

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00357

研究課題名（和文）高精度時刻周波数同期に向けたオンチップ絶対位相制御電気光学変調コム の創製

研究課題名（英文）Demonstration of an On-Chip Absolute Phase-Controlled Electro-Optic Modulation Comb for High-Precision Time-Frequency Synchronization

研究代表者

石澤 淳（ISHIZAWA, Atsushi）

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：30393797

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 37,790,000 円

研究成果の概要（和文）：周波数間隔が大きい電気光学変調を用いた光コム（E0コム）の周波数安定化に成功した。また、通信の更なる高速化に伴い、より緻密なレーザー線幅の制御が求められているが、E0コムの線幅がデジタルコヒーレント通信に必要なレーザー線幅よりも十分に狭いことを示した。本研究では複数台の光通信光源を1台の実験系で提供することが可能となり、E0コムを活用した高速・大容量な光通信への応用が期待される。更に、マイクロ波の位相ノイズを高精度な位相雑音の側的の測定限界以下まで低減化することに成功した。これによりマイクロ波発生・評価装置の精度向上やGPS信号が届きにくい場所でのタイムキーピングへの活用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

周波数間隔が25 GHzで並ぶ狭い線幅の光源を得ることができ、次世代のデジタルコヒーレント伝送に向けた高速・大容量な光通信への応用が期待される。また、位相ノイズが大幅に低減されたマイクロ波が生成でき、マイクロ波発生・評価装置の精度向上が期待される。今後、我々が開発した光源の更なる周波数安定性や利便性の向上を目指すとともに、高精度なマイクロ波信号を配信する技術を開拓し、位置測定やタイムスタンプの誤差を減らすことで、リアルタイムで正確なデータが求められる分野（例：交通制御・航空管制や金融取引など）に資するテクノロジーを実現する。

研究成果の概要（英文）：We have successfully stabilized the frequency of an optical comb (E0 comb) using electro-optic modulation with large frequency intervals. Additionally, as the speed of communication continues to increase, more precise control of laser linewidth is required, and we have demonstrated that the linewidth of the E0 comb is sufficiently narrower than that required for digital coherent communication. In this study, it has become possible to provide multiple optical communication light sources with a single experimental system, and the application of E0 combs to high-speed, large-capacity optical communication is anticipated. Furthermore, we have succeeded in reducing the phase noise of microwaves below the measurement limit of high-precision phase noise measurement. This is expected to improve the accuracy of microwave generation and evaluation equipment, and to be useful for timekeeping in locations where GPS signals are difficult to receive.

研究分野：光工学および光量子科学関連

キーワード：光周波数コム 電気光学変調 マイクロ波 位相雑音 広帯域光発生

1. 研究開始当初の背景

高精度な時刻周波数同期は金融・証券分野における高頻度取引、エネルギー分野におけるスマートグリッドの蓄給電タイミング合わせ、IoT、及び、高度交通システムの自動運転補助等への活用が期待されている。国際機関 ITU-T はその時刻配信マスタークロックを現在の Cs 原子時計から光格子時計への変更を検討している。光格子時計に変更した場合、正確な時刻の校正作業が 300 年間も不要となり、通信機器の消費電力の大幅削減に貢献できる。更に、上下回線の干渉防止用帯域を新たにデータ通信利用できる為、無線通信の大容量化も同時に実現できる。その際、光格子時計からの高精度な光周波数(PHz)を光ファイバー網で日本全国の通信局舎(約 6,000 局)に配信して各局舎の通信機器(駆動周波数: GHz-KHz)用に高精度な光電変換が必要となる。この高精度な光電変換は光コムがその役割を担うと考えている。光コムは、周波数軸上でくし(コム)状の輝線スペクトルを持つ光信号であり、光の周波数計測や光からマイクロ波への精密な周波数変換などに利用される。光コムの周波数間隔を f_{rep} 、光コムの周波数間隔を仮想的に 0 まで掃引したときに 0 からもっとも近い周波数(キャリアエンベロープオフセット周波数、以下 CEO 周波数)を f_{ceo} と定義すると、光コムの周波数 f_n は自然数 n を用いて、 $f_n = f_{ceo} + n \times f_{rep}$ と記述できる。光コムを用いた高精度な光電変換の先行研究は、モード同期レーザーベースの光コム(ML コム)と微小なリング共振器を用いる光コム(マイクロコム)などが報告されている。LINESYRTE(仏)グループは超低膨張ガラス共振器ベースの超狭線幅連続波レーザーを用いて ML レーザーの繰り返し周波数を安定化し、超低雑音なマイクロ波(12 GHz)の発生に成功した。ML レーザーを用いた光電変換で発生するマイクロ波は長期安定性に大変優れているが、その位相雑音は光検出器のフリッカー雑音で下限が決定する。しかも ML レーザー装置は大型で繰り返し周波数もほぼ固定である。一方、高繰り返し周波数かつ超小型なマイクロコムによる光電変換は共振器の Q 値が ML レーザーより低い為、低ノイズのマイクロ波発生は困難である。ML レーザーやマイクロコムを用いた光電変換は光格子時計の精度を大きく劣化させることになる。我々が開発している電気光学変調(E0)コムは中心波長から離れるに従って、雑音が拡大され、スペクトル幅が大きくなるという問題点があった。我々は、この問題点を逆手にとって、E0 コムを高感度な「雑音ブースター」や「雑音検出器」として用いてフィードバック制御を掛けることで、従来よりも低雑音な周波数可変ミリ・マイクロ波を発生させるアイデアの原理実証に成功した。これにより一般的な水晶振動子ベースのミリ・マイクロ波発生器に比べて 8 桁以上もミリ・マイクロ波の位相雑音の低減に成功した。しかし、この E0 コム方式を用いた場合、光格子時計から正確な時刻配信が行われても光電変換で 4 桁も精度劣化を起こし、高精度な時刻周波数同期配信の要求条件(ITU-T レベル 6)を満足しない。研究開始当初、我々は E0 コム光源を用いた光電変換後の RF 信号の位相雑音と E0 コムの小型化に強い相関性があることを実験で確認した。現状の E0 コム方式はファイバー・空間光学系が混在している為、光路長が長尺化し、制御帯域の拡大が困難である。E0 コム方式において、制御帯域の増加に比例し、位相雑音を抑圧する制御回路のゲインが増加する結果として位相雑音を大幅低減できることが分かった。

2. 研究の目的

本研究の狙いは、光格子時計をマスタークロックとした時刻周波数配信の際、各局舎の通信機器の動作 RF 周波数へ高品質な“時”をつなぐ為、その機能を担う E0 コムを用いた“真の光電変換”を実現することである。RF 信号の位相雑音と E0 コムの小型化の強い相関性を活用し、世界に先駆けて Si フォトニクス技術によるオンチップ E0 コムを用いた究極的な光電変換技術を創造し、微小素子での非線形光学効果の制御など光科学の学問の深化に貢献する。極低雑音なマイクロ波は Si 変調器を駆動する信号発生器から出力されることを実証する。

(1) 超低雑音マイクロ波発生

Si フォトニクス技術との融合発展により、光路長を大幅に短尺化し、帰還回路の制御帯域幅を 2 桁拡大することにより、25 GHz 信号の位相雑音を 2 桁以上低減することを目指し、世界最高精度の光電変換技術を実現する。

(2) Si 変調器ベース E0 コム

Si フォトニクス技術を用いた小型堅牢な E0 コムを実現する。

3. 研究の方法

(1-1) 多段の E0 変調による SN 比の高い E0 コムの生成

E0 コムでは 1 パルスあたりのエネルギーが小さいため、通常長い高非線形性ファイバーを用いて広帯域な光コムを発生させる。この方法を使用すると光コムの SN 比が小さくなり、CEO 周波数の検出が難しくなる。今回、7 台の位相変調器を用いてサイドバンドを広げた後に、短い高非線形性ファイバーを用いることで、広帯域で SN 比の高い E0 コムを生成した(図 1)。

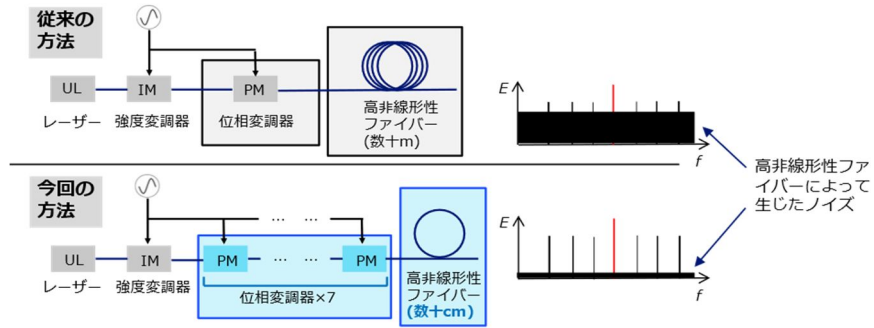


図 1. SN 比の高い E0 コムの生成方法

(1-2) 2/3 オクターブ帯域の光コムで CEO 周波数が検出可能な $2f-3f$ 自己参照干渉法の適用
 従来の $f-2f$ 自己参照干渉法は、光コムを周波数 f から $2f$ まで広帯域化し、周波数 f の 2 倍波を生成し、周波数が $2f$ 付近での干渉信号を取得する。今回の $2f-3f$ 自己参照干渉法は、光コムを周波数 f から $3f/2$ まで広帯域化し、周波数 f の 3 倍波と周波数 $3f/2$ の 2 倍波を生成し、周波数が $3f$ 付近での干渉信号を取得する。これにより、CEO 周波数を検出するために必要な光コムの帯域幅を低減できる。我々は、我々の独自の技術であるデュアルピッチ PPLN 導波路を用いた $2f-3f$ 自己参照干渉法を利用した(図 2)。

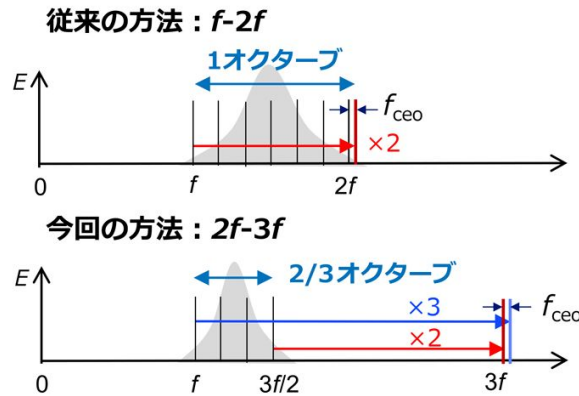


図 2. 自己参照干渉法

(2) Si 変調器ベース E0 コム

種光源として、線幅 800Hz、中心波長 1552.5 nm、光強度 12 dBm の CW レーザーを用いた。偏光素子を用いて、TE 偏光波を先球ファイバーにて Si 変調器に空間結合した。先球ファイバー-Si 変調器間の結合は、3 軸調心ステージを用いて精密な調芯を行った。信号発生器は 25 GHz、RF アンプ後の出力が 32.5 dBm、Si 変調器に信号が到達した際に 24 dBm になるよう調節し、BiasTee を用いて 5.5 V のバイアス電圧を印加した。図 3 により Si 変調器の実験配置図を示す。導波路は三つの Si 変調器が往復するようにカスケード接続されている。これに対して、光の進行方向と揃うように RF 信号を印加した。高周波針は三軸ステージを用いて Si 変調器の電極に接触するように調整した。Si 変調器を通過した光を、先球ファイバーにて再結合し光スペクトラムアナライザにて測定した。

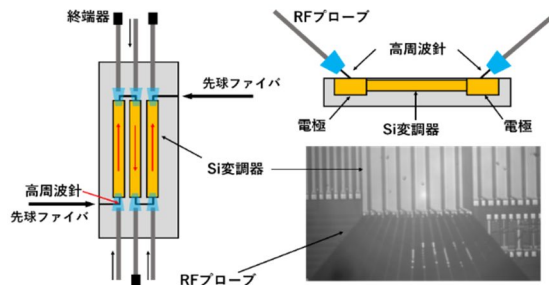


図 3. Si 変調器の実験配置図

4. 研究成果

(1) 超低雑音マイクロ波発生

我々はレーザー1台を種光源として利用し、E0 コムではこれまで難しかった CEO 周波数を検出し、その値が一定となるように E0 変調器に印加するマイクロ波周波数へフィードバックすることによって、E0 コムのさらなる安定化に成功した。CEO 周波数の揺らぎを周波数カウンタで見積もった(図4)。この結果、CEO 周波数の揺らぎが測定時間に反比例した。これは E0 コムで CEO

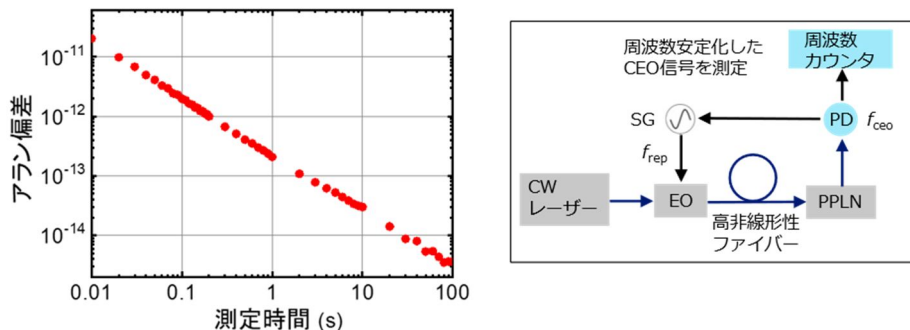


図 4. CEO 信号のアラン偏差

周波数が安定化できている直接的な証拠である。また、フィードバックされたマイクロ波の位相ノイズを測定することで、E0 コムの安定度を評価した(図5)。この結果、マイクロ波(周波数： $f_{rep} = 25$ GHz)の位相ノイズが高精度な位相雑音測定器の測定限界以下まで低減した。特に、従来法(図1上段)と比較すると、ノイズレベルが10分の1以下に低減した。これら一連の測定結果から、マイクロ波の安定度が市販の高精度水素メーザーに匹敵すると見積もられた。

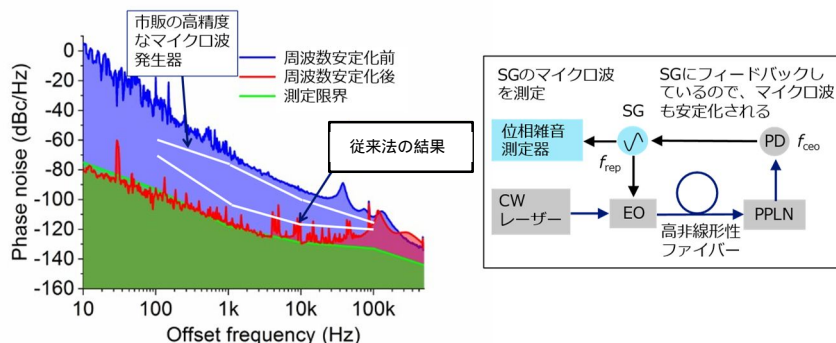


図 5. マイクロ波の位相ノイズ

さらに、波長 1397 nm における狭線幅レーザーと周波数安定化された E0 コムとの干渉信号を取ることによって、E0 コムの線幅を評価した。この結果、種光源(周波数： f_s)から数えて 811 本目の E0 コムの線幅が 300 Hz であり、デジタルコヒーレント通信に必要なレーザー線幅よりも 3 ケタ程度小さい値が得られた。本結果により、通信のさらなる高速化に対しても十分対応可能な光通信の光源が得られたと考えられる。

(2) Si 変調器ベース E0 コム

3 台の Si 変調器を同時に駆動したときに得られたスペクトルを図 6 に示す。約 500 GHz 以上、

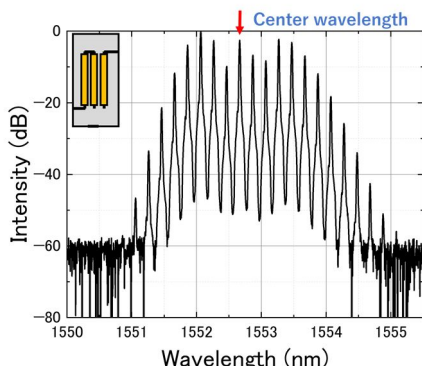


図 6. Si 変調器 3 台による E0 コムスペクトル

およそ 4 nm の帯域幅を持つ光コムが観測された。サイドバンドは最大 40 dB 以上の良好な SN 比で観測された。今後は Si 変調器ベース E0 コムの CEO 周波数安定化のために、更なる広帯域光発生を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Ohta Ryuichi, Lelu Gregoire, Xu Xuejun, Inaba Tomohiro, Hitachi Kenichi, Taniyasu Yoshitaka, Sanada Haruki, Ishizawa Atsushi, Tawara Takehiko, Oguri Katsuya, Yamaguchi Hiroshi, Okamoto Hajime	4. 巻 132
2. 論文標題 Observation of Acoustically Induced Dressed States of Rare-Earth Ions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 036904 ~ 036904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.132.036904	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 Kikkawa Yugo, Ishizawa Atsushi, Kou Rai, Xu Xuejun, Yoshida Koki, Tsuchizawa Tai, Aihara Takuma, Nishikawa Tadashi, Cong Guanwei, Hitachi Kenichi, Yamamoto Noritsugu, Yamada Koji, Oguri Katsuya	4. 巻 59
2. 論文標題 Sub 30 fs fibre coupled electro optic modulation comb at 1.5 μm with a 25 GHz repetition rate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el12.12830	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 Ishizawa Atsushi, Nishikawa Tadashi, Hitachi Kenichi, Akatsuka Tomoya, Oguri Katsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Optical-referenceless optical frequency counter with twelve-digit absolute accuracy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8750 ~ 8750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-35674-8	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 Kou Rai, Ishizawa Atsushi, Yoshida Koki, Yamamoto Noritsugu, Xu Xuejun, Kikkawa Yugo, Kawashima Kota, Aihara Takuma, Tsuchizawa Tai, Cong Guangwei, Hitachi Kenichi, Nishikawa Tadashi, Oguri Katsuya, Yamada Koji	4. 巻 31
2. 論文標題 Spatially resolved multimode excitation for smooth supercontinuum generation in a SiN waveguide	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 6088 ~ 6088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.478481	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 Yasui S., Hiraishi M., Ishizawa A., Omi H., Inaba T., Xu X., Kaji R., Adachi S., Tawara T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Creation of a high-resolution atomic frequency comb and optimization of the pulse sequence for high-efficiency quantum memory in 167Er:Y2SiO5	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Continuum	6. 最初と最後の頁 1896 ~ 1896
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTCON.457429	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 Ishizawa Atsushi, Kawashima Kota, Kou Rai, Xu Xuejun, Tsuchizawa Tai, Aihara Takuma, Yoshida Koki, Nishikawa Tadashi, Hitachi Kenichi, Cong Guangwei, Yamamoto Noritsugu, Yamada Koji, Oguri Katsuya	4. 巻 30
2. 論文標題 Direct f-3f self-referencing using an integrated silicon-nitride waveguide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 5265 ~ 5265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.449575	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 Yasui S., Hiraishi M., Ishizawa A., Omi H., Kaji R., Adachi S., Tawara T.	4. 巻 29
2. 論文標題 Precise spectroscopy of 167Er:Y2SiO5 based on laser frequency stabilization using a fiber laser comb	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 27137 ~ 27137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.433002	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 Xu Xuejun, Inaba Tomohiro, Tsuchizawa Tai, Ishizawa Atsushi, Sanada Haruki, Tawara Takehiko, Omi Hiroo, Oguri Katsuya, Gotoh Hideki	4. 巻 29
2. 論文標題 Low-loss erbium-incorporated rare-earth oxide waveguides on Si with bound states in the continuum and the large optical signal enhancement in them	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 41132 ~ 41132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.437868	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 Ishikawa Kenji, Shiraki Yoshifumi, Moriya Takehiro, Ishizawa Atsushi, Hitachi Kenichi, Oguri Katsuya	4. 巻 150
2. 論文標題 Low-noise optical measurement of sound using midfringe locked interferometer with differential detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 1514 ~ 1523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/10.0005939	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 石澤 淳、西川 正、日達 研一、後藤 秀樹	4. 巻 103
2. 論文標題 電気光学変調コム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 1097-1104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 高 磊, 石澤 淳, 松田 信幸, 山田 浩治	4. 巻 48
2. 論文標題 Si集積プラットフォームの非線形光学応用開拓	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 530-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Mashiko Hiroki, Chen Ming-Chang, Asaga Koji, Oshima Akihiro, Katayama Ikufumi, Takeda Jun, Nishikawa Tadashi, Oguri Katsuya	4. 巻 28
2. 論文標題 Spatially resolved spectral phase interferometry with an isolated attosecond pulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 21025 ~ 21025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.393922	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 -

〔学会発表〕 計63件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 日達 研一 , 石澤 淳 , 眞田 治樹 , 小栗 克弥
2. 発表標題 単一の光周波数コムを用いた擬似バーニア方式による光周波数計測法
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 安井 翔一, 稲葉 智宏, 石澤 淳, 日達 研一, 尾身 博雄, 松浦 求磨, 鍛冶 怜奈, 俵 毅彦, 足立 智, Xuejun Xu, 眞田 治樹
2. 発表標題 低濃度 $167\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ におけるAtomic frequency comb量子メモリの高効率化
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 里 亮介, 高 磊, 石澤 淳, 山本 宗継, Cong Guangwei, 山田 浩治, 北 智洋
2. 発表標題 Si-SiO ₂ -Si 水平スロット導波路により発生させた スーパーコンティニューム光の位相コヒーレンス測定
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 徐 学俊, 稲葉 智宏, 相原 卓磨, 石澤 淳, 俵 毅彦, 眞田 治樹
2. 発表標題 Erドープした希土類酸化膜導波路における光増幅の濃度依存性
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 堀池 拓未, 日達 研一, 石澤 淳, 高 磊, 徐 学俊, 相原 卓磨, 西川 正, コン グァンウェイ, 山本 宗継, 山田 浩治, 眞田 治樹, 小栗 克弥
2. 発表標題 グラフェン装荷SIN導波路による光非線形効果の増強
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石澤 淳
2. 発表標題 電気光学変調コムとその応用
3. 学会等名 第2回超高速光エレクトロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石川 憲治, 白木 善史, 守谷 健弘, 石澤 淳, 日達 研一, 小栗 克弥
2. 発表標題 光周波数コムを用いた光共振器内の絶対音圧計測
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 廣瀬 龍優, 吉川 優剛, コン グァンウェイ, 徐 学俊, 日達 研一, 北村 大和, 谷口 遼紀, 山本 宗継, 西川 正, 山田 浩治, 眞田 治樹, 小栗 克弥, 石澤 淳
2. 発表標題 多段シリコン変調器を用いた25 GHz繰り返し通信波長帯光コム発生
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石澤 淳, 吉川 優剛, 高 磊, コン グァンウェイ, 徐 学俊, 日達 研一, 山本 宗継, 西川 正, 山田 浩治, 小栗 克弥
2. 発表標題 電気光学変調コムを用いた低ノイズ周波数可変マイクロ波発生
3. 学会等名 Photonic Device Workshop 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 X. Xu, T. Inaba, T. Aihara, K. Hitachi, A. Ishizawa, T. Tawara, H. Sanada
2. 発表標題 Epitaxial rare-earth oxide thin films and waveguide devices for quantum information applications
3. 学会等名 Superconducting SFQ VLSI Workshop (SSV 2023), and 2nd International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices (IWSQMD 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川 憲治, 白木 善史, 守谷 健弘, 石澤 淳, 日達 研一, 小栗 克弥
2. 発表標題 光周波数による音圧計測
3. 学会等名 日本音響学会第150回(2023年秋季)研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉川 優剛, コン グァンウェイ, 徐 学俊, 日達 研一, 廣瀬 龍優, 北村 大和, 谷口 遼紀, 山本 宗継, 西川 正, 山田 浩治, 眞田 治樹, 小栗 克弥, 石澤 淳
2. 発表標題 通信波長帯25 GHz繰り返しシリコン電気光学変調コム発生
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 里亮介,高磊, 小林祐介, 石澤 淳, 山本宗継, Cong Guangwei, 山田 浩治, 北 智洋
2. 発表標題 μ-Transfer Printingにより形成されたSi-SiO ₂ -Si水平スロット導波路の群屈折率分散測定
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shoichiro Yasui, Tomohiro Inaba, Kenichi Hitachi, Atsushi Ishizawa, Reina Kaji, Takehiko Tawara, Satoru Adachi, Xuejun Xu, Haruki Sanada
2. 発表標題 Optical Detection of Trace Amounts of Er Ions in Silicon-based Rare Earth Oxide Thin Film Waveguides
3. 学会等名 2023 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S.Yasui, T.Inaba, A.Ishizawa, K.Hitachi, H.Omi, R.Kaji, T.Tawara, S. Adachi, X.Xu, H.Sanada
2. 発表標題 Development of Comb Transfer Method for High Efficiency Atomic Frequency Comb Quantum Memory
3. 学会等名 22nd International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON22) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Ishizawa, Y. Kikkawa, R. Kou, G. Cong, X. Xu, T. Aihara, K. Hitachi, T. Tsuchizawa, N. Yamamoto, T. Nishikawa, K. Yamada, K. Oguri
2. 発表標題 Low-phase-noise Frequency-tunable Microwave and Millimeter-wave Generation Using an Electro-optic-modulation Comb
3. 学会等名 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Kikkawa, A. Ishizawa, X. Xu, G. Cong, R. Kou, K. Yoshida, K. Hitachi, N. Yamamoto, T. Nishikawa, K. Yamada, H. Sanada, K. Oguri
2 . 発表標題 Electro-optic-modulation Comb Generation Using a Silicon Modulator at 25-GHz Repetition Rate
3 . 学会等名 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Hitachi, A. Ishizawa, K. Ishikawa, H. Sanada, K. Oguri
2 . 発表標題 Asynchronous Optical Sampling (ASOPS) to Detect Small Oscillations in Silicon Membranes
3 . 学会等名 IFCS-EFTF2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Ryuichi Ohta, Gregoire Lelu, Xuejun Xu, Tomohiro Inaba, Kenichi Hitachi, Yoshitaka Taniyasu, haruki sanada, Atsushi Ishizawa, Takehiko Tawara, Katsuya Oguri, Hiroshi Yamaguchi, Hajime Okamo
2 . 発表標題 Acoustic control of optical excitation of rare-earth ions
3 . 学会等名 CLEO2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Ryuichi Ohta, Gregoire Lelu, Xuejun Xu, Tomohiro Inaba, Kenichi Hitachi, Yoshitaka Taniyasu, Haruki Sanada, Atsushi Ishizawa, Takehiko Tawara, Katsuya Oguri, Hiroshi Yamaguchi, Hajime Okamoto
2 . 発表標題 Observation of the multiple acoustic phonon sidebands in erbium ions
3 . 学会等名 ICNN2023 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 日達 研一, 石澤 淳, 石川 憲治, 眞田 治樹, 小栗 克弥
2. 発表標題 非同期光サンプリング法(ASOPS)を用いた低ノイズな時間分解反射率計測
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田 竜一, Lelu Gregoire, 徐 学俊, 稲葉 智宏, 日達 研一, 谷保 芳孝, 眞田 治樹, 石澤 淳, 俵 毅彦, 小栗 克弥, 山口 浩司, 岡本 創
2. 発表標題 表面弾性波を用いたErイオンのフォノンアシスト光励起
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji ISHIKAWA, Yoshifumi SHIRAKI, Takehiro MORIYA, Atsushi ISHIZAWA, Kenichi HITACHI, Katsuya OGURI
2. 発表標題 Toward ultra-low-noise measurement of sound by optical interferometry
3. 学会等名 24th International Congress on Acoustics (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川憲治, 白木善史, 守谷健弘, 石澤淳, 日達研一, 小栗克弥
2. 発表標題 光学的音響計測における計測雑音
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田 竜一, 徐 学俊, 稲葉 智宏, 眞田 治樹, 石澤 淳, 俵 毅彦, 小栗 克弥, 岡本 創
2. 発表標題 表面弾性波を用いたEr光励起の制御
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安井 翔一郎, 平石 真也, 石澤 淳, 尾身 博雄, 稲葉 智宏, Xu Xuejun, 鍛冶 怜奈, 足立 智, 俵 毅彦
2. 発表標題 Comb Transfer 法による Atomic Frequency Comb 量子メモリの高効率化
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉川 優剛, 石澤 淳, 徐 学俊, コン グァンウェイ, 高 磊, 吉田 光貴, 日達 研一, 山本 宗継, 西川 正, 山田 浩治, 眞田 治樹, 小栗 克弥
2. 発表標題 通信波長帯25 GHz繰り返しシリコン電気光学変調コム発生
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kikkawa, A. Ishizawa, R. Kou, X. Xu, K. Yoshida, T. Tsuchizawa, T. Aihara, T. Nishikawa, G. Cong, K. Hitachi, N. Yamamoto, K. Yamada, K. Oguri
2. 発表標題 Sub-30-fs all-fiber electro-optic comb at 1.5 um with 25GHz repetition rate
3. 学会等名 CLEO-PR 2022
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Koki Yoshida, Atsushi Ishizawa, Rai Kou, Xuejun Xu, Tai Tsuchizawa, Takuma Aihara, Yugo Kikkawa, Tadashi Nishikawa, Kenichi Hitachi, Guangwei Cong, Noritsugu Yamamoto, Koji Yamada, Katsuya Oguri
2 . 発表標題 Enhancement of supercontinuum generation with multimode excitation in silicon-nitride waveguide
3 . 学会等名 CLEO-PR 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Xuejun Xu, Masaya Hiraishi, Tomohiro Inaba, Tai Tsuchizawa, Atsushi Ishizawa, Haruki Sanada, Takehiko Tawara, Jevon Longdell, Katsuya Oguri, Hideki Gotoh
2 . 発表標題 Erbium-doped Rare-Earth Oxide Thin Film Waveguides for Integrated Quantum Photonic Devices
3 . 学会等名 CLEO-PR 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Takeshi Umeki, Tomoya Akatsuka, Atsushi Ishizawa, Hiromitsu Imai, Takushi Kazama, Takahiro Kashiwazaki, Kei Watanabe, Katsuya Oguri, Ryoichi Kasahara
2 . 発表標題 Optical-phase-conjugation-based phase noise cancellation for fiber delivery of optical frequency reference
3 . 学会等名 CLEO-PR 2022
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Akatsuka, H. Imai, K. Arai, H. Sakuma, A. Ishizawa, K. Oguri, T. Goh, T. Hashimoto, M. Takamoto, H. Katori, H. Gotoh, T. Sogawa
2 . 発表標題 Highly stable laser repeater system with frequency instability below 10 ⁻²¹
3 . 学会等名 CLEO-PR 2022
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Hiraishi, Tomohiro Inaba, Xuejun Xu, Haruki Sanada, Tai Tsuchizawa, Atsushi Ishizawa, Takehiko Tawara, Jevon Longdell, Katsuya Oguri, Hideki Gotoh
2. 発表標題 Spectroscopic examination of optical coupling between erbium ions and microring resonators on Si-integrated on-chip devices
3. 学会等名 Symposium 2022, The Dodd-Walls Centre
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石澤 淳, 西川 正, 高 磊, 日達研一, 小栗克弥
2. 発表標題 電気光学変調による光コムを用いた極低雑音マイクロ波発生
3. 学会等名 「光技術を用いた超低位相雑音マイクロ波～テラヘルツ波の発生技術」ワークショップ, IEEE PS Kansai Chapter (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shoichiro Yasui, Masaya Hiraishi, Atsushi Ishizawa, Hiroo Omi, Tomohiro Inaba, Xuejun Xu, Reina Kaji, Satoru Adachi, Takehiko Tawara
2. 発表標題 Remarkable Improvement of Atomic-Frequency-Comb Memory Efficiency by Comb Transfer Method in 167Er3+:Y2SiO5 under Zero Magnetic Field
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2022), FTh5L.5
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高 磊, 石澤 淳, 山田 浩治
2. 発表標題 シリコン系高集積材料によるスーパーコンティニューム光発生の広帯域化
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川憲治, 白木善史, 守谷健弘, 石澤淳, 日達研一, 小栗克弥
2. 発表標題 光音響計測における低周波数領域の計測雑音
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安井 翔一郎, 日達 研一, 尾身 博雄, 稲葉 智宏, Xu Xuejun, 眞田 治樹, 鍛冶 怜奈, 足立 智, 依 毅彦
2. 発表標題 通信波長帯 Atomic Frequency Comb による Time bin qubit の 量子メモリ実証
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Ishizawa, Tadashi Nishikawa, Kenichi Hitachi, Koki Yoshida, Hideki Gotoh, and Katsuya Oguri
2. 発表標題 Tunable generation of low-phase-noise microwave signals
3. 学会等名 2021 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), 15-17 Nov. (2021). DOI: 10.1109/MWP53341.2021.9639410 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsushi Ishizawa, Shota Kawashima, Rai Kou, X. Xu, Tai Tsuchizawa, Takuma Aihara, Koki Yoshida, Tadashi Nishikawa, Kenichi Hitachi, Guangwei Cong, Noritsugu Yamamoto, Koji Yamada, and Katsuya Oguri
2. 発表標題 Simple carrier-envelope-offset locking with f-3f self-referencing directly from a dispersion-controlled silicon-nitride waveguide
3. 学会等名 CLEO CLEO/EUROPE-EQEC 2021, ED-P2, (2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田光貴, 石澤 淳, 高 磊, 徐 学俊, 吉川優剛, 土澤 泰, 相原卓磨, 西川 正, コン グァンウェイ, 山本宗継, 山田浩治, 小栗克弥
2. 発表標題 25 GHz 繰り返しフェムト秒光パルスを用いた 2/3 オクターブ帯域光発生
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会, 25p-D215-1, 青山学院大学, 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安井翔一郎, 平石真也, 石澤 淳, 尾身博雄, 稲葉智宏, Xuejun Xu, 鍛冶怜奈, 足立 智, 依 毅彦
2. 発表標題 167Er ³⁺ :Y2SiO5における零磁場下での通信波長帯Atomic Frequency Comb時間多重量子メモリプロトコルの実証
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会, 25p-D214-4, 青山学院大学, 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金川誠矢, 村山大誠, 森田拓海, 石澤 淳, 西川 正
2. 発表標題 ヘリオットセルを用いたデュアル電気光学変調コム分光の高感度高速計測
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会, 25p-E302-3, 青山学院大学, 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田竜一, 徐 学俊, 稲葉智宏, 眞田治樹, 石澤 淳, 依 毅彦, 小栗克弥, 山口浩司, 岡本 創
2. 発表標題 Er ³⁺ :Y2SiO5結晶上における表面弾性波の生成
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会, 23p-D316-2, 青山学院大学, 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田光貴, 石澤 淳, 高 磊, 徐 学俊, 吉川 優剛, 土澤 泰, 相原 卓磨, 西川 正, コン グァンウェイ, 山本 宗継, 山田 浩治, 小栗 克弥
2. 発表標題 マルチモード化したSiN導波路による非線形光学効果の増強
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会, 第42回年次大会, P01-13a-P-03, オンライン開催, 2022年1月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安井 翔一郎, 平石 真也, 石澤 淳, 尾身 博雄, 稲葉 智宏, Xuejun Xu, 鍛冶 怜奈, 足立 智, 俵 毅彦
2. 発表標題 167Er ³⁺ :Y ₂ SiO ₅ における Atomic Frequency Comb 多重量子メモリプロトコルの実証
3. 学会等名 第 57 回 応用物理学会北海道支部 第 18 回 日本光学会北海道支部 合同学術講演会プログラム, B-12 オンライン開催, 2022年1月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Yasui, M. Hiraishi, A. Ishizawa, H. Omi, R. Kaji, S. Adachi, T. Tawara
2. 発表標題 Frequency and Time Domain Measurements of 167Er ³⁺ :Y ₂ SiO ₅ by Stabilizing the Optical Frequency Using a Fiber Laser Comb
3. 学会等名 ISNTT2021, S08-5, 2021.12. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yoshida, A. Ishizawa, R. Kou, X. Xu, T. Tsuchizawa, T. Aihara, Y. Kikkawa, T. Nishikawa, K. Hitachi, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, and K. Oguri
2. 発表標題 Dependence of Supercontinuum Light on Incident Laser Polarization and Dispersion-controlled SiN Waveguides
3. 学会等名 ISNTT2021, P1-35, 2021.12 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田光貴, 石澤 淳, 高 磊, 徐 学俊, 吉川優剛, 土澤 泰, 相原卓磨, 西川 正, コン グァンウェイ, 山本宗継, 山田浩治, 小栗克弥
2. 発表標題 SiN導波路におけるスペクトル 強度の入射位置依存性
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会, 10a-N107-1, 2021年9月
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shoichiro Yasui, Masaya Hiraishi, Atsushi Ishizawa, Hiroo Omi, Reina Kaji, Satoru Adachi, and Takehiko Tawara
2. 発表標題 Evaluation of Homogeneous Linewidth of 167Er:Y2SiO5 in Frequency Domain Measurement using Laser Stabilization with Optical Frequency Comb
3. 学会等名 The 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials, E-6-05, Sep. 8 (SSDM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 里 亮介, 高 磊, 山田 浩治, 北 智洋
2. 発表標題 Optimization of Silicon waveguide for supercontinuum generation using μ -Transfer printing
3. 学会等名 Photonic Device Workshop 2021, オンライン開催 (2021.12)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 里 亮介, 高 磊, 山田 浩治, 北 智洋
2. 発表標題 広帯域SC光発生に向けたSiスロット導波構造の最適化
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会, オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Hiraishi, Tomohiro Inaba, Xuejun Xu, Haruki Sanada, Tai Tsuchizawa, Atsushi Ishizawa, Takehiko Tawara, Hiroo Omi, Jevon Longdell, Katsuya Oguri, and Hideki Gotoh
2. 発表標題 Optical coupling between Er ³⁺ and integrated microring resonators on Si
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会, 12a-N103-10, 2021年9月
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hiraishi, T. Inaba, X. Xu, H. Sanada, T. Tsuchizawa, A. Ishizawa, T. Tawara, H. Omi, J. Longdell, K. Oguri, and H. Gotoh,
2. 発表標題 Photoluminescence Enhancement of Erbium Ions in Rare-earth Oxide Thin Films Using Si-based Microring Resonators
3. 学会等名 International Symposium on Novel maTerials and quantum Technologies (ISNTT 2011), P1-21, December 14-17, 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石澤淳、西川正、日達研一、後藤秀樹、小栗克弥
2. 発表標題 電気光学変調コムによる低雑音マイクロ波発生
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島滉太、石澤淳、高磊、徐学俊、土澤泰、相原卓磨、西川正、コングァンウェイ、山本宗継、山田浩治、小栗克弥
2. 発表標題 分散制御Si ₃ N ₄ 導波路を用いた2オクターブ光発生
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島滉太、石澤淳、高磊、徐学俊、土澤泰、相原卓磨、西川正、コングァンウェイ、山本宗継、山田浩治、小栗克弥
2. 発表標題 SiN導波路の分散制御による非常に簡便なキャリアエンベロープオフセット周波数検出
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田光貴、石澤淳、西川正、小栗克弥
2. 発表標題 電気光学変調コムを用いた低雑音マイクロ波発生
3. 学会等名 第五回フォトニクスワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川島滉太、石澤淳、高磊、徐学俊、土澤泰、相原卓磨、西川正、コングァンウェイ、山本宗継、山田浩治、小栗克弥
2. 発表標題 分散制御SiN導波路を用いた高効率2オクターブ帯域光発生
3. 学会等名 第五回フォトニクスワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米津 佑哉, 高 磊, 西 英隆, 土澤 泰, 山田 浩治, 青木 隆朗, 石澤 淳, 松田 信幸
2. 発表標題 グラフェン装荷Si細線光導波路を用いた光子対生成
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高 磊
2. 発表標題 μ-Transfer Printing技術による異種材料光集積回路
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高 磊
2. 発表標題 Si集積プラットフォーム上の広帯域光発生
3. 学会等名 第6回超光速光エレクトロニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Mashiko, Akihiro Oshima, Ming-Chang Chen, Koji Asaga, Ikufumi Katayama, Jun Takeda, Tadashi Nishikawa, and Katsuya Oguri
2. 発表標題 Supercontinuum spectral phase interferometry with isolated attosecond pulse
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Ultrafast Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>日本大学 生産工学部 電気電子工学科 石澤研究室 https://ishizawaatsushilaboratory.on.driv.tw/www.mypage.jp/</p>
--

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	高 磊 (Kou Rai) (40650429)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	徐 学俊 (Xu Xuejun) (80593334)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・主任研究員 (92704)	
研究分担者	Cong Guangwei (Cong Guangwei) (20470049)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・上級主任研究員 (82626)	
研究分担者	山田 浩治 (Yamada Koji) (50574927)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・総括研究主幹 (82626)	
研究分担者	西川 正 (Nishikawa Tadashi) (20374069)	東京電機大学・工学部・教授 (32657)	
研究分担者	山本 宗継 (Yamamoto Noritsugu) (00358285)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究主幹 (82626)	
研究分担者	赤塚 友哉 (Akatsuka Tomoya) (90548257)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・量子科学イノベーション研究部・主任研究員 (92704)	
研究分担者	今井 弘光 (Imai Hiromitsu) (00649551)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・量子科学イノベーション研究部・主任研究員 (92704)	

6. 研究組織（つづき）

	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	増子 拓紀 (Mashiko Hiroki) (60649664)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授 (12601)	

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