

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360135

研究課題名(和文) 多体クーロン相互作用を含む利得理論計算の実用化と高品質量子細線レーザーによる検証

研究課題名(英文) Development of practical theoretical calculation of semiconductor-laser gain including many-body Coulomb interactions and its experimental verifications with high-quality quantum-wire lasers

研究代表者

秋山 英文 (AKIYAMA, Hidefumi)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：40251491

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：半導体レーザーの利得性能計算には、自由電子近似に基づくバンド理論が用いられてきた。本研究では、計算パラメータを $k \cdot p$ 摂動論に基づいて決定し、1次元量子細線系と2次元量子井戸系用のキャリア間多体クーロン相互作用を平均場近似で取り入れ、レーザーのモード利得を定量的に計算する理論を、コードとして試作した。遮蔽クーロン相互作用の波数依存性を無視した計算も行った。実験では、高品質3周期T型量子細線試料を用いて、利得スペクトルのキャリア密度依存性を精密測定した。理論により得られた定量的利得スペクトルやピーク利得値を実験と比較して、開発した理論の有用性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Optical gain in semiconductor lasers has practically been calculated with band theories based on free electron approximations. In this study, we introduced mean-field approximations for many-body Coulomb interactions among carriers in two-dimensional quantum well system and one-dimensional quantum wire system. We developed practical calculation codes, and quantitatively calculated mode gain of the lasers by determining calculation parameters on the basis of the k - p perturbation theory. We also developed simplified calculation method by neglecting the wave-number dependence of screening for the Coulomb interactions. In the experiments, we precisely measured carrier density dependence of the gain spectrum in a 3 period T-shaped quantum-wire-laser sample with high quality. By comparing the peak gain values and quantitative gain spectra obtained with the theories and experiments, we verified the usefulness of the developed theories.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：量子細線 半導体レーザー 光学利得 多体効果 理論計算

1. 研究開始当初の背景

1982年荒川・榊、1985年浅田・宮本・末松らは、量子細線を半導体レーザーの活性層に用いた量子細線レーザーを提案・解析し、低次元化に伴う状態密度の先鋭化のため、しきい値電流の低減、微分利得の向上、温度変化に対する安定性の増加など優れた性能が実現できると予想した。これらの先駆的研究を指針として、90年代には低次元構造および低次元レーザーの研究開発が精力的に推進された。但し、性能向上を予測したこれらの理論解析は、キャリア(電子、正孔)間に働くクーロン相互作用を無視した自由電子近似に基づくバンド理論を用いたものであり、低次元での状態密度とその上の電子と正孔の熱分布でのみ記述されたものであった。

近年の半導体光学物性研究では、キャリア間の多体相互作用が引き起こす新規なデバイス特性や現象に関心が集まっている。特に低次元系では、キャリア間の相互作用が非常に強く効くために、自由電子近似理論描像では正しく記述し得ない現象・効果が、多いと考えられる。実際、定性的ではあるが、キャリア間多体クーロン相互作用の影響により、量子細線の利得特性が自由電子近似理論予想とは大きく異なることが、高度な理論および計算手法を用いた様々な基礎物性理論計算により指摘されている。

しかし残念ながら、依然今日でも、半導体レーザーの利得性能計算、設計、解析には、殆どの場合、自由電子近似に基づくバンド理論が用いられ、キャリア間クーロン相互作用・多体効果は、利得ピークのシフト・ブロードニングや損失を表す現象論的・経験的なパラメータとして付加的に組み込まれているに過ぎない。

2. 研究の目的

半導体レーザーの利得性能計算には、自由電子近似に基づくバンド理論、もしくはキャリア間クーロン相互作用・多体効果を利得ピークシフトなどの現象論として組み込むものが用いられているが、本研究では、キャリア間多体クーロン相互作用を平均場近似で取り入れて、レーザーのモード利得を定量的に計算する理論の定式化および数値計算コード化を行う。高品質T型量子細線レーザーに対して、利得スペクトルの精密定量計測を行い、その理論計算結果との比較を行う。自由電子近似モデルの理論計算との差異を明らかにしつつ、多体クーロン相互作用効果を取り入れた理論計算との定量的一致を示し、この理論の有用性・必要性を明らかにし、実用化に資することを目的とする。

3. 研究の方法

キャリア間多体クーロン相互作用を平均場近似で取り入れたレーザーのモード利得を定量的に計算する理論の定式化をコード化を進める。計算パラメータを $k \cdot p$ 摂動論

に基づいて決定し、1次元量子細線系と2次元量子井戸系用の定量計算コードをLinuxマシン上のFortran数値計算コードとして完成させる。また、等価な計算をMathematica上のコードに作り直し、使いやすいソフトの開発を進める。また、TDDFT計算との上記の計算の対応関係を調べる。普及しているTDDFT計算用の量子科学計算ソフト「Gaussian」を用いた計算を行い、上記の計算コードの使い勝手向上に役立てる。

実験では、世界的に最高レベルの高品質を持つT型量子細線レーザー素子をMBEへき開再成長法により、また量子井戸レーザー素子をMBE最長・フォトリソグラフィ・ドライエッチングにより作製する。試料に応じて端面高反射および減反射多層膜コーティングを行い、オリジナルの顕微分光計総系を用いて、透過計測法およびハッキ-パオリ-キャンシディ法を実行することにより、利得吸収スペクトルの精密定量測定を行う。これらの理論と実験の結果を得られた定量的利得スペクトルやピーク利得値について詳細な比較を行い、開発した理論の有用性を明らかにする。

4. 研究成果

キャリア間多体クーロン相互作用を平均場近似で取り入れて、レーザーのモード利得を定量的に計算する理論の定式化および数値計算コード化を行った。この理論の有用性・必要性を明らかにして実用化に資するため、高品質T型量子細線レーザー及び量子井戸レーザーに対して、吸収や利得スペクトルの精密定量計測を行い、その理論計算結果との比較を行った。

実験では、高品質3周期T型量子細線試料を用いて、利得スペクトルのキャリア密度依存性を精密測定した。また、1次元励起子の温度依存定量吸収スペクトルと吸収断面積絶対値を評価した。高品質100周期T型量子細線試料を用いて、1次元励起子の吸収断面積の定量評価実験を行った。アインシュタインA-B係数関係式の1次元版に相当する一般式の導出に基づき、1次元励起子固有輻射寿命を評価し、蛍光寿命の温度依存性測定による方法との一致を確かめた。半導体量子井戸2次元連続帯吸収の計測標準応用について、詳細平衡関係式を用いた励起子非平衡分布評価の実験を行った。

理論計算では、計算パラメータを $k \cdot p$ 摂動論に基づいて決定し、1次元量子細線系と2次元量子井戸系用のキャリア間多体クーロン相互作用を平均場近似で取り入れ、レーザーのモード利得を定量的に計算する理論を、コードとして試作した。k空間上を離散化して得たメッシュ数 N に対応する $N \times N$ 非エルミート行列の対角化を行う必要がある場合があった。そこで、遮蔽クーロン相互作用の波数依存性を無視した計算も行った。

これらの理論により得られた定量的利得スペクトルやピーク利得値を上記の実験と比較して、開発した理論の有用性を明らかにした。

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30件)以下すべて査読有

1. Shaoqiang Chen, Takashi Ito, Akifumi Asahara, Masahiro Yoshita, Wenjie Liu, Jiangyong Zhang, Baoping Zhang, Tohru Suemoto, and Hidefumi Akiyama, "Spectral dynamics of picosecond gain-switched pulses from nitride-based vertical-cavity surface-emitting lasers," Scientific Reports 4, 4325(2014). DOI: 10.1038/srep04325
2. Shaoqiang Chen, Akifumi Asahara, Takashi Ito, Jiangyong Zhang, Baoping Zhang, Tohru Suemoto, Masahiro Yoshita, and Hidefumi Akiyama, "Gain-switching dynamics in optically pumped single-mode InGaN vertical-cavity surface-emitting lasers" Optics Express, 22, 4196-4201 (2014). DOI:10.1364/OE.22.004196
3. Yu Wang, Yuhei Hayamizu, Hidefumi Akiyama, "Spectroscopic Study of Firefly Oxyluciferin in Enzymatic Environment on the Basis of Stability Monitoring" J. Phys. Chem. B 118, pp 2070-2076 (2014) DOI: 10.1021/jp411476p
4. Lin Zhu, Changsu Kim, Masahiro Yoshita, Shaoqiang Chen, Shintaroh Sato, Toshimitsu Mochizuki, Hidefumi Akiyama and Yoshihiko Kanemitsu "Impact of Sub-cell Internal Luminescence Yields on Energy Conversion Efficiencies of Tandem Solar Cells: A design principle", Applied Physics Letters 104, 031118 (2014).DOI: 10.1063/1.4861464
5. Wen-Jie Liu, Shao-Qiang Chen, Xiao-Long Hu, Zhe Liu, Jiang-Yong Zhang, Lei-Ying Ying, Xue-Qin Lv, Hidefumi Akiyama, Zhi-Ping Cai, and Bao-Ping Zhang, "Low Threshold Lasing of GaN-Based VCSELs With Sub-Nanometer Roughness Polishing", IEEE Photonics Technology Letters 25, 2014-2017 (2013).DOI: 10.1109/LPT.2013.2280965
6. Miyabi Hiyama, Hidefumi Akiyama, Kenta Yamada, and Nobuaki Koga, "Theoretical Study of Fluorescence Spectra Utilizing the pKa Values of Acids in Their Excited States ", Photochem. Photobiol.90,35-44(2014) DOI: 10.1111/php.12156
7. Yu Wang, Hidefumi Akiyama, Kanako Terakado, Toru Nakatsu, "Impact of Site-Directed Mutant Luciferase on Quantitative Green and Orange/Red Emission Intensities in Firefly Bioluminescence", Scientific Reports 3, 2490 (2013) DOI: 10.1038/srep02490
8. Takashi Ito, Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, Toshimitsu Mochizuki, Changsu Kim, Hidefumi Akiyama, Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, "Transient hot-carrier optical gain in a gain-switched semiconductor laser", Appl. Phys. Lett. 103, 082117 (2013) DOI: 10.1063/1.4819161
9. K. Shinokita, H. Hirori, K. Tanaka, T. Mochizuki, C. Kim, H. Akiyama, L. N. Pfeiffer and K. W. West, "Large enhancement of the photoluminescence emission of photoexcited undoped GaAs quantum wells induced by an intense single-cycle terahertz pulse", Phys. Rev. Lett. 111, 067401 (2013) DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.067401
10. Miyabi Hiyama, Hidefumi Akiyama, Yu Wang, and Nobuaki Koga, "Theoretical Study of Oxyciferin pKa Values; Relative Absorption Intensity in Aqueous Solutions", Chem. Phys. Lett. 577, 121-126 (2013) DOI: 10.1016/j.cplett.2013.05.053
11. Takahiro Nakamura, Toshimitsu Mochizuki, Changsu Kim, Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, and Hidefumi Akiyama, "Double-core-slab-waveguide semiconductor lasers for end optical pumping", Appl. Phys. Express 6, 062702 (2013). DOI: 10.7567/APEX.6.062702
12. Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, Akira Ishikawa, Toshimitsu Mochizuki, Shun Maruyama, Hidefumi Akiyama, Yuhei Hayamizu, Loren N. Pfeiffer, and Ken W. West, "Intrinsic radiative lifetime derived via absorption cross section of one-dimensional excitons", Scientific Reports 3, 1941 (2013). DOI: 10.1038/srep01941
13. Toshimitsu Mochizuki, Toshiyuki Ihara, Masahiro Yoshita, Shun Maruyama, Hidefumi Akiyama, Loren N. Pfeiffer, and Ken W. West, "Fluorescent Radiation Thermometry at Cryogenic Temperatures Based on Detailed Balance Relation", Applied Physics Express 6 (5), 056602 (2013) DOI: 10.7567/APEX.6.056602
14. Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita,

- Aya Sato, Takashi Ito, Hidefumi Akiyama, and Hiroyuki Yokoyama, "Dynamics of short-pulse generation via spectral filtering from intensely excited gain-switched 1.55- μ m distributed-feedback laser diodes", *Optics Express* 21, 10597 (2013) DOI: 10.1364/OE.21.010597
15. Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, Takashi Ito, Toshimitsu Mochizuki, Hidefumi Akiyama, and Hiroyuki Yokoyama, "Gain-switched pulses from InGaAs ridge-quantum-well lasers limited by intrinsic dynamical gain suppression", *Optics Express*, Vol. 21, Issue 6, pp. 7570-7576 (2013). DOI: 10.1364/OE.21.007570
 16. Shaoqiang Chen, Makoto Okano, Baoping Zhang, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, and Yoshihiko Kanemitsu, "Blue 6-ps short-pulse generation in gain-switched InGaN vertical-cavity-surface-emitting lasers via optical pumping", *Appl. Phys. Lett.* 101, 191108 (2012). DOI:10.1063/1.4766290:
 17. Kengo Takamiya, Toshiyuki Fukushima, Shuhei Yagi, Yasuto Hijikata, Toshimitsu Mochizuki, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, Shigeyuki Kuboya, Kentaro Onabe, Ryuji Katayama, and Hiroyuki Yaguchi, " Biexciton Luminescence from Individual Isoelectronic Traps in Nitrogen Delta-Doped GaAs " , *Appl. Phys. Express* 5,111201(2012) DOI: 10.1143/APEX.5.111201
 18. Kohei Arimoto, Masahiro Shiraga, Hideto Shirai, Shunsuke Takeda, Masato Ohmori, Hidefumi Akiyama, Toshimitsu Mochizuki, Kenzo Yamaguchi, Hayato Miyagawa, Noriaki Tsurumachi, Shunsuke Nakanishi, and Shyun Koshiba, "Electrical and Optical Properties of GaNAs/GaAs MQW p-i-n Junctions", *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 37, 193-196 (2012). DOI: 10.14723/tmrsj.37.193
 19. Shaoqiang Chen, Aya Sato, Takashi Ito, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, and Hiroyuki Yokoyama, "Sub-5-ps optical pulse generation from a 1.55- μ m distributed-feedback laser diode with nanosecond electric pulse excitation and spectral filtering", *Optics Express*. 20, 24843 (2012). DOI: 10.1364/OE.20.024843
 20. Kenji Kamide, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, Makoto Yamaguchi, Tetsuo Ogawa, "Fano-resonance gain by dephasing electron-hole Cooper pairs in semiconductors", *J. Phys. Soc. Jpn.* 81, 093706 (2012). DOI: 10.1143/JPSJ.81.093706
 21. Makoto Okano, Yoshihiko Kanemitsu, Shaoqiang Chen, Toshimitsu Mochizuki, Masahiro Yoshita, Hidefumi Akiyama, Loren N. Pfeiffer, and Ken W. West, "Observation of high Rydberg states of one-dimensional excitons in GaAs quantum wires by magneto-photoluminescence excitation spectroscopy" *Phys. Rev. B* 86, 085312 (2012).DOI:10.1103/PhysRevB.86.085312
 22. Masahiro Yoshita, Kenji Kamide, Hidekatsu Suzuura, and Hidefumi Akiyama, "Applicability of continuum absorption in semiconductor quantum wells to absolute absorption-strength standards", *Appl. Phys. Lett.* 101, 032108 (2012).DOI: 10.1063/1.4737900
 23. T. Tachikawa, M. Minohara, Y. Nakanishi, Y. Hikita, M. Yoshita, H. Akiyama, C. Bell, and H. Y. Hwang, "Metal-to-insulator transition in anatase TiO₂ thin films induced by growth rate modulation", *Appl. Phys. Lett.* 101, 022104 (2012).DOI: 10.1063/1.4733724
 24. Shaoqiang Chen, Masahiro Yoshita, Takashi Ito, Toshimitsu Mochizuki, Hidefumi Akiyama, Hiroyuki Yokoyama, Kenji Kamide, and Tetsuo Ogawa "Analysis of gain-switching characteristics including strong gain saturation effects in low-dimensional semiconductor lasers", *Jpn. J. Appl. Phys.* 51, 098001 (2012) DOI: 10.1143/JJAP.51.098001
 25. Toshimitsu Mochizuki, Masahiro Yoshita, Shun Maruyama, Changsu Kim, Keisuke Fukuda, Hidefumi Akiyama, Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, "Waveguide two-point differential-excitation method for quantitative absorption measurements of nanostructures", *Jpn. J. Appl. Phys.* 51 (2012) 106601.DOI: 10.1143/JJAP.51.106601
 26. Miyabi Hiyama, Hidefumi Akiyama, Kenta Yamada, and Nobuaki Koga, "Theoretical Study of Absorption and Fluorescence Spectra of Firefly Luciferin in Aqueous Solutions", *Photochemistry and Photobiology*, 88, 889-898 (2012) DOI: 10.1111/j.1751-1097.2012.01126.x

27. Masahiro Yoshita, Takayuki Okada, Hidefumi Akiyama, Makoto Okano, Toshiyuki Ihara, Loren N. Pfeiffer, and Ken W. West, "Quantitative absorption spectra of quantum wires measured by analysis of attenuated internal emissions", *Appl. Phys. Lett.* 100, 112101 (2012). DOI: 10.1063/1.3693401
28. M. Okano, P. Huai, M. Yoshita, S. Inada, H. Akiyama, K. Kamide, K. Asano, and T. Ogawa "Robust carrier-induced suppression of peak gain inherent to quantum-wire lasers", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 80, 114716 (2011). DOI: 10.1143/JPSJ.80.114716
29. Keishiro Goshima, Akinobu Kittaka, Kensuke Fujii, Masahiro Shiraga, Noriaki Tsurumachi, Shunsuke Nakanishi, Hidefumi Akiyama, Shyun Koshiha and Hiroshi Itoh, "Investigation of the confinement potential within GaNAs/GaAs multiple quantum wells", *Physica Status Solidi C* 8, 414-416 (2011). DOI: 10.1002/pssc.201000587
30. Yu Wang, Hidehiro Kubota, Nobuyuki Yamada, Tsutomu Irie, and Hidefumi Akiyama, "Quantum Yields and Quantitative Spectra of Firefly Bioluminescence with Various Bivalent Metal Ions", *Photochemistry and Photobiology* 87, 846-852 (2011). DOI: 10.1111/j.1751-1097.2011.00931.x

〔学会発表〕(計 72 件)

1. 関口文哉, 吉田正裕, 伊藤隆, 望月敏光, 金昌秀, 秋山英文, Loren N. Pfeiffer, Ken W. West, 島野亮 "バルク GaAs の電子正孔プラズマ相における励起子発光", 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大学湘南キャンパス 2014/03/27-30)
2. 中村考宏, 望月敏光, 金昌秀, 陳少強, 吉田正裕, 秋山英文(東大物性研) "縦型光励起半導体レーザーの励起効率と定量評価" 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大学 湘南キャンパス 2014/03/27-30)
3. 中前秀一, 伊藤隆, 中村考宏, 望月敏光, 金昌秀, 陳少強, 吉田正裕, 秋山英文(東大物性研) "半導体レーザーの利得スイッチングにおける空間的な非一様性の影響" 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大学 湘南キャンパス 2014/03/27-30)
4. 望月敏光, 樋山みやび, 村岡洋介, 秋山英文, 平野誉 "オキシルシフェリン誘導体の吸収測定で探るホタル生物発光の色変化機構" 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大学 湘南キャンパス 2014/03/27-30)
5. 伊藤隆, 中前秀一, 陳少強, 吉田正裕, 望月敏光, 金昌秀, 小林洋平, 秋山英文, Loren N. Pfeiffer, Ken W. West "ファイバーレーザーパルス光源を用いた GaAs 量子井戸レーザーの高密度励起" 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大学 湘南キャンパス 2014/03/27-30)
6. S.Q.Chen, T.Ito, A.Asahara, M.Yoshita, J.Y.Zhang, B.P.Zhang, H. Akiyama, and T. Suemoto "Generation dynamics of picosecond gain-switched pulses from InGaN VCSELs" 日本物理学会 2014 年春季大会(東海大学 湘南キャンパス 2014/03/27-30)
7. 伊藤隆, 吉田正裕, 小林洋平, 秋山英文 "1.55um 帯 10MHz 繰り返しチャープパルス増幅ファイバーレーザー光の第 2 次高調波発生", 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014/3/17-20
8. 朱琳, 望月敏光, 吉田正裕, 陳少強, 金昌秀, 佐藤慎太郎, 秋山英文, 金光義彦 "多接合タンDEM太陽電池効率の拡張詳細平衡理論", 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014/3/17-20
9. Hidefumi Akiyama, Miyabi Hiyama, Toshimitsu Mochizuki, Yu Wang, Yoriko Ando, "Quantitative Measurements, In-situ Spectroscopy, and Quantum-Chemistry Theoretical Studies on Firefly Bioluminescence", The 2nd DYCE-ASIA / ISSP-international workshop on "Life Science and Photonics", at Media Hall, Kashiwa Library, Univ of Tokyo, Chiba, Japan, December 17-18, 2013.
10. Miyabi Hiyama, Kenta Yamada, Toshimitsu Mochizuki, Hidefumi Akiyama, Nobuaki Koga, "Theoretical study for excited states of firefly-bioluminescence-related molecules" 5th JCS International Symposium on Theoretical Chemistry, Todai-ji Culture Center, Nara, Japan, December 2-6, 2013
11. 野口良史, 樋山みやび, 望月敏光, 秋山英文(東大物性研) "ホタルルシフェリン分子の第一原理 GW+Bethe-Salpeter 計算" 原子衝突学会第 38 回年会(理研 2013/11/16-17)
12. 鈴浦秀勝, 吉田正裕, 上出健仁, 秋山英文 "2次元系のバンド間遷移による普遍的吸収係数" 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学 常三島キャンパス 2013/9/25-28)
13. 内田健人, 廣理英基, 篠北啓介, 望月敏光, 金昌秀, 吉田正裕, 秋山英文, L.N.Pfeiffer, K.W.West, 田中耕一郎 "GaAs 量子井戸の励起子内部準位における過渡的 AC シュタルク効果の観測" 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学

- 常三島キャンパス 2013/9/25-28)
14. 関口文哉、鈴木剛、望月敏光、金昌秀、秋山英文、Loren N. Pfeiffer, Ken W. West、島野亮 "パルク GaAs 励起子のテラヘルツ分光" 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学 常三島キャンパス 2013/9/25-28)
 15. 中前秀一、中村考宏、伊藤隆、望月敏光、金昌秀、陳少強、吉田正裕、秋山英文(東大物性研) "縦型光励起ダブルコア半導体レーザーの利得スイッチング" 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学 常三島キャンパス 2013/9/25-28)
 16. 中村考宏、望月敏光、金昌秀、陳少強、吉田正裕、秋山英文(東大物性研) "縦型光励起ダブルコア半導体レーザー" 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学 常三島キャンパス 2013/9/25-28)
 17. 樋山みやび、秋山英文、古賀伸明、(東大物性研、名古屋大学) "ホタル生物発光関連分子の励起状態の理論的研究" 第7回分子科学討論会 2013 (京都 2013/9/24-27)
 18. 朱琳、金昌秀、吉田正裕、陳少強、佐藤慎太郎、秋山英文、金光義彦 "2 接合タンデム太陽電池効率の内部発光量子収率依存性" 第74回 応用物理学会秋季学術講演会 (京都 同志社大学京田辺キャンパス 2013/9/16-20)
 19. 高宮健吾、八木修平、土方泰斗、望月敏光、吉田正裕、秋山英文、窪谷茂幸、片山竜二、尾鍋研太郎、矢口裕之 "窒素ドーピング GaAs 中の単一等電子トラップによる励起子分子発光の時間分解フォトルミネッセンス測定" 第74回 応用物理学会秋季学術講演会 (京都 同志社大学京田辺キャンパス 2013/9/16-20)
 20. 松本 翔太郎、舩城 央、宮川 勇人、望月敏光、秋山英文、小柴 俊、中西 俊介、鶴町 徳昭 "希薄磁性半導体 GaGdAs の光学・電気特性に及ぼす Si ドーピングの影響" 第74回 応用物理学会秋季学術講演会 (京都 同志社大学京田辺キャンパス 2013/9/16-20)
 21. Yu Wang, Yoriko Ando, Toshimitsu Mochizuki, Miyabi Hiyama, Hidefumi Akiyama, "In-situ and Quantitative Spectroscopy of Firefly Bioluminescence", 18th International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids (DPC'13), Fuzhou, China, August 5-9, 2013
 22. Wen-Jie Liu, Shao-Qiang Chen, Xiao-Long Hu, Jiang-Yong Zhang, Lei-Ying Ying, Xue-Qin Lv, Hidefumi Akiyama, Bao-Ping Zhang, "Low threshold lasing of optically pumped GaN-based vertical-cavity surface-emitting lasers", 18th International Conference on Dynamical

- Processes in Excited States of Solids (DPC'13), Fuzhou, China, August 5-9, 2013
23. Miyabi Hiyama, Hidefumi Akiyama, Nobuaki Koga (Nagoya Univ. ISSP) "Theoretical study for excited states of firefly-bioluminescence-related molecules" 29th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Sendai, Japan, June 5-7, 2013 1P06
 24. H. Hirori, K. Shinokita, K. Uchida, K. Tanaka, T. Mochizuki, H. Akiyama, K. W. West, L. N. Pfeiffer: "Nonlinear Interactions of GaAs/AlGaAs Multi-Quantum Wells with Intense THz Pulses" International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST) 2013, Kyoto Terra Japan, April 1-5, 2013
 25. H. Hirori, K. Shinokita, K. Uchida, K. Tanaka, T. Mochizuki, H. Akiyama, K. W. West, L. N. Pfeiffer: "Nonlinear Interactions of GaAs/AlGaAs Multi-Quantum Wells with Intense THz Pulses" International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST) 2013, Kyoto Terra Japan, April 1-5, 2013
- 〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 英文 (AKIYAMA HIDEFUMI)
東京大学・物性研究所・准教授
研究者番号：40251491