

光物性研究チーム

Laboratory for Photophysics

チームリーダー 瀬川 勇三郎
SEGAWA, Yusaburo

当研究チームでは、光と物質との相互作用を理解し、それを光機能素子に応用することを目指している。物質の形を電子のドブロイ波長程度にすると、電子構造の変化に伴う新しい現象が見られ始める。これは量子閉じ込め効果と呼ばれ、物質の性質を人為的に制御する方法として、近年盛んに研究が行われている。我々は、半導体の中でも励起子を利用した特性が期待されている酸化亜鉛を主として取り上げてきた。現在レーザー MBE 法、有機金属気相堆積法 (MOCVD) などにより制作した酸化亜鉛系量子井戸構造を中心とした研究を行っている。

光を、光の波長と同程度の周期で屈折率が変化する構造に入れると、光の特性を制御することが可能になり、この周期構造はフォトニック結晶と呼ばれている。この効果を探るため、新しい構造開発、および三次元周期構造を、可視光領域で実現するための研究を行っている。また高速電子線とフォトニック結晶との相互作用により発生する光に関する研究も行った。

1. 酸化物半導体の量子閉じ込め構造の製作とその光学特性に関する研究 (Zhang, 牧野, Binh, Liu, Ashirafi^{*1}, 大谷^{*2}, 若槻^{*3})

(1) MOCVD 法による ZnO の結晶成長と光学評価

MOCVD 法により ZnO を井戸層, MgZnO をバリア層とした量子井戸 (QW) 構造を作成した。これまでの報告では、高価な格子整合基板や GaN 基板が使われていたが、本研究では安価なサファイア基板を用いた。井戸幅の減少にしたがって、QW における発光は高エネルギー側にシフトすることが観測され、量子閉じ込め効果を反映している。また、QW の側面からの発光の偏光測定を行い、発光の電場ベクトルは井戸層界面に平行であることが分かった。さらに、井戸からの発光寿命はバリア層からの発光寿命よりも短くなったことが判明した。これらの結果は井戸内の励起子が二次元的な振舞いをしていることを示唆する。昨年度に続いて、MOCVD 法により ZnO 薄膜やナノ構造および ZnMgO 混晶の結晶成長を行い、得られた試料の結晶性や光学的性質について調べた。これまでにサファイア (0001) 基板上へ ZnO ナノロッド、ナノチューブとナノウォールを作成した。本年度は、成長条件を制御することにより、サファイア (11-20) 基板上へ ZnO ナノネットワークを作成することに成功した。このようなネットワークは二次元ナノウォールと一次元ナノロッドからなるもので、最小構成単位のサイズは 100 nm 程度で、非常に小さい。このようなナノネットワークから励起子散乱に起因する誘導放出が観測され、ナノスケールの発光デバイスへの応用が期待される。

SiC およびサファイア基板上的 ZnO 薄膜の歪の様子を励起子スペクトルより考察した。各基板の歪比はそれぞれ 0.61 および 0.50 と見積もられた。また SiC 上で ZnO 結晶成長過程を断面 TEM 像などで観察し、二次元成長から三次元成長への移行を解析した。

(2) レーザー MBE 法による ZnO の結晶成長と評価

酸化亜鉛は、励起子の特性を利用することでレーザーの発光効率が窒化ガリウムより飛躍的に向上すると期待され

ている。しかし、酸化亜鉛は本来電子の多い n 型になりやすく、p 型化は非常に困難ではあるが実現すれば大きなブレークスルーであると認識されていた。p 型の報告例はこれまでにいくつかあったが、いずれも信頼できるデータとしては受け入れられていなかった。成長温度を 400°C と 1000°C 間で繰り返し往復させながら成長する反復温度変調法により再現性の良い酸化亜鉛の p 型薄膜結晶成長を可能とし、酸化亜鉛を用いた pn 接合による紫外発光素子の作製に成功した。残留電子を極力低減するために薄膜結晶の欠陥を低減するための系統的な光学評価を行った。従来よりも室温励起子発光寿命が 10 倍、残留電子濃度は 1/10、電子移動度の世界記録の更新などを実現した。窒素アクセプター添加薄膜におけるホール効果、電気伝導率測定や光学スペクトル測定の窒素濃度依存性について調べた。窒素濃度が、 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のサンプルに対する、低温発光スペクトルで、深いドナー状態が関与したドナーアクセプター対 (D_aAP) と浅い DA 対 (D_sAP) とをスペクトル的に分解して観測できた。発光の励起強度依存性や時間分解発光の結果から、これらピークは DA 対からの発光であると同定した。また、発光の解析から窒素アクセプターのイオン化エネルギーは、窒素濃度に依存することを見いだすとともに、その値は、165~348 meV の範囲であると定量した。

2. 量子光学とフォトニック結晶に関する研究 (Zhang, 堀内, Liu, Hanh, 渡辺^{*2})

(1) 円座標フォトニック結晶に関する研究

フォトニック結晶は屈折率に周期構造を持つ人工結晶である。屈折率の変調周期が波長と同程度になると、伝搬する光子のエネルギー分散曲線はバンドを形成し、光子の状態密度が零となる禁制帯 (フォトニックギャップ) が現れる。発光素子から放出される光子の状態を面内伝播に対して禁制とすれば、面垂直方向に放出される光子の効率が増大すると期待される。

面内に等方的なフォトニックギャップを得るため、当研究チームでは屈折率の変調構造を同心円状にした円座標フォ

トニック結晶 (Circular Photonic Crystal, 以下 CPC と略) を提案した。昨年度はミリメートルスケールのアルミナ円柱で CPC を作製し, 等方的なフォトニックギャップの形成をミリ波領域で検証した。本年度は等方的なフォトニックギャップの起源について考察を行った。CPC は単位胞を持たず, 格子間隔が最隣接距離 d で規定される一種のアモルファス構造体である。フォトニックギャップの形成は短距離秩序に関連していると考えられる。アルミナ円柱 (直径: 6 mm, 長さ: 300 mm, 屈折率: 3.1) を 2 本並べ, ミリ波の入射角度を変えながらその中間地点での電界強度を測定した。スペクトルは CPC 内部で観測されたものと類似していた。2 本の円柱周辺の電界強度分布を平面波展開法によって求めたところ, 実験結果を裏付けるように円柱列に対して ± 30 度の広い入射角度の範囲で中間点の電界強度が減少していた。また中間点で電界強度が減少しているとき, アルミナ円柱内の電界強度分布はフォトニックギャップが観測される周波数 (9 GHz, 14 GHz, 20 GHz) の低い順に $m = 0, 1, 2$ の Mie 共鳴状態を示していた。この Mie 共鳴状態は 2 本の円柱間隔が離れるに従って消失した。CPC のフォトニックギャップの起源は, 隣接する円柱間において Mie 共鳴の結合・反結合状態が形成されたためであると考えられる。

フォトニック結晶の屈折率変調周期とフォトニックギャップの周波数帯域の間にはスケーリング則が成り立つ。原理的にはナノメートルスケールの誘電体円柱を同心円状に配列させれば, 可視・近赤外領域にフォトニックギャップを持つ CPC を作製することができる。しかし, ナノメートルスケールの円柱を作製することは技術的に困難である。ナノメートルスケールの CPC をオートクロウニング法によって作製し, 反射スペクトルの測定からフォトニックギャップの周波数帯域を求めた。同心円の半径方向の増加は 400 nm で, 同心円の数 は 625 である (パタン直径 500 μm)。スパッタ法で SiO_2 と Ta_2O_5 を膜厚 200 nm ずつ交互に 20 回積膜した。CPC のパタン以外の部分を化学エッチングで除去し, 基板上に CPC を円盤状に切り出し, 反射スペクトルを測定した。オートクロウニング法で作製した CPC は, 積膜面内は同心円状にそして積膜垂直方向は鋸波状に屈折率が分布しているので, フォトニックギャップを FDTD 法で計算することは非常に困難である。オートクロウニング法で作製した三角格子フォトニック結晶 (格子定数: 400 nm) のギャップ位置は 1300 nm 近傍に出現することが実験と計算から検証されている。CPC (同心円の間隔 400 nm) のフォトニックギャップもこの近傍で観測されると類推される。TM 偏光 (積膜垂直方向) では 1300 nm, TE 偏光 (積膜面内方向) では 1380 nm 近傍で鋭いピークが観測された。その上, これらのピーク位置は光のあらゆる入射角度に対してほとんど変化が見られなかった。オートクロウニング法で作製した CPC が等方的なフォトニックギャップを持つことを検証した。

(2) 電子線とフォトニック結晶の相互作用に関する研究
フォトニック結晶を用いると, 高速電子線との相互作用で指向性の良い光を発生させることができる。回折格子の表面近傍を電子ビームが走ると, ウムクラップ散乱によって電子から放出されるエバネッセント波が平面波に変換される (スミス・パーセル放射)。周期構造を持つ光の散乱

体という意味で回折格子と同じ働きをしているが, フォトニック結晶の場合には光子の分散にバンド構造ができるので, 平面波として検出される光スペクトルに大幅な変化が生じると期待される。東北大学原子核理学研究施設の線形加速器を用いてフォトニック結晶と電子線の相互作用について実験を行った。直径 3 mm のテフロン棒, 若しくは溶融石英棒を層状に並べ, 一次元フォトニック結晶 (棒の数 28 本, 1 層) を作製した。光速に近い電子線は, 試料面上高さ 10 mm で棒と垂直方向に走る。このとき試料表面からの発光スペクトルを, フーリエ分光器と Si ボロメータで検出した。発光スペクトルのエネルギー分散は k (規格化波数) $-\omega$ (周波数) 空間で逆格子の整数倍 ($-1, -2, -3, \dots$) ずれたライト・ラインと平行な直線と傾きが穏やかな直線 (X) となって得られた。また直線 X の傾きは試料を構成する棒の誘電率に依存することが分かった。アルミナ棒でフォトニック結晶を作製した場合, ライト・ラインと平行な直線は観測されるが, 直線 X は観測されなかった。ベクトル円筒波展開法によって一次元フォトニック結晶内に形成されるフォトニックバンドを計算すると, フォトニックバンドはこの直線 X と良く重なっていた。光速に近い電子線から放出されるエバネッセント波はほとんど減衰せず, 近似的に平面波として見なすことができる。このエバネッセント波が端面からフォトニック結晶内部に侵入し, フォトニックバンドを励起していると思われる。即ち, 直線 X の分散関係を持つ発光はフォトニック結晶の中を伝搬していたエバネッセント波がウムクラップ散乱によって伝搬波へと変換され, フォトニック結晶外へ放出されたと考えられる。

*1 基礎科学特別研究員, *2 研修生, *3 ジュニア・リサーチ・アソシエイト

1. Optical properties of quantum confined Oxide Semiconductors

(1) MOCVD growth of ZnO nanostructures and ZnO/MgZnO quantum wells

Various ZnO nanostructures (nanorods, nanotubes and nanowalls) were grown epitaxially by metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) on Al_2O_3 (0001) surfaces without use of catalysts. By decreasing the reactor pressure from 10 to 0.06 Torr, nanorods, nanotubes and nanowalls were obtained successively. The ZnO nanorods had hexagonal cross sections with diameters of 100-500 nm. The emission line width of a bound exciton was comparable to that of ZnO bulk (≤ 1 meV), indicating good optical quality. From such nanorods, emission due to biexcitons was observed up to 200 K under the excitation of a CW He-Cd laser. The ZnO nanotubes were characterized by hexagonal cross sections too. The tube density was dependent on both growth temperature and reactor pressure, while the tube diameter was dependent on the growth temperature only. The nanotubes were well aligned both along the growth direction and within the growth plane.

ZnO/MgZnO single quantum wells (QWs) in which the well width changes continuously were grown on sapphire (11-20) substrates by the same MOCVD. The emission energy from the QWs exhibited a blue shift with reduction in the thickness of the ZnO well layer, which was inter-

puted by a simple theoretical model. Since MOCVD is a widely used technique in industry and since sapphire is much cheaper than other substrates used previously, such as ScAlMgO₄ and GaN, this work should highlight the development of ZnO-based UV optoelectronic devices.

Vegard's law (x-ray diffraction) and inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry were employed to determine Mg composition in Mg_xZn_{1-x}O layers deposited on 6H-SiC substrates. With the increase of Mg composition in Mg_xZn_{1-x}O layers, the c axis length decreased by 5.2048-0.072x, while the axis length increased to 3.2491+0.047x. The lattice constants estimated by Vegard's law and a theoretical model exhibited an uncertainty to be 3% that has been attributed to the lattice misfit in the MgO/ZnO materials system to 2%. Localized exciton peaks of Mg_xZn_{1-x}O alloy in photoluminescence (PL) measurements disappeared completely, while the neutral donor-acceptor pair and 1LO-phonon energies decreased rapidly with the increase of Mg composition. These PL data do not comply with Vegard's law. These asymmetric behaviors in the Mg_xZn_{1-x}O alloy are the subject of locally disordered Mg potential fluctuations and an artifact of the c-MgO and a-MgO lengths calculated theoretically.

(2) ZnO related quantum structures grown by Laser MBE

We investigated the optical properties of epitaxial *n*-type ZnO films grown on lattice-matched ScAlMgO₄ substrates. As the Ga doping concentration increased up to $6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, the absorption edge showed a systematic blue-shift, consistent with the Burstein-Moss effect. Both a Stokes shift and broadening in the PL band are monotonically increasing functions of donor concentration, which was explained in terms of potential fluctuations caused by the random distribution of donor impurities

Epitaxial ZnO thin films were grown by laser molecular-beam epitaxy on lattice-matched ScAlMgO₄ substrates following the deposition and annealing of suitable buffer layers. The samples were characterized by low-temperature photoluminescence (PL), absorption, and reflectivity measurements. PL from higher order ($n = 2$) excitons (A exciton) was observed at temperatures lower than 40 K. The absorption spectrum contained lines and the reflection spectrum exhibited anomalies that were assigned to the excited-states ($n = 2, 3$) of A and B excitons. The optical quality could be improved dramatically by using annealed ZnO or MgZnO buffer layers.

2. Quantum Optics and Photonic Crystal

A bent photonic crystal waveguide was fabricated by use of a lattice pattern of a circular photonic crystal, that allowed high transmission for a broad band of wavelengths with a small radius of curvature at a bend. The waveguide was fabricated by alumina rods with a diameter of 3 mm. Windows of high transmission as a result of waveguiding were observed near 9 and 15 GHz. By measurement of the relative wave intensity $|E|^2$ along the line defects, the propagation losses in the straight and bent sections were estimated at 9.3 GHz to be 0.04 and 0.03 dB/mm, respectively.

Light emission is measured in the millimeter scale range by passing an electron beam (150 MeV) just above the surface of a one-dimensional photonic crystal. The photonic crystal is an array of dielectric cylinders with 3 mm in diameter. The energy dispersion of the emitted light reveals that an umklapp momentum shift occurs in a finite-size photonic crystal. By changing the periodic distance or the substance of the cylinders, the energy dispersion curves

whose slope is smaller than the light line result from the photonic bands excitation. In the calculation of the photonic band, the light emitted by the bulk umklapp momentum shift is observed only for the photonic band excitation with even parity.

Staff

Head

Dr. Yusaburo SEGAWA

Research Scientists

Dr. Bao-Ping ZHANG

Dr. Takayuki MAKINO

Dr. Noriaki HORIUCHI

Technical Staffs

Mr. Binh Thanh NGUYEN

Mr. Cheng-You LIU

Ms. Hanh Thi DOAN

Visiting Members and Postdoctoral Fellows

Dr. ABM Almamun ASHRAFI (Special Postdoctoral Researcher)

Mr. Kazeki WAKATSUKI (Junior Research Associate)

Trainees

Mr. Ryosuke WATANABE (Fac. Sci. Tohoku Univ.)

Mr. Akira OHTANI (Fac. Sci. Tohoku Univ.)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Usami N., and Segawa Y.: "Low-temperature growth of ZnO epitaxial films by metal organic chemical vapor deposition", Appl. Phys. A **78**, 25–28 (2004). *

Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Usami N., and Segawa Y.: "Low-temperature growth of single-crystalline ZnO tubes on sapphire (0001) substrates", Appl. Phys. A **79**, 1711–1714 (2004). *

Liu C., Zhang B., Nguyen B. T., and Segawa Y.: "Third-harmonic generation from ZnO films deposited by MOCVD", Appl. Phys. B **79**, 83–86 (2004). *

Zhang B., Nguyen B. T., Segawa Y., Kashiwaba Y., and Haga K.: "Photoluminescence study of ZnO nanorods epitaxially grown on sapphire (11 $\bar{2}$ 0) substrates", Appl. Phys. Lett. **84**, 586–588 (2004). *

Ashrafi A. A., Nguyen B. T., Zhang B., and Segawa Y.: "Strain relaxation and its effect in exciton resonance energies of epitaxial ZnO layers grown on 6H-SiC substrates", Appl. Phys. Lett. **84**, 2814–2816 (2004). *

- Tsukazaki A., Ohtomo A., Kawasaki M., Makino T., Chia C., Segawa Y., and Koinuma H.: "Emission from the higher-order excitons in ZnO films grown by laser molecular-beam epitaxy", *Appl. Phys. Lett.* **84**, 3858–3860 (2004). *
- Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Segawa Y., Yamada Y., Usami N., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Formation of highly aligned ZnO tubes on sapphire (0001) substrates", *Appl. Phys. Lett.* **84**, 4098–4100 (2004). *
- Makino T., Segawa Y., Yoshida S., Tsukazaki A., Ohtomo A., and Kawasaki M.: "Gallium concentration dependence of room-temperature near-band-edge luminescence in *n*-type ZnO:Ga", *Appl. Phys. Lett.* **85**, 759–761 (2004). *
- Ohtani M., Makino T., Yamamoto K., Segawa Y., Fukumura T., Sakurada H., Nishimura J., Koinuma H., and Kawasaki M.: "High-throughput characterization of linear and nonlinear optical properties in composition-spread (Sr,Ca)₂CuO₃ thin-films", *Appl. Surf. Sci.* **223**, 133–137 (2004). *
- Ashrafi A. A., Nguyen B. T., Zhang B., and Segawa Y.: "Temperature-dependent photoluminescence of ZnO layers grown on 6H-SiC substrates", *J. Appl. Phys.* **95**, 7738–7741 (2004). *
- Zhang B., Wakatsuki K., Nguyen B. T., and Segawa Y.: "Low-temperature growth of ZnO nanostructure networks", *J. Appl. Phys.* **96**, 340–343 (2004). *
- Yamada Y., Toyosaki H., Tsukazaki A., Fukumura T., Tamura K., Segawa Y., Nakajima K., Aoyama T., Chikyow T., Hasegawa T., Koinuma H., and Kawasaki M.: "Epitaxial growth and physical properties of a room temperature ferromagnetic semiconductor: Anatase phase Ti_{1-x}Co_xO₂", *J. Appl. Phys.* **96**, 5097–5102 (2004). *
- Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Segawa Y., Yamada Y., Usami N., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Pressure-dependent ZnO nanocrystal growth in a chemical vapor deposition process", *J. Phys. Chem. B* **108**, 10899–10902 (2004). *
- Ashrafi A. A., Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., and Segawa Y.: "High-quality ZnO layers grown on 6H-SiC substrates by metalorganic chemical vapor deposition", *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **43**, 1114–1117 (2004). *
- Nguyen B. T., Zhang B., Liu C., Wakatsuki K., Segawa Y., Usami N., Yamada Y., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Structural and optical properties of ZnO epitaxial films grown on Al₂O₃ (1120) substrates by metalorganic chemical vapor deposition", *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **43**, 4110–4113 (2004). *
- Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Segawa Y., Kashiwaba Y., and Haga K.: "Synthesis and optical properties of single crystal ZnO nanorods", *Nanotechnology* **15**, S382–S388 (2004). *
- Liu C., Zhang B., Nguyen B. T., and Segawa Y.: "Second harmonic generation in ZnO thin films fabricated by metalorganic chemical vapor deposition", *Opt. Commun.* **237**, 65–70 (2004). *
- Horiuchi N., Segawa Y., Nozokido T., Mizuno K., and Miyazaki H.: "Isotropic photonic gaps in a circular photonic crystal", *Opt. Lett.* **29**, 1084–1086 (2004). *
- Yamamoto K., Sakakibara R., Yano S., Segawa Y., Shibata Y., Ishi K., Ohsaka T., Hara T., Kondo Y., Miyazaki H., Hinode F., Matsuyama T., Yamaguchi S., and Ohtaka K.: "Observation of millimeter-wave radiation generated by the interaction between an electron beam and a photonic crystal", *Phys. Rev. E* **69**, 045601-1–045601-4 (2004). *
- Shoji A., Zhang B., Segawa Y., Kishimoto J., Ishihara H., and Cho K.: "Interchange of the quantum states of confined excitons caused by radiative corrections in CuCl films", *Phys. Rev. Lett.* **92**, 257401-1–257401-4 (2004). *
- Kashiwaba Y., Haga K., Watanabe H., Zhang B., Segawa Y., and Matsushita K.: "Properties of ZnO films prepared by MO-CVD under oxygen rich condition on sapphire substrate", *Phys. Stat. Sol.(c)* **1**, 912–915 (2004). *
- Kato H., Sano M., Miyamoto K., Yao T., Zhang B., Wakatsuki K., and Segawa Y.: "MBE growth of Zn-polar ZnO on MOCVD-ZnO templates", *Phys. Status Solidi B* **241**, 2825–2829 (2004). *
- Makino T., Ohtomo A., Chia C., Segawa Y., Koinuma H., and Kawasaki M.: "Internal electric field effect on luminescence properties of ZnO/(Mg,Zn)O quantum wells", *Physica E* **21**, 671–675 (2004). *
- Zhang B., Wakatsuki K., Nguyen B. T., Usami N., and Segawa Y.: "Effects of growth temperature on the characteristics of ZnO epitaxial films deposited by metalorganic chemical vapor deposition", *Thin Solid Films* **449**, 12–19 (2004). *
- Yasui T., Yasuda M., Nezaki D., Takata M., Zhang B., and Segawa Y.: "Positioning growth of ZnO whiskers/dots on sapphire substrates", *Thin Solid Films* **464/465**, 273–276 (2004). *

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

- Nguyen B. T., Zhang B., Liu C., Wakatsuki K., Segawa Y., Usami N., Yamada Y., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Structural and optical properties of ZnO epitaxial films grown on Al₂O₃ (1120) substrates by metalorganic chemical vapor deposition", *Int. Workshop on Photonics and Applications*, (Institute of Physics and others), Hanoi, Vietnam, Apr. (2004).
- Zhang B. and Segawa Y.: "ZnO films and nonstructures grown by MOCVD", *2nd Symposium on Crystal Growth and Crystal Engineering*, (Japan Society for the promotion of Science), Beijing, China, May (2004).

- Segawa Y.: "Confinement-enhanced biexciton binding energy in ZnO/ZnMgO MQW", Zinc Oxide Workshop, (Air Force Research Laboratory), Hawaii, USA, May (2004).
- Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., and Segawa Y.: "Epitaxial growth of ZnO films and nanostructures by MOCVD", Int. Conf. on Crystal Growth and LED Epi and Substrate, Suwon, Korea, June (2004).
- Liu C., Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., and Segawa Y.: "Second-harmonic generation in MgZnO multilayers deposited by MOCVD", 6th Int. Conf. on Excitonic Processes in Condensed Matter (EXCON'04), Cracow, Poland, July (2004).
- Zhang B., Wakatsuki K., Nguyen B. T., and Segawa Y.: "Synthesis and exciton-exciton scattering of ZnO nanostructure networks", 6th Int. Conf. on Excitonic Processes in Condensed Matter (EXCON'04), Cracow, Poland, July (2004).
- Ashrafi A. A., Zhang B., and Segawa Y.: "Biaxial strain effect in exciton resonance energies of epitaxial ZnO layers grown on 6H-SiC substrates", 14th Int. Conf. on Crystal Growth/ 12th Int. Conf. on Vapor Growth and Epitaxy (ICCG-14/ICVGE-12), (CNRS and others), Grenoble, France, Aug. (2004).
- Yasui T., Otsuka T., Suzuki T., Tomioka M., Kamimura K., Namekata T., Minamide H., and Ito H.: "Development of the new THz detection system using a parabolic mirror", 34th European Microwave Conf., (IEEE AP Society), Amsterdam, The Netherlands, Oct. (2004).
- Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., Segawa Y., Yamada Y., Usami N., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Catalyst-free low-temperature growth of ZnO nanostructures", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Liu C., Zhang B., Nguyen B. T., Wakatsuki K., and Segawa Y.: "Deposition temperature dependence of the photocurrent in ZnO films", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Makino T., Segawa Y., Yoshida S., Tsukazaki A., Ohtomo A., and Kawasaki M.: "Intense room-temperature near-bandedge luminescence in n-ZnO: Ga", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Chia C., Makino T., Segawa Y., Ohtomo A., and Kawasaki M.: "Quantum-size effect on biexcitons in ZnO quantum wells", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Ashrafi A. A., Zhang B., Segawa Y., Yoo J., Shin K., and Yao T.: "SiC substrate for the ZnO epitaxy: an approach", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Nguyen B. T., Zhang B., Liu C., Wakatsuki K., Segawa Y., Usami N., Yamada Y., Kawasaki M., and Koinuma H.: "Thickness dependence of ZnO film properties grown by metalorganic chemical vapor deposition", 3rd Int. Workshop on ZnO and Related Materials, (JSPS, RIKEN, and Tohoku University), Sendai, Oct. (2004).
- Ashrafi A. A. and Segawa Y.: "Nucleation and growth kinetics of ZnO layers deposited on 6H-SiC substrates", 2nd Int. Conf. on Advanced Materials and Nanotechnology (AMN-2), Queenstown, New Zealand, Feb. (2005). (国内会議)
- 大塚岳志, 安井孝成, 鈴木哲, 行方武夫, 富岡充, 上村勝博, 南出泰亜, 伊藤弘昌: "方物面ミラー型 THz 帯超広帯域検出装置の開発とその感度特性", 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 八王子, 3 月 (2004).
- 安田隆, 小幡恭裕, 大壁史典, 佐藤充, 瀬川勇三郎: "有機金属分解塗布型材料を用いた ZnMgO, ZnCdO 混晶の合成", 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 東京, 3 月 (2004).
- 牧野哲征, 瀬川勇三郎, 川崎雅司, 大友明, 吉田伸, 塚崎敦: "ドナードーピング n 型 ZnO 薄膜における励起子フォノン複合体吸収帯の多体吸収端特異性", 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 八幡佳成, Maung S. M., 水谷五郎, 鈴木隆則, 瀬川勇三郎, 松本祐司, 山本雄一, 鯉沼秀臣: "磁化誘起 SHG 法を用いた Co:TiO₂ 表面の磁性の研究", 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 牧野哲征: "ZnO/(Zn,Mg)O 量子井戸における励起子の光学的性質", 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 青木貴嗣, 森桶利和, 土方泰斗, 矢口裕之, 吉田貞史, 張保平, 三吉靖郎, 尾鍋研太郎: "低窒素濃度 GaPN 混晶のフォトルミネッセンス", 第 65 回応用物理学学会学術講演会, 仙台, 9 月 (2004).
- 牧野哲征, 瀬川勇三郎, 塚崎敦, 吉田伸, 大友明, 川崎雅司: "ドナーまたはアクセプター添加 ZnO 薄膜における電気的・光学的性質", 日本物理学会第 60 回年次大会, 野田, 3 月 (2005).
- 堀内典明, 瀬川勇三郎, 柴田行男, 伊師君弘, 蔦谷勉, 近藤泰洋, 神戸亮, 宮寄博司, 日出富士雄, 高橋俊晴, 山口修一, 落合哲行, 大高一雄: "高エネルギー電子線とフォトリック結晶との相互作用に関する実験 VII", 日本物理学会第 60 回年次大会, 野田, 3 月 (2005).
- 若槻一樹, 張保平, 牧野哲征, Nguyen B. T., 瀬川勇三郎: "MOCVD 法で作製した MgZnO/ZnO/MgZnO 量子井戸における発光の井戸幅依存性", 第 52 回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4 月 (2005).
- 安田隆, 小幡恭裕, 佐藤充, 佐々木健史, 瀬川勇三郎: "ゾルーゲル法による ZnO エピタキシャル結晶の成長", 第 52 回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4 月 (2005).
- 渡邊良祐, 堀内典明, 劉成有, 大淵泰司, 森脇修, 上田亮, 高橋千春, 金子隆司, 瀬川勇三郎: "自己クローニング法によって作製した 3 次元円座標フォトリック結晶の光学特性", 第 52 回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4 月 (2005).
- 牧野哲征, 塚崎敦, 大友明, 角谷正友, Chia C., 福家俊郎, 瀬川勇三郎, 川崎雅司: "窒素添加 ZnO 薄膜における光学

的・電気的性質”, 第 52 回応用物理学関係連合講演会, さいたま, 3-4 月 (2005).