

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01150

研究課題名（和文）多段結合された共振器の中の速い光と遅い光、Goos-Hanchenシフト

研究課題名（英文）Fast and slow light, Goos-Hanchen shift in multistage coupled resonators

研究代表者

富田 誠 (Tomita, Makoto)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：70197929

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、研究代表者がこれまで進めてきた微小球共振器を対象とした「速い光」と「遅い光」、さらに微小球を結合させた系で起こる「結合共振器誘導透明化現象」にかかわる独自の研究を2つの方向で発展させた。第一に、従来、周波数領域でのみで研究されていた誘導透明化現象を波数領域に拡張した。ファノ干渉によってプラズモン誘導透明化現象を波数(k)領域で実現し、急峻な波数分散を利用して巨大Goos-Hanchenシフトを実現した。これは時間領域での「遅い光」に対応する。第二に、共鳴周波数が完全に一致した多数の共振器を直列に配列した系を等価的に構築し、「速い光」と因果律にかかわる実証研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1) 金属誘電体多層膜Fano構造を新しく提案し、従来の報告中では最大となる巨大なGHシフトを実現した。このGHシフトのユニークな特長はFano構造の位相反転効果を利用することで巨大GHシフトと高い反射率が共存していることである。巨大なGHシフトは、センサーなどへの応用にも高い可能性を持っている。

(2) 微小球共振器のモードが作り出す分散は、原子の作り出す分散と類似している。しかしながら、単一の共振器は「伝播効果」を含んでいない。本研究では、ダイナミックな帰還ループを用い、複数の共振器を多段に配列した系を等価的に作り出し、光の伝播に関する学術的意義の高い多彩な実験を展開できた。

研究成果の概要（英文）：We have so far studied "fast and slow light" using withering gallery modes in microscopic sphere resonators, as well as "coupled resonator-induced transparency phenomenon" that occurs when two or more microspheres are coupled with respect to each other. Here, we have developed our research in two directions. First, the induced transparency phenomenon, which was conventionally studied only in the frequency domain, has been extended to the k (wavenumber) domain. The plasmon-induced transparency phenomenon was realized in the k-domain by Fano interference, and a giant Goos Hanchen shift was realized by utilizing the steep dispersion in the k-domain induced window. The giant Goos Hanchen shift corresponds to the "slow light" which is studied in the time domain. Second, we equivalently constructed a system in which a large number of resonators with perfectly matching resonance frequencies were arranged in series, and proceeded with research related to "fast light" and causality.

研究分野：量子エレクトロニクス

キーワード：グースハンシェンシフト ファノ干渉 ファノ多層膜 分散 速い光 遅い光 誘導透明化現象 リング共振器

1. 研究開始当初の背景

「速い光」は真空中の光速 c よりも速い、あるいは負の光の伝播速度を意味している。「速い光」は、相対論や因果律の関係から興味を集めてきた。一方、「遅い光」は、物質と光の相互作用を増強することで、著しく遅い光の伝播状態、さらには、光の凍結を作り出すものである。「遅い光」は光情報処理等への応用など、学術誌でも特集の組まれる高い関心を集めている問題である。これらの現象は、もともとボーズ凝縮ガスなど原子を研究対象に研究が発展してきた。

2. 研究の目的

研究代表者はこれまで、微小球共振器でおこる「速い光」「遅い光」、微小球共振器結合させた系で起こる「結合共振器誘導透明化現象(CRIT=Coupled Resonator Induced Transparency)」を世界に先駆けて実現してきた。この研究は、原子系で引き起こる上記 EIT とその中で「遅い光」の現象を全光学系で実現したものである。このような背景をもとに、本研究課題の核心をなす問いは、「光共振器はどこまで原子の“まね”をすることができるだろうか？」という点にある。プラズモン共鳴も対象に加え、原子系でおこる現象が人工的に作られた結合共鳴システムをもちいてどのように実現できるか？ その根幹によつた物理現象の対応性、類似性、相違性は何処にあるか？ また、これらの理解に基づいた革新的な応用の可能性はあるか？ 等を問うていく。

3. 研究の方法

A. 新しく提案した金属誘電体多層膜 Fano 構造を用いた Goos-Hänchen シフトの測定、B. ダイナミック再帰回路をもちいた直列配置共振器の中でのパルス伝播を測定する方法を用いて、以下の実験をおこなった

- A - 1 金属誘電体 Fano 構造の中での高い反射率をもった巨大 Goos-Hänchen シフト
- A - 2 Net Goos-Hanchen(GH) シフト及び Reshaping シフト
- B - 1 直列配置リング共振器を長距離伝播する光パルス；鞍点法と Net 遅延法
- B - 2 高Q値直列配置リング共振器のなかでのパルスのピークを除去されたガウスパルスのパルスピークの発展
- B - 3 逆 CRIT 構造の中でのパルスピークを除去されたパルスからの減衰のないガウスピークの再生

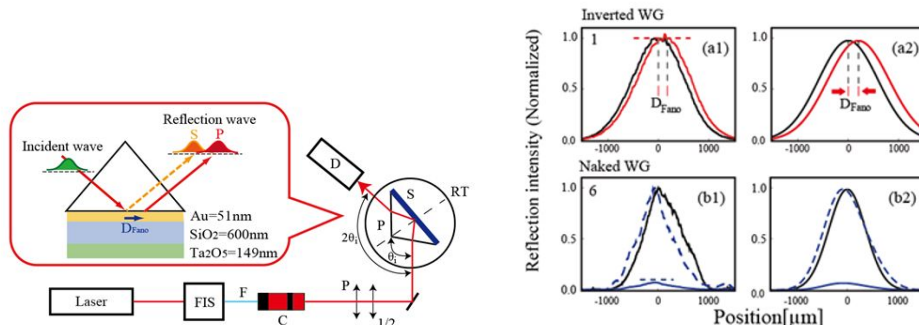
4. 研究成果

以下の項目について研究成果を得た。

A - 1 金属誘電体 Fano 構造の中での高い反射率をもった巨大 Goos-Hänchen シフト

グース-ハンシェン (Goos-Hänchen; GH) シフトは、全反射領域などエバネセント波の存在によって、反射ビームが幾何光学から予言される位置からずれて現れる効果である。この効果は、従来は、基礎物理学的な観点から研究されてきた。近年、応用も視野に入れて、特殊な共鳴構造を作り出すことで巨大な GH シフトを作り出す研究が盛んに行われている。

研究室ではこれまで、導波路の共鳴構造の中に Ag の表面プラズモン共鳴が 誘導透過窓を作り出す構造を研究してきた。本研究では、この関係を逆にした構造、すなわち、Ag の表面プラズモン共鳴の中で導波路構造による透明化窓が作られる金属誘電体多層膜 Fano 構造を新しく提案した。この新しい構造ではプラズモンに起因する損失を著しく減少させることができる。多層膜構造の高品質化を探索し、最終的に 0.176 mm、GH シフト/波長=493、という極めて巨大な GH シフトを実現した。この GH シフトの大きさは、報告されている数値の中では最大級のものである。さらに、ここでの GH シフトのユニークな特長は、通常の共鳴構造では大きな GH シフトは必然的に反射率の低下を伴っていたが、本構造では、Fano 構造の位相反転効果を利用することで巨大 GH シフトと高い反射率を共存させることを実現したことである。導波路構造は低損失の誘電体で構成され、金属プラズモンによる損失を大きく回避することができる。また、結合層の膜厚制御によって原理的には GH シフトをいくらでも大きくすることができる（実際には、有限のサンプルサイズによって制限を受ける）。このため、GH シフトの応用に最適な系であると考えられる。また、導波モードが利得を持っている場合の GH シフトについても解析をおこない、さらに大きな GH シフトが得られることを示した。



FigA1-1(左) Fig. 1-1. ATR 分光配置による誘電体 Fano 効果観測のための実験配置。挿入図は誘電体 Fano 多層膜構造。

FigA1-2(右) 実験的に観測された反射ビームの空間プロファイル。

上段：(a1), Ag 薄膜中のプラズモン共鳴と誘電体導波路の共鳴を一致させた金属誘電体 Fano 構造において反射されたビームの空間プロファイル。ビームの入射角度は Fano 干渉した導波路モードに一致させた ($\theta_i = 85.3^\circ$)。赤線は、プラズモンモードおよび導波路モードと共鳴する p 偏向で観測された参照ビームプロファイル。黒線は、プラズモンモードおよび導波路モードとは共鳴しない s 偏向で観測された参照ビームプロファイル。2つのビームプロファイルの差が Fano 共鳴により作り出された GH シフトである。重要な点は、巨大 GH シフト反射率 ~ 1 という高い反射率が同時に実現された点である。これらは応用上重要である。

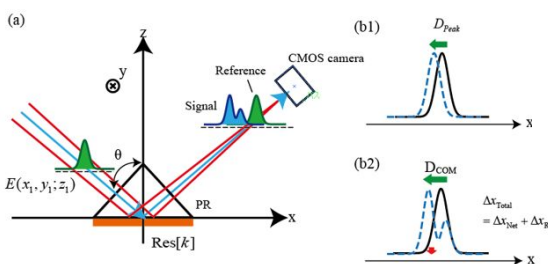
下段：(a1), Ag 薄膜中のプラズモン共鳴と誘電体導波路の共鳴を一致していない条件下で観測された反射されたビームの空間プロファイル。ビームの入射角度は導波路モードに一致させた ($\theta_i = 68.4^\circ$)。青実線は、プラズモンモードおよび導波路モードと共鳴する p 偏向で観測された参照ビームプロファイル。青実線は、規格化されたプロファイル。黒線は、参照ビームプロファイル。この条件では、導波路モードに起因した GH シフトは観測されるが、共鳴損失により反射率は小さい。

誘導透明化窓の中での「GH シフト」は、周波数 (ω) 領域での EIT における「遅い光」と非常によく対応の付く波数 (k) 領域での波束の移動現象として理解できる。この発想をもとに、「GH シフト」と「遅い光」の2つの現象が統一的に理解することができることを、時間—空間の対応から議論した。

A - 2 Net Goos-Hanchen(GH) シフト及び Reshaping シフト

物理学において、空間と時間領域は幅広い2元性を持つ。分散媒質中を伝搬する波束がその例である。時間領域ではパルス伝搬は群速度を用いて記述される。電磁誘導透明化現象の中で観測される、「遅い光」などである。一方、空間領域でよく知られた現象として、グース-ハンシェン (Goos-Hänchen ;GH) シフトがある。この効果は、従来は、基礎物理学的な観点から研究されてきた。近年、応用も視野に、狭域帯の共鳴現象にともなった急峻な位相変化を用い、巨大 GH シフトを作り出す研究が盛んに行われている。しかし、共鳴現象を利用する方法には多くの問題が存在する。その1つは、共鳴にともなった複雑な分散によって、反射ビームプロファイルの広がりや変形が生じ、従来の GH シフトの定義が意味をなくすことである。

本研究では、この問題を解決することを目的とし、特に、時間領域における波束の伝搬現象との類似性に注目し、GH シフトの新しい定義に関する研究を行った。新しい GH シフト概念ではビームシフトをビームのピークではなく、ビームの重心位置から定義し、シフト量を Net GH シフト及び Reshaping シフトによって記述する。これにより従来の GH シフトの概念が破綻する条件下でも、シフト量が定義可能となる。Net GH シフトは従来の GH シフトをスペクトル積分した量で、分散が小さい極限では従来の定義に帰着する。Reshaping シフトは、従来の定義では無視されている分散の虚部の項から現われる。この方法は、研究室でこれまで提案してきた、時間領域で、従来の群速度の定義が破綻する長距離伝播する光パルスの伝播を記述するための、Net group と Reshaping delay の概念[Phys. Rev. Lett. 94, 223901 (2005)]を空間領域に拡張したものである。



FigA2-1

Net group と Reshaping delay の有効性をシミュレーションする光学系

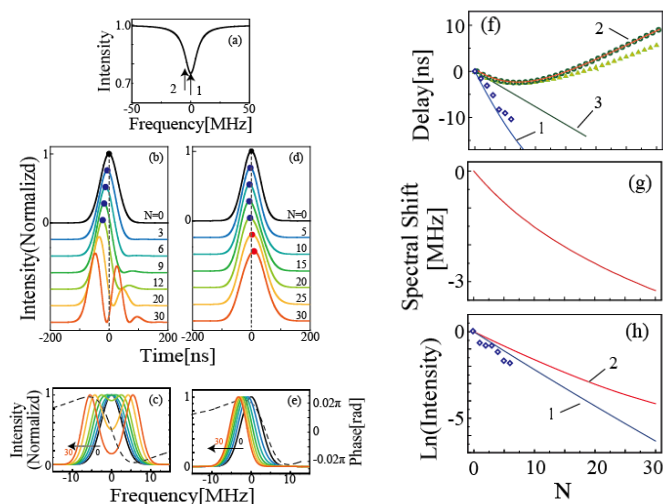
B - 1 直列配置リング共振器を長距離伝播する光パルス；鞍点法と NET 遅延法

リング共振器に一度入射し、透過した光パルスを、ダイナミックな再帰回路をもちいて同じ共振器に再入射される独自の方法で 30 段以上の直列配置共振器と等価な光回路を実現した。

多段共振器の特長を生かし、弱結合条件下でのリング共振器が作り出す異常分散によって「速い光」を実現し、各段を通過する波形を系統的に観測することに成功した。共振器の段数が増加するにしたがってパルスピークは従来の群速度の定義に従って前進することが実験的に捕らえられた。超光速パルスによって搬送できる情報については、Sommerfeld や Brillouin 以来、長い間、議論がなされてきた。今日、一般に受け入れられている考え方は、情報はパルスの「ピーク」によって運ばれているのではなく、パルスにエンコードされた「非解析点 = (微分不可能な点)」によって運ばれているというアイデアである。共振器の段数が増加するにしたがってパルスピークは前進する一方、パルスの先端 (非解析点) は、光速 c で伝播することを実証した。

さて、従来の群速度は、屈折率を入射波束の搬送周波数の近傍で展開し、その、実部の一階微分の項が

対応している。急峻で複雑な分散構造を波束が伝播する場合には、分散の高次項によって波束は広がり、大きな変形がおこる。このため従来の群速度の定義は破綻する。この時、(1)鞍点法、(2)Net 遅延、Reshaping 遅延による方法、による新しい群速度の定義が、直列配置リング共振器を長距離伝播する光パルスでも有用な方法であることを示した。鞍点法は、屈折率の虚部の一階微分の効果を伝播距離に依存した鞍点の移動、すなわちスペクトルの移動として取り入れることになる。鞍点法は、位相変調のかかったチャープパルス、あるいは複数のピークをもつパルスに対しても、ピークが明瞭に定義される場合には適用できる。一方、Net 遅延、Reshaping 遅延による方法は、ある場所での波束の到達時刻をポインティングベクトルの時間重心によって定義することで、分散やパルススペクトル構造がより複雑で伝播中に波形が大きく変形する場合にも広範囲に適用できる方法である。



FigB1-1

超高Q値の直列リング共振器を伝搬するパルスのシミュレーション。

左コラム：(a) 1段のリング共振器における離調周波数の関数としての透過スペクトル。矢印1（共鳴中心）と2（共鳴から低周波側にわずかに離調）はパルスの伝搬をシミュレーションした周波数。(b)(d) 段数 N の直列多段リング共振器を通過したガウスパルスの時間波形。(b) 入射レーザー周波数を共鳴中心に合わせた場合 [図(a)における矢印1]。共振器の段数の増加によってパルスピークの時間推進は始め増加するが、長距離伝搬するとやがて波形は崩壊する。このような条件下では、パルスピークの移動によって定義されている従来の群速度の概念は破綻する。(d) 入射レーザー周波数をわずかに離調した場合 [図(a)における矢印2]。共振器の段数の増加によってパルスピークの時間推進は始め増加するが、長距離伝搬するとやがてピークは遅延しはじめ、「速い光」から「遅い光」へと推移する。(c)(e) 段数 N の直列多段リング共振器を通過した透過パルスのスペクトル。(c)は図(b)の実験に対応するスペクトル。共振器の段数の増加によってスペクトルは分裂する。(e)は図(d)の実験に対応するスペクトル。共振器の段数の増加によってスペクトルは低周波側にシフトする。

右コラム：(f)曲線 1と2（曲線 2は緑色の○とほぼ重なっている）は、共振器段数 N の関数としてのパルス重心の遅延（推進）時間である。曲線 1は、入射レーザー周波数を共鳴に一致させた場合、曲線 1は、わずかに離調した場合 (d)の時間波形)に対応する。緑▲と緑○は、鞍点法 τ_s と Net 遅延 τ_{net} の方法で計算したパルスの遅延時刻である。緑の実線はパルスがもし従来の群速度で伝播した場合のパルスピークの位置である。共振器の段数が増加すると、従来の群速度は破綻するが、鞍点法 τ_s と Net 遅延 τ_{net} の方法で計算したパルスの遅延時刻は、このような領域でもよい意味を持ち続ける。(g) 赤色の実線は共振器の段数の関数としてのスペクトルピークの位置である。スペクトルは、共振器の段数の関数として低周波数側にシフトする。このシフトした周波数に対して従来の群速度の定義を適用したものが鞍点法 τ_s となる。青は実験結果である。(h) 青(line 1)と赤(line 2)の実線は、共振器の段数の関数としての透過パルス強度である。それぞれ、(b)と(d)、の条件に対応する。(1)鞍点法、(2)Net 遅延、Reshaping 遅延による方法、による新しい群速度の定義が、直列配置リング共振器を長距離伝播する光パルスでも有用な方法であることを示した。

B - 2 高Q値直列配置リング共振器のなかでのパルスのピークを除去されたガウスパルスのパルスピークの発展

光の伝播速度は物理学にとっては基本的な問題の1つである。いわゆる「速い光」とは真空中の光速 c よりも速く、あるいは負の速度でパルスピークが媒質中を伝播する現象である。特に、負の速度は、パルスのピークが入射するよりも早く、出射パルスのピークが出力に現れるという奇妙な効果である。一見すると因果律と矛盾するように見え、関心を集めている。この特異な振る舞いから導かれる1つの疑問は、ガウス型パルスの先頭部分が媒質に入射した後、入射ピークが媒質に入射するよりも早く入射パルスが「遮断」された場合、出射パルスのピークは現れるか、という疑問である。研究室ではこのテーマを1段

の共振器で取り組んできた[Phys. Rev. Lett.112, 093903 (2014)]. 本研究では、直列配置された共振器列の高い異常分散をもちいて、ピークを持たないガウスパルスによる出射パルスピークの観測する実証実験をおこなった。多段に配列されたリング共振器の各段を通過する波形を系統的に観測し、ピークが成長する様子を実験的に捕らえた。このことは、入射と出射パルスのピークはお互いに解析的に(因果律で)結ばれておらず、周波数分散によって引き起こされた位相シフトによりパルスの異なった部位から形成されるものであること、負の速度は因果律に反するものではないことを端的に示すことになる。この研究をさらに発展させ、「遅い光」の場合には、パルスのピークよりも後でパルスが遮断されているにもかかわらず、伝播中にパルスピークが消滅していく過程を研究する。多段に配列されたリング共振器の各段を通過する波形を系統的に調べ、ピークが消滅する様子を探らえた。

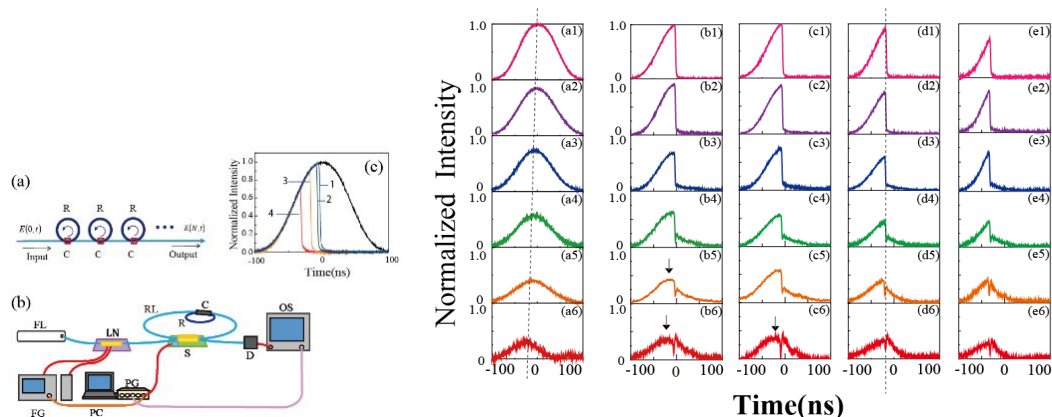


Fig.B2-1 (a) 直列配置リング共振器の概念図。 (b) 実験配置図。 FL,ファイバーレーザー; LN, LiNbO₃ 変調器; S, 2 × 2 高速光スイッチ; C, 光カップラー; R, リング共振器; RL, 光ファイバー再帰ループ; D, 検出器; FG, 関数発生器; PC, computer; OS, oscilloscope. (c) ピークを除去されたガウスパルス (曲線 1 ~ 4) と除去される前のガウスパルス (黒線)。

Fig.B2-2 (a) 直列多段リング共振器を透過したガウスパルスの透過時間波形。リング共振器は under coupling 条件 (共振器損失 > 共振器の結合定数) で準備され、「速い光」が観測される。共振器の段数は (a1) $N=0$ 段 (入射パルス), (a2) 1 段, (a3) 2 段, (a4) 3 段, (a5) 4 段, and (a6) 5 段。共振器の段数の増加に伴って、パルスピークの時間推進が大きくなる。(b), (c), (d) and (e) はピークを除去されたガウスパルスの透過時間波形。図 (b5), (b6) と (c6) では、ガウス型パルスの先頭部分が媒質に入射した後、入射ピークが媒質に入射するよりも早く入射パルスが“遮断”された場合、出射パルスのピークは現れる。下向き黒色矢印は直列多段リング共振器を透過したことによって再生されガウスパルスピークを表す。パルスを除去する時刻が、群速度によるパルスの時間推進よりも小さい条件が必要である。

B - 3 逆 CRIT 構造の中でのパルスピークを除去されたパルスからの減衰のないガウスピークの再生

「負の速度」をもつ媒質では、“光パルスのピークが媒質に入射するよりも早く、媒質から出射してくる”という一見、因果律、あるいは相対論に反するよう見える奇妙な現象を引き起こす。この特異な振る舞いから導かれる1つの疑問は、ガウス型パルスの先頭部分が媒質に入射した後、入射ピークが媒質に入射するよりも早く入射パルスが“遮断”された場合、出射パルスのピークは現れるか、という疑問である。令和2年度の研究において、多段結合リング共振器において、出射パルスピークが形成されていく過程を連続的に捉えることに成功した。令和3年度の研究においては、研究代表者が開発した“逆”CRIT 構造に現れる制御性の高い異常分散をもちいて、ピークを持たないガウスパルスを入射させ、“減衰しない”出射パルスピークを観測するという実験を試みた。通常の CRIT が強い吸収領域に干渉によって透明領域を作り出すのに対して、“逆”CRIT 構造では“増幅”領域に干渉によって透明領域を作り出す。逆 CRIT 構造のなかでは、パルスは増幅も、減衰もなく、負の群速度遅延を持って伝播するため、パルスのピークに関わる現象をより明確に示すことができる。また、逆結合共振器誘導透明化構造から Auster-Towns 型への遷移についても観測した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hirozumi Saito, Yoichiro Neo, Takahiro Matsumoto and Makoto Tomita	4. 巻 27
2. 論文標題 Giant and highly reflective Goos-Hanchen shift in a metal-dielectric multilayer Fano	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 28629-28639
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.27.028629	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yuma Morita and Makoto Tomita	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of superluminal pulse propagation in a serial array of high-Q ring resonators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 14280 - -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-50482-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Makoto Tomita, Taichi Sudo, Kota Yoshimura and Daiki Sugio	4. 巻 102
2. 論文標題 Developments of pulse peak from peak-truncated Gaussian optical pulses in a serial array of high-Q ring resonators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 43507
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevA.102.043507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirozumi Saito, and Makoto Tomita	4. 巻 38
2. 論文標題 Net and Reshaping Goos-Hanchen shifts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America B	6. 最初と最後の頁 1048-1056
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/JOSAB.417113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro Matsumoto, Hidehiko Sugimoto, Takashi Ohhara, Stephen M. Bennington, Makoto Tomita, and Susumu Ikeda	4. 巻 103
2. 論文標題 Quantum Proton Entanglement in Nanocrystalline Silicon Surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 245401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.245401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ichiro Tatsuno, Yuna Niimi, Makoto Tomita, Hiroshi Terashima, Tadao Hasegawa & Takahiro Matsumoto	4. 巻 11
2. 論文標題 Mechanism of transient photothermal inactivation of bacteria using a wavelength-tunable nanosecond pulsed laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 22310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-01543-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daiki Sugio, Kota Yoshimura, Keigo Nakamura, Takahiro Manabe, Makoto Tomita	4. 巻 520
2. 論文標題 Propagation of a peak-truncated Gaussian pulse in an inverted coupled-resonator-induced transparency system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Communications	6. 最初と最後の頁 128466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optcom.2022.128466	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 齋藤滉純, 根尾陽一郎, 松本貴裕, 富田誠
2. 発表標題 金属 - 誘電体ファノ多層膜によって完全反射された光ビームの巨大Goos-Hünchenシフト
3. 学会等名 日本物理学会 2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉尾大輝, 吉村恒太, 富田誠
2. 発表標題 逆誘導透明化(速い光)におけるピークを除去されたガウスパルスからの減衰のないパルスピークの再生
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松本 貴裕 (Matsumoto Takahiro) (10422742)	名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授 (23903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------