

誘導ラマン散乱顕微鏡による高感度ラベルフリーイメージング

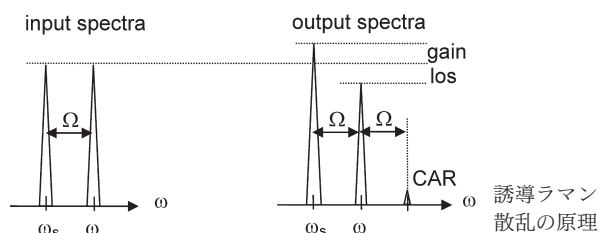
Label-Free Biomedical Imaging with High Sensitivity by Stimulated Raman Scattering Microscopy

[C. W. Freudiger, W. Min, B. G. Saar, S. Lu, G. R. Holtom, C. He, J. C. Tsai, J. X. Kang and X. S. Xie: Science, 322, No. 5909 (2008) 1857-1861]

蛍光色素等を用いずに分子イメージングすることが、医学・生物学研究に切望されている。自発ラマン散乱顕微鏡は、化学結合の分子振動によってイメージングすることが可能であるが、感度が低いことが問題となっていた。著者らは、SRS (誘導ラマン散乱) を原理とした高感度な三次元多光子分子振動イメージングを実現した。二波長のレーザーを試料に入射した際に、分子の振動エネルギーと二波長の光のエネルギー差が一致すると、長波長側の光の強度の増大 (誘導ラマン増幅)、短波長側の光の強度の減少 (誘導ラマン損失) が起きる。SRS は、コヒーレント反ストークスラマン散乱でしばしば問題となる非共鳴バックグラウンドがないという特徴をもつ。彼らは短波長側の光を数 MHz で変調し、長波長側の光に生じる光強度の変動を、MHz lock-in による位相敏感検波で検出した。高周波変調することで、レーザーの強度揺らぎによる影響を抑え、SRS の感度が自発ラマンに比べて非常に高く、高速にイメージング可能であることを示した。また、不飽和脂質や飽和脂質の細胞内での分布の違い、脳や皮膚の脂質

によるイメージング、薬剤の表皮越し浸潤の観測に応用した。(図 4, 文献 30)

誘導ラマン増幅を使えばバックグラウンドの影響のない分子振動情報が得られることは知られていたが、MHz lock-in による位相敏感検波技術を適用することでその S/N 比を高め、イメージングを実現した。現在ではまだ高波数領域の実験だが、指紋領域とよばれる低波数領域でのイメージングが期待される。(橋本 守)



非走査型のモーションレス蛍光三次元ホログラフィック顕微鏡

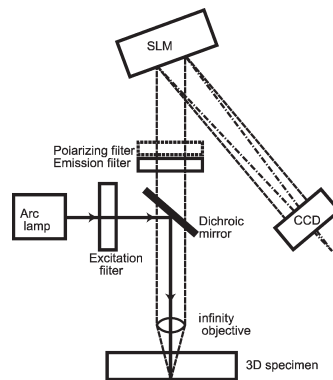
Non-Scanning Motionless Fluorescence Three-Dimensional Holographic Microscopy

[J. Rosen and G. Brooker: Nat. Photonics, 2, No. 3 (2008) 190-195]

本論文は空間光変調器 (SLM) を用いて、インコヒーレント光である蛍光像に対してデジタルホログラフィーの手法により三次元像を得る技術を示している。ホログラム取得に必要な二光束の発生とインコヒーレント光の干渉に必要な微小な光路差の発生をすべて SLM で行う光学系を提案し、実際に蛍光顕微鏡に適用して良好な三次元像を得ている。

光学系の面では、SLM をビームスプリッター機能、位相シフト機能、レンズ機能の複合素子として用いる点が興味深い。シンプルな光学系でありながら効果は大きく、実用化が期待される。

(山本 裕紹)



非走査型の蛍光三次元ホログラフィック顕微鏡の構成

位相変調型の SLM (1920×1080 画素) には、位相シフトを加えたフレネルゾーンプレート位相成分と無変調成分を、それぞれ 2 分の 1 の割合で足し合わせて表示する。したがって、平面波と位相変調の加えられた球面波の両方が、単一の SLM から得られる。位相シフト量を変えて取得した干渉像より、蛍光像のホログラムを算出する。得られたホログラムに対して、計算によりフレネル回折像を再生する。再生面までの距離を変化させるだけで、光学系を固定したまま (非走査かつモーションレス) で、サンプルの三次元蛍光像を得ることができる。機械走査がないため、ホログラム取得にかかる時間は短い (約 1 秒)。(図 6, 文献 11)

量子回路の集積化

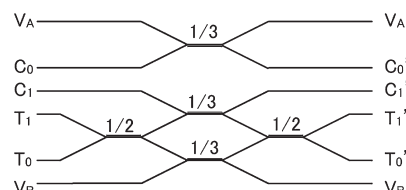
Silica-on-Silicon Waveguide Quantum Circuits

[A. Politi, M. J. Cryan, J. G. Rarity, S. Yu and J. L. O'Brien: Science, 320, No. 5876 (2008) 646-649]

光子の量子状態を操作するための基本回路は、光学技術に基づく量子計算機を実現するための重要な構成要素のひとつである。これまでに、バルク光学素子による量子回路が報告されているものの、高精度な位置合わせが要求されることが問題となっていた。著者らは、シリコン基板上のシリカ導波路を用いた量子回路を試作し、その機能を確認している。作製された量子回路は、controlled NOT とよばれる演算である。この演算は、量子計算における情報単位である量子ビットを操作する上で重要な要素演算のひとつである。論文で報告されている controlled NOT 回路は、その断面が 3.5 μm 角の導波路を用いて作製されており、5 個の結合導波路により構成されている。検証の結果、約 95% の正答率が確認されている。(図 4, 文献 38)

測、量子リソグラフィや、量子光学における基本原理の実証、理論の検証に貢献するものであると考えられる。(仁田 功一)

$ CT\rangle$	$ C'T'\rangle$
$ 00\rangle$	$ 00\rangle$
$ 01\rangle$	$ 01\rangle$
$ 10\rangle$	$ 11\rangle$
$ 11\rangle$	$ 10\rangle$



controlled NOT 回路の真理値表 (左) と集積された量子回路の概念図 (右)。1/3, 1/2 は結合導波路の反射率

大規模計算を実現するためには、多段の回路の集積化、単一光子源、単一光子検出器等、さまざまなデバイスの革新的な進展が不可欠であり、本論文の成果だけでは量子情報処理が劇的に発展するとは思えない。しかしながら、論文内で著者も述べているように、光子の量子状態を安定に操作できる素子は、量子情報処理、量子通信、量子計

ナノワイヤー光源に結合した波長選択型フォトニック結晶導波路

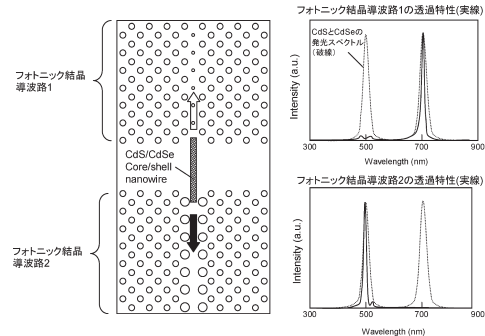
A Wavelength-Selective Photonic-Crystal Waveguide Coupled to a Nanowire Light Source

[H-G. Park, C. J. Barrelet, Y. Wu, B. Tian, F. Qian and C. M. Lieber: Nat. photonics, 2, No. 10 (2008) 822-826]

光を用いてすべての演算処理を行う光プロセッサの実現には、フォトニック結晶などの光回路中に光源を組み込む技術の開発が必要である。著者らは、ナノスケールの光源として半導体ナノワイヤーに注目し、これをフォトニック結晶導波路に集積化することに成功した。ナノワイヤーはコア・シェル型で、InGa<sub>0.5</sub>N/GaN系とCdS/CdSe系の2種類のタイプ、発光波長はそれぞれ480 nmと510 nmのものを用意した。フォトニック結晶導波路はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>スラブで構成することで、可視光領域での低損失を実現した。フォトニック結晶導波路に結合させたInGa<sub>0.5</sub>N系ナノワイヤーは、電極を形成し電流注入で動作させた。ナノワイヤー光源と導波路の結合効率、従来のLED-シングルモードファイバーと同等であった。CdS系ナノワイヤーに関しては、2種類のフォトニック結晶導波路を直列に接続し、ナノワイヤーを接続部に配置した。上記2種類の導波路は透過スペクトルをそれぞれCdSとCdSeの発光波長に合わせ、CdS/CdSeナノワイヤーの発光光を波長分離し、導波させることに成功した。(図4, 文献28)

本技術における光回路への光源の集積化技術は、従来の光源集積化

と比較して大幅な小型化が実現できる。また、ナノワイヤー光源は高速スイッチングが可能と考えられるため、今後のパルス動作試験等の評価結果を期待したい。(山中 一彦)



ナノワイヤー光源に結合した波長選択型フォトニック結晶導波路

HDTV 画像をホログラフィック投影するための LCOS デバイスの特性

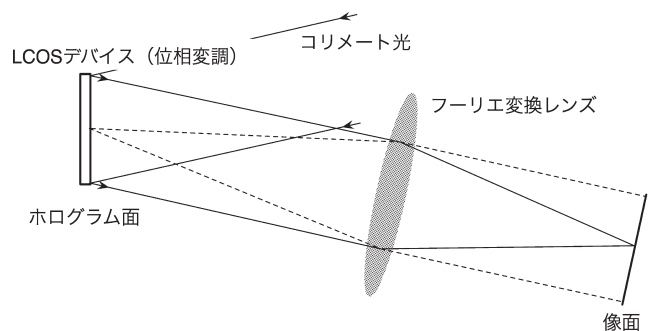
Liquid Crystal over Silicon Device Characteristics for Holographic Projection of High-Definition Television Images

[A. Georgiou, J. Christmas, J. Moore, A. Jeziorska-Chapman, A. Davey, N. Collings and W. A Crossland: Appl. Opt., 47, No. 26 (2008) 4793-4803]

二次元画像を投影する際、偏光子などにより光を吸収する必要がない位相型ホログラムは、最小のエネルギー損失を達成できる。本論文は、1280×720画素の高精細テレビ画像をホログラフィックに投影するときに必要な位相変調器の画素数が3072×2048、位相の階調数が64であることを、再生像のRMSノイズを最小化することにより求めている。シリコン基板上に液晶層を形成するLCOS (liquid crystal over silicon) デバイスを位相変調器に使用し、画素ピッチを4 μm×6 μm、全体の大きさを12.3 mm×12.3 mmとすることにより、アポディゼーションによるロス、画素の開口径と回折効率を考慮した光効率が43%になることを理論的に解析している。さらに、デバイスの大きさを6 mm×6 mmに縮小する場合には光効率が29%となることを見積もっている。(図9, 文献21)

プロジェクターの光源にレーザーを用いることが検討されており、投影光学系にホログラムを利用できる状況が生まれつつある。LCOS デバイスの開発が進むことにより、ホログラフィックな三次元画像の

投影が実用化されることも期待したい。(高橋 毅)



ホログラフィックプロジェクターの光学系

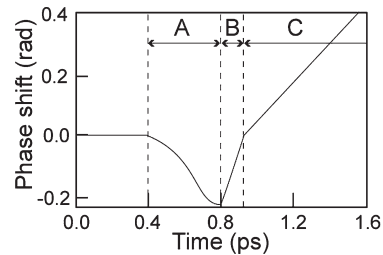
水中の超高速現象の評価のための時間分解軸外しデジタルホログラフィー

Time-Resolved Off-Axis Digital Holography for Characterization of Ultrafast Phenomena in Water

[T. Balciunas, A. Melnikaitis, G. Tamosauskas and V. Sirutkaitis: Opt. Lett., 38, No. 1 (2008) 58-60]

レーザー誘起超高速現象の解明に際して、レーザーが照射された際に生じる媒体の屈折率変化は、媒体の状態を示す大きな手がかりとなる。本論文では、水中でのフェムト秒レーザー誘起ブレイクダウンにおける屈折率の時間変化を、軸外しデジタルホログラフィーにより計測する。実験にはマッハ・ツェンダー型の干渉計が用いられ、片方の光路にサンプルが、もう片方には分散を合わせるために石英板が挿入された。CCDイメージセンサーによりホログラムが撮影され、計算機による再生により位相分布が得られた。実験結果から、屈折率の時間変化には大きく分けて3つの段階が存在することが明らかになった。図中のAで示される位相シフトが負になる(=屈折率が上昇する)時間領域では、強い光強度をもつポンプ光の存在による屈折率の増加が生じている。Bの領域では、アバランシオン化によるプラズマ密度の上昇が生じている。Cの領域については、ポンプパルスがファイブレーション中に、時間領域で分裂した結果であると推測されている。(図4, 文献11)

この論文の手法では、プローブ光のパルス幅を30 fsと短くすることで高い時間分解をもつ計測が可能になっている。今回の結果から電子の増加傾向が2段階に分かれることが明らかになったが、ポンプ光のエネルギーやパルス幅の変化がそれぞれの段階にどのような影響を与えるのか、さらなる実験が期待される。(田北 啓洋)



位相シフトの時間変化の概略