

気になる論文コーナー

半導体磁気プラズマからの超蛍光放射

Giant Superfluorescent Bursts from a Semiconductor Magneto-Plasma
 [G. T. Noe II, J. H. Kim, J. Lee, Y. Wang, A. K. Wójcik, S. A. McGill, D. H. Reitze, A. A. Belyanin and J. Kono: Nat. Phys., 8, No. 3 (2012) 219-224]

超蛍光とは、複数分極間の光を介したコヒーレントな相関による協力的な自然放出である。その特徴は高強度かつ高速なパルス状の発光時間波形にあり、超蛍光に寄与する分極の数を N とすると、ピーク強度およびパルス幅は N^2 および N^{-1} に比例する。超蛍光は、1954年に Dicke によって予言されて以来、独立な原子系や分子系で盛んに観測されてきた。しかし、近年のナノ微細加工技術の発展とともに固体材料を用いたナノ構造体においても観測されるようになり、新しいコヒーレント光源などの開発と関連して再び研究が盛り上がりつつある。本論文で議論しているのは半導体量子井戸中に強励起された電子正孔プラズマからの超蛍光であり、そのような固体材料を用いた超蛍光のひとつであるが、超蛍光のパルス形状を強磁場照射によって制御している点がユニークである。すなわち、超蛍光に寄与する分極の数 N (本論文の場合は電子と正孔の数) を磁場中の二次元電子正孔系に

おけるランダウ量子化を用いてコントロールしている。実際、磁場を強くするにつれて、発光時間波形やポピュレーションが指数関数的減衰から超蛍光的振る舞いへ移行することが観測されている。また、同じ著者の先行研究では、半導体量子井戸を用いた測定系を工夫することによって、超蛍光のトリガーとなる量子揺らぎに由来する放射方向のランダム性なども報告されている。(図4, 文献28)

本論文で報告されているような固体材料によるナノ系を人為的にデザインすることによって、従来は困難であった超蛍光の制御が可能になると考えられる。超蛍光の起源は光を介したコヒーレントな相関であるから、超蛍光を制御することは量子力学的コヒーレンスの制御にもつながり、新光源開発だけではなく量子情報技術など幅広い応用も期待される。(石川 陽)

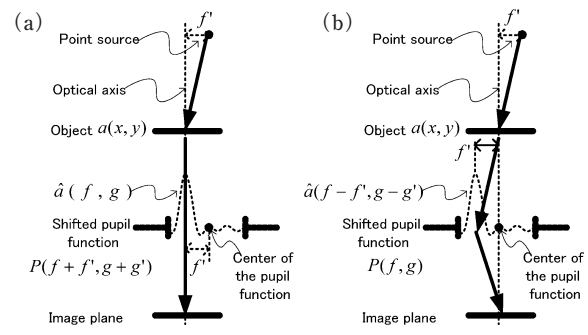
部分コヒーレント像を形成する2つのモデル

Two Models for Partially Coherent Imaging
 [K. Yamazoe: J. Opt. Soc. Am. A, 29, No. 12 (2012) 2591-2597]

部分コヒーレントの結像理論は、半導体露光装置の実験結果を予測するために広く活用されている。高精度に設計・製作された装置では実験とシミュレーション結果がよく一致し、実験をシミュレーションに置き換えられる場面が多いためである。本論文は、部分コヒーレントの結像理論を2つのモデル、(1) 回折光シフト法と(2) 瞳シフト法に分類し、両者の違いを説明する。後者には1950年代に Hopkins が提唱した相互透過係数 (TCC) 法が含まれ、近年高速計算が行える応用理論が報告されている。両者は数式上等価な式から導かれるモデルであり、従来は両者を物理的に区別することができなかった。著者は固有値・固有関数の観点から両者を分析し、瞳シフト法は現実の光学モデルを描写しない点があることを見つけた。そして光学像のシミュレーションにおいては両者に差がないが、固有関数から解析可能なコヒーレンス度に関して両者は異なり、高速計算が行えない回折光シフト法を用いる必要があることを明らかにした。(図8, 文献25)

部分コヒーレント結像理論を活用する研究者にとって、数式的物理的考察を深められる論文である。長年使われてきた理論からも、新たな物理的事象が得られる点は、部分コヒーレント結像理論の奥深さを物語っていると思う。本文中で議論されていないが、瞳シフト法でコ

ヒーレンス度が得られないことにも、何らかの物理的意味があるのではないかと感じた。(加藤 正磨)



$$(a) \quad I(x, y) = \iint S(f', g') FT[\hat{a}(f, g) P(f + f', g + g')]^2 df' dg'$$

$$(b) \quad I(x, y) = \iint S(f', g') FT[\hat{a}(f - f', g - g') P(f, g)]^2 df' dg'$$

2つのモデルの概念図。(a) 瞳シフト法, (b) 回折光シフト法

単一露光高解像デジタルホログラフィー

Single Shot High Resolution Digital Holography
 [K. Khare, P. T. Samsheer Ali and J. Joseph: Opt. Exp., 21, No. 3 (2013) 2581-2591]

デジタルホログラフィーの再生処理は光学的ホログラフィーの再生手順を数値計算で置き換えたものであるため、単一露光デジタルホログラムの再生では直接像や共役光により物体光に歪みが生じるといふ、光学的ホログラフィーと同様な問題がある。本論文では、再生処理を条件付き最適化問題として取り扱い、最適化によって物体光情報のみを得る計算手法を提案している。著者らはホログラム面での物体光再生を条件付き最適化問題としてモデル化を行い、ホログラムデータの二乗誤差と滑らかさ制約条件に係るペナルティ関数の和で表される評価関数を定義した。滑らかさ制約条件とは、フレネルホログラムにおいて物体からの回折光はフレネル回折によるげけにより鋭いエッジ成分がなくなること、物体光はキャリア成分をもっていないという性質を合わせた条件のことである。評価関数は勾配降下法を用いて反復計算により最適化される。実際の処理ではペナルティ関数の処理を平滑化フィルターに置き換えて二乗誤差の最適化

と交互に行うという簡単な手法を用いている。実験は、微小な入射角をもつ平面参照波を用いて物体光と他の成分に重なりが生じる条件で行われた。提案手法では20回の反復処理で解が得られ、それを再生すると物体光のみが得られることが確認された。滑らかさ制約条件の有無による提案手法の評価が行われた。制約条件がない場合にはキャリア成分と高調波成分の影響により再生像に歪みが残っていたが、制約条件がある場合には歪みのない高品質な再生像が得られた。また、シミュレーションにおいても再生誤差が十分小さいことが示されており、提案手法の有効性が示された。(図7, 文献23)

ホログラム再生処理が条件付き最適化問題として簡単な実装で実現されており興味深い。最適化問題として再生像を得る手法は他のイメージング分野でも行われており、これらの技術との融合により今後の発展が期待される。(吉川 宣一)

肝繊維症診断のためのミュラー行列偏光計

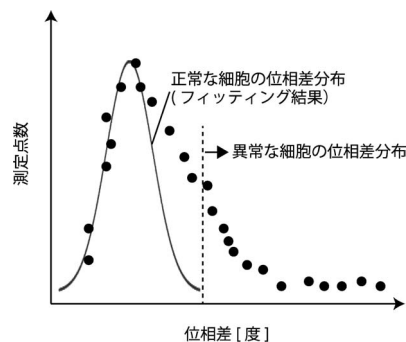
Mueller Matrix Polarimetry for Improved Liver Fibrosis Diagnosis

[M. Dubreuil, P. Babilotte, L. Martin, D. Sevrain, S. Rivet, Y. L. Grand, G. L. Brun, B. Turlin and B. L. Jeune: Opt. Lett., 37, No. 6 (2012) 1061-1163]

ミュラー行列は、物質がもつすべての偏光特性を表現することができる 4×4 の行列である。複数の偏光特性が混在するような物質では、ミュラー行列を再構成して各偏光特性を求めることで物質の状態の解明に用いられている。著者らは、血管の周囲に存在するコラーゲン繊維に起因する位相差に着目し、位相差情報と偏光解消情報を組み合わせることで肝繊維症の診断に有効なパラメーターを提案している。サンプルには、肝繊維症の進行度が異なる4種類の細胞を用いており、著者らが提案しているスナップショットミュラー行列偏光計を用いて空間分解能 $50 \mu\text{m}$ で測定した結果についてミュラー行列を再構成することで解析している。また、定性的な正確性を示すために、別途SHG顕微鏡により測定した結果とも比較している。診断に用いているパラメーターは、図のように正常な細胞の位相差のヒストグラムがガウス分布になり、異常な細胞ではガウス分布に含まれない量が多いことに着目して定義されている。その結果、肝繊維症の進行度が進むにつれてパラメーター値が増加しており、診断に有効であることを示している。(図5, 文献12)

ミュラー行列を再構成することで位相差を正確に導出し、その結果

を病理診断に用いている点が興味深い。しかしながら、血管周囲のコラーゲン繊維による偏光解消に関する理論的考察にまで踏み込めていないので、今後の考察が期待される。(水谷 康弘)



提案された診断指標と肝繊維症の進行度の関係

光導波路の非線形屈折率と非線形吸収率の評価法

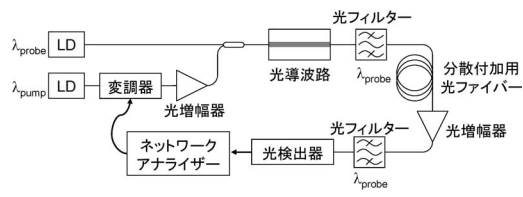
Simple Method to Characterize Nonlinear Refraction and Loss in Optical Waveguides

[J. J. Wathen, V. R. Pagán and T. E. Murphy: Opt. Lett., 37, No. 22 (2012) 4693-4695]

低損失かつ閉じ込めの強い光導波路は、コンパクトな非線形光学デバイスとして近年注目されており、波長変換、光スイッチング等を実現する有力な手段と考えられている。そのような非線形光学デバイスでは、三次非線形感受率の虚部に由来する非線形吸収が性能を制限する一因となる。したがって、非線形感受率の虚部と実部の比が非線形導波路の性能指数として重要である。本論文ではこの性能指数を簡便に評価する方式が提案された。図に示すように、強度変調したポンプ光と無変調のプロブ光を光導波路に導入する。非線形感受率の実部に由来する相互位相変調と虚部に由来する相互振幅変調によって、ポンプ光の強度変調がプロブ光の位相変調 (PM) および振幅変調 (AM) に転写される。この位相変調と振幅変調の比を求めるために、光ファイバーで群速度分散を与え、PM-AM変換を行ったのち、AM成分を検出するため、フォトダイオードで受光し、ネットワークアナライザーで光電流を検出する。PM-AM変換の速さが変調周波数の二乗に比例することを考慮し、AM変調が消失する周波数を求めること

で、PMとAMの比を求め、その結果から非線形感受率の実部と虚部の比、すなわち性能指数を求めることができる。実験ではGaAs, Si, AlGaAs等の光導波路に対して性能指数を測定することに成功した。(図4, 文献18)

PMとAMの量を求める方式自体は、光変調器のチャープ計測法として知られていたが、それを非線形光学デバイスの評価法に適用した点が興味深い。(小関 泰之)



実験系の模式図, LD: 半導体レーザー

熱光起電力発電に向けた磁気ポラリトンによる波長選択・分散型エミッター

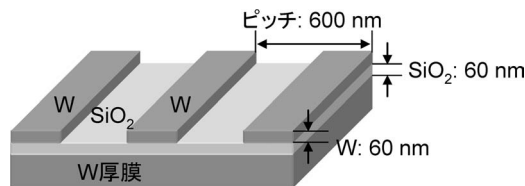
Wavelength-Selective and Diffuse Emitter Enhanced by Magnetic Polaritons for Thermophotovoltaics

[L. P. Wang and Z. M. Zhang: Appl. Phys. Lett., 100, No. 6 (2012) 063902]

高温物体からの熱放射により表面近傍に生じる近接場光を直接電気に変換する熱光起電力 (TPV) 発電が、次世代小型発電技術として期待されている。このシステムは、熱源、エミッター、およびTPVセルから構成されるが、高い発電効率を得るためには、エミッターの放射波長をTPVセルの感度波長に整合させること、および放射波長が放射角度に依存しないことが重要である。著者らは、W (タングステン) 厚膜、 SiO_2 スペース、およびW回折格子からなるエミッターを新たに考案し、その放射特性を光学解析により明らかにした。このエミッターの放射スペクトルには、Wの表面プラズモンポラリトン、および磁気ポラリトンに起因する放射ピークが確認された。磁気ポラリトンに起因する放射では、その放射波長が回折格子の幅によって変化するが、放射角度にはほとんど依存しないことがわかった。これは、磁気ポラリトンを利用することによって、エミッターの放射波長を回折格子幅により選択でき、かつ放射波長が放射角度によらず等

方的であるという2つの特性が両立できることを示している。(図3, 文献17)

簡素なデバイス構造で理想的なエミッター特性を実現できる可能性を示した点が興味深い。今後、この磁気ポラリトン誘起の原理を利用した高効率な熱光起電力発電の実証を期待したい。(三原 尚士)



磁気ポラリトン誘起型エミッターの構造