

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654092

研究課題名(和文) 高密度励起子分子による量子もつれ多光子状態の生成

研究課題名(英文) Generation of the multi-pair state of entangled photons from high-density biexcitons

研究代表者

大島 悟郎 (Oohata, Goro)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10464653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非縮退、非同軸である2つ光パルスを励起光源として用いることにより、励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱(RHPS)から同軸上に縮退した量子もつれ光子対を生成させるスキームを新たに提案し、実験的にこれを生成することに成功した。

また、RHPS光に対して、4光子までの光子統計が観測可能な測定系を新たに構築し観測を行った結果、100 μ W程度の非常に微弱な励起にもかかわらず、複数光子対が発生していることを初めて確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have designed a new scattering scheme of biexciton-resonant hyper-parametric scattering (RHPS), which enable us to obtain the degenerated colinear beam of entangled photon-pairs. By constructing the non-degenerated (two colored) pulse system as a pump light of RHPS, the the colinear-beam of entangled photons has been successfully generated in the experiment.

On the other hand, we have designed and constructed 4-photon measurement system for the entangled photons via RHPS. By using the measurement system and precise analysis, the statistics of 1 to 4-photons for the entangled photons from RHPS

has been measured for the first time. From the results, It is clear that the entangled multi-photon pairs are generated by extremely-weak excitation power of 100 uW.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性

キーワード：量子もつれ 励起子分子 CuCl 光子統計 量子光学 光物性

1. 研究開始当初の背景

光を用いた量子情報技術に注目が集まるようになって久しいが、その実現には「量子もつれ状態」を有する光子対の生成が必要不可欠である。2004年に、固体中の電子共鳴を使った全く新しい量子もつれ光子対生成方法として、半導体(CuCl)中における励起子分子状態を用いた生成スキームが提案され、東北大学のグループによって初めて実現された[Ref.1]。その後、半導体量子ドットを用いた成功例が次々に報告され[Ref.2]、固体の電子状態を用いた量子もつれ光子発生源として現在盛んに研究されている。しかし一方で、量子ドットを用いた方法では、量子もつれ光子を多数個生成することが原理上困難であり、量子計算など4光子以上必要な量子情報の実験研究にはまだ到達していない。また、一方で量子もつれ光子によって、2光子吸収など一部の光学遷移を効率的に実現出来ることが理論研究で明らかになってきている[Ref.3]。これらに共通することは、高輝度の量子もつれ多光子状態の生成プロセスが必要不可欠であることである。

[Ref.1] K. Edamatsu, *et al.*, Nature 431, 167 (2004); G. Oohata, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 98, 140503 (2007).

[Ref.2] R. M. Stevenson, *et al.*, Nature 439, 179 (2006).

[Ref.3] H. Oka, Phys. Rev. A 81, 063819 (2010).

2. 研究の目的

半導体において励起子分子を高密度状態にすると、「量子もつれ状態」の光子を多数個生成することが期待される。そこで本研究では、励起光パルスの状態(特にエネルギーと波数ベクトル)を巧みにコントロールすることで、高効率でかつ検出しやすい生成(散乱)条件を実験的に整え、量子もつれ状態の多光子生成を実現することを目的とする。また、量子もつれ状態の多光子を観測するには、分光測定系と量子もつれ光子の測定系を組み合わせる必要がある。そこで、新たに4光子量子もつれの測定系を新たに立ち上げ、励起子分子の高密度状態から生成される多光子状態の量子状態の測定を行う。これにより、励起子分子を用いた高輝度な量子もつれ光源と、それを用いた量子計算などの実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、CuClの単結晶における励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱(RHPS)を効率よく実現させ、そこから得られる多光子量子もつれ状態を観測することを目標とする。そのため、主に以下に示す2つの新しい手法を提案し、実験装置を構築した。

(1) まず RHPS の位相整合条件に上手く適合する励起光パルスを形成する。これはパルスビームに対して、エネルギー、波数ベクトル

を同時に変調制御することにより実現可能である。この制御されたパルス光源について、生成効率などを調べるために、まず CuCl の RHPS について古典的な分光測定を行う必要があった。

(2) 多光子量子もつれの測定系として、4光子量子相関測定系を構築した。これには、複数の2個以上の分光器と、偏光相関フィルタ及び多チャンネルの相関測定器を組み合わせた。(図1参照)

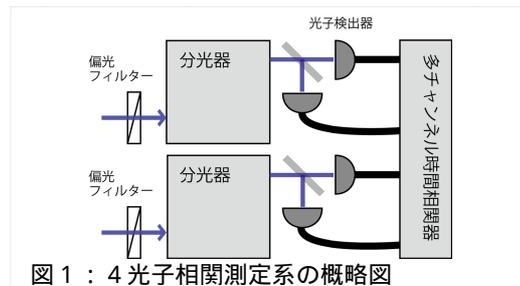


図1: 4光子相関測定系の概略図

以上の、励起光源開発と測定系の開発を初年次に独立・平行に進め、最終的にそれを組み合わせた多光子量子もつれの生成観測を目指した。

4. 研究成果

(1) 非縮退二光子励起パルス光の構築

本研究では新しい散乱スキームを実現するため、非縮退(2色)でかつ非同軸に2つの励起パルス光を準備する必要がある。まず最初に、その励起光源の光学系を構築した。具体的には、4f光学系を二系統作製し、それぞれ違う波長に分光する設定にした。この光学系に対して、フェムト秒パルス光を発生させるチタンサファイアレーザーの第二高調波を導入することにより、周波数をそれぞれ数meVシフトさせることの出来る、2つの独立したパルス光を生成することに成功した。また、生成された2光子励起光パルスについて、非線形結晶を用いた2光子過渡吸収とピンホールのフランフォーファー回折から得られる干渉からパルス幅や時間的同期の性能について見積もることが出来た。その結果、本研究の励起光源として必要な性能を満たしていることを確認した。

(2) 非縮退(非同軸)二光子励起による同軸RHPS光の生成

(1)で構築した励起光学系を用いて、提案した新しい散乱スキームによる、RHPS光の測定を行った。測定試料は、気相成長法によって作成したCuClの板状単結晶を用い、広視野が得られるクライオスタットによって、温度約4Kに保って測定を行った。励起パルスの透過側における面直方向の位置から測定されたスペクトルを図2に示す。図の黒線は2色の2光子励起パルスを照射した時に得られたものであり、2つの励起光によるレイリー散乱も同時に観測されている。ま

た、それぞれ片方の励起光パルスのみを照射した時が、赤（緑）線で示すスペクトルであり、励起光のレイリー散乱を含む片方のパルス励起のみの寄与を表している。これら片方パルス励起の成分を2パルス同時励起のスペクトルから差し引いたものが、青線で表すスペクトルである。図から明らかなように、確かに2光子共鳴のエネルギーで、強く散乱スペクトルが現れている。この結果より、新しい散乱スキームによって、同軸上に縮退したRHPS光が効率よく散乱されていることが今回始めて明らかとなった。

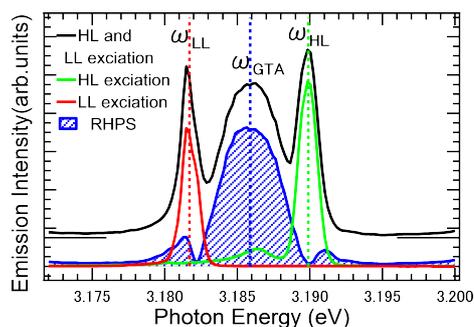


図2：新しい励起方法で生成された同軸上に生成されたRHPS光のスペクトル（青）

(3) 同軸上に発生したRHPSからの量子もつれ光子対の相関測定

(2)で得られた、同軸上に発生したRHPS光について、ビームスプリッターで半分に分割した後に、それぞれ分光器により波長選択をした上で、光子検出器によって検出し、それらの到達時間から時間相関を測定した。その結果、遅延時間 = 0 のところで相関信号が強くなるいわゆるバンチングの状態が強く観測され、この結果から、今回得られた同軸上に生成されているRHPS光は確かに光子対として生成されていることが明らかとなった。また、さらに得られる光子対のそれぞれの波長を分光器によって測定していくエネルギー（周波数）相関の測定を行った結果、確かに縮退した光子対が得られており、さらにエネルギー相関としては、いわゆる反相関（負の相関）の状態であることも判明した。このような結果は理論的には予測されていることだったが、今回実験的に初めて明らかとなった。

(4) 量子もつれ光子対に対する光子統計

RHPSから生成される量子もつれ光子対は、従来から用いられている非線形結晶におけるパラメトリック下方変換よりはるかに効率が良いことが考えられるが、これまで定量的な議論がなされてこなかった。今回、励起強度について300 pWから150 μWという非常に微弱でかつ約三桁に及ぶ広い範囲で、生成された量子もつれ光子対に対する光子統計を測定した（図3を参照）。これは、従来の時間相関測定ではなく、観測された光子の時間情報を全て記録し、後に統計解析を行

なう手法（Time-tag測定）で行っており、1光子計測の統計と2光子同時計測の統計情報を一度に得ることが出来る。これらにより得られた結果から、RHPSによる光子対の生成効率について、ノイズとなる1光子発生の効率や測定系の全ての透過・検出効率まで含めて総合的に明らかにする事が出来た。また、この結果より僅か100 μW程度の励起強度において、複数光子対が生成されていることが明らかとなった。

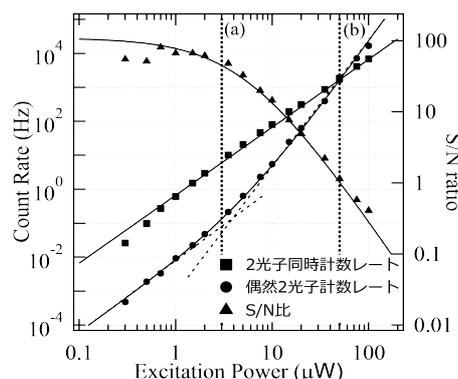


図3：時間相関信号計数率の励起光強度依存性

(5) 4光子測定系の構築

複数光子対に対しても非常に効率よく生成していることを確認するために、(4)で用いた測定系を更に発展させて4光子の同時計測が可能なる様に、光子検出器を4つ用いた新しい測定系を構築した（図1を参照）。この測定系では、これまでの研究で明らかにしている測定系の各種効率や、Time-tag測定の手法を拡張し、得られた結果を詳細に統計解析することにより、1光子から4光子までの光子統計を得ることが可能となった。

(6) 4光子測定系を用いて複数光子対の観測に成功

(5)で構築した測定系を用いて、RHPSから生成される光子対について4光子の時間相関測定を行った。実験によって得られた信号を、統計解析した光子統計の結果を図4に示す。図から明らかなように、10 μWを超える領域から3、4光子の信号が現れており、2光子対以上が生成されていることが判明した。この結果より、RHPSでは100 μW以下という非常に微弱励起にもかかわらず、非常に効率よく複数光子対が生成されていることが明らかとなった。このような結果は、固体の量子もつれ光子源として確認されている、どの現象よりも生成効率が高く、RHPSがいかに効率良く量子もつれ光子を生成しているかを示す結果となった。また、得られた励起強度依存性より、生成した光子対の分布関数を決定することが出来る。図の実線はボーズ粒子の熱分布を仮定したモデルであり、まだ正確では無いもののRHPS光の光子統計について大きな知見を得るものとなった。

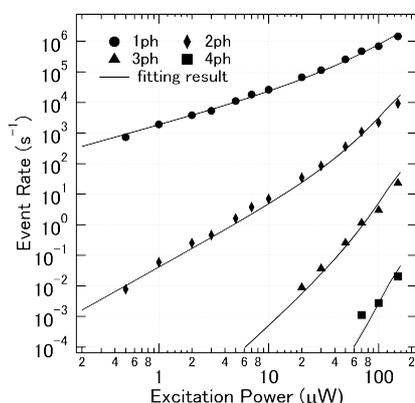


図4：時間相関信号計数レートの励起光強度依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

[1] 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, *Phys. Rev. B*, 査読有, 89 巻, 2014, 035317/1-6, DOI:10.1103/PhysRevB.89.035317

[2] 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, *Phys. Rev. B*, 査読有, 88 巻, 2013, 205311/1-9, DOI:10.1103/PhysRevB.88.205311

[3] Shota Isshiki, Yuuki Nagata, Goro Oohata, Akira Kawakami, Shingo Saito, and Kohji Mizoguchi*, Characteristics of coherent transverse optical phonon in CuI thin films on Au nano-films, *Eur. Phys. J. B*, 査読有, 86 巻, 2013, 172/1-4, DOI:10.1140/epjb/e2013-30615-5

[4] K. Mizoguchi, R. Morishita, and G. Oohata, Generation of Coherent Phonons in a CdTe Single Crystal Using an Ultrafast Two-Phonon Laser-Excitation Process, *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, 110 巻, 2013, 077402/1-5, DOI:10.1103/PhysRevLett.110.077402

[5] Yasuo Yamamoto, Goro Oohata*, Kohji Mizoguchi, Hideki Ichida, Yasuo Kanematsu Photoluminescence of excitons and biexcitons in $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ crystals under high excitation density, *Phys. Stat. Sol. (c)*, 査読有, 9 巻, 2012, 2501—2504, DOI: 10.1002/pssc.201200314

[6] 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, *Phys. Stat. Sol. (c)*, 査読有, 9 巻, 2012, 2505—2508, DOI: 10.1002/pssc.201200326

〔学会発表〕(計 48 件)

[1] 吳剛志,岡村英一,大皇悟郎,永田知子,森茂生,池田直,溝口幸司,層状鉄酸化物 LuFe_2O_4 における赤外反射スペクトルの圧力特性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学

[2] 安食博志,松浦心平,三森康義,小坂英男,枝松圭一,宮崎健一,金大貴,中山正昭,大皇悟郎,石原一, CuCl 微小共振器における励起子分子の輻射緩和, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学

[3] 三森康義,松浦心平,小坂英男,枝松圭一,宮崎健一,金大貴,中山正昭,大皇悟郎,岡寿樹,安食博志,石原一, CuCl 微小共振器における四光波混合スペクトルの偏光依存性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学

[4] 山本康男,大皇悟郎,溝口幸司,励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱光における偏光相関の励起強度依存性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学

[5] 藤原良平,大皇悟郎,吉野慎吾,沈用球,石原一,溝口幸司,金属薄膜を用いた CuCl 微小共振器の光学特性 III ~ 共振器ポラリトン状態の活性層厚依存性 ~, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学

[6] 大皇悟郎,山本康男,溝口幸司,励起子分子から生成される量子もつれ光子対の多光子検出による状態解析, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

[7] 吉野慎吾,大皇悟郎,溝口幸司, CuCl 微小共振器における Rabi 振動 コヒーレントフォノン間結合の偏光特性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 28 日, 東海大学

[8] 宮明峻矢,大皇悟郎,山本康男,沈用球,溝口幸司,有機・無機複合半導体 $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbI}_4$ を用いた微小共振器の光学特性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 29 日, 東海大学

[9] 土井洋平,大皇悟郎,溝口幸司,種々の検出エネルギーで測定した CdTe 中のコヒーレントフォノンのポンプ光偏光依存性, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 29 日, 東海大学

[10] 中村健翔,大皇悟郎,齋藤伸吾,川上彰,溝口幸司,第 2 高調波照射による InAs からの THz 電磁波放射の研究, 第 24 回 光物性研究会, 2013 年 12 月 13 日, 大阪市立大学

[11] 吳剛志,岡村英一,大皇悟郎,永田知子,森茂生,池田直,溝口幸司,層状鉄酸化物 LuFe_2O_4 における赤外反射スペクトルの偏光特性, 第 24 回 光物性研究会, 2013 年 12 月 13 日, 大阪市立大学

- [12] 山本康男、大畠悟郎、溝口幸司、励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱光に対する4光子相関測定, 第24回光物性研究会, 2013年12月14日, 大阪市立大学
- [13] 吉野慎吾、大畠悟郎、溝口幸司, CuCl 微小共振器における Rabi 振動 - コヒーレントフォノン間結合の偏光依存性 -, 第24回光物性研究会, 2013年12月14日, 大阪市立大学
- [14] 荻野心平、大畠悟郎、吉野慎吾、藤原良平、沈用球、石原一、溝口幸司, プリズム上に成長させた CuCl-Ag 微小共振器の光学応答, 第24回光物性研究会, 2013年12月14日, 大阪市立大学
- [15] 大畠悟郎、奥出寛也、吉野慎吾、沈用球、石原一、溝口幸司, CuCl 微小共振器における Rabi 分裂エネルギーの反交差角依存性, 日本物理学会 秋季大会, 2013年9月26日, 徳島大学
- [16] 荻野心平、大畠悟郎、吉野慎吾、藤原良平、沈用球、石原一、溝口幸司, プリズム上に作製した CuCl-Ag 微小共振器の光学応答, 日本物理学会 秋季大会, 2013年9月26日, 徳島大学
- [17] 吉野慎吾、大畠悟郎、沈用球、石原一、溝口幸司, 共振器ポラリトン間の量子ビートによるコヒーレント LO フォノンの増強効果 II, 日本物理学会 秋季大会, 2013年9月27日, 徳島大学
- [18] 呉剛志、岡村英一、大畠悟郎、永田知子、森茂生、池田直、溝口幸司, 層状鉄酸化物 LuFe_2O_4 における赤外反射スペクトルの偏光依存性, 日本物理学会 秋季大会, 2013年9月27日, 徳島大学
- [19] 山本康男、大畠悟郎、溝口幸司, 励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック光の光子統計~複数光子対の量子相関測定~, 日本物理学会 秋季大会, 2013年9月28日, 徳島大学
- [20] Shingo Yoshino, Goro Oohata, Yong-Gu Shim, Hajime Ishihara, Kohji Mizoguchi, Generation of Coherent Phonon by Rabi Oscillation in CuCl Microcavity, Nonlinear Optics (NLO) 2013, 2013年7月23日, The Fairmont Orchid, Kohala Coast, Hawaii, USA
- [21] Photon Statistics Analysis of Entangled Photon Pairs via Biexciton Resonant, Yasuo Yamamoto, Goro Oohata, Kohji Mizoguchi, Nonlinear Optics (NLO) 2013, 2013年7月24日, NW1A.6, The Fairmont Orchid, Kohala Coast, Hawaii, USA
- [22] Temperature dependence of infrared reflection spectrum in layered iron oxide LuFe_2O_4 , T. Go, H. Okamura, G. Oohata, T. Nagata, S. Mori, N. Ikeda, K. Mizoguchi, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (TSCES2013), 2013年8月5-9日, Tokyo, Japan
- [23] 山本康男、大畠悟郎、溝口幸司, 励起子分子共鳴ハイパーパラメトリック散乱光に対する時間相関光子計数法を用いた状態解析, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学
- [24] 大畠悟郎、藤原良平、吉野慎吾、沈用球、石原一、溝口幸司, 金属薄膜を用いた CuCl 微小共振器の光学特性 II ~共振器ポラリトンの状態解析~, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学
- [25] 奥出寛也、大畠悟郎、吉野慎吾、沈用球、石原一、溝口幸司, CuCl を用いた非対称結合微小共振器における共振器ポラリトンの状態制御, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月28日, 広島大学
- [26] 吉野慎吾、大畠悟郎、沈用球、石原一、溝口幸司, 共振器ポラリトン間の量子ビートによるコヒーレント LO フォノンの増強効果, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月29日, 広島大学
- [27] 一色翔太、大畠悟郎、溝口幸司, 金ナノ薄膜上 CuI 薄膜におけるコヒーレントフォノンの増強, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月29日, 広島大学
- [28] 森祐紀、大畠悟郎、溝口幸司, CdTe のコヒーレントフォノンの各検出エネルギーに対する偏光依存性, 日本物理学会 第68回年次大会, 2013年3月29日, 広島大学
- [29] 呉剛志、岡村英一、大畠悟郎、森茂生、池田直、溝口幸司, 層状鉄酸化物 LuFe_2O_4 における赤外反射スペクトルに関する研究, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学
- [30] 森祐紀、大畠悟郎、溝口幸司、水本義彦、萱沼洋輔, 共鳴励起近傍における CdTe のコヒーレントフォノン検出エネルギー依存性, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学
- [31] 山本康男、大畠悟郎、溝口幸司、市田秀樹、兼松泰男, 有機・無機複合半導体 $(\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3)_2\text{PbBr}_4$ における強励起発光スペクトルの観測と解析, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学
- [32] 奥出寛也、大畠悟郎、吉野慎吾、沈用球、石原一、溝口幸司, CuCl を用いた非対称結合微小共振器における共振器ポラリトンの光学特性, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学
- [33] 藤原良平、大畠悟郎、吉野慎吾、沈用球、石原一、溝口幸司, 金属薄膜を用いた CuCl 微小共振器の光学特性, 第23回光物性研究会, 2012年12月7日, 大阪市立大学

[34] 萱沼洋輔, 水本義彦, 森祐紀, 大皇悟郎, 溝口幸司, コヒーレントフォノン分光法で私たちは何を見ているのか?, 第 23 回 光物性研究会, 2012 年 12 月 8 日, 大阪市立大学

[35] 吉野慎吾, 大皇悟郎, 沈用球, 石原一, 溝口幸司, CuCl 微小共振器における超高速応答の研究, 第 23 回 光物性研究会, 2012 年 12 月 8 日, 大阪市立大学

[36] 藤原良平, 大皇悟郎, 吉野慎吾, 沈用球, 石原一, 溝口幸司, 金属薄膜を用いた CuCl 微小共振器の光学特性, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[37] 奥出寛也, 大皇悟郎, 吉野慎吾, 沈用球, 石原一, 溝口幸司, CuCl を用いた非対称結合微小共振器における共振器ポラリトンの観測, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[38] 吉野慎吾, 大皇悟郎, 沈用球, 石原一, 溝口幸司, CuCl 微小共振器における励起子-光子結合状態の超高速ダイナミクス, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[39] 山本康男, 大皇悟郎, 溝口幸司, 市田秀樹, 兼松泰男, 有機・無機複合半導体 $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ における励起子・励起子分子発光の緩和過程, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[40] 松浦心平, 三森康義, 小坂英男, 枝松圭一, 宮崎健一, 金谷侑佳, 金大貴, 中山正昭, 大皇悟郎, 岡寿樹, 安食博志, 石原一, CuCl 微小共振器中励起子分子のエネルギー緩和, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[41] 森祐紀, 大皇悟郎, 溝口幸司, 共鳴励起近傍における CdTe のコヒーレントフォノンの検出エネルギー依存性, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 18 日, 横浜国立大学

[42] 萱沼洋輔, 水本義彦, 溝口幸司, 大皇悟郎, コヒーレントフォノン場におけるスペクトル分解反射率変調の理論, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 19 日, 横浜国立大学

[43] 呉剛志, 岡村英一, 大皇悟郎, 森茂生, 池田直, 溝口幸司, 層状鉄酸化物 $LuFe_2O_4$ における赤外反射スペクトルの温度依存性, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 19 日, 横浜国立大学

[44] 吉野慎吾, 大皇悟郎, 沈用球, 石原一, 溝口幸司, CuCl 微小共振器における励起子-光子結合状態間のビートの観測, 第 73 回 応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 13 日, 愛媛大学・松山大学

[45] S. Isshiki, G. Oohata, K. Mizoguchi,

Characteristics of coherent transverse optical phonon in CuI thin films on Au nanofilms, EXCON2012 (the 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials), 2012 年 7 月 3 日, Groningen, The Netherlands

[46] T. Okude, G. Oohata, S. Yoshino, Y. Shim, H. Ishihara, K. Mizoguchi, Optical properties of asymmetric coupled CuCl microcavities, EXCON2012 (the 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials), 2012 年 7 月 3 日, Groningen, The Netherlands

[47] Yasuo Yamamoto, Goro Oohata, Hideki Ichida, Yasuo Kanematsu, Kohji Mizoguchi, Photoluminescence of Excitons and Biexcitons in $(C_4H_9NH_3)_2PbBr_4$ Crystals under High Excitation Density, ICOOPMA2012 (Fifth International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications), 2012 年 6 月 4 日, Nara, Japan

[48] Shimpei Matsuura, Yasuyoshi Mitsumori, Hideo Kosaka, Keiichi Edamatsu, Kenichi Miyazaki, Yuka Kanatani, DaeGwi Kim, Masaaki Nakayama, Goro Ohata, Hisaki Oka, Hiroshi Ajiki, Hajime Ishihara, Polarization Dependence of Four Wave Mixing via Biexcitons in CuCl Microcavities, ICOOPMA2012 (Fifth International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications), 2012 年 6 月 4 日, Nara, Japan

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大皇 悟郎 (OOHATA GORO)

大阪府立大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号: 10464653

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし