

## 気になる論文コーナー

## 全視野格子投影法を用いた三次元指紋イメージングシステム

3D Fingerprint Imaging System Based on Full-field Fringe Projection Profilometry

[S. Huang, Z. Zhang, Y. Zhao, J. Dai, C. Chen, Y. Xu, E. Zhang and L. Xie: Opt. Lasers Eng., 52 (2014) 123-130]

指紋認証は、バイオメトリクス認証の中で最も重要なひとつである。犯罪鑑識において、指紋は個人を特定する証拠として古くから活用されてきた。人から指紋を採取する場合、指を平らな物体に押し当て、指紋形状を二次元データで記録する。しかしながら、指は立体的であり、指紋の二次元データによる照合では、指紋形状の歪みや三次元から二次元へのマッピングにおける一次元の情報量の欠損がマッチングエラーの要因となる。そこで、著者らは格子投影法を用いた指紋の三次元イメージングシステムを開発した。本システムは、デジタル・ライト・プロセッシング (DLP) プロジェクターと CCD カメラ、パソコンで構成された。DLP プロジェクターで格子画像を指に照射し、変形した格子画像を CCD カメラで検出した。4 ステップ位相シフト法を用いて位相差を求め、3 つの異なる周波数による位相接続を行った後、指の三次元形状を再現した。得られる格子画像のコントラ

ストが照射する格子画像の波長と計測物体の光学特性に依存することから、どの色の格子画像が指の表面計測に最適かを検証した。その結果、緑色照明が指紋の撮像に最適であった。また、標準サンプルを用いて本システムの精度を検証したところ、誤差は面内方向で 0.09%、深さ方向で 1.0% であった。本システムは、指紋の三次元形状を 0.5 秒で取得できた。今後、CCD カメラと DLP プロジェクターの同期により、計測時間を 0.2 秒に短縮できる。(図 12, 文献 20)

本論文は、簡便かつ迅速に指紋の三次元形状を計測できる手法として興味深い。また、本手法は非接触であるため、採取者への負担軽減やサンプルの破損防止に有効である。今後、本システムで計測したデータをもとに、指紋照合の検証や従来法との精度比較が期待される。(鈴木 基嗣)

## テラヘルツスペクトルを用いた小麦品質の識別

Identification of Wheat Quality Using THz Spectrum

[H. Ge, Y. Jiang, Z. Xu, F. Lian, Y. Zhang and S. Xia: Opt. Express, 22, No. 10 (2014) 12533-12544]

テラヘルツ電磁波は 0.1~10 THz の周波数から成り、穀物を保管するための繊維類や段ボール等の無極性物質に対しては透過し、その吸収スペクトルは、非接触、非破壊、非電離測定が可能である。著者らは、保管中の劣化による損失量が多い小麦についてテラヘルツ技術が有用かを検証した。正常な小麦と劣化 (虫食い、カビ、発芽) 小麦に対する 0.2~1.6 THz のスペクトルが TDS (time domain spectroscopy) によって得られた。それぞれのサンプルのテラヘルツスペクトルは吸収のピークをもたないため、PCA (principal component analysis) と SVM (support vector machine) を組み合わせた解析を用いてサンプルを識別した。PCA は累積寄与率に応じてデータの特徴を抽出するために使用し、上位 4 つの主成分を抽出した。その後、3 つの選択

カーネル (線形、多項式、およびラジアル基底関数) により SVM モデルを構築して識別を行った。その結果、4 種類の小麦が全体として 95% の精度で識別されることを示した。また、正常な小麦および発芽小麦に対しては 100% 識別できることを示した。さらに、PCA と SVM とを組み合わせた識別方法は、PCR (principal component regression), PLS (partial least squares regression), BP (back-propagation neural networks) を用いた方法と比較しても優れており、異なる品質の小麦を識別するために効率的であることを示した。(図 6, 文献 36)

PCA と SVM モデルによるデータ分析を行うことで、目立った特徴がないテラヘルツスペクトルに対しても高精度な識別が可能となり、他のアプリケーションへの展開が期待できる。(上川 慎吾)

## リュードベリ原子の電磁誘起透明化と Autler-Townes 現象を用いたサブ波長電界分布計測

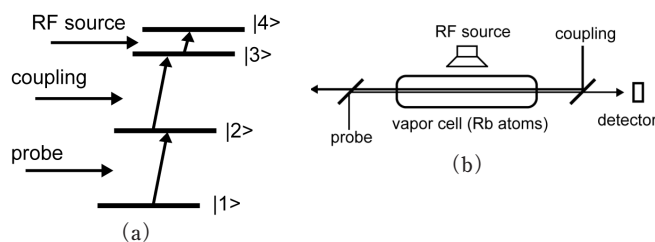
Sub-wavelength Imaging and Field Mapping via Electromagnetically Induced Transparency and Autler-Townes Splitting in Rydberg Atoms

[C. L. Holloway, J. A. Gordon, A. Schwarzkopf, D. A. Anderson, S. A. Miller, N. Thaicharoen and G. Raithel: Appl. Phys. Lett., 104 (2014) 244102]

本研究では、RF (radio frequency) 波の電磁界分布を波長以下の空間分解能で計測する。電磁誘起透明化現象を介して Autler-Townes 効果によるルビジウム原子のリュードベリ状態のエネルギー準位の分裂を検出することで、電磁界分布が計測される。17.04 GHz または 104.77 GHz をガラスセルに外部から印加したときの電磁界分布を計測している。本方法により 100  $\mu\text{m}$  程度の空間分解能で電磁界分布を計測することに成功した。著者らはシミュレーションも行っており、実験結果はシミュレーション結果とほぼ一致していた。(図 9, 文献 14)

本手法による電磁界分布の空間分解能はレーザー光のビームサイズで制限されているが、原理的には光の回折限界まで向上できる。このため、小型のアンテナを用いた電磁界プローブによるこれまでの電磁界分布計測の空間分解能を改善することができる。これにより、プリント回路板などの電磁界分布を高精度に計測できる可能性がある。

(上原 知幸)



(a) 実験原理図, (b) 実験系の概略図

## スメクティック A 液晶ファイバーにおける光伝搬とレーザー発振

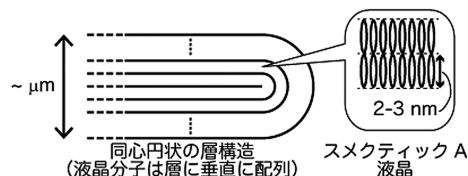
Lasing and Waveguiding in Smectic A Liquid Crystal Optical Fibers

[K. Peddireddy, V. Jampani, S. Thutupalli, S. Herminghaus, C. Bahr and I. Musevic: Opt. Express, 21, No. 25 (2013) 30233–30242]

光デバイスに应用されている親油性の液晶分子は水に不溶であるため、両者を混合した場合には、界面活性剤の濃度に応じて球状、あるいは円柱状のミセルが形成される。本論文ではこの現象を応用し、自己組織的なファイバー構造の作製とその光学的特性について報告している。著者はスメクティック A 液晶をカチオン性界面活性剤を含む水溶液に接触させることで、数  $\mu\text{m}$ ～数  $10 \mu\text{m}$  の直径を有するファイバーの作製に成功している。スメクティック A 液晶分子は分子長 (2~3 nm) に応じた層構造を形成し、かつファイバー表面に対し垂直に配向することから、平坦、かつ分子が放射状に配向したファイバーが形成される。著者はファイバーに色素を添加し、光励起した蛍光の伝搬挙動を観察することで、間接的ではあるがファイバーの透過特性を評価しており、高い透過率を示すことを述べている。さらに、ファイバー中の色素を短パルスレーザーで励起することで、ウィスパリングギャラリモードに起因するレーザー発振が観測できることを見いだしている。発振閾値は  $75 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  であり、色素レーザーの

中では低いことから、ファイバーが低損失であることを示している。(図 5, 文献 21)

本研究において作製されたファイバーはその中心に分子配列の特異点を有することから、ラゲル・ガウシアンモードを固有モードとして有することが期待される。ファイバーの光学特性のさらなる解明に期待したい。(吉田 浩之)



スメクティック A 液晶ファイバーにおける分子配列の模式図

## 偏光位相シフト技術を使用した面内温度の動的測定

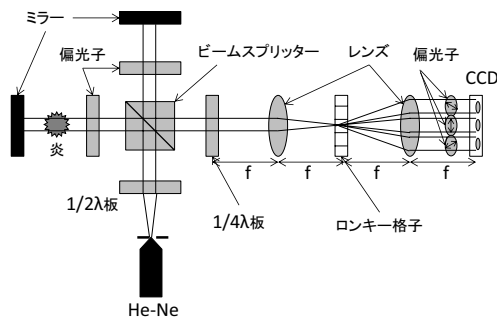
Dynamic Temperature Field Measurements Using a Polarization Phase-Shifting Technique

[D. I. Serrano-García, A. Martínez-García, N. Toto-Arellano and Y. Otani: Opt. Eng., 53, No. 11 (2014) 112202]

ステップモーターやピエゾ素子などを用いて基準面を移動させ、干渉縞の画像を取得する位相シフトの技術があるが、この技術は測定に時間を要し、周囲の振動や空気のゆらぎなどの環境によって影響を受け、測定誤差が生じる。したがって、対象の動的な変化を測定するためには、瞬間的に、または同時に複数の位相シフト画像を得る必要がある。本論文ではマイケルソン干渉計と 4-f 光学系を組み合わせ、4-f 光学系のフォーリエ面にロンキー格子を配置することによって、位相が異なる 3 つの干渉画像を同時に取得することができる。小さい炎を用いて得られた画像から、円筒対称性を考慮して屈折率差を算出し、グラッドストーン・デールの関係を用いて、屈折率差から場の温度プロファイルを算出した。温度プロファイルは 12 秒の間、8.3 fps で解析することができた。また、本論文では対象の温度変動による偏光変化は考慮されておらず、これを考慮することで、さらに広範囲な温度領域で、より正確な測定が可能となる。(図 6, 文献 27)

動的に場の温度を測定することで、周囲の空気の影響を受ける干渉

測定の精度向上や設置環境の簡便化、測定時間の短縮等が図れるため、実用化に向けて、さらなる測定技術の向上を期待したい。(岡野 啓之)



偏光位相シフト干渉計の構成図

## ダブルナノホール光ピンセットによる単一 DNA ヘアピンのほどきを抑制するタンパク質 p53 の可視化

Double Nanohole Optical Tweezers Visualize Protein p53 Suppressing Unzipping of Single DNA-Hairpins

[A. Kotnala and R. Gordon: Biomed. Opt. Express, 5, No. 6 (2014) 1886–1894]

蛍光等の無標識かつ高感度な単一分子解析技術は、ライフサイエンスにきわめて有用である。本論文では、金属ダブルナノホール構造を用いたナノ光ピンセットに基づき、タンパク質 p53 と DNA ヘアピンの相互作用を一分子レベルで検出し、p53 が DNA のほどきを抑制する効果を定量的に評価している。用いた手法では、ダブルナノホール構造のプラズモン励起により尖端近傍領域にエネルギーを集中させ、大きな捕捉力を得る。1~3 mW のレーザーパワーで 20 塩基長の DNA の捕捉に成功している。一方、このように対象分子がナノ構造に捕捉されると、分子の分極率に依存してナノ構造の共鳴条件が変化し、放射される散乱光のカットオフ波長がシフトする。DNA ヘアピンでは、ヘアピンが閉じた構造とほどかれた構造では分極率が異なるため、散乱光強度を計測することにより、DNA ヘアピンの構造を判定できる。p53 と DNA ヘアピンを混合した試料を計測したところ、散乱光強度が 3 段階に変化することが観測された。これらは強度の低いほうから、DNA ヘアピンを捕捉していない状態、閉じた DNA ヘアピ

ンを捕捉した状態、ほどかれた DNA ヘアピンを捕捉した状態に対応しており、DNA の状態を検出できることが確認された。また、捕捉された DNA ヘアピンがほどかれるまでの平均時間から、p53 が DNA ヘアピンのほどきを抑制するエネルギー障壁は  $2 \times 10^{-20} \text{ J}$  と求められた。一方、p53 変異体を導入しても、DNA がほどかれるまでの時間はほとんど変化がなかった。このように、わずかな構造差をもつ野生型と変異型のタンパク質も区別してセンシングできる。(図 6, 文献 32)

単一のナノ構造を用いて、プラズモン光ピンセットによる DNA の捕捉と分子相互作用の定量的な計測を簡便に両立していることが興味深い。実際、DNA に対するタンパク質の作用をリアルタイムかつ高い信号対雑音比で検出することに成功しており、無標識・高感度の単一分子計測ツールとして、高い潜在能力をもつと考えられる。

(小倉 裕介)