

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24244048

研究課題名(和文) サーマルフリーフォトンクスを目指した極限共鳴光学応答の開拓

研究課題名(英文) Study of ultrafast resonant optical response toward thermal-free photonics

研究代表者

石原 一 (Ishihara, Hajime)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60273611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノからバルクへのクロスオーバー領域で、広域な輻射幅を持つ励起子モードが室温の位相緩和時間を超えるスピードで輻射緩和を終え、発熱の極めて少ない超高速応答を示すことを実証した。実験では広域幅モードの全域をカバーする励起により、目標にしていた10fs級の応答の観測に成功し、狙い通り室温での信号低減が大きく抑えられた。広域輻射幅モードの非線形理論も完成し、実験結果が良く説明できた。さらに超高速発光の理論を新たに構築し、光を介した励起子の重ね合わせ状態より上方変換発光が生じる、全く新しい励起子発光機構を予言した。実験的にも類似の現象が確認され、新しい光源開発に結びつく成果となった。

研究成果の概要(英文)：This study has successfully demonstrated a thermal-free ultrafast optical response for thin films in a crossover thickness regime between nano- and bulk regimes, where the excitonic mode with a wide radiative width exhibits a radiative decay faster than the dephasing at room temperature. We have observed an ultrafast response with 10 fs order by the excitation covering a whole width of the ultra-wide mode, where the signal reduction at room temperature is minimized. Our newly developed theory of nonlinear response of the ultra-wide modes well explains the above results. Furthermore, we have developed a theory for the ultrafast photoluminescence of confined excitons in the crossover thickness regime, and it proposes up-conversion photoluminescence from the superposed states of energetically different excitonic states coupled each other via radiation. We have also observed similar effects in experiments, which show the possibility for developing a new type of up-conversion light source.

研究分野：光物性理論

キーワード：非線形光学 励起子 CuCl ZnO 薄膜 四光波混合 カー応答

1. 研究開始当初の背景

固体中の励起子現象の研究は物性物理学の長年の重要課題であり、特にナノ構造に閉じ込められた励起子の特異な光学応答はおよそここ20年、様々な角度からの研究で知見が蓄積していた。そのような中、筆者等は光電場と励起子波動の空間的インタープレイを正面から取り入れる独自理論と実験検証を展開し、ナノからバルクへのクロスオーバー領域特有の物理を先導的に開拓してきた。特に極めて強い光-励起子結合が巨大輻射シフトや100fs級から10fs級の超高速輻射緩和として現れる現象の理論的予測と実験実証 [Phys. Rev. Lett.103, 257401 (2009)][phys. stat. solid. B248,456-459 (2011)]は室温の位相緩和より速い応答の存在を示唆しており、位相緩和に打ち勝つ光学応答を得る全く新しいアプローチとその応用の広がりを期待させた。

2. 研究の目的

(1)本研究は、バルクでの並進対称性や、ナノ領域での(光の空間構造を無視する)長波長近似が成り立たない「ナノからバルクへのクロスオーバー領域」において発現すると期待される極限的光学応答を理論・実験実証することを目的とした。

(2)クロスオーバー領域においては非長波長効果のため励起子-光相互作用体積が巨大化し、室温位相緩和速度を凌ぐ10fsクラスの輻射緩和時間が可能であることが突き止められている。本研究では10fsレーザーを用いて、「室温」においてこの極限的光学応答の全貌を捉え、位相緩和によるコヒーレント長の概念を問い直すことにした。

(3)さらに、様々な光学過程において、室温位相緩和速度を凌ぐ高速モードの関与が散逸・発熱を究極的に迎え込む機構を提案し、次世代サーマルフリーフォトニクスへの扉を開くことを目的とした。

3. 研究の方法

(1)初年度には、理論において室温超短パルス応答の全スペクトルを捉えた場合の非線形強度評価手法を確立し、実験においては測定装置の準備とその適用の開始、及び系統的な膜厚依存性を評価するための試料作製体制を整えた。

(2)2年目以降には次の項目を進めた。
理論：四光波混合、偏光回転等における室温超短パルス応答の実験解析とフィードバック。室温超高速モードによる光スイッチの理論デモンストレーション。
実験：10fs級室温超高速モードを実験的に捉え、高速性、効率性を両立させた室温無散逸光スイッチ動作の実証。またCuClに加えてZnO薄膜を用い、超高速モードを確認する四

光波混合、偏光回転、超高速発光測定などを行った。

4. 研究成果

(1)まず理論的に、スペクトル分散の強いカー応答信号を用いて非線形性の大きさを評価する方法を明らかにした。具体的にはx偏光出力とy偏光出力のそれぞれのスペクトル積分値の比を取ることで、試料等の条件の異なる実験においての非線形性の大きさの比較が可能であることを明らかにした。

(2)ZnOについて、A,B励起子が輻射を介して結合することを理論的に明らかにし、結合したモードの一つが輻射補正を占有することにより極めて大きな輻射緩和率が期待できることを明らかにした。また、スペクトルピークのA,B成分比が膜厚依存性を伴って様々に変化することを明らかにし、従来実験的に決められてきた価電子帯対称性の序列の議論やA,B振動子強度の議論に見直しが必要であることを議論した。

(3)フェムト秒オーダーのパルス解析には非輻射緩和の非マルコフ性が重要になると考えられるが、非局所応答理論に対してフォノンの有限緩和時間による非マルコフ性を取り入れることが可能な理論的手法を整えた。

(4)実験的にはCuCl薄膜において、室温位相緩和時間を凌ぐ輻射緩和時間を持つモードの全線幅をカバーするパルスでの励起に成功した。その結果、10fs級の応答が観測され、室温での信号強度低下も従来より遙かに抑えられるようになった。また、多種の膜厚でフェムト秒級の四光波混合信号スペクトルを測定し、入射光にチャープを考慮した理論解析をすることにより、特に高エネルギー側と低エネルギー側の信号の大小関係に対するチャープ正負の依存性がより正確に議論出来るようになった。

(5)CuClの超高速モードの発光理論が完成し、光を介した巨大な励起子間相互作用による重ね合わせ状態から高効率な上方変換発光が現れるという新奇な発光機構が明らかになった。実験的にも類似の現象を観測することに成功した。超高速モードの新しい光機能として重要な研究対象の開拓例と言える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計15件)

1. T. Matsuda, N. Yokoshi and H. Ishihara, Upconverted photoluminescence induced by radiative coupling between excitons, Physical Review B, 有, 93, 2016, 155418 DOI:http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.93.155418
2. T. Matsuda, N. Yokoshi and H. Ishihara,

Anomalous Photoluminescence of Weakly Confined Excitons including Radiative Correction in Nano-to-Bulk Crossover Regime, Journal of Physics: Conference Series, 有, 619, 2015, 012012
DOI: 10.1088/1742-6596/619/1/012012

3. T. Kinoshita and H. Ishihara, Radiative coupling between multi-component excitons in ZnO thin films, Journal of Physics: Conference Series, 有, 619, 2015, 012010
DOI: 10.1088/1742-6596/619/1/012010

4. M. Ichimiya, T. Umakoshi, H. Murata, T. Kinoshita, H. Ishihara and M. Ashida, Resonant Optical Kerr Response with Ultrafast Decay Time by Nonlocal Wave Coupling of Light and Excitons, Ultrafast Phenomena XIX, Proceedings of the 19th International Conference, (Springer), 有, 0.8Tue.P2, 2015, 47
DOI: 10.1364/UP.2014.08.Tue.P2.47

5. M. Ichimiya, H. Murata, T. Umakoshi, T. Kinoshita, H. Ishihara and M. Ashid, Ultrafast Resonant Optical Kerr Response due to Long-Range Coherent Coupling of Light and Multinode-Type Excitons, CLEO: QELS Fundamental Science, CLEO_QELS 2014(2014.06), 有, JTh2A, 2014, 109
DOI: 10.1364/CLEO_AT.2014.JTh2A.109

6. A. Oyamada and H. Ishihara, Theoretical demonstration of GaAs/AIAs optically confined double photonic structure for THz generation, Japanese Journal of Applied Physics, 有, 53, 2014, 090303
DOI: 10.7567/JJAP.53.090303

7. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, D. Kim, M. Nakayama, G. Oohata, H. Oka, H. Ajiki and H. Ishihara, Observation of bound and antibound states of cavity polariton pairs in a CuCl microcavity, Physical Review B, 有, 89, 2014, 035317
DOI: 10.1103/PhysRevB.89.035317

8. 一宮正義, 芦田昌明, 石原一, I-VII 族化合物の精密薄膜制御による極限光学応答の発現, スマートプロセス学会誌, 有, 2, 2013, 245-250
URL: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/>

9. S. Yoshino, G. Oohata, Y. Shim, H. Ishihara and K. Mizoguchi, Optical properties of CuCl microcavities with fluctuations in their refractive index profiles along the cavity structures, Physical Review B, 有, 88, 2013, 205311
DOI: 10.1103/PhysRevB.88.205311

10. T. Okude, G. Oohata, S. Yoshino, Y. Shim, H. Ishihara and K. Mizoguchi, Optical properties of asymmetric coupled CuCl microcavities, European Physical Journal B, 有, 86, 2013, 143

DOI: 10.1140/epjb/e2013-30612-8

11. A. Oyamada, H. Kitaguchi, K. Ebata and H. Ishihara, Theoretical Demonstration of Highly Efficient cw THz Generation by Using Composite Photonic-structure Elements, Journal of the European Optical Society - Rapid Publications, 有, 8, 2013, 13023
DOI: 10.2971/jeos.2013.13023

12. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, Y. Kanatani, D. Kim, M. Nakayama, G. Oohata, H. Oka, H. Ajiki and H. Ishihara, Polarization dependence of four-wave mixing via biexcitons in CuCl microcavities, physica status solidi (c), 有, 9, 2012, 2505-2508,
DOI: 10.1002/pssc.201200326

13. A. Oyamada, H. Kitaguchi, K. Ebata and H. Ishihara, Proposal of composite photonic structure element for efficient terahertz generation, physica status solidi (c), 有, 9, 2012, 2606-2609
DOI: 10.1002/pssc.201200432

14. L. Q. Phuong, M. Ichimiya, H. Ishihara and M. Ashida, Multiple light-coupling modes of confined excitons observable in photoluminescence spectra of high-quality CuCl thin films, Physical Review B, 有, 86, 2012, 235449(1-5)
DOI: 10.1103/PhysRevB.86.235449

15. M. Ichimiya, H. Yasuda, M. Ashida, H. Ishihara and T. Itoh, Room temperature superradiance due to coherent coupling between light and extended single quantum state, Journal of Non-Crystalline Solids, 有, 358, 2012, 2357-2361
DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2012.02.019

〔学会発表〕(計 60 件)

1. 新井佑基、松田拓也、中村清孝、一宮正義、石原一、芦田昌明、柳澤淳一、MBE 法の改善による CuCl 薄膜の高品質化、日本物理学会・2016 年春季大会、2016 年 3 月 21 日、東北学院大学(宮城県仙台市)

2. 松田拓也、佐伯昂、一宮正義、木下岳、石原一、川上将輝、中山正昭、芦田昌明、ZnO 薄膜の発光スペクトルにおける励起子光コヒーレント結合効果の可能性、日本物理学会・2016 年春季大会、2016 年 3 月 21 日、東北学院大学(宮城県仙台市)

3. 木下岳、石原一、薄膜中閉じ込め励起子の光学応答における入射パルス位相変調の影響、日本物理学会・2016 年春季大会、2016 年 3 月 21 日、東北学院大学(宮城県仙台市)

4. 佐伯昂、松田拓也、一宮正義、木下岳、石原一、川上将輝、中山正昭、芦田昌明、ZnO 薄膜の発光スペクトルと縮退四光波混合スペクトルにおける光 - 励起子コヒーレント結合効果、第 26 回光物性研究会、2015 年 12 月 12 日、神戸大学(兵庫県神戸)

市)

5. 中村清孝、松田拓也、新井祐基、一宮正義、石原一、芦田昌明、柳澤淳一、CuCl 薄膜の高品質化とその光学的品質の評価、第26回光物性研究会、2015年12月12日、神戸大学(兵庫県神戸市)

6. 平吹拓也、石原一、励起エネルギー移動における非マルコフ的緩和過程の影響、第26回光物性研究会、2015年12月12日、神戸大学(兵庫県神戸市)

7. 木下岳、一宮正義、芦田昌明、石原一、ZnO薄膜中の高速輻射緩和する光-励起子結合モードの短パルス励起、第26回光物性研究会、2015年12月12日、神戸大学(兵庫県神戸市)

8. 松田拓也、大畠梧郎、石原一、金属CuCl薄膜構造における励起子光プラズモン結合系の固有状態、日本物理学会・2015年秋季大会、2015年09月18日、関西大学(大阪府吹田市)

9. 木下岳、石原一、半導体薄膜中の励起子超放射モードに対する外部磁場の効果、日本物理学会・2015年秋季大会、2015年9月18日、関西大学(大阪府吹田市)

10. 石原一、光で操るナノ物質のミクロとマクロ、~The 60th NATSUGAKU~ 第60回物性若手夏の学校、2015年7月30日、長良川ホテルパーク(岐阜県岐阜市)

11. T. Kinoshita and H. Ishihara, Ultrafast switching of light polarization by nondipole-type superradiance, The 10th Principles and Applications of Control in Quantum Systems Workshop 2015 (PRACQSYS 2015), 2015年7月20日, Sydney, Australia (オーストラリア)

12. T. Kinoshita and H. Ishihara, Pulse Excitation of Exciton-Radiation Coupled Modes with Ultrashort Radiative Lifetimes in ZnO Thin Films, 11th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON2015), 2015年5月20日, Montreal, Canada (カナダ)

13. T. Matsuda, N. Yokoshi and H. Ishihara, Up-conversion in photoluminescence caused by radiation-mediated couplings between excitonic waves, 11th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON2015), 2015年5月20日, Montreal, Canada (カナダ)

14. T. Matsuda, N. Yokoshi and H. Ishihara, Up-converted luminescence enhanced by radiation-mediated coupling of excitons in thin films, Optical Manipulation Conference (OMC '15), 2015年4月22日, Pacifico Yokohama (神奈川県横浜市)

15. 馬越隆之、佐伯昂、一宮正義、木下岳、石原一、芦田昌明、超短パルス励起による巨大な光励起子コヒーレント結合の観測、日

本物理学会・2015年春季大会、2015年3月21日、早稲田大学(東京都新宿区)

16. 平吹拓也、石原一、非マルコフ的環境下での励起エネルギー移動における色素間量子相関の影響、日本物理学会・2015年春季大会、2015年3月21日、早稲田大学(東京都新宿区)

17. 木下岳、石原一、多成分励起子からポラリトン描像へのサイズ増大に伴う移り変わり、日本物理学会・2015年春季大会、2015年3月23日、早稲田大学(東京都新宿区)

18. 佐伯昂、馬越隆之、一宮正義、木下岳、石原一、川上将輝、中山正昭、芦田昌明、ZnO薄膜における光-励起子結合効果による超高速非線形応答の観測、第25回光物性研究会、2014年12月13日、神戸大学(兵庫県神戸市)

19. 馬越隆之、佐伯昂、一宮正義、石原一、芦田昌明、CuCl薄膜における励起子輻射緩和の超短パルス励起効果、第25回光物性研究会、2014年12月13日、神戸大学(兵庫県神戸市)

20. 平吹拓也、石原一、励起エネルギー移動における色素間量子相関の影響、第25回光物性研究会、2014年12月13日、神戸大学(兵庫県神戸市)

21. 木下岳、石原一、ZnOの光学応答におけるAB励起子の輻射結合効果、第25回光物性研究会、2014年12月13日、神戸大学(兵庫県神戸市)

22. 松田拓也、余越伸彦、石原一、薄膜中励起子の発光特性における輻射結合の効果、第25回光物性研究会、2014年12月12日、神戸大学(兵庫県神戸市)

23. G. Oohata, R. Fujihara, S. Yoshino, Y. Shim, H. Ishihara and K. Mizoguchi, Optical property of cavity polaritons in CuCl microcavities with Ag mirrors, International Symposium on Recent Progress of Photonic Devices and Materials, 2014年11月14日, Kobe University (兵庫県神戸市)

24. 石原一、光と物質の空間インタープレイ: セミマクロから分子スケールまで、山田研究会「電磁応答理論の新展開と先端マテリアルサイエンス」、2014年10月2日、ホテル北野プラザ六甲荘(兵庫県神戸市)

25. 馬越隆之、佐伯昂、一宮正義、木下岳、石原一、川上将輝、中山正昭、芦田昌明、ZnO薄膜における光-励起子コヒーレント結合の観測、日本物理学会・2014年秋季大会、2014年9月8日、中部大学(愛知県春日井市)

26. 平吹拓也、石原一、光合成励起エネルギー移動における色素間の量子相関の効果、日本物理学会・2014年秋季大会、2014年9月10日、中部大学(愛知県春日井市)

27. 松田拓也、石原一、薄膜中励起子の発光特性に対する準位間相互作用の効果、日本物理学会・2014年秋季大会、2014年9月10日、中部大学(愛知県春日井市)

28. 木下岳、石原一，ZnO の光学スペクトルに含まれる A,B 励起子の成分比，日本物理学会・2014 年秋季大会，2014 年 9 月 8 日，中部大学（愛知県春日井市）
29. 石原一，光と物質の空間インタープレイ：セミマクロから分子スケールまで，物理学会大阪支部講演会，2014 年 8 月 29 日，甲南大学（兵庫県神戸市）
30. T. Matsuda, N. Yokoshi and H. Ishihara, Anomalous Photoluminescence of Weakly Confined Excitons including Radiative Correction in Nano-to-Bulk Crossover Regime, the International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials 2014 (ICOOPMA), 2014 年 8 月 1 日, Leeds, UK (イギリス)
31. T. Kinoshita and H. Ishihara, Radiative coupling between multi-component excitons in ZnO thin films, the International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials 2014 (ICOOPMA), 2014 年 7 月 31 日, Leeds, UK (イギリス)
32. M. Ichimiya, T. Umakoshi, H. Murata, T. Kinoshita, H. Ishihara and M. Ashida, Resonant Optical Kerr Response with Ultrashort Decay Time by Nonlocal Wave Coupling of Light and Excitons, 19th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP2014), 2014 年 7 月 9 日, Okinawa Convention Center (沖縄県宜野湾市)
33. M. Ichimiya, H. Murata, T. Umakoshi, T. Kinoshita, H. Ishihara and M. Ashida, Ultrafast Resonant Optical Kerr Response due to Long-Range Coherent Coupling of Light and Multinode-Type Excitons, CLEO:2014 - Laser Science to Photonic Applications, 2014 年 6 月 12 日, San Jose, California, USA (アメリカ)
34. T. Matsuda and H. Ishihara, Nonlocal theory of peculiar photoluminescence in nano-to-bulk crossover thin films, 1st Optical Manipulation Conference (OMC '14), 2014 年 4 月 23 日, Pacifico Yokohama (神奈川県横浜市)
35. T. Kinoshita and H. Ishihara, Optical Kerr response of nano-scale thin films, 1st Optical Manipulation Conference (OMC '14), 2014 年 4 月 23 日, Pacifico Yokohama (神奈川県横浜市)
36. 松田拓也、石原一，弱閉じ込め励起子からの発光スペクトル計算 - 準位間非輻射緩和の影響 - 日本物理学会・2014 年春季大会，2014 年 3 月 29 日，東海大学（神奈川県平塚市）
37. 木下岳、石原一，ZnO 薄膜中弱閉じ込め励起子の光 Kerr 応答による非線形性評価に関する考察，日本物理学会・2014 年春季大会，2014 年 3 月 27 日，東海大学（神奈川県平塚市）
38. T. Matsuda and H. Ishihara, Theory of luminescence from weakly confined excitons with anomalous radiative correction, FIRST International Symposium on Topological Quantum Technology (FIRST 2014), 2014 年 1 月 29 日, Hongo Campus of the University of Tokyo (東京都文京区)
39. T. Matsuda and H. Ishihara, Spectral analysis of luminescence of weakly confined excitons including radiative correction, 第 24 回光物性研究会，2013 年 12 月 14 日，大阪市立大学（大阪市住吉区）
40. 木下岳、石原一，ZnO 薄膜中弱閉じ込め励起子の光 Kerr 応答，第 24 回光物性研究会，2013 年 12 月 14 日，大阪市立大学（大阪市住吉区）
41. 松田拓也、石原一，輻射補正を含む高次準位の弱閉じ込め励起子における発光スペクトルの解析，日本物理学会・2013 年秋季大会，2013 年 9 月 28 日，徳島大学（徳島県徳島市）
42. 木下岳、石原一，ZnO 薄膜における A,B 励起子間の光カップリングの解析，日本物理学会・2013 年秋季大会，2013 年 9 月 28 日，徳島大学（徳島県徳島市）
43. 一宮正義、木下岳、石原一、芦田昌明，量子閉じ込め励起子の波動共鳴による超高速光力一応答，第 74 回応用物理学関係連合講演会，2013 年 9 月 16 日，同志社大学（京都府京田辺市）
44. 一宮正義、神園建太、木下岳、岡本尚也、石原一、芦田昌明，高品質 CuCl 薄膜における超高速光力一応答，ナノ学会第 11 回大会，2013 年 6 月 23 日，東京工業大学（東京都目黒区）
45. S. Yoshino, G. Oohata, Y. Shim, H. Ishihara and K. Mizoguchi, Generation of Coherent Phonon by Rabi Oscillation in CuCl Microcavity, Nonlinear Optics 2013, 2013 年 7 月 23 日, Hawaii (アメリカ)
46. M. Ichimiya, K. Kamizono, N. Okamoto, H. Ishihara and M. Ashida, Optical Kerr Effect of Confined Excitons Coherently Coupled with Radiation Wave, The 10th Conference on Lasers and Electro-optics Pacific Rim, and The 18th Opto Electronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), 2013 年 7 月 3 日, Kyoto International Conference Center (京都府京都市)
47. A. Oyamada, H. Kitaguchi and H. Ishihara, Proposal of designed photonic structure elements for wide tunable range CwTHz-wave emitter, International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology 2013 (OTST2013), 2013 年 4 月 1 日, Kyoto Terrsa (京都府京都市)
48. 神園建太、一宮正義、村田寛幸、石原一、芦田昌明，CuCl 薄膜における光一励起子結合

の増強による励起子輻射緩和の高速化, 日本物理学会・2013年春季大会, 2013年3月28日, 広島大学(広島県広島市)

49. 神園建太, 一宮正義, 岡本尚也, 石原一, 芦田昌明, CuCl薄膜における弱閉じ込め励起子の光力一効果, 日本物理学会・2013年春季大会, 2013年3月27日, 広島大学(広島県広島市)

50. L. Q. Phuong, M. Ichimiya, H. Ishihara, and M. Ashida, Coherent Exciton-light Couplings in High-quality CuCl Thin Films, 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 2012年12月11日, Osaka University (大阪府吹田市)

51. K. Kamizono, M. Ichimiya, H. Murata, H. Ishihara, and M. Ashida, Enhancement of Exciton Superradiance in CuCl Thin Films under Oblique Incidence, 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 2012年12月11日, Osaka University (大阪府吹田市)

52. 神園建太, 一宮正義, 村田寛幸, 石原一, 芦田昌明, CuCl薄膜における斜入射条件下での励起子輻射緩和の高速化, 第23回光物性研究会, 2012年12月8日, 大阪市立大学(大阪市住吉区)

53. 岡本尚也, 高橋和貴, 石原一, CuCl薄膜中閉じ込め励起子系における光力一応答のチャージング依存性, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学(大阪市住吉区)

54. A. Oyamada, H. Kitaguchi, K. Ebata and H. Ishihara, Proposal of designed photonic structure elements for tunable terahertz-wave generation, International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2012), 2012年11月28日, 東大寺総合文化センター(奈良県奈良市)

55. M. Ichimiya, L. Q. Phuong, M. Ashida, and T. Itoh, Growth of high-quality CuCl thin films by a technique involving electron-beam irradiation, The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy(MBE2012), 2012年9月24日, Nara Prefectural New Public Hall (奈良県奈良市)

56. L. Q. Phuong, M. Ichimiya, H. Ishihara, and M. Ashida, Multiple light-coupling modes of confined excitons observable in photoluminescence spectra of highquality CuCl thin films, 日本物理学会・2012年秋季大会, 2012年9月18日, 横浜国立大学(神奈川県横浜市)

57. K. Kamizono, M. Ichimiya, H. Murata, H. Ishihara and M. Ashida, Enhancement of coupling between light and excitons under oblique incidence in CuCl thin films, The 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials

(EXCON'12), 2012年7月5日, Groningen, the Netherlands (オランダ)

58. A. Oyamada, H. Kitaguchi, K. Ebata and H. Ishihara, Theoretical demonstration of high efficient cw THz generation by using composite photonic structure element, 3rd EOS Topical Meeting on Terahertz Science & Technology (TST 2012), 2012年6月19日, Kaiserstejnsky Prague (チェコ)

59. A. Oyamada, H. Kitaguchi, K. Ebata and H. Ishihara, Proposal of composite photonic structure element for efficient terahertz generation, 5th International Conference on Opticai, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA2012), 2012年6月7日, 新公会堂(奈良県奈良市)

60. S. Matsuura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Miyazaki, Y. Kanatani, D. Kim, M. Nakayama, G. Ohata, H. Oka, H. Ajiki and H. Ishihara, Polarization dependence of four wave mixing via biexcitons in CuCl microcaviteis, 5th International Conference on Opticai, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA2012), 2012年6月4日, 新公会堂(奈良県奈良市)

[図書](計1件)

著者名: Hajime Ishihara, Kikuo Cho,
出版者: Elsevier B.V.
書名: Nanostructures, Optical Properties of
発行年: 2015年
総ページ数: 10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 一 (ISHIHARA, Hajime)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号: 60273611

(2) 研究分担者

芦田 昌明 (ASHIDA, Masaaki)
大阪大学・基礎工学研究科・教授
研究者番号: 60240818

一宮 正義 (ICHIMIYA, Masayoshi)
滋賀県立大学・工学部・准教授
研究者番号: 00397621

沈 用球 (SHIM, Yong-Gu)
大阪府立大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 20336803

余越 伸彦 (YOKOSHI, Nobuhiko)
大阪府立大学・工学研究科・助教
研究者番号: 90409681