

気になる論文コーナー

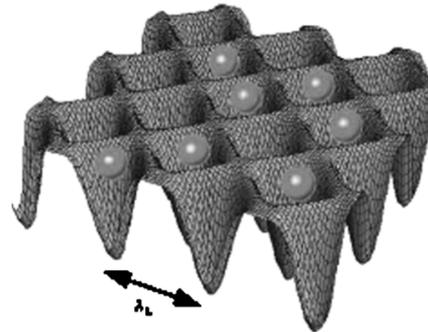
光格子時計

An Optical Lattice Clock

[M. Takamoto, F.-L. Hong, R. Higashi and H. Katori: Nature, 435 (2005) 321-324]

現在の時間周波数標準には Cs 原子のマイクロ波遷移が用いられているが、振動数の高い光遷移を用いた光時計が高精度な次世代の標準として期待されている。単一イオンを用いる方法に比べて、多数の中性原子を用いる方法は、高感度な測定ができるという利点があるが、一方、衝突による誤差が避けられなかった。著者は、レーザー光の干渉パターンにより生成した光格子に多数の Sr 原子を並べて閉じ込めた(図)。レーザー光により遷移の上下2つの準位が均等にシフトするようなマジック波長を見つけ出し、格子レーザーによる周波数測定への影響を除去している。これにより、Sr 原子の遷移線幅を、従来法に比べ1桁狭く(27 Hz)測定することに成功し、遷移周波数値も 15 Hz の正確さで測定された。(図4, 文献 29)

マジック波長の発見により、多数の中性原子を用いて高精度な周波数測定が可能になったことは画期的であり、今後の発展に期待できる。(吉富 大)



光格子に並べられた中性原子

光学像を用いた単一細胞および微粒子の大規模並列マニピュレーション

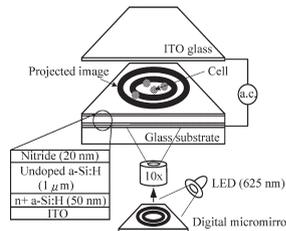
Massively Parallel Manipulation of Single Cells and Microparticles Using Optical Images

[P. Y. Chiou, A. T. Ohta and M. C. Wu: Nature, 436 (2005) 370-372]

バイオ分野での分析のために個々の細胞を捕捉・分離・収集するマニピュレーション技術が研究されている。中でも、不均一電界中を粒子が移動する誘電泳動法は大量の細胞を一括操作できる特長がある。本論文では、光導電性膜に光学像を投影することで高分解能の電界パターンを形成し、この投影画像を時間的に変化させることで個々の細胞の位置を独立に並列操作する方法を提案している。2層の透明電導膜の一方に光導電性膜として水素化アモルファスシリコンを形成し、試料溶液を挟み込む。ここに 1024×768 画素のデジタルマイクロミラーと LED をより形成した光学像を 10 倍の対物レンズを介して投影する。対物レンズ出射光強度は 1 mW である。マトリックス状の画像により、1.3×1.0 mm の領域に直径 4.5 μm の粒子トラップ 15000 個を設けることができた。また、コンベヤー状の画像を循環運動させることで、複数の粒子を搬送しながら粒子径に応じた分離ができることを示した。さらに、同心円状の画像を収縮運動させることにより、生きた細胞だけを選択的に円の中央に集めることに成功した。

(図4, 文献 26)

任意形状を高分解能で作りに出せる光学像の特徴を生かした本方式は、大量の細胞を高速に識別処理するシステムの可能性を切り開くものである。今後は画像処理技術との融合によりさらなる発展が期待される。(青木 一彦)



マニピュレーションデバイスの構成

無開口近接場光学顕微鏡におけるチップ振動の干渉計測

Interferometric Measurement of the Tip Oscillation Amplitude in Apertureless Near-Field Optical Microscopy

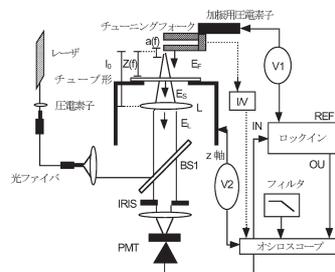
[G. P. Giuseppe, B. Guillaume, M. Adnen and A. Maria: Rev. Sci. Instrum., 76, No. 3 (2005) 036105.1-036105.3]

無開口近接場光学顕微鏡 (a-SNOM) におけるチップ振動振幅を測定するための、光学的ホモダイン干渉計の開発を行った。a-SNOM 装置は、光励起と散乱光の集光に関係した手段を与えられたタッピングモードにおける原子間力顕微鏡 (AFM) が基本となっている。カンチレバーの梁のエッジ部分に位置した金属チップが数 nm (ソフトタッピングもしくはノンコンタクト) から数十 nm (ハードタッピング) までのレンジで振幅 a_0 で試料表面と垂直に振動する。そのチップ振動は光学手法もしくはチューニングフォークと垂直に接着された圧電素子によって検出される。しかしながら、a-SNOM においては光学的な分解能は 10 nm よりも小さくすることは困難である。そこで、図のように顕微鏡内に干渉計を組み込むことにより、チップ振動振幅の計測を行った。この方法では、チップとガラス試料表面で反射される光の場との間で同期検出をすることによりチップ-試料間距離を制御している。これによりチップ振動の整数倍の周波数で起こる種々の干渉項を利用することで、サブオングストロームの解像

度が容易に得られた。(図1, 文献 3)

近接場光学顕微鏡の光学分解能を向上させる方法としては、STM などと組み合わせるなど、現在までさまざまな研究が行われてきた。今回の手法は、チップの振動を非常に簡素な干渉計測によって計測することにより、分解能の向上を試みた。これにより、開口型 SNOM における開口サイズによる分解能の依存性が解消でき、AFM レベルの光学分解能が期待できる。

(大久保進也)



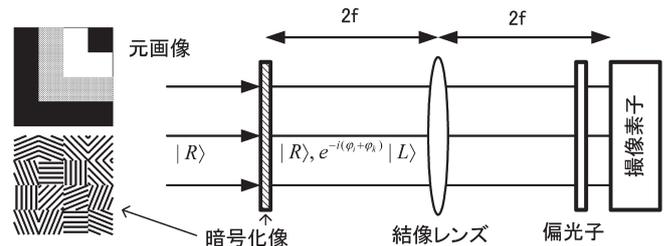
空間変化サブ波長回折格子による幾何学的位相像暗号化

Geometrical Phase Image Encryption Obtained with Space-Variant Subwavelength Gratings

[G. Biener, A. Niv, V. Kleiner and E. Hasman: Opt. Lett., 30, No. 10 (2005) 1096-1098]

近年、セキュリティの観点から、光を用いた高速で安定な画像暗号化技術が求められている。著者らは、サブ波長グレーティング (SWG) と偏光を用いて構造が比較的単純な暗号化法を検討している。SWGは波長板として動作し、空間内で方位を任意に変化させることが可能である。元となる画像を強度に応じた進相軸の回転量に変換し、さらに暗号化鍵としてランダムな回転量を加えたSWGを作成する。ここに右円偏光を入射させると、出射光として右円偏光成分のほかに軸回転量に比例した位相差をもつ左円偏光成分が生じる。偏光子により像の偏光分布を計測し、偏光位相差からキー成分を差し引くことにより位相差分布として元画像を得ることができる。一方、画像の偏光状態自体はランダムになっているので、鍵なしでの復元は不可能である。また、鍵も同様にSWGで作成することにより、像を光学系で直接可視化することも可能である。著者らは $2\mu\text{m}$ 周期のSWGを作成し、波長 $10.6\mu\text{m}$ の光源を用いて 20×20 ピクセルの画像に対して原理を実証している。(図4, 文献10)

今回提案された方法は、偏光を利用することによって単純な光学系による任意強度分布の画像の暗号化を可能とするもので、今後の進展が期待される。(塚本 宏之)



暗号化像 (左) および検出光学系 (右) の模式図

神経組織の光学的刺激

Optical Stimulation of Neural Tissue *in Vivo*

[J. Wells, C. Kao, K. Mariappan, J. Albea, E. D. Jansen, P. Konrad and A. Mahadevan-Jansen: Opt. Lett., 30, No. 5 (2005) 504-506]

脳神経細胞の役割や脳の機能を究明する手法として、神経細胞 (ニューロン) を電氣的に活性化させ、その応答を観察するという手法が古くから用いられている。この方法では、電極装着に伴う細胞の損傷や電極による高周波擬信号の発生、細胞周囲に存在する電氣的信号の影響等により、細胞からの応答信号を正しく計測できないことや空間分解能が低いこと等が問題となっていた。そのためこれまでに、磁氣的手法による細胞の活性化手法をはじめとして、機械的、熱的、化学的、光学的な手法が検討され、特に光学的な手法では紫外線エキシマレーザーを用いた手法、多光子吸収を用いた手法が研究されてきた。

今回、著者らは光学的な手法による簡易なシステムを実現するために、安全基準強度を満たす近赤外パルス光を用いた神経細胞の活性化について検討した。ヒキガエルの座骨神経の主幹部分に波長 $4.0\mu\text{m}$ の近赤外光を照射し、主幹からの第一神経分岐点における筋肉の反応を計測した。活性化させた神経および筋肉の状態は電氣的な応答として計測した。応答信号を評価するために電圧 $0.3\sim 0.6\text{V}$ 、パルス幅

$5\mu\text{s}$ の電氣的な活性を用いた場合と比較すると、活性化された神経細胞の応答時間は同等であるが、光学的な手法では応答信号内に高周波擬信号は観察されなかった。筋肉の応答においても光学的な手法では高周波成分の混入は観察されなかった。また、これらの応答信号は軸索の集成的な応答を示すが、光を用いた場合では軸索を選択的に反応させることを実現した。光学的な手法による神経細胞の活性化メカニズムは未解明ではあるが、神経細胞を非接触・無侵襲で活性化でき、高い空間分解能での観察、高周波擬信号の非発生などの特徴をもつ手法を実現した。(図3, 文献18)

光を用いた生体計測が脚光を浴びる中で、本研究結果は光による生体組織内の神経を活性化できることを示している。光による生体組織への積極的な制御の可能性を秘めており、新しい光計測法の開拓や生体光制御などの新しい研究分野も期待できる。(日坂 真樹)

ポリマー分散液晶を用いた偏光依存のない位相変調

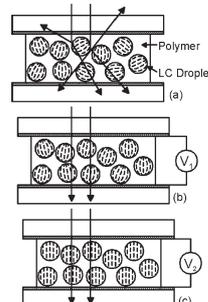
Polarization-Independent Phase Modulation Using a Polymer-Dispersed Liquid Crystal

[H. Ren, Y.-H. Lin, Y.-H. Fan and S.-T. Wu: Appl. Phys. Lett., 86, No. 14 (2005) 141110]

著者らはポリマー分散液晶を用いて偏光依存のない位相変調を行った。この技術は、可変な回折格子やプリズム、レンズを実現可能である。ポリマーに分散させた液晶の微小粒子は波長程度の大きさであるため、印加電圧が小さい場合、液晶素子中で、光は屈折率の不整合によって強く散乱される。しかし、印加電圧が増加すると、液晶のダイレクターが電場の方向に配向することにより、素子は透明になる。さらに、印加電圧が増加すると微小粒子中の液晶が再配向することにより、位相のみの変調が実行される。このとき、垂直に入射する光に対して、位相変調は偏光に依存しない。透過率の測定の結果、電圧を印加しない場合、散乱のために半透明であり透過率は低かったが、印加電圧とともに透過率も増加し、ある閾値 (飽和電圧 V_1) 以上では高い透過率を維持して変化しなくなった。また、2つの偏光子の間に試料を挿入して透過率を測定したところ、飽和電圧以上の平行配置では印加電圧とともに透過率は上昇し、直交配置では逆に減少した。これらの実験から、飽和電圧以上では位相のみの変調が起きていることが

示された。(図6, 文献15)

位相変化量はさほど大きくはないが、焦点距離可変のマイクロレンズアレイを作製しており、ほかにもさまざまな応用が考えられ非常に興味深い。(似内 映之)

ポリマー分散液晶中の液晶の微小粒子の配向。(a) $V=0$, (b) V_1 , (c) $V_2 > V_1$