

シリコンフォトニックチップによる広帯域光パラメトリック利得

Broad-Band Optical Parametric Gain on a Silicon Photonics Chip

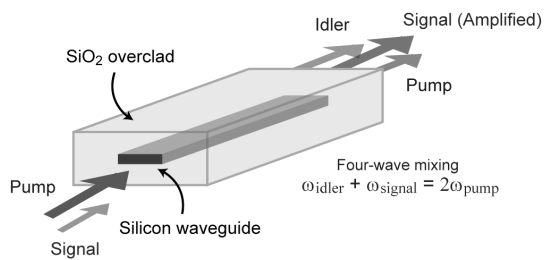
[M. A. Foster, A. C. Turner, J. E. Sharping, B. S. Schmidt, M. Lipson and A. L. Gaeta: Nature, 441 (2006) 960-963]

シリコン・オン・インシュレーター (SOI) 技術を利用したシリコン光導波路は、低消費電力・低コスト・小型化などから、将来のフォトニック・ネットワークを担う光デバイスとして期待されている。また、シリコンによる光増幅器の開発は、シリコン・フォトリソ集積回路の成功に不可欠である。最近、シリコン光導波路のラマン効果を利用して 1 nm 帯域幅の光学利得が得られたことから、ラマン発振器 (Intel, 無損失光変調などが実現しているが、ラマン利得の帯域幅は比較的狭いため、単一波長チャネルしか増幅できない。もし広い利得帯域幅がシリコンで実現できれば、波長チャネルのアレイの生成・処理につながる。

本論文では、適切に設計した SOI チャンネル導波路における位相整合した四光波混合という非線形光学プロセスを介して、28 nm の波長領域にわたって得たオン/オフ利得 (ポンプ光をオンにしたときとオフにしたときの信号光の増幅率) の結果を報告する。また、1511~1591 nm の領域における波長変換も実証し、ピーク変換効率率は +5.2 dB になった。これは、既存の SOI 導波路における四波混合効率を 20 倍以上改善した結果になる。このような進展によって、高密度波長分割多重化を全シリコンフォトニック集積回路で実現することが可能になる。(図7,

文献 30)

シリコン細線導波路で光増幅器ができれば、光集積回路への大きな第一歩となる。シリコン特有の二光子吸収や自由キャリアー吸収などの問題はまだまだ残されるが、今後の研究結果に期待したいところである。(須田 悟史)



シリコン細線導波路のパラメトリック過程を用いた光増幅器

色カテゴリーに対する神経相関

Neural Correlates of Colour Categories

[E. Fonteneau and J. Davidoff: Neuroreport: 18, No. 3 (2007) 1323-1327]

色カテゴリーにより色検出が促進されるという報告などに基づき、色カテゴリーは色の知覚的処理の結果生じるという考えがある。また一方、色カテゴリーによる色検出促進効果は脳の左半球で優位であることも報告されてきていることから、色カテゴリーは色に対する言語的ラベリングに過ぎないという主張も存在する。本研究では、行動学的測定だけでは明らかにならない脳における色差処理を調べるため、色視覚刺激に対する脳波を測定した。実験では、さまざまな色と対になって呈示される同一色 (G_0 , 緑) に対する ERP (事象関連電位) に着目し、 G_0 が高頻度で呈示される場合 (frequent 条件) と、低頻度で呈示される場合 (deviant 条件) の ERP を比較した。その結果、どの色と対になった場合でも、frequent 条件の ERP と deviant 条件の ERP の差分波形 (差分電位) には、有意なピーク (刺激オンセット後 120~240 ms 付近) がみられた。また、対となる色と G_0 の間の色差が大きくなるにつれ、差分電位のピーク潜時は短くなったが、それ以外に色カテゴリーの違いによっても、ピーク潜時が短くなった。色カテゴリーの違いが潜時を短くするという結果は、色カテゴリーが視覚処理と同時に生じていることを示唆する。この脳波に対する色カテゴリーの影響は、色カテゴリーに關与する神経生理学的応答を計測したはじめての結果といえる。(図2, 文献 25)

色のカテゴリカル知覚は色の検出等に有用である可能性が示されているものの、そのメカニズムはいまだ明らかになっていない。本論文だけではまだ色の統制・条件数が十分とはいえないが、これまでの心理物理学のアプローチに加えて電気生理学的知見が増えることにより、さらにカテゴリカル色知覚の理解、さらにはその応用へとつながることに期待したい。

(永井 岳大)

広帯域円偏光素子としての金らせんフォトニック・メタマテリアル

Gold Helix Photonic Metamaterial as Broadband Circular Polarizer

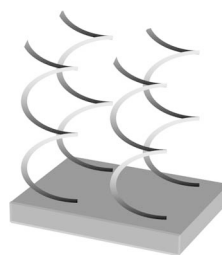
[J. K. Gansel, M. Thiel, M. S. Rill, M. Decker, K. Bade, V. Saile, G. von Freymann, S. Linden and M. Wegener: Science, 325, No. 5947 (2009) 1513-1515]

メタマテリアルを用いて、収差のない完全レンズや透明マントなど、従来にはない新機能をもつ素子が理論的に提唱されている。今回、著者らは、二次元正方的に並んだ金のらせん構造が広帯域な円偏光素子として動作することを実証した。

素子の作製方法は、10 μm 厚のフォトリソに三次元直接レーザー描画 (DLW) システムを用いて露光し、40 μm \times 40 μm 領域に、2 μm 周期の正方格子状に直径 1.4 μm のらせん構造を作る。これをエッチング除去して金を電気化学的に堆積させ、最後に残ったレジストを除去して、二次元正方状に並んだ金らせん構造をつくる。円偏光した中赤外光をらせん軸に平行に当てると、らせんと同じ向きの円偏光光線は阻害され、逆向きの光線は透過した。また、動作波長は 3.5~7.5 μm の 1 オクターブ以上にわたった。これは、金らせんフォトニック・メタマテリアルが広帯域な円偏光素子として動作することを示している。(図4, 文献 29)

本研究は分光測定に応用できるような三次元メタマテリアルを実際

に作製し、その原理をシミュレーションによって解明したことに意義がある。金属のプラズマ周波数以下であれば、動作波長はらせん構造の大きさにスケールするので、さまざまな波長帯域で円偏光素子が作製できると期待される。(佐藤 琢哉)



作製した金らせんフォトニック・メタマテリアル

ミューラータイプの面積分方程式による任意形状粒子に適用できる光散乱ソルバーの開発—I. 方法論, 計算精度と粒子表面の電磁電流—

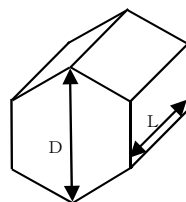
Development of a Light Scattering Solver Applicable to Particles of Arbitrary Shape on the Basis of the Surface-integral Equations Method of Müller Type: I. Methodology, Accuracy of Calculation, and Electromagnetic Current on the Particle Surface [T. Y. Nakajima, T. Nakajima, K. Yoshimori, S. K. Mishra and S. N. Tripathi: Appl Opt., 48, No. 19 (2009) 3526–3536]

自然界において、光散乱する粒子の中の大部分は球形状ではない。そのため、非球形状粒子の光散乱特性を算出する、効率的で正確な計算手法が探求されてきた。本論文では、任意形状粒子による光散乱特性を導くための、面積分方程式による数値計算アルゴリズムが開発されている。吸収係数に関しては、ミー散乱理論との比較を行うことによって計算精度が見積もられ、粒子面上の節点が1波長に対して4つ以上あるように設定した場合には、誤差量1%以下となることが示されている。また、緯度経度タイプのメッシュ生成法を採用した場合には、入射光の伝搬方向における粒子表面の節点分布が変化すると計算精度が変動するため、赤道入射よりも極点入射のほうが高精度に数値計算可能となることが示されている。また、球、六角円柱形状の粒子に関しては、表面電流と、すべての角度に対する散乱位相関数が導出されている。

開発された光散乱ソルバーを用いて数値計算を行った結果、六角円

柱形状粒子に関する散乱位相関数には、4または8つのコールドスポットが存在することが示されている。また、ランダムな方向に向いている六角円柱形状粒子の散乱位相関数の平均値では、角度20°でハローとよばれる注目すべき光現象が得られている。(図8, 表1, 文献21)

任意形状粒子に適用できる光散乱ソルバーは、天文学や地球物理学のみならず、さまざまな分野への応用が期待される。(門馬 進)



六角円柱の大きさの定義, L/D で表されるアスペクト比

周波数選択表面を用いた偏光赤外放射

Polarized Infrared Emission Using Frequency Selective Surfaces

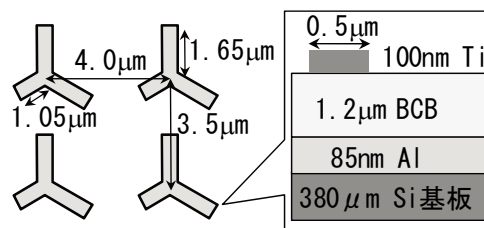
[J. Ginn, D. Shelton, P. Krenz, B. Lail and G. Boreman: Opt. Express, 18, No. 5 (2010) 4557–4563]

近年、環境発電の分野において、表面の熱励起による赤外線のコヒーレント放射についての研究が行われている。これまでおもにワイヤグリッド偏光子や回折格子を用いた直線偏光放射、また偏光子と波長板を組み合わせた分離型の多層構造からの円偏光放射が報告されていたが、著者は構造を熱源表面に直接作製し、共振アンテナとして利用する偏光放射面を提案している。Si, AlとBCB (benzocyclobutene) から成る基板の上にTiで構造を作製し、直線偏光放射面ではダイポールアレイ、円偏光放射面では非対称な形状のトリポールアレイとした。このような表面を放射源に利用する利点として、偏光子を用いた場合に比べてエネルギーの効率がよいことや、放射スペクトルの制御が可能などなどを挙げている。作製した構造からの放射赤外線の評価は、電磁界解析から得たモデル値と赤外線カメラによる偏光画像によって示されている。トリポール型の構造では、1つの脚を短くすることで共振周波数をシフトさせ、直交する偏光の進相軸とし、波長8.5~10.8 μm の広範囲で90 \pm 10度の位相差が得られるとしている。

(図7, 文献21)

無線通信分野における周波数選択表面は電磁波の遮蔽を目的としたものが多いが、非コヒーレントな熱放射領域で偏光放射が自在に制御できれば、熱放射そのものの応用も広がることが期待できる。

(海老澤瑞枝)



円偏光放射のための非対称なトリポールアレイ

ガードインターバルをもたないコヒーレント光 OFDM による 100 Gb/s 長距離 WDM 伝送

No-Guard-Interval Coherent Optical OFDM for 100-Gb/s Long-Haul WDM Transmission

[A. Sano, E. Yamada, H. Masuda, E. Yamazaki, T. Kobayashi, E. Yoshida, Y. Miyamoto, R. Kudo, K. Ishihara and Y. Takatori: IEEE J. Lightwave Technol., 27, No. 16 (2009) 3705–3713]

長距離大容量光伝送の実現に向け、光直交周波数分割多重 (OFDM: orthogonal frequency division multiplexing) 伝送技術が注目されている。光 OFDM 信号は周波数直交化された複数のサブキャリアから構成されており、従来のシングルキャリア信号に比べて高い周波数利用効率を実現する。また、ガードインターバルを付与することで、波長分散、偏波分散耐力の向上も可能である。しかし一方で、ガードインターバルの付与は周波数利用効率の低減を伴う。また、光 OFDM 信号はシングルキャリア信号に比べてピークパワーが大きいため、光ファイバー中の非線形光学効果による波形劣化の影響が顕著であることが知られている。本報告では、少数サブキャリアから構成される光 OFDM 信号を用いることで非線形劣化を抑制し、受信系にデジタル信号処理 (DSP: digital signal processing) 技術を適用することでガードインターバルを用いずに高い波長 / 偏波分散耐力を実現する no-guard-interval coherent optical OFDM (No-GI CO-OFDM) 方式を

提案し、伝送実験により 100 Gb/s 長距離大容量伝送への適用性について検討している。実験により、従来の直接検波方式に比べて高い受信感度と偏波分散耐力を有することを確認している。また、シミュレーションにより、DSP による分散補償を適用することで、高い非線形耐力が得られることを確認している。さらに、134 チャンネル波長多重された 111 Gb/s No-GI CO-OFDM 信号の 3600 km 長距離伝送が、エラーフリーで実現可能であることを伝送実験により実証している。(図12, 文献31)

本報告は、光 OFDM 伝送のもつデメリットを克服し、100 Gb/s 級長距離大容量光伝送への適用可能性を実験的に検証している点で、非常に興味深い。今後も 100 Gb/s やそれ以上の高速光信号伝送の実現に向け、光 OFDM 伝送技術の研究がよりいっそう活発になることが予想される。(山本 秀人)