

ハイブリッドシリコン光集積回路技術

Hybrid Silicon Photonic Integrated Circuits Technology

[M. J. R. Heck, J. F. Bauters, M. L. Davenport, J. K. Doyle, S. Jain, G. Kurczveil, S. Srinivasan, Y. Tang and J. E. Bowers: IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 19, No. 4, (2013) 6100117]

SiをベースとしたLSIに光を導入する、いわゆるオンチップ光通信の研究は、2008年にはすでに盛んであり、米国を中心として、カリフォルニア大学サンタバーバラ校とインテルによる国家プロジェクト体制が進められた。本論文は、そのプロジェクトでヘッドを務めているJohn E. Bowers教授のグループで行われた研究成果である。「ハイブリッドシリコン光集積回路技術」とは、Si系の材料をベースに光集積回路を構成し、光源、増幅器、受光素子については、必要箇所にInP系デバイスをハイブリッド実装する技術である。この技術を用いて構成された光集積回路は、従来の光集積回路に比べて、各素子の小型化、チップの大量積化、電子デバイスとの融合において優位性を有する。本論文は、ハイブリッドシリコン光集積回路における主要なデバイスである、レーザー光源、変調器、スイッチング素子、受光素子の4種のデバイスについて解説する。レーザーについては、DFB (distributed feedback) 構造をSi側に形成することで、従来と同程度

の閾値電流(〜20 mA)と出力パワー(〜1.2 mW)を得た。変調器については、InGaAsP系MQW (multiple quantum well)における量子閉じ込めシュタルク効果を利用した電界吸収型により、74 GHzまでの高周波帯動作を実現した。スイッチング素子については、SOA (semiconductor optical amplifier)の利得変化を用いることで光のオン/オフを行い、信号を所望のルートに伝送した。最後に、受光素子については、DQPSK (differential quadrature phase shift keying)の集積型ディテクターが開発され、後段のバランスディテクターの部分にハイブリッド実装されたInGaAs受光器を用いることで、最終的に50 Gbpsの信号伝送を可能とした。(図36, 文献105)

光を用いた超高速データ伝送は、LSIの電気配線における回路遅延・伝送損失・電磁波干渉などの問題を回避し、波長多重による大容量伝送も可能であり、次世代の配線技術として期待される。

(雨宮 智宏)

広視野高分解能フーリエタイコグラフィ顕微鏡

Wide-Field, High-Resolution Fourier Ptychographic Microscopy

[G. Zheng, R. Horstmeyer and C. Yang: Nat. Photon., 7, No. 9 (2013) 739-745]

光学顕微鏡における視野と分解能はトレードオフの関係にあり、得られる空間帯域幅積(SBP)は一般に数〜数十メガピクセル程度にとどまる。著者らは、この問題を解決する新しいイメージング法として、フーリエタイコグラフィ顕微鏡を提案している。本手法では、照明光の入射角度を変えながら試料を照明することで、含まれる空間スペクトル領域の異なる多数の低解像度画像を撮影する。このとき、各低解像度画像が含む空間スペクトル領域を部分的に重複させておき、重複領域をフーリエ面における拘束条件に利用して反復計算を行うことで、低解像度画像群から、より広い領域にわたる空間スペクトルを合成する。それをフーリエ逆変換し、試料の高解像度振幅画像と位相画像を得る。倍率2倍、NA 0.08の対物レンズを用いたプロトタイプシステムにより細胞組織を観察し、視野120 mm² (NA 0.08の視野)で分解能0.78 μm (NA 0.5相当)のカラー画像を得ることに成功し

た。これは0.9ギガピクセルのSBPに相当する。また、本手法で最初に撮影するのは強度画像のみであるが、反復計算中には位相を扱っており、デフォーカスや取差に対するデジタル波面補正を行うことができる。フーリエ面(すなわち対物レンズの瞳面)にデフォーカスの波面補正のための位相因子を導入した反復計算により、0.3 mmの焦点深度(NA 0.08の焦点深度は80 μm)を達成している。(図4, 文献46)

計算機による処理を積極的に利用することで、顕微鏡の性能向上をもたらしているところが興味深い。また、画像取得や画像合成に長い時間(現時点では全部で約10分)がかかる課題はあるが、広い視野、高い分解能、長い焦点深度を機械的走査なしで実現したことは実用の観点から重要である。今後は、非干渉方式による位相定量手法としての展開も期待される。

(小倉 裕介)

正視者および近視者におけるぼけ順応の時間特性

The Time Course of Blur Adaptation in Emmetropes and Myopes

[K. A. Khan, K. Dawson, A. Mankowska, M. P. Cufflin and E. A. H. Mallen: Ophthalmic Physiol. Opt., 33 (2013) 305-310]

視覚情報の識別能力を表す指標である視力は、眼の角膜や水晶体といった眼球光学系の特性によって変化するのみならず、より高次の脳情報処理の影響を受けることが知られている。例えば、視覚情報にぼけが付加されると視力は低下するが、持続的にぼけを観察し続けると徐々に視力は向上する。この現象はぼけ順応とよばれ、視覚システムが視覚像のぼけに対して柔軟に適応していることを示唆する。これまで多くの研究においてぼけ順応が生じる観察条件などが検証されてきたが、この順応がどのような時間特性で生じるかについては検討されていない。本論文では、ぼけ順応の時間特性を明らかにすること、また、先行研究において近視者は正視者に比べぼけに対する感度が低いことなどが報告されていることから、これらの被験者間での順応特性の違いを検討することを目的としている。実験では、正視者および近

視者に、近視状況を模擬するレンズを装着させ(近視者では屈折矯正のレンズとともに装着)、2分おきに30分間にわたって視力を測定した。結果は、レンズによるぼけが付加されると視力は急激に低下するが、時間の経過とともに徐々に視力が上昇すること、また、およそ4分程度で視力の上昇がみられなくなることを示した。近視者と正視者において時間特性に違いはなかった。(図4, 表2, 文献27)

従来の研究では、ぼけ刺激に対して30分から3時間といった比較的長い順応を行い、その後での視力の変化に着目していたが、本論文ではより細かい時間的な変化を明らかにしている点で興味深い。順応の効果は比較的短時間ではあるが、矯正器具や外科手術による視力矯正に代わる矯正手法の開発などにつながる可能性があることから、今後の発展が期待される。

(瀬谷 安弘)

集積化センシングとデジタルデータ記憶のための磁性流体ベース再構成可能流体光学スイッチ

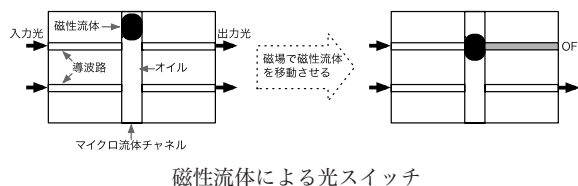
Ferfluid-Based Reconfigurable Optofluidic Switches for Integrated Sensing and Digital Data Storage

[Y. Gu, G. Valentino and E. Mongeau: Appl. Opt., 53, No. 4 (2014) 537-543]

近年、マイクロ流体素子と微小光学素子の技術を統合した専門領域「流体光学」(optofluidics)が提案され、盛んに研究されている。本論文は、流体のフローで部品を動かすのではなく、光を遮断する材料に磁性流体を用い磁場で動作させる流体光学スイッチを提案した。スイッチは導波路として用いるファイバー(外径125 μm または225 μm)とポリジメチルシロキサンを用いて作製されたマイクロ流体チャンネル(直径250 μm または380 μm)で構成され、 $22 \times 22 \text{ mm}$ のプラスチック製カバーガラス上に作製された。導波路を横切るように、チャンネルは切断されたファイバーの隙間に形成された。チャンネルは高屈折率オイルで満たされるが、一部に水ベース磁性流体が注入されている。磁場により磁性流体を導波路との交差点部分に移動させると、光は吸収されオフ状態となる。外部磁場を取り除いた後は、振動を加えても磁性流体の位置は安定しており、ラボオンチップでのセンシングやディ

ジタルデータ記憶への応用が期待できる。(図8, 表2, 文献26)

磁性流体を用いていることから、チャンネルがある程度変形しても動作するフレキシブルな光スイッチなどが期待できそうである。そのためには、磁場を制御するコイルの実装技術との組み合わせが望まれる。(中山 敬三)



磁性流体による光スイッチ

レンズレスホログラフィックプロジェクションにおけるスペckルノイズの画素分離による低減

Minimized Speckle Noise in Lens-Less Holographic Projection by Pixel Separation

[M. Makowski: Opt. Express, 21, No. 24 (2013) 29205-29216]

ホログラフィックプロジェクターはレンズレスであるため、フォーカスやズームの調整によるモジュールの小型化や省電力化を期待され、レーザー走査型プロジェクターのようなフリッカーを発生しない。しかし、コヒーレント光源に起因するスペckルノイズが画質の低下につながっている。スペckルノイズは映像の投影面に隣り合う画素同士の光が干渉することで生じる。本研究は、画素間の干渉を生じないように、オリジナル画像を画素間引きした複数枚の画像に分解することで、スペckルフリーの画像再生を可能にした。この手法は、間引く画素を画像ごとにずらして高速に表示画像を切り替えることで、観測者にはインコヒーレントに重畳されたフル解像度のスペckルフリーな映像を提示することができ、光源のコヒーレンスの低下を必要としないため各画素を高分解能に再生できる。ホログラムは、Gerchberg-Saxton アルゴリズムで求めたフーリエ変換型ホログラムの位相分布に投影レンズの位相分布を掛けあわせることで求められ

た。提案手法は、従来の初期位相を変化させてスペckルノイズを低減する手法と比べてノイズ低減効果が高い。本論文では、数値シミュレーションと光学的な実験の両面からその優位性が実証され、レンズレスでフルカラー再生可能なプロジェクターが作製された。(図12, 文献16)

本論文は、投影面上の画素を間引くことでスペckルノイズを抑えるアイデアをホログラフィックプロジェクターに適用し、従来法と比べてノイズ低減効果の優位性を数値シミュレーション、光学実験の両面で明示した点に価値を有する。また、光源側のコヒーレンスを落とさずにスペckルフリーを実現できる点も、分解能の面で実用性が高い。今後、スマートフォンなどの携帯端末に実装できるほどの小型モジュールの実現や、二次元画像の投影だけでなく三次元ディスプレイの小型化への応用にも期待したい。(涌波 光喜)

シングルショット定量分散位相顕微鏡

Single-Shot Quantitative Dispersion Phase Microscopy

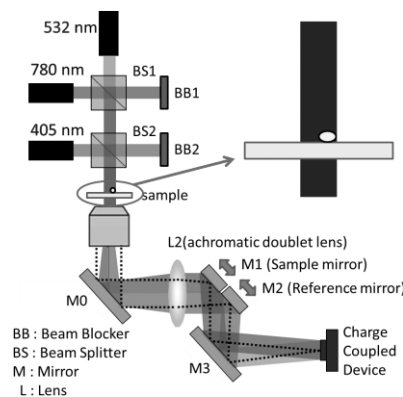
[N. Lue, J. W. Kang, T. R. Hillman, R. R. Dasari and Z. Yaqoob: Appl. Phys. Lett., 101 (2012) 084101]

本論文では、広範囲な定量位相情報を複数波長単一ショットで取得可能であること、準コモンパスな光学系であることを特長とする、高速に生細胞を測定可能な光学分散測定法が提案された。光源には、波長405 nm, 532 nm, 780 nmの小型半導体レーザーが使われた。この顕微鏡は、試料平面を二等分して物体光と参照光に分け、2つのミラーM1, M2をティルト制御しCCD面上で干渉させることで、高い耐振動性を有する準コモンパスな光学系で構成された。そして、正常細胞や異常細胞におけるバイオ分子の屈折率や乾燥質量、光学分散を高速かつ広範囲で直接的に測定できた。さらに、マイクロ流体環境と準リアルタイムデータ処理を利用することで、ハイコンテンツ分析(多数の細胞現象を同時計測できるスクリーニング技術による分析)が可能となった。本手法の有用性を実証するため、試料としてマイクロピーズとヒト大腸がん細胞を測定しており、取得した試料の屈折率と組織培地の屈折率から、コーシーの式を利用してアッペ数と光学分散が評価された。(図4, 文献24)

懸濁液中の細胞の体積は球形という仮定で算出されているため、接着系培養細胞の場合の体積を算出できない。また、厚い細胞(数 λ 以上の光路長差)に対する位相アンラッピングが難しいことから、適用範囲は限られると考えられる。計測時に施されている色収差やレー

ザーの軸ずれの数値補正は本技術の重要要素であると考えられる。

(渡邊恵理子)



シングルショット定量分散位相顕微鏡