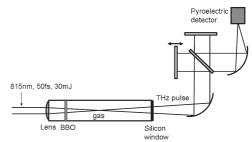
#### 気になる論文コーナー

### 超高速なレーザー-ガス相互作用を用いた超広帯域テラヘルツ波発生のコヒーレント制御

Coherent Control of Terahertz Supercontinuum Generation in Ultrafast Laser-Gas Interactions [K. Y. Kim, A. J. Taylor, J. H. Glownia and G. Rodriguez: Nat. Photonics, 2, No. 10 (2008) 605–609]

卓上でのテラヘルツパルス発生法としては光伝導アンテナや非線形光学結晶を用いる方法がよく知られている。しかし,これらの方法には高強度レーザーパルスを照射することによる結晶の損傷や,テラヘルツ波の結晶中での吸収などの問題がある。著者らは,ガスとフェムト秒パルスの相互作用を利用して超広帯域なテラヘルツ波を発生させ,そのコヒーレントな制御を実現し,さらにモデル計算による定量化に成功した。パルス幅 50~fs~o 5~fs~o 5~fs~o 5~fs~o 1~fs~o 1~fs~o

結果を"プラズマ電流モデル"で定量的に説明した。(図 5, 文献 28) 本報告は、卓上での最高強度のテラヘルツパルス発生法に関するものであり、得られたテラヘルツパルスはポンプ-プローブ時間分解測定の励起光源としても利用できると期待される。 (佐藤 琢哉)



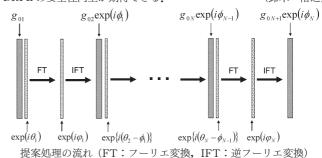
テラヘルツ波パルスの発生, 評価用システムの構成

### 画像を多重化したランダム位相暗号化-エンコーディング方法の改善-

Multiple-Image Optical Encryption: An Improved Encoding Approach [Y.-L. Xiao, X. Zhou, S. Yuan, Q. Liu and Y.-C. Li: Appl. Opt., 48, No. 14 (2009) 2686–2692]

二重ランダム位相暗号化 (DRPE) では、平文像面とそのフーリエ面 の両方でそれぞれ一回ずつランダム位相変調することで暗号化画像を 得る手法が一般的であるが,本論文では暗号化処理を連鎖させること で,より暗号強度の高い暗号化手法を提案している。提案手法では, ある2つの画像を平文、暗号文の振幅画像として固定し、フーリエ面 で乗算するランダム位相マスクを反復法によって推定する。この平 文一暗号文一暗号鍵のセットを1つのステージとし、このステージを 連鎖させることで長い暗号化系列を生成する。この暗号化手法におい て反復法で推定される暗号鍵は, 平文と暗号文を完全に対応づける鍵 ではないため復号化画像にはある程度の誤差が乗るが、その誤差は非 常に小さいことを確認している。演算時間についても、10回程度の反 復で鍵が推定できるため、大きな計算コストは要さない。また暗号化 処理ではステージごとで処理が完結しており, 他のステージにはその 誤差が伝播しないが, 復号化の際にはその誤差が伝播する可能性があ るためその誤差伝播特性を調査したところ,100枚程度連結させても 誤差伝播の影響がほとんどないことを確認した。(図9,文献24)

DRPE はフーリエ変換と乗算のみのシンプルな演算で構成されており、すでにいくつかの脆弱性が指摘されはじめている。ブロック暗号では、同じ演算を何回か繰り返すことでランダム性を高める手法が一般的であるが、この手法は同様な考え方で暗号強度を高めており、DRPE の安全性向上が期待できる。 (鈴木 裕之)

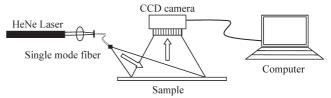


# 紙を材質とした文化財資料表面下の詳細な非破壊的スペックルイメージング

Non-Destructive Speckle Imaging of Subsurface Detail in Paper-Based Cultural Materials [E. Miles and A. Roberts: Opt. Express, 17, No. 15 (2009) 12309–12314]

レーザースペックルコントラストイメージング (LSCI) は、生物医 学への応用として,皮膚や骨などの薄い有機組織下の液体の流れや拡 散を調べるために使用されたことがよく知られている。また,動的な 動きをもたないものや微視的な水の衝突や吸収などの物理変化が生じ ている対象物を検査するためにも役立つことが最近示された。本論文 では LSCI を、文化財資料の最上部の散乱層下に隠れている肉眼では 見えない状態になった文字を解明するために使用されたことが報告さ れている。スペックル画像は、光出力8mWの直線偏光He-Neレー ザー光をシングルモード光ファイバーを介して試料に 45°の角度で照 射し,焦点距離 50 mm のビデオレンズを取り付けたモノクロ CCD カメラで 16 mm×12 mm の領域を 640×480 画素,フレーム速度 30 frames/sで撮影された。画像解析には3方式が試され、Arizagaら が提案した加重一般化差分方程式を用いた場合に, 最もコントラスト の高い画像が得られることが示された。また、LSCI の解像度も調査 され,80g/m2の紙に印刷した2つの隣接した異なる階調の長方形の 境界の画素数が、印刷表面からの通常の撮影画像では5であるのに対 し、印刷裏面からの LSCI では 50 であることが示された。さらに、試料温度とコントラストとの関係が測定され、 $30^{\circ}$ C までは温度上昇に伴いコントラストが増加することが示された。文化財資料への応用では、肉眼では文字が見えなくなっている領域を LSCI で撮影した結果、文字が映し出された。(図 6、表 1、文献 11)

これらの技術は安価な装置を用いて非破壊的な手法で行えるため, 文化財資料の改修作業や情報収集に役立つとともに,新たな分野への 応用が期待される. (門馬 進)



レーザースペックルコントラストイメージング (LSCI) 実験系

38 巻 10 号 (2009) 541 (47)

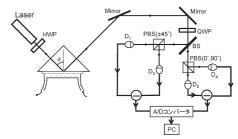
### 表面プラズモン共鳴と90度位相ずれ干渉計による屈折率変化の測定

Measurement of Refractive Index Change by Surface Plasmon Resonance and Phase Quadrature Interferometry [J.-Y. Lee, H.-C. Shih, C.-T. Hong and T. K. Chou: Opt. Commun., 276, No. 2 (2007) 283-287]

表面プラズモン共鳴 (SPR) センサーは、屈折率の微小変化をリア ルタイムで測定可能なため,バイオセンサーとしてよく用いられてい る. しかし、従来の SPR センサーは、反射光強度の変化を測定する ため、光源のゆらぎなどの外乱の影響が強く、高精度化が難しい。 そ こで近年、SPR センサーの高精度化として、SPR による反射光の位 相変化を測定する研究がいくつか行われている。しかし、従来の装置 は複雑かつ高価, またリアルタイム測定が困難であるという問題があ った。著者らは、図のように SPR と 90 度位相ずれ干渉計を組み合 わせた低コストでシンプルな装置を考案した。まず, 金薄膜を蒸着し たプリズムによるクレッチマン配置で SPR を励起する。SPR は P 偏光のみで生じるので、P·S偏光を同時に入射し、その両者間の位 相差を測定する。90度位相ずれ干渉計は、1/4波長板 (QWP)、ビー ムスプリッター (BS), 偏光ビームスプリッター (PBS) を組み合わ せることで、0,90,180,270度の位相差を与えた4つの光に分割し、 それぞれを検出器  $(D_1-D_4)$  で測定し、逆正接演算を行うことで、位 相差がリアルタイムに測定可能である。実際に、数種類の濃度のアル

コール溶液を測定し、位相測定誤差から見積もった屈折率分解能は  $6\times10^{-6}$  であり、従来の反射光強度測定による分解能  $\sim10^{-5}$  より 1 桁の精度向上が得られた。(図 5、文献 22)

今後は、検出器を画像素子に置き換えることで生体分子反応画像の 測定などへの展開が期待される。 (水谷 彰夫)



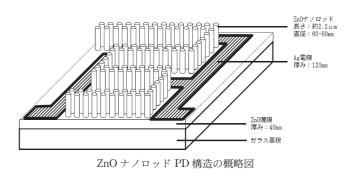
提案する表面プラズモンと 90 度位相ずれ干渉計の模式図

### 選択成長による ZnO ナノロッドアレイで構成された紫外フォトディテクター

Ultraviolet Photodetectors Based on Selectively Grown ZnO Nanorod Arrays [L. W. Ji, S. M. Peng, Y. K. Su, S. J. Young, C. Z. Wu and W. B. Cheng: Appl. Phys. Lett., 94, No. 20 (2009) 203106]

ZnO は紫外領域での電子光学素子への応用材料として注目されて いるワイドバンドギャップ半導体材料であり, 近年はナノ構造デバイ ス応用に関する研究が増えている。本論文は、ZnOナノロッド構造に よる紫外フォトディテクター (PD) を報告している。著者らは、ガラ ス基板上に堆積させた 40 nm の ZnO 薄膜上に Ag による電極パタ ーンを形成し, 電極パターンをフォトレジストで保護した状態で  $Zn(NO_3)_2/NH_4OH$ 溶液に浸すことでZnOナノロッドを成長させ, PD 構造を作製している。ZnO ナノロッドのサイズは長さ 2.2 μm, 直径  $60\sim80$  nm である。作製した ZnO ナノロッド PD により従来の ZnO 薄膜 PD に比較して波長 370 nm の光に対して約 300 倍の感度向 上を達成している。紫外領域での感度向上のメカニズムとして、著者 らはナノロッド構造による大きな ZnO 表面積の寄与を挙げており、 表面積が大きいことで ZnO 表面での酸素の吸着反応  $(O_2 + e^- \rightarrow O_2^-)$ により形成される正孔トラップ準位が多くなり、結果、バンドギャッ プエネルギー以上の光に対しては電子-正孔対  $(h\nu \rightarrow e^- + h^+)$  が生成 されることで酸素の放出反応  $(O_2^- + h^+ \rightarrow O_2)$  が促進され、光電流が 大きくなるとの説明を与えている。(図6,表1,文献18)

ナノロッド構造は薄膜構造に対して、本論文で報告されているように新たな効果が期待できる魅力的な構造である。ただし、そのナノロッド構造の作製が困難であるというのが課題であると考えられる。今後、ナノ構造デバイスの作製方法に関するさらなる研究開発についても期待したい。 (栗本 英治)



# 単純な2層反射モデルの生体組織への適応

Simple Two-Layer Reflectance Model for Biological Tissue Applications [G. Mantis and G. Zonios: Appl. Opt., 48, No. 18 (2009) 3490-3496]

上皮組織の非侵襲の研究においては、組織の散乱係数と吸収係数が重要なパラメーターであり、これらの係数を検討するためにさまざまな生体モデルが考案されてきた。しかし、生体組織を模擬するには単純すぎる単層モデルか、パラメーターが多すぎて複雑すぎる複数層モデルしかなかった。そこで著者らは、単純な 2 層構造からなり、光ファイバーのプローブで反射光を測定するモデルを構築した。上層はある厚さをもち、吸収と散乱を起こし、半無限の厚さをもつ下層では吸収がなく散乱のみが起こる。また、反射率を表すモデル式のパラメーターは、プローブの配置と減衰散乱係数  $\mu'$ s、吸収係数  $\mu'$ a のみであり、組織の構造、モル吸光係数などの光学特性に依存しないことが特徴である。著者らは実際に 2 層構造のファントムを作製して反射率を測定し、モデル式との比較を行った。 $\mu'$ s=0.9,1.8,2.7 mm $^{-1}$ , $\mu'$ a=0.001 $^{-5}$ .0 mm $^{-1}$ 0 の範囲で実測値とモデル式とほぼ 10% 以内の精度でよく一致し、このモデルの有用性を確認している。(図 6,文献 19)

散乱・吸収係数で表される生体モデルの構築は, in vivo で生体組織を研究するにあたって非常に重要であり,複雑な生体組織を単純かつ精度よく反映した本モデルの発展が期待される. (佐野恵美子)

