: III-Nitrides*, edited by Razeghi M. and Henini M., Elsevier, UK, pp. 285–322 (2005). *

(総説)

武内道一, 田中悟, 平山秀樹, 青柳克信: "アンチサーファクタント法による GaN 層の欠陥低減", *日本学術振興会「結晶加工と評価技術第 145 委員会」第 87 回研究会資料*, 東京, 2000–2, 日本学術振興会, 東京, pp. 6–15 (2000).

(その他)

Takeuchi M., Tanaka S., Hirayama H., Ozasa K., and Aoyagi Y.: "Anti-surfactant effect on III-V semiconductor epitaxy growth: Quantum dot formation and dislocation termination", *Extended Abstracts 19th Electronic Materials Symp.*, Izunagaoka-machi, Shizuoka Pref., 2000–6, Electronic Materials Symposium, Tokyo, pp. 191–202 (2000).

Takeuchi M., Tanaka S., Hirayama H., and Aoyagi Y.: "Reduction of threading dislocations in GaN films by antisurfactant-mediated epitaxy", *Proceedings of the 6th International Symposium on Advanced Physical Fields*, Tsukuba, 2001–3, edited by Koguchi N., National Institute for Materials Science, Tsukuba, pp. 392–396 (2001).

Takeuchi M., Hirayama H., Aoyagi Y., and Tanaka S.: "Relation between reduction of dislocation density in

GaN films and three-dimensional nucleation on surfaces with low free energy", *Extended Abstracts 21st Electronic Materials Symp.*, Izunagaoka-machi, Shizuoka Pref., 2002–6, Electronic Materials Symposium, Tokyo, pp. 41–42 (2002).

石橋幸治: "ナノ電子デバイス", *ナノマテリアルハンドブック*, 飯島澄男, ほか (編), エヌティーエス, 東京, pp. 366–374 (2005).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Takeuchi M., Tanaka S., Hirayama H., and Aoyagi Y.: "Drastic reduction of the dislocation density in GaN films by anti-surfactant-mediated dot formation", *10th Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE-X)*, Sapporo, June (2000).

Ono S., Takeuchi M., and Takahashi T.: "Kelvin probe force microscopy for surface potential measurements on InAs nanostructures grown on (110) GaAs vicinal substrates", *2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, Sendai, Aug. (2000).

Takeuchi M., Tanaka S., Hirayama H., and Aoyagi Y.: "Reduction of threading dislocations in GaN films by antisurfactant-mediated epitaxy", *6th Int. Symp. on Advanced Physical Fields*, (National Research Institute for Metals), Tsukuba, Mar. (2001).

Takada K., Takeuchi M., and Takahashi T.: "Light-illuminated STM studies on InAs nano-structures", *2001 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM 2001)*, Tokyo, Sept. (2001).

Takahashi T., Takada K., and Takeuchi M.: "Photoabsorption in indium arsenide nanowires studied by light-illuminated STM", *7th Int. Conf. on Nanometer-Scale Science and Technology (NANO-7) and 21st European Conf. on Surface Science (ECOSS-21)*, Malmoe, Sweden, June (2002).

Ishibashi K., Suzuki M., Tsuya D., Kohno K., Fuse T., and Aoyagi Y.: "Fabrication of single electron devices in carbon nanotubes", *NanoMES2003: Nanostructures Mesoscopic Systems*, Tempe, Arizona, USA, Feb. (2003).

Watanabe M., Ishiwata Y., Eguchi R., Takeuchi T., and Shin S.: "Resonant soft x-ray emission study of γ -Ce: $3d-4f$ resonant spectra of trivalent Ce in the metallic phase", *9th Int. Conf. on Electronic Spectroscopy & Structure (ICESS 9)*, Uppsala, Sweden, June–July (2003).

Aoki N., Miyamoto K., Oguri N., Sasaki T., Ishibashi K., and Ochiai Y.: "Control of electrical property in multi-wall carbon nanobute using electrical breakdown", *2003 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM 2003)*, (The Japan Society of Applied Physics), Tokyo, Sept. (2003).

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: "Selecting single quantum dots from a bundle of single-wall carbon nanotubes using effect of the large

- current flow”, RLNR/Tokyo-Tech 2003 Int. Symp. on Nanoscience and Nanotechnology on Quantum Particles (NNQP2003), (Tokyo Institute of Technology), Tokyo, Dec. (2003).
- Tsuya D., Shimazaki K., Fuse T., Moriyama S., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Low temperature transport in an individual and a bundle of single-wall carbon nanotubes”, 2nd Quantum Transport Nano-Hana Int. Workshop (QTNH2004), Chiba, Mar. (2004).
- Brunner R., Elhassan M., Meisels R., Kuchar F., Bird J. P., Ferry D. K., and Ishibashi K.: “Comparing theory and experiment in open quantum dots at finite temperatures”, 3rd Int. Conf. on Quantum Dots (QD2004), Banff, Canada, May (2004).
- Arai K. and Ishibashi K.: “Resonant tunneling through edge states bounded around an antidot”, 3rd Int. Conf. on Quantum Dots (QD2004), Banff, Canada, May (2004).
- Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Spin splitting and electron-electron interactions in single-wall carbon nanotube quantum dots”, 3rd Int. Conf. on Quantum Dots (QD2004), Banff, Canada, May (2004).
- Ishibashi K.: “One-dimensional shell structures and an interacting two-electron system in carbon nanotube quantum dots”, 3rd Swiss-Japanese Nanoscience Workshop, (RIKEN and National Institute for Materials Science), Nara, June (2004).
- Tsuya D., Suzuki M., Aoyagi Y., and Ishibashi K.: “Fabrication of complimentary single-electron inverter in single-wall carbon nanotubes”, 62nd Device Research Conf., (IEEE), Notre Dame, USA, June (2004).
- Ishiwata Y., Maki H., Tsuya D., Suzuki M., and Ishibashi K.: “Magnetoresistance over 100027th Int. Conf. on the Physics of Semiconductors (ICPS-27), (The American Institute of Physics), Flagstaff, USA, July (2004).
- Arai K. and Ishibashi K.: “Double and triple frequency oscillations observed in a resonant tunneling spectroscopy through edge states around an antidot”, Int. Conf. on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices (ICSNN 2004), (Universidad Autonoma Metropolitana (UAM) and Instituto Potosino de Investigacion Cientificay Tecnologica (IPICYT)), Cancun, Mexico, July (2004).
- Hirayama H., Kyono T., Akita K., Nakamura T., and Ishibashi K.: “High-efficiency 350nm-band quaternary InAlGa_N-based UV-LEDs on sapphire and GaN substrates”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2004), Pittsburgh, USA, July (2004).
- Kyono T., Hirayama H., Akita K., Nakamura T., and Ishibashi K.: “Significant improvements of quantum efficiency of quaternary InAlGa_N UV-LEDs on GaN substrates by optimizing InAlGa_N growth conditions”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2004), Pittsburgh, USA, July (2004).
- Ishiwata Y., Maki H., Tsuya D., Suzuki M., and Ishibashi K.: “Large spin injection into single- and multi-walled carbon nanotubes”, The International Conference on Superlattices, Nano-structures and Nano-devices (ICSNN '04), Cancun, Mexico, July (2004).
- Ishibashi K.: “Artificial atoms and nanodevices in carbon nanotube quantum dots”, 4th Taiwan-Japan Microelectronics Int. Symp.: Nano, MEMS/NEMS, and Display Technologies, (National Chiao Tung University, Taiwan), Hsinchu, Taiwan, Oct. (2004).
- Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Tsuya D., and Suzuki M.: “Quantum-dot based nanodevices with carbon nanotubes”, Int. Symp. on Nanocarbons (ISNC2004), Nagano, Nov. (2004).
- Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., and Ishiwata Y.: “One-dimensional shell-filling and single spin polarization in carbon nanotube quantum dots”, Photonics West 2005, Optoelectronics 2005, Quantum Sensing and Nanophotonic Devices II, (SPIE), San Jose, USA, Jan. (2005).
- Nakao A., Hida A., and Onoe J.: “Valence photoelectron spectra of an electron-beam-irradiated C60 film”, 2nd Int. Symp. on Technologies and Applications of Photoelectron Micro-Spectroscopy with Laser-based VUV Sources, (The Ministry of Education, Culture, Sports and Technology), Tukuba, Feb. (2005).
- Akita K., Hirayama H., Kyono T., Nakamura T., and Ishibashi K.: “350nm-band quaternary InAlGa_N UV-LEDs on GaN substrates”, Second Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductor (APWS-2005), Hsinchu, Taiwan, Mar. (2005).
- (国内会議)
- 武内道一, 田中悟, 平山秀樹, 青柳克信: “アンチサーファクタント法による GaN 層の欠陥低減”, 日本学術振興会「結晶加工と評価技術第 145 委員会」第 87 回研究会, 東京, 2 月 (2000).
- 武内道一, 田中悟, 平山秀樹, 青柳克信: “Anti-surfactant effect on III-V semiconductor epitaxy growth: quantum dot formation and dislocation termination”, 第 19 回電子材料シンポジウム, 伊豆長岡, 6 月 (2000).
- 武内道一, 田中悟, 平山秀樹, 青柳克信: “高供給アンチサーファクタント処理による GaN 層の低転位化”, 第 61 回応用物理学会学術講演会, 札幌, 9 月 (2000).
- 武内道一, 田中悟, 平山秀樹, 青柳克信: “アンチサーファクタントを用いた GaN 薄膜の低転位化”, 応用物理学会応用電子物性分科会研究例会「そこが聞きたい! 最新の GaN バルク・薄膜技術」, 大阪, 12 月 (2000).
- 武内道一, 平山秀樹, 青柳克信: “核形成制御による SiC 基板上への GaN 層ダイレクト成長”, 第 48 回応用物理学関係連合講演会, 東京, 3 月 (2001).
- 武内道一, 平山秀樹, 田中悟, 青柳克信: “Relation between reduction of dislocation density in GaN films and three-dimensional nucleation on surfaces with low free energy”, 第 21 回電子材料シンポジウム, 伊豆長岡, 6 月 (2002).
- 牧英之, 鈴木正樹, 石橋幸治: “電極への通電加熱によるカー

- ボンナノチューブ-電極間の局所コンタクト制御”, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 3 月 (2004).
- 森山悟士, 布施智子, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブ量子ドットにおける単一スピンの生成と Shell filling 効果 (2)”, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 3 月 (2004).
- 新井宏一郎, 石橋幸治: “アンチドットに束縛されたエッジチャンネルの共鳴トンネル効果”, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 3 月 (2004).
- 津谷大樹, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “多層カーボンナノチューブ量子ドットにおけるゼロ次元量子化準位の観測”, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 3 月 (2004).
- 森山悟士, 布施智子, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブ量子ドットにおける Shell filling とゼーマン分裂の観測”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 水林潤, 武末出美, 春山純志, 菅井俊樹, 吉田宏道, 嶋田行志, 岡崎俊也, 篠原久典, 原田直樹, 栗野祐二, 鈴木正樹, 布施智子, 石橋幸治: “二層カーボンナノチューブ量子ドットへの単一キャリア注入”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 石橋幸治: “カーボンナノチューブのナノエレクトロニクスへの応用: 単電子制御からコヒーレント制御まで”, 2004 年春季第 51 回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「量子ナノ構造を利用した機能デバイスとシステム: 次世代 IT 技術のためのハードウェア開拓」, 八王子, 3 月 (2004).
- 石橋幸治: “カーボンナノチューブを利用したナノエレクトロニクスへ向けて: 単電子デバイスから量子コンピュータへ”, 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト「第 2 回ナノテクノロジー総合シンポジウム」(JAPAN NANO 2004), 東京, 3 月 (2004).
- 布施智子, 森山悟士, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブ量子ドットにおける単一スピンの生成と shell filling 効果 (1)”, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 4 月 (2004).
- 石橋幸治: “CNT のナノデバイスへの応用とプロセス技術”, 応用物理学学会・次世代リソグラフィ技術研究会, 東京, 4 月 (2004).
- 石橋幸治, 森山悟士, 津谷大樹, 布施智子, 石渡洋一, 牧英之, 鈴木正樹: “カーボンナノチューブの量子ドットデバイスへの応用”, ナノ学会第 2 回大会, 東京, 5 月 (2004).
- 平山秀樹, 京野孝史, 秋田勝史, 中村孝夫, 石橋幸治: “InAlGa₄ 元混晶を用いた高効率紫外 LED の開発”, ワイドギャップ半導体光・電子デバイス, 日本学術振興会第 162 委員会第 38 回研究会, 東京, 7 月 (2004).
- 石橋幸治: “半導体を用いた量子コンピューティングデバイス”, 第 3 回ナノサイエンス・サマー道場「半導体ナノサイエンスとその応用」, 長野, 8 月 (2004).
- 森山悟士, 布施智子, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “カーボンナノチューブ量子ドットの励起スペクトル”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 石渡洋一, 牧英之, 津谷大樹, 鈴木正樹, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブへの高スピン偏極電流の注入”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 石渡洋一, 牧英之, 津谷大樹, 鈴木正樹, 石橋幸治: “CoFe/単層カーボンナノチューブ/CoFe 接合における高スピン偏極電流”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 平山秀樹, 京野孝史, 秋田勝史, 中村孝夫, 石橋幸治: “GaN テンプレート上での InAlGa_N 紫外 LED の高効率動作”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 森山悟士, 布施智子, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “カーボンナノチューブ人工原子の電子殻構造と 2 電子系の形成”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 津谷大樹, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブを用いた相補型単電子インバータの作製”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 布施智子, 森山悟士, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブ量子ドットにおける単一スピンの生成と shell filling 効果 (1)”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, (応用物理学学会), 宮城県 東北学院大学, 9 月 (2004).
- 平山秀樹, 石橋幸治: “窒化物深紫外 LED における電子オーバーフローの p 層依存性”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 津谷大樹, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “半導体的単層カーボンナノチューブにおける量子輸送特性”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 新井宏一郎, 石橋幸治: “非対称なトンネル障壁で囲まれたアンチドットでの共鳴トンネル現象”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 布施智子, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “両極性伝導を持つ半導体的 SWNT 量子ドットにおけるクーロンブロックイッド効果”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 石橋幸治, 森山悟士, 布施智子: “カーボンナノチューブ量子ドット中の単一電子スピンの発生と操作”, 第 28 回日本応用磁気学会学術講演会・シンポジウム「分子スピン: 新しい機能性の発現を目指して」, 宜野湾, 9 月 (2004).
- 石渡洋一, 牧英之, 津谷大樹, 鈴木正樹, 石橋幸治: “単層カーボンナノチューブによる高スピン偏極電流の発現”, 第 28 回日本応用磁気学会学術講演会, 宜野湾, 9 月 (2004).
- 石橋幸治, 森山悟士, 布施智子: “カーボンナノチューブ人工原子の殻構造とスピン偏極一スピン・コヒーレント操作の可能性一”, 第 65 回応用物理学学会学術講演会シンポジウム「カーボンナノチューブのナノデバイスへの応用展開」, 仙台, 9 月 (2004).
- 平山秀樹: “InAlGa_N を用いた高効率紫外 LED の開発”, 理研シンポジウム「第 6 回コヒーレント科学: 新材料開発による発光デバイスの新展開」, 和光, 11 月 (2004).
- 石橋幸治: “カーボンナノチューブのナノエレクトロニクス Building Block としての可能性”, 大阪大学 21 世紀 COE プログラム「新産業創造指向国際ナノサイエンス」IT ナノテクノロジー研究グループ平成 16 年度学生若手研究者セミナー, 淡路, 12 月 (2004).
- 平山秀樹: “高輝度紫外 LED の高効率化の現状と課題”, 日本テクノセンターセミナー「白色 LED の応用と高輝度化」, 東京, 12 月 (2004).
- 石橋幸治: “カーボンナノチューブの量子ナノデバイスへの

展開”, 理研シンポジウム「電子複雑系科学と放射光・FELの利用」, 播磨, 12月(2004).

石橋幸治: “カーボンナノチューブの量子ナノデバイスへの応用”, 応用物理学会九州支部特別講演会, 博多, 2月(2005).

石渡洋一, 牧英之, 津谷大樹, 鈴木正樹, 石橋幸治: “カーボンナノチューブを用いた磁気接合素子における巨大磁気抵抗効果”, 電気学会電子材料研究会「カーボンナノチューブエレクトロニクスの最近の進展」, (電気学会), 福岡, 2月(2005).

塚本竹雄, 森山悟士, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “異種基板上へのカーボンナノチューブ量子ドットの作製と評価”, 電気学会電子材料研究会「カーボンナノチューブエレクトロニクスの最近の進展」, 福岡, 2月(2005).

石渡洋一, 牧英之, 津谷大樹, 鈴木正樹, 石橋幸治: “カーボンナノチューブ/強磁性金属接合における巨大磁気抵抗効果”, 日本応用磁気学会第5回スピンエレクトロニクス専門研究会, 京都府木津町, 2月(2005).

平山秀樹: “高輝度紫外LEDの高効率化・短波長化の現状と課題”, 情報機構セミナー, 川崎, 3月(2005).

塚本竹雄, 森山悟士, 鈴木正樹, 青柳克信, 石橋幸治: “GaAs/AlGaAs2次元電子ガス基板上へのSWNT量子ドットの作製と評価”, 第52回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4月(2005).

大橋智昭, 平山秀樹, 鎌田憲彦, 石橋幸治: “InAlGa_N4元混晶の紫外発光特性の成長圧力依存性”, 第52回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4月(2005).