

気になる論文コーナー

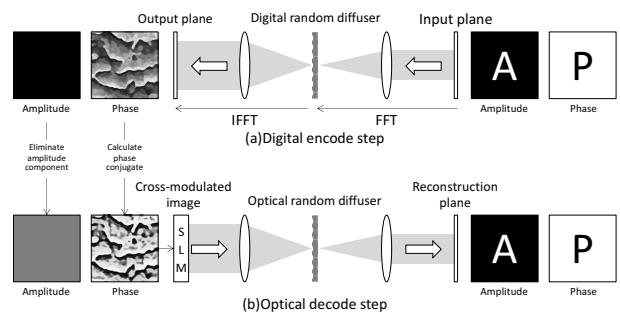
位相変調 SLM とランダムディフューザーを用いた空間クロス変調法による任意な複素振幅分布の形成

Spatial Cross Modulation Method Using a Random Diffuser and Phase-only Spatial Light Modulator for Constructing Arbitrary Complex Fields

[A. Shibukawa, A. Okamoto, M. Takabayashi and A. Tomita: Opt. Express, 22, No. 4 (2013) 3968-3982]

任意の複素振幅分布を形成する方法として、1枚の位相 SLM とランダムディフューザーを組み合わせた空間クロス変調法 (SCMM) を提案している。任意の複素振幅分布をフーリエ面でランダムディフューザーを通して再度実面に戻す計算を行い、振幅情報の拡散した複素振幅分布を得る (図 (a))。この位相共役を位相 SLM に表示し、光学的にフーリエ面で計算時と同等のランダムディフューザーを通して実面に戻すことで、所望に近い複素振幅分布を得ることができる (図 (b))。論文ではランダムディフューザーの拡散係数と再現される波面の精度の関係を評価しており、またオフアキス型のホログラム、ダブルフェーズホログラムと比べて回折率がよく、90% に達することが述べられている。光学実験ではホログラフィックデータストレージへの利用を想定したシステムを提案し、位相 SLM に表示したクロス変調画像からの波面をホログラムとして記録再生し、著者らが過去に発表した手法で計測した位相情報から計算機上で波面の復元処理を行うことで原理の検証を行っている。(図 15, 文献 20)

フィック素子や位相 SLM 等でシミュレーションに近いランダムディフューザーを実現することで、光学的な復元処理も可能と考えられる。(涌波 光喜)



空間クロス変調法による波面形成の原理

非線形光学材料の分野でよく知られる位相共役鏡による波面補償の技術を、デジタルで波面形成に用いている点が興味深い。ホログラ

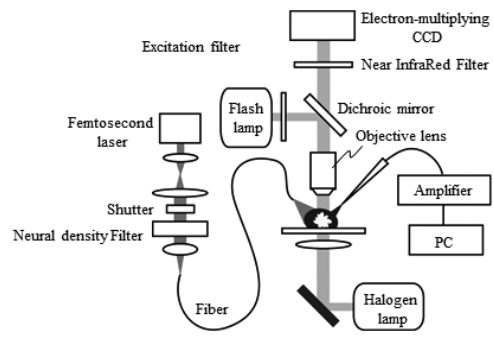
ファイバーオプティック 2 フォトン光遺伝学的刺激装置

Fiber-Optic Two-photon Optogenetic Stimulation

[K. Dhakal, L. Gu, B. Black and S. K. Mohanty: Opt. Lett., 38, No. 11 (2013) 1927-1929]

脳の仕組みの解明を目的とした神経細胞の観察では、細胞に刺激を与え、刺激に対する細胞内外での電気的応答を観察する手法が取られている。細胞を刺激する方法として、著者らは低エネルギー近赤外光によって二光子励起させることで、低侵襲かつより深く正確に刺激する手法を提案した。近赤外光は生体内での透過性が高く、また特定の光受容性たんぱく質 (例えば ChR2) に対して一般的な蛍光試薬より二光子励起効率が高くなることが確認されており、高濃度組織中で特定のたんぱく質を発現させたターゲットを効率的に刺激することが可能となる。さらに励起光の伝達にはファイバーを用い、ファイバー先端から拡散する励起光で広範囲を刺激するため走査が不要となる。本論文では、マルチモードファイバーから射出した波長 850 nm、パルス幅 300 fs、平均パワー 0.012 mW/μm² のレーザー光を、ファイバー先端から 100 μm 程度離れた ChR2 を発現させたヒト胎児腎細胞に照射し、二光子励起による刺激に対する細胞の電気的応答を観察することに成功した。(図 3, 文献 14)

らかにする有効な手段であり、本研究の生体への応用が期待される。(田辺 綾乃)



実験光学系

脳神経細胞の生体内観察は、うつ病や認知症発症のメカニズムを明

金ナノ粒子の光ソーティング

Bidirectional Optical Sorting of Gold Nanoparticles

[M. Ploschner, T. Čížmár, M. Mazilu, A. D. Falco and K. Dholakia: Nano Lett., 12 (2012) 1923-1927]

本論文は、レーザー光を用いて金属ナノ粒子を直径ごとに分離・抽出する技術を提案している。波長 532 nm と 671 nm のレーザー光を、油浸対物レンズ (NA 1.49) を通して基板に全反射で入射し、それぞれの光が対向する向きにエバネセント光を基板表面に発生させる。基板上に金ナノ粒子のコロイド溶液を滴下すると、エバネセント光による勾配力によってナノ粒子は基板表面に引き寄せられ、その後、光散乱による散乱力を受けて、基板表面に沿って流れる。金ナノ粒子は局所プラズモンに起因する共鳴的な光散乱ピークをもち、そのピーク波長は直径の増加に従ってレッドシフトする。この共鳴効果を利用して、直径の異なる粒子に対して散乱力が有効に働く波長の違いから、直径 100 nm と 150 nm のナノ粒子はそれぞれ、波長 532 nm および波長 671 nm のエバネセント光の伝搬方向に動き、分離された。同様の

方法で、直径 100 nm と 130 nm のナノ粒子の分離にも成功した。(図 4, 文献 40)

金属ナノ粒子の局所プラズモン共鳴は、表面増強ラマン分光や化学センサーをはじめ、生体細胞内のリアルタイム分光イメージング、DNA やたんぱく質のダイナミクスの観察などに応用される。特に金のナノ粒子は、強い光散乱に加えて、高い化学的安定性と合わせて低い毒性から、生きた細胞の内部の活動を高感度かつ高速に観察するためのプロープとして期待されている。このような応用のためには、共鳴効果が高く、同じ波長で共鳴する粒子だけを作製しなければならない。本論文で実現された光ソーティング技術は、このようなナノ材料の捕捉・操作・分離にきわめて高いポテンシャルをもっている。

(庄司 暁)

高開口数対物レンズを用いた三次元レーザーナノ加工における収差と軸方向伸長の同時補正

Simultaneous Compensation for Aberration and Axial Elongation in Three-Dimensional Laser Nanofabrication by a High Numerical-Aperture Objective

[B. P. Cumming, S. Debbarma, B. L. Davis and M. Gu: Opt. Express, 21, No. 16 (2013) 19135-19141]

高開口数対物レンズを用いた集光フェムト秒レーザーによる三次元ナノ加工において、集光スポット形状のひずみ補正は、高精度な加工のために重要である。その集光スポット形状のひずみの原因は、おもに3つある。1つ目は、対物レンズの開口数で決まる焦点深度に由来した集光スポットの光軸方向 (X-Z, Y-Z 面内) へのひずみである。2つ目は、対物レンズと加工対象物の隙間を満たすイマージョンオイルと加工対象物との屈折率ミスマッチによる球面収差に由来した光軸方向 (X-Z, Y-Z 面内) へのひずみである。3つ目は、高開口数対物レンズを用いた際の偏光解消効果による横方向 (X-Y 面内) へのひずみである。本論文は、集光スポット形状のひずみ補正のために、球面収差補正法とスリットビーム整形法を組み合わせた方法を提案し、その効果をシミュレーションと実験で証明した。

実験光学系は、おもに再生増幅フェムト秒レーザー (パルス幅 100 fs, 繰り返し 10 kHz) と計算機に接続された空間光変調器 (SLM) から構成される。SLM には、あらかじめ設計された球面収差補正用の位相パターンと、X 方向のビーム径を調節するスリットパターンが同

時に表示される。その表示パターンは、4f 光学系を用いて対物レンズ (開口数 1.4) の瞳面に結像される。スリットパターンは、X 方向の集光スポット径を拡大する役割を担う。通常、集光スポット径は光軸方向に比べて横方向で小さくなるため、スリット幅の最適化により、結果的に X-Z 面内でひずみ補正された集光スポット形状が得られる。また、加工深さに応じた集光スポット形状のひずみの動的な補正のために、球面収差補正パターンやスリットパターンの幅や角度が随時更新される。実験では、光感光性樹脂へのパルス照射により作製されたボクセル形状から、対物レンズ焦点面での集光スポット形状を評価し、提案手法の有効性を証明している。(図 5, 文献 19)

球面収差補正とスリットビーム整形を組み合わせた手法を空間光変調器で実現することで、加工条件 (ビーム走査方向や加工深さ) に応じて集光スポット形状を動的に制御できる点が興味深い。一方で、スリットの通過により光利用効率が低下するため、新しいアイデアの注入が必要である。(長谷川智士)

たんぱく質検出のための液晶を用いた回折効率の増幅

Amplification of Interference Color by Using Liquid Crystal for Protein Detection

[Q. Zhu and K. L. Yang: Appl. Phys. Lett., 103, No. 24 (2013) 243701]

たんぱく質の検出と定量化は、食品産業や医療診断においてきわめて重要である。シンプルな検出手法として、固体表面に平行な線状にパターンニングされたたんぱく質を吸着させ、たんぱく質の回折格子からの回折の有無を用いる方法がある。しかし、たんぱく質のみでは回折効率が低く、肉眼では見えないため、検出器が必要である。また、回折効率増強のために粒子や酵素などをたんぱく質に結合させるラベリングが用いられる場合には、その工程に時間と労力を要する。本論文では、たんぱく質の回折格子の増幅に液晶を応用し、たんぱく質の検出を肉眼で行える手法を提案した。たんぱく質による回折格子は、マイクロコンタクトプリントにより形成した。まず、平行な線状の凹凸を有するポリジメチルシロキサン (PDMS) スタンプを作製し、たんぱく質である免疫グロブリン (IgG) 溶液中で PDMS 表面に IgG を吸着させた。その後、液晶分子に対して垂直配向特性を与える配向剤を塗布したスライドガラスにスタンプを接触させ、ガラス表面にパ

ターン化された IgG を転写した。垂直配向剤を塗布したのみのもう 1 枚のスライドガラスと間隔 6 μm で対向させ、その後、ネマチック液晶を注入しセルを作製した。実験では、IgG のライン幅は 1 μm 、ライン間隔は 3 μm の回折格子を作製した。IgG が吸着していない領域では液晶分子は垂直配向、IgG が吸着している表面では液晶分子は平行配向するため、セル中に屈折率の異なる平行な線状領域が生じ、位相格子が形成される。この回折格子は IgG のみの回折格子に比べて回折効率が高いため、環境光でもセルからの回折光を肉眼で確認できた。すなわち、回折光の有無を肉眼で確認することにより、たんぱく質の検出が可能である。(図 4, 文献 17)

実験に用いられた液晶材料はネマチック液晶の研究に広く使われている標準的な液晶であり、今後材料面からの改良による性能改善が期待される。また、バイオセンシング分野での液晶応用研究に、液晶材料のもつ可能性の広さを改めて感じた。(中山 敬三)

3 個のウォラストーンプリズムを用いた完全ストークスイメージング偏光計

Triple Wollaston-Prism Complete-Stokes Imaging Polarimeter

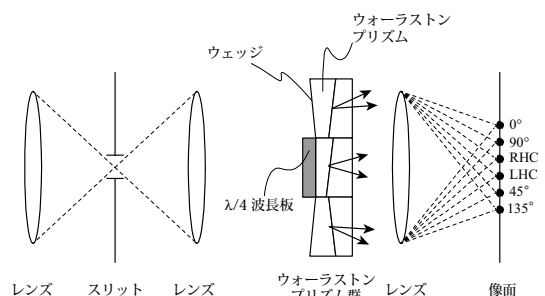
[J. D. Perreault: Opt. Lett., 38, No. 19 (2013) 3874-3877]

すべての偏光状態を定量的に表すことのできるストークスパラメーターをイメージングする手法は、さまざまな学問分野で求められている。最近、複数のウォラストーンプリズムを組み合わせたストークスイメージング手法が提案された。著者は、図に示す通り、4f フーリエ光学系のフーリエ空間内に主軸方位が異なる 3 個のウォラストーンプリズムを配置することで、ストークスパラメーターを算出するのに必要な 6 種類の偏光強度を同時に取得できる光学系を提案している。ここでは、スリットを入射瞳面に配置することにより、空間コヒーレンスを確保している。さらに、ストークスパラメーターの二次元分布を取得するために、スリットを 7 Hz で掃引している。実際に、スチールにビニールテープを貼り付けたサンプルのストークスパラメーターを同時測定することで、有効性を示している。(図 4, 文献 19)

偏光イメージング法は盛んに発表されているが、フーリエ空間面内を利用している点でロバスト性に優れており、応用範囲を広げやすいことから興味深い。実際に、著者が結論で述べているように、回折格

子を用いた分光測定と組み合わせた手法の提案が待たれる。

(水谷 康弘)



3 個のウォラストーンプリズムを用いた完全ストークスイメージング偏光計