

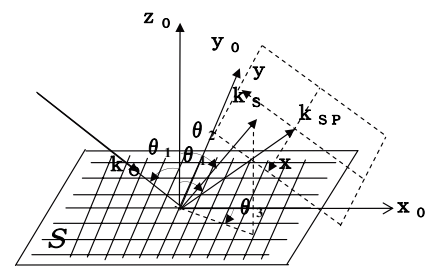
気になる論文コーナー

二次元反射型回折格子の回折歪みの光散乱解析

Optical Scattering Analysis of the Diffraction Distortion of a Two Dimensional Reflection Grating  
 [S. Teng, J. Zhang and C. Cheng: Appl. Opt., 48, No. 23 (2009) 4519-4525]

近年、入射光が回折格子に斜めに照射されたときに生じる回折歪みについて、理論的、実験的に研究がなされ、注目を集めている。しかし、そのほとんどが透過型一次元回折格子に対してであった。本論文では、二次元反射型回折格子のフラウンホーファー領域における回折光場を光散乱理論により回折波と入射波の波数ベクトルを用いて表し、斜めに入射光が照射された場合に回折歪みが生じることを示している。また、回折歪みは入射面に対して垂直方向に変化する格子による回折光に限定されることも示している。さらに、各次数の回折光の軌道を表す軌道方程式も導出し、入射光の波長と回折格子の格子間隔は各次数の回折光の位置に影響を与えるが、軌道には影響を与えないことも示している。実験として、斜めから入射光が二次元反射型回折格子に照射されたときの回折光分布を二次元 CCD で測定し、歪みをもつ回折光の軌道が理論値とよく一致していることを示している。(図 6, 文献 12)

回折格子はさまざまな光学機器で使用されており、その振る舞いを理解する上で本研究は有益であると考えられる。(門馬 進)



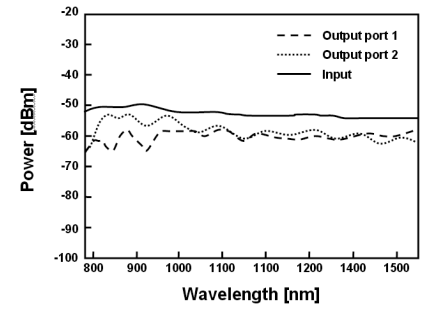
回折格子の回折光解析のための光散乱理論

マルチバンド光学イメージングシステムのための超広帯域フォトニッククリスタルファイバークップラー

Ultrawideband Photonic Crystal Fiber Coupler for Multiband Optical Imaging System  
 [S. Y. Ryu, H. Y. Choi, E. S. Choi, I. Tomov, Z. Chen and B. H. Lee: Appl. Opt., 49, No. 10(2010) 1986-1990]

生体医療分野において OCT (optical coherence tomography) による非侵襲な光学イメージングが近年注目を浴びている。観測対象物の深さ方向の高分解能化のニーズに応えるために、SC (super continuum) 光やデュアル SLD (super luminescence diode) などの超広帯域光源による研究報告が多くなされている。これらの光源を使用した OCT ファイバークプラーでは広帯域伝搬可能な PCF (photonic crystal fiber) が使用されているが、光干渉部分だけはバルク光学系で構築されていた。著者らはシングルモード PCF カップラーを作製し、全ファイバークプラーで超広帯域光源の OCT イメージングを行った。作製した  $2 \times 2$  PCF カップラーは波長 800 nm から 1600 nm まで良好な分岐・透過特性を示している。この PCF カップラーを使用して OCT 光学系を構築し、中心波長 820 nm および 1300 nm の SLD 光源での深さ分解能を測定した結果、両光源とも理論値と同等の値を得た。(図 6, 文献 17)

ファイバークプラーの構成が可能であることを示唆している。PCF カップラー性能にはまだ改善する余地があり、今後の研究結果を期待したい。(長井 史生)



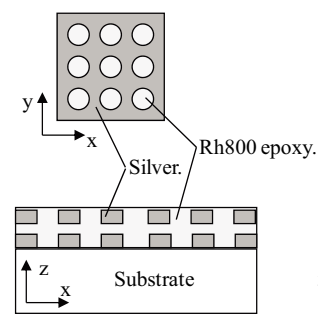
作製した PCF カップラーの透過スペクトル

無損失かつアクティブな光学特性を有する負屈折率メタマテリアル

Loss-Free and Active Optical Negative-Index Metamaterials  
 [S. Xiao, V. P. Drachev, A. V. Kildishev, X. Ni, U. K. Chettiar, H.-K. Yuan and V. M. Shalaev: Nature, 466, No. 5 (2010) 735-740]

自然界に存在しない光学特性、特に負の屈折率を実現する媒質として、メタマテリアルが注目され、近年盛んに研究が行われている。しかしながら、可視光のような短波長領域で用いる場合、金属媒質の吸収によって損失が非常に大きくなることが知られている。その解決方法のひとつとして、メタマテリアル中に利得媒質を充填し、入射光と同等の光をメタマテリアル中で発生させ、損失分を補う手法が提案されている。本論文では、負の屈折率が得られることで知られているフィッシュネット構造を 2 層配置し、両層の間および孔中に利得媒質 (RH800 エポキシ) を充填した構造を作製している。メタマテリアルに検出光および励起光を同期して入射させ、励起光の強度を変えることで、検出光の透過率が約 15% から約 30% まで変動することを確認している。また、波長 737 nm の検出光に対して、屈折率の実部が  $-0.66$  から  $-1.017$  まで変動することを実験的に確認している。(図 4, 表 0, 文献 30)

による屈折率および損失の増減を検証したことが新しい。短波長領域において、メタマテリアルの特異な光学特性を活かした素子の実現が期待される。(池本 聖雄)



利得媒質を充填したメタマテリアル構造

## バイナリーセンサーアレイによる1ビット計測に基づく多値画像再構成アルゴリズム

Optical Imaging Using Binary Sensors

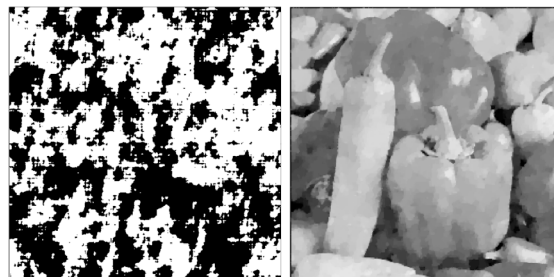
[A. Bourquard, F. Guet and M. Unser: Opt. Exp., 18, No. 5 (2010) 4876-4888]

昨年, compressed-sensing に関する研究が理論・実験両面から盛んに進められている。著者らは, 二次元画像の取得にバイナリーセンサーアレイを用いることを想定し, それによる1ビット計測に基づいた多値画像の再構成アルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムにおいては, 画像取得の際にランダム位相マスクを挟むことで compressed-sensing の本質となるランダムネスの効果を導入した計算モデルを構築し, data fidelity と regularization を評価する独自指標に基づいてアルゴリズムの最適化を行っている。再構成した多値画像の S/N 比を元に Lloyd-Max 法に基づく既存の再構成アルゴリズムとの性能比較を行い, 著者らが提案したアルゴリズムの有効性を数値的に示した。(図6, 表1, 文献18)

ランダム位相マスクによる wavefront coding とそれに基づく画像再構成を組み合わせた内容は興味深い, 性能評価に関しては比較対象としているアルゴリズムが多値画像の再構成に適した構成になっていないと考えられるため, より正当な評価・検証が望まれる。compressed-sensing は二次元情報を取得するための時間およびハードの要件を大

幅に軽減する方策として, 画像取得のみならず情報処理全般へ拡張できる可能性があり, 今後のさらなる応用展開が期待される。

(堅直也)



バイナリーセンサーアレイにより取得される二値画像モデル(左)と再構成結果(右)

## 近接場光で誘起される非断熱遷移を利用した赤外励起による色素分子微粒子の可視発光

Visible Light Emission from Dye Molecular Grains via Infrared Excitation Based on the Nonadiabatic Transition Induced by the Optical Near Field

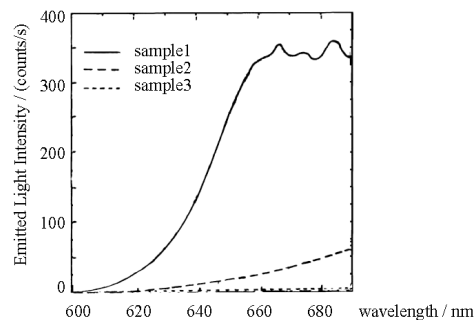
[T. Kawazoe, H. Fujiwara, K. Kobayashi and M. Ohtsu: IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 15, No. 5 (2009) 1380-1386]

色素のナノメートルオーダー微粒子の集合体に赤外線(波長 805 nm)を入射させることにより, 微粒子表面・エッジから可視光発光(600~690 nm)が得られること[最大 0.37 eV のアップコンバージョン(UC)]を報告している。これは赤外線検出の原理として省エネ, 高速性, 広帯域性で従来の第二次高調波発生(SHG)・燐光過程を利用したものを凌ぐ可能性をもつ。実験結果は以下である。① UC は微粒子のサイズが小さいほどよく起こる(図), ② SHG (402 nm) は観測されない, ③ 発光スペクトルは蛍光ダウンコンバージョンと同様である, ④ 可視発光強度は赤外線入射強度の一次と二次の依存性を含む, ⑤ この UC の効率 は KDP の SHG のものより高い。これらの実験結果は Franck-Condon の原理に基づく断熱遷移では説明できないとして, 著者は④の結果との整合性を根拠に, 光近接場がフォノン高励起状態(電子状態励起なし)への非断熱遷移を可能にするエキシトナーフォノンポラリトンモデルに基づいて説明している。このモデルは著者たちのグループの先行研究であり, 金属ナノ構造と不十分な光子エネルギーの近接場を用いたリソグラフィや光化学気相成長の実験結果の説明にも使われたものである。(図6, 文献17)。

後継の研究として, 他の色素で最大 1.17 eV のアップコンバージョンを達成したものがある [H. Fujiwara, T. Kawazoe and M. Ohtsu: Appl. Phys. B, 98 (2010) 283-289]。有機色素分子は  $\pi$  電子共役系という非局

在電子系をもつ。近接場光学でよく使う金属ナノ構造を含めて, 光近接場と非局在電子系の相互作用という枠組みで理解の深化が可能であるか, 興味深い。

(坂野 斎)



805 nm の赤外線入射に対しての 600~690 nm の可視光域の発光スペクトル。sample 1, 2 はそれぞれ 10~1000 nm 程度の微粒子の結晶, 200 nm~5000  $\mu$ m 程度のロッド形状の結晶をガラスセル内壁に 100  $\mu$ m 程度付着させた試料; Sample 3 は色素微粒子をエタノール溶媒懸濁液とした試料。

## 二重ランダム位相符号化による超解像コンプレッシブイメージング

Single Exposure Super-Resolution Compressive Imaging by Double Phase Encoding

[Y. Rivenson, A. Stern and B. Javidi: Opt. Exp., 18, No. 14 (2010) 15094-15103]

近年, イメージングシステムにおける分解能の限界を超えた高精細な画像を取得する技術として, 「超解像」とよばれる手法が盛んに研究されている。超解像画像を得るための手法としては, 動画フレームのようなサンプリング位置の異なる複数枚の画像を利用する手法と, 1枚の画像のみを利用する手法に分かれるが, 1枚の画像のみを利用する超解像画像再構成手法として, コンプレッシブセンシング技術を利用した手法が知られている。その解法としてガウシアンランダム基底を利用したモデルに基づく手法があるが, 筆者らはこのモデルと二重ランダム位相符号化(double random phase encoding; DRPE)の処理プロセスが類似していることに着目し, DRPE 画像から超解像画像

を得る手法を提案している。提案手法の有効性を確認する実験として, チャートパターン画像を劣化(ダウンサンプリング)させ, この劣化画像から提案手法によって得られた超解像画像と補間によって得られた高解像度画像とを比較したところ, 超解像画像のほうがより高精細な画像が得られることを確認している。(図6, 文献25)

これまで DRPE に関する多くの研究成果が報告されているが, これらの成果はもっぱら暗号化に應用することを前提に研究されたものである。本論文で暗号化以外の応用に着目した点は興味深い。

(鈴木 裕之)