

プログラマブルな液体界面による光偏向デバイス

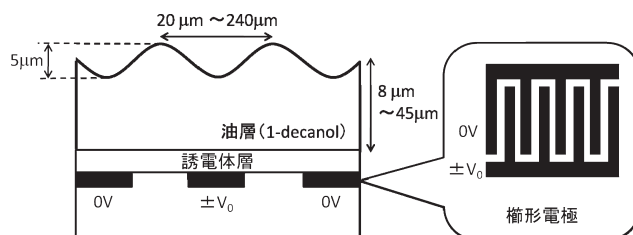
Voltage-Programmable Liquid Optical Interface

[C. V. Brown, G. G. Wells, M. I. Newton and G. McHale: Nat. Photon., 3, No. 7 (2009) 403-405]

本論文は液体界面の形状変化による新しい光偏向デバイスの構成を提案する。この光デバイスは、パターン化された電極を誘電体層で覆い、その上に薄い油層をコートした構成である。電極に交流電圧を印加すると、誘電体層と油層の間に dielectrophoretic force (誘電泳動力) が働き、液体の表面形状が変化する。まず、誘電体多層膜 (厚さ $1.13 \mu\text{m}$) で覆われたピッチ $80 \mu\text{m}$ の楕形電極を 1-decanol (誘電率 8.1) でコートした素子に交流電圧 (20 kHz) を印加することで、油層表面が正弦波状に変化する結果が示される。その振幅は印加電圧の 2 乗に対して線形であり、周期ポテンシャルと表面張力に基づく理論式に一致する。厚さ $20 \mu\text{m}$ の油層に 93 V を印加するとき一次光の立ち上がり時間は $35 \mu\text{s}$ (緩和時間は約 $80 \mu\text{s}$) と高速動作を達成している。さらに、広い電極ピッチ ($240 \mu\text{m}$) で誘電率の低い油層 (hexadecane, 誘電率 2.05) を用いて非正弦波状の表面形状が誘起される結果が示されている。(図 5, 文献 26)

シンプルな構成でありながら、電極パターンや印加電圧分布の調整

により液体界面の形状をプログラムできる汎用性と応答の高速性が達成されている点が興味深い。素子設計の最適化や大画面化により、面型光スイッチや三次元ディスプレイをはじめとする各種の光情報システムへの応用が期待される。(山本 裕紹)



電圧印加による液体表面の変形を利用した光偏向デバイスの構造

マイクロレンズを用いた撮像系からの三次元計測のためのモデル

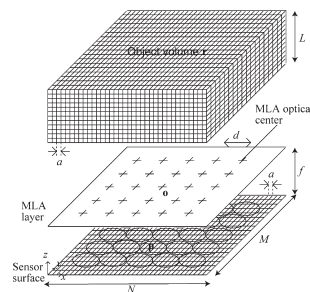
Image Formation with a Microlens-Based Optical Detector: A Three-Dimensional Mapping Approach

[D. Unholtz, W. Semmler, O. Dossel and J. Peter: Appl. Opt., 48, No. 10 (2009) D273-D279]

本論文は、狭空間において生体の *in vivo* 観察を行うことを目指して、マイクロレンズアレイを用いた光学三次元イメージング法における信号処理モデルを提案している。このモデルは、三次元ボクセルから二次元センサーアレイへの順投影とその逆投影過程を近軸近似の原理にしたがって構築されている。提案モデルの特徴は、順投影、逆投影において、センサーの画素値および三次元ボクセルの値が独立して求められることである。このモデルにより、撮像データから三次元空間を再構成することができる。焦点距離 2.15 mm でアレイ数 51×102 のレンズアレイを用いて提案モデルが検証されている。撮像対象として模型を用いた結果、その表面の三次元構造が得られることが示されている。(図 10, 文献 14)

論文中には、奥行き方向の空間分解能を向上させることが課題として挙げられている。そのほか、信号処理の高速化や具体的な応用における画質の詳細な評価等を提示する必要があると思われる。しかし、

モデルの簡便性を考えると、反復処理等さまざまな拡張が考えられ、今後の改良が期待される。(仁田 功一)



マイクロレンズアレイを用いた三次元イメージングのモデル

ラジアル偏光ビームを用いた二光子重合による三次元フォトニック結晶作製

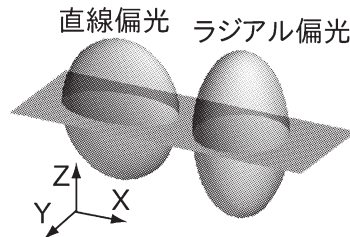
Use of Radially Polarized Beams in Three-Dimensional Photonic Crystal Fabrication with the Two-Photon Polymerization Method

[B. Jia, H. Kang, J. Li and M. Gu: Opt. Lett., 34, No. 13 (2009) 1918-1920]

電場の振動方向がビームの中心から放射状になっているラジアル偏光ビームは、近年注目を集めている。本論文では、フェムト秒レーザーを用いた二光子造形にラジアル偏光ビームを適用し、加工形状の評価と三次元フォトニック結晶の作製を行った。まずはじめに、ベクトル回折理論を用いてラジアル偏光と直線偏光ビームの焦点近傍の光強度分布が計算された。図に直線偏光とラジアル偏光のビームスポットの概形を示す。直線偏光のビームスポットは、偏光の振動方向である X 軸方向に長い楕円形となり、ラジアル偏光の場合は、真円となりその径は直線偏光の長手方向の径よりも小さい。光硬化性樹脂を用いたビームスポット形状の測定においても同様の結果が得られ、ラジアル偏光の場合の直径は、直線偏光よりも 27.5% 小さくなった。光軸方向の長さは、ラジアル偏光のほうが 14% 増加した。これらの結果から、ラジアル偏光ビームは直線偏光に比べて、対称性と横方向の分解能の高い加工が可能であることがわかった。ウッドパイル構造のフォトニック結晶を作製して比較した結果、直線偏光で作製された場

合よりも、広いバンド幅でより高い光遮断性を有していた。(図 4, 文献 24)

本論文は、フェムト秒レーザー加工におけるラジアル偏光ビームの有用性を示している。より高強度のパルスが必要とされるレーザーアブレーションにおいて、ラジアル偏光がどのような加工特性をもつか、興味を引かれるところである。(田北 啓洋)



直線偏光とラジアル偏光のビームスポットの概形

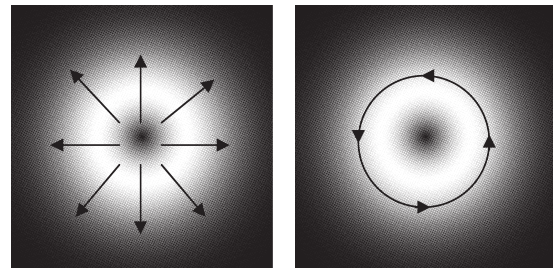
光ファイバー内におけるラジアル偏光ビームの発生と伝播

Generation and Propagation of Radially Polarized Beams in Optical Fibers

[S. Ramachandran, P. Kristensen and M. F. Yan: Opt. Lett., 34, No. 16 (2009) 2525-2527]

軸対称偏光ビーム (CVB) は偏光方向が空間的に分布をもっている。このビームは集光スポットサイズが回折限界よりも小さいことや、電子加速の実現可能性をもつこと、最小の散乱力で光ピンセットが行えること等の理由により、興味をもたれている。CVB は円筒型共振器における固有モードであるため、モード選択素子を用いてそれらを励起する発生方法が提案されている。この発生方法には自由空間共振器を用いるものとファイバー共振器を用いるものがあるが、どの手法においても共通して直面する問題は、モードの縮退による不安定性である。著者らは、これらのモード間で縮退が発生しないような光ファイバーの条件を導き、その条件を満たすファイバーを実際に作成して実験を行った。この実験では、ファイバーに屈曲やねじりを加えた状況下にあっても、20 m 以上の伝播においてモードは 99.8% 以上の純粋性を保って伝播した。CVB の発生はこのファイバー内に基本モードを入射させたのち、微小屈曲を加えることで形成した長周期ファイバーを用いて CVB に変換することで行った。(図 4, 文献 12)

軸対称偏光ビームの安定した伝播を実現するだけでなく、モード変換素子として利用可能な条件のファイバーが実証実験の結果とともに提案されたことは非常に興味深い。今後の研究では、通信分野での応用可能性の検討を期待したい。(和田 篤)



軸対称偏光ビーム (左がラジアル, 右がアジマス偏光ビーム)

カオスの半導体レーザーを用いた超高速乱数生成

Ultra-high-Speed Random Number Generation Based on a Chaotic Semiconductor Laser

[I. Reidler, Y. Aviad, M. Rosenbluh and I. Kanter: Phys. Rev. Lett., 103, No. 2 (2009) 024102-1-024102-4]

情報セキュリティ分野や数値計算分野において、ランダム性の高い乱数生成方式は重要な基盤技術である。従来のソフトウェアによる擬似乱数生成器よりもランダム性が高い乱数生成器として、熱雑音や光子ノイズ等の物理現象を利用した物理乱数生成器の研究が盛んである。しかしながら物理乱数生成器の生成速度は毎秒数十〜数百メガビット (Mb/s) 程度に留まっており、さらなる高速化が望まれている。著者らは戻り光によりカオスの出力変動する半導体レーザーを用いて、超高速物理乱数生成の原理実証を行った。カオスのレーザー出力を光検出器で検出し、これを 2.5 GHz で周期サンプリングすることで 8 ビット振幅分解能を有する電気信号へと変換する。得られた信号を時間軸方向に 1 ステップずらし、元の信号との差信号を計算する。差信号の 8 ビット振幅情報のうち下位 5 ビットを二値乱数として出力することで、乱数生成を行った。このとき、等価的に毎秒 12.5 ギガビット (Gb/s) の生成速度で乱数が生成された。国際標準の統計的乱数検定法を用いて生成された物理乱数のランダム性の評価を行っ

たところ、十分なランダム性が確認された。また差信号の振幅の統計分布を観測したところ、対称性の高い分布が観測された。以上より、半導体レーザーカオスは超高速物理乱数生成器に有用であることが確認された。(図 3, 表 1, 文献 20)

従来レーザーはきれいな光として扱われ、コヒーレント光源としての応用が主であった。本研究は、レーザーの高速性とカオスの不規則性という異なる 2 つの特長を組み合わせ、超高速物理乱数生成器というレーザーの新たな工学応用分野を切り拓く画期的な技術である。レーザーを用いた物理乱数生成器のさらなる高速化や小型化が、今後の重要な課題である。(内田 淳史)

2 ステップのみの 90° 位相シフトデジタルホログラフィー

Two-Step-Only Quadrature Phase-Shifting Digital Holography

[J. P. Liu and T. C. Poon: Opt. Lett., 34, No. 3 (2009) 250-252]

同軸型のデジタルホログラムは、撮像素子の空間帯域幅積 (space-bandwidth product) を有効に利用することが可能であるが、像再生においてゼロ次光と共役像が真の像に重複する。この問題を解決する手法として、位相シフトデジタルホログラフィーがある。本論文では、90° 位相シフトした 2 つのホログラムからゼロ次光と共役像のない再生像を得る方法を提案している。

90° 位相シフトした 2 つのホログラムによる像再生では、共役像のない再生像が得られるが、ゼロ次光成分が残存する。ゼロ次光成分を取り除くためには、2 つのホログラムのほかに、参照光と物体光の強度分布情報がそれぞれ必要となる。ゼロ次光成分を物体光の強度分布情報なしに 90° 位相シフトした 2 つのホログラムと参照光強度から求める手法が提案されているが、二次方程式の解に由来する不確定性が存在する。著者らは、物体光の最大値と最小値の平均と参照光との振幅比を 1 より大きくすることにより、この問題が解決されることを示した。さらに、参照光強度をパラメータとして、位相シフトなしの

1 枚のホログラムから得られる再生像と参照光強度を変化させ得られた再生像との相関値を計算し、相関値が最大となる参照光強度によりゼロ次光と共役像のない再生像を得ている。このことは、1 枚のホログラムから得られる再生像にゼロ次光と共役像が重複するものの真の像が存在するので、90° 位相シフトした 2 つのホログラムから得られる再生像との相関値から参照光強度を推定し、物体光強度分布を求めることが可能であることを示している。(図 4, 文献 12)

本論文の手法は参照光強度を推定するために膨大な計算を必要とするが、強大な計算機の演算能力を用いることにより、参照光と物体光の強度測定なしにゼロ次光と共役像のない再生像を得ることに成功している。ますます強化されていく計算機の演算能力を有効利用することにより、新たな光学的測定手法が発展することに期待する。

(高橋 毅)