

面内走査不要の深さ分解顕微鏡

Scanningless Depth-Resolved Microscopy

[D. Oron, E. Tal and Y. Silberberg: Opt. Exp., 13, No. 5 (2005) 1468-1476]

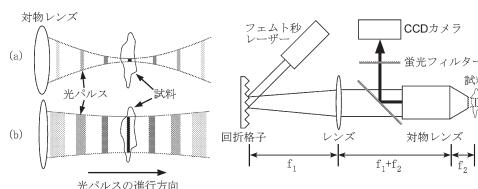
深さ方向に分解能をもつ顕微鏡として、共焦点顕微鏡や多光子顕微鏡が知られている。これらは点測定なので、画像を得るためには面内の走査が必要であり、測定時間がかかる。測定時間を短縮するために、マイクロレンズアレイ等を用いて光ビームを多重化する試みがなされているが、複雑な機構を必要とする。本論文では、単純な構成で面内の走査が不要な多光子顕微鏡を提案している。

通常の多光子顕微鏡は高い開口数の対物レンズで短パルスレーザー光を集光させ、焦点付近で光子密度を高くして多光子吸収を起こす(図(a))。これに対して提案する手法では、光パルスの幅がパルスの伝搬に従って短くなり、対物レンズの焦点付近で最短になるようにし、この領域で多光子吸収が起こるような系を提案している(図(b))。フェムト秒レーザー(10 fs, 75 MHz)からのパルス光を回折格子に入射し、回折光を顕微鏡に導入する。回折格子(焦点距離 f_1)、対物レンズ(焦点距離 f_2)、試料を、図に示す位置関係に配置することで上述した原理が実現できる。対物レンズの焦点面内で発

した蛍光像を CCD カメラで一度に撮像する。

蛍光色素(DAPI)でラベルしたショウジョウバエの蛹を撮像している。現在のところ1画面30秒ほど必要だが、最適なパルス幅、繰り返し周波数のレーザーを用いればビデオレートも可能である。(図5, 文献26)

深さ方向の分解能はパルス幅によるので、厚さのある試料の低倍の観察に適していると考えられる。(深野 天)



原理図(左)と光学系(右)。(a)従来法, (b)提案する方法

極紫外域の非線形光学

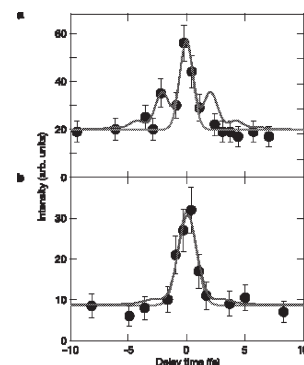
Nonlinear Optics in the Extreme Ultraviolet

[T. Sekikawa, A. Kosuge, T. Kanai and S. Watanabe: Nature, 432 (2004) 605-608]

極紫外域での非線形光学現象は、高強度でコヒーレントな極紫外光を必要とするため、観測は困難とされてきた。著者らはフェムト秒の高強度レーザーパルスによる高次高調波を用いて、高強度な極紫外光(27.9 eV)を発生させ、ヘリウム原子の二光子超関イオン化という非線形現象を観測した。二光子超関イオン化は、光子エネルギーがイオン化エネルギーを超えている状態で2光子分のエネルギーを吸収しイオン化が起きる二次の非線形過程で、非常に確率が低く、高い光強度を要する。著者らはこの現象を応用して、アト秒領域(アトは 10^{-18})の時間幅を有する極紫外光パルスの自己相関測定を行うことに初めて成功している。レーザー光を2つのレプリカに分け、時間遅延を与え、発生した高調波をヘリウムガスに集光する。図は時間遅延によるイオン化量の変化であり、この幅からパルス幅が950アト秒であることが示された。(図3, 文献24)

これまで高調波によるアト秒パルスの報告はあったが、パルス幅はシミュレーションに基づく推定値であり、本論文で初めて直接的に曖

昧なく実証された。今後、電子のダイナミクスなど超高速現象の解明をめざすアト秒物理の発展に期待できる。(吉富 大)



極紫外光の自己相関波形。パルス幅950 as(上), 1.3 fs(下)

蛍光画像の位相分解による残留指紋検出

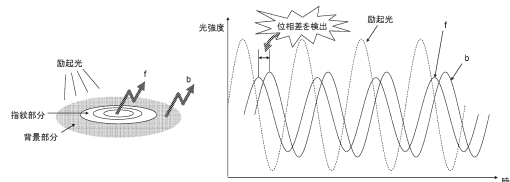
Formulation and Implementation of a Phase-Resolved Fluorescence Technique for Latent-Fingerprint Imaging: Theoretical and Experimental Analysis

[U. S. Dinish, Z. X. Chao, L. K. Seah, A. Singh and V. M. Murukeshan: Appl. Opt., 44, No. 3 (2005) 297-304]

ガラス表面などに残された残留指紋は、犯罪捜査における有力な手がかりとなる。これまで残留指紋を精度よく検出する方法についてはさまざまな研究が行われているが、この論文では、残留指紋部分と背景部分との蛍光寿命の違いを利用し、正弦波変調されたレーザー光で励起させた放射光の位相差を検出することで、指紋画像と背景画像を分離する手法を提案している。指紋部分と背景部分から放射される光の位相差を正確に検出するには、ナノ秒オーダーの時間分解能を有するディテクターが必要になる。しかし一般的なイメージセンサーでは実現困難であるため、この論文では、励起光と同じ周波数で CCD カメラのゲインを変調することにより、位相差自体を検出せずとも指紋部分と背景部分を分離可能なホモダイン手法を利用して指紋を復元している。実験として、アルミニウム表面に付着した2年前の残留指紋を復元した結果、本手法を利用した場合には指紋パターンがくっきりと復元された。またジュース容器やカレンダーの蛍光塗料上に付着した残留指紋でも、同様に指紋が復元されることを確認した。(図11,

表1, 文献15)

残留指紋の検出精度が向上すると、犯罪の検挙率の向上が見込まれるが、残留指紋から作成した擬似指紋を用いることで高精度な偽証が可能であることが報告されていることから、指紋認証における成りすましの危険性を高めることにもつながる。残留指紋を抽出する技術の発展は、指紋認証の普及にとって大きな妨げとなるのではないだろうか。(鈴木 裕之)



位相差を検出して蛍光寿命の違いを画像化する手法

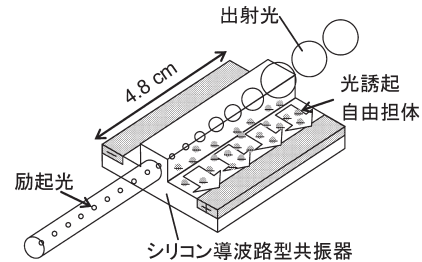
全シリコンラマンレーザー

An All-Silicon Raman Laser

[H. Rong, A. Liu, R. Jones, O. Cohen, D. Hak, R. Nicolaescu, A. Fang and M. Paniccia: Nature, 433 (2005) 292-294]

銅線を使用する限り、コンピューター間や内部のデータ転送レートは 20 Gbps 程度が限界といわれている。一方、光ではすでに 100 Gbps 程度まで可能となっている。しかし光デバイスは高価でサイズが大きいため、コンピューター間や内部のデータ転送には向かない。そこで、電子デバイスとのモノリシックな集積と安価な光デバイスの実現が可能なシリコンフォトニクスが注目を集めている。著者らはシリコン上で初めてラマンレーザーの連続発振に成功した。シリコンは 1.55 μm 帯で透明であるが、二光子吸収によって誘起された自由担体による光吸収のため、ある一定の強度以上ではラマン増幅されず逆に減衰してしまう。今回、PIN デバイスを統合したシリコン導波路に電圧印加し、この自由担体を掃引することによって光吸収を低減することに成功した。これにより波長 1536 nm の励起光源を用いて、長さ 4.8 cm の導波路型共振器において波長 1669.5 nm のレーザー発振を可能にした。そのときの印加電圧は 25 V、発振閾値は 0.4 mW、励起光の出力が 0.75 mW のとき出力 30 μW であった。(図 4, 文献 27)

本報告は、通常のシリコン技術を用いてレーザー発振に成功した点に意義がある。実用化には高出力化などまだ多くの課題があるが、光速によるコンピューター間や内の情報のやり取りを可能にする安価な光デバイスの実現が期待される。(深町 俊彦)



シリコンラマンレーザーの概念図

二次元バイナリー位相マスクによるアナログマイクロ光学素子の作製

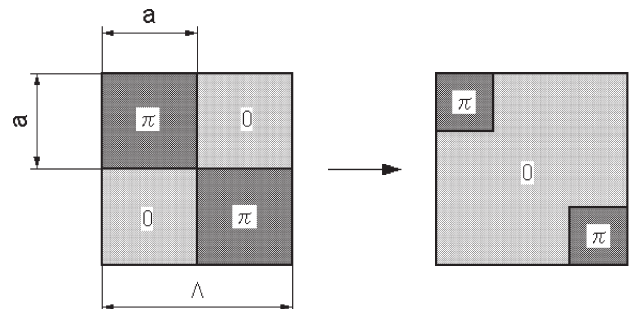
Analog Micro-Optics Fabrication by Use of a Two-Dimensional Binary Phase-Grating Mask

[J. Sung, H. Hockel and E. G. Johnson: Opt. Lett., 30, No. 2 (2005) 150-152]

二次元のバイナリー型位相格子をフォトリソグラフィのマスクに適用し、アナログ形状のマイクロ光学素子を作製している。位相深さ π を有する位相格子のデューティ比を制御して、ウェハー上にアナログ的な光強度分布を作製する。マスクに位相格子を用いると、従来のハーフトーンマスクでは発生した散乱が生じないというメリットがある。格子ピッチを ± 1 次以上の回折光が光学系からはみ出すカットオフ周期以下とすることで、ゼロ次光の回折効率のみの扱いとなり、計算を簡略化した。図に示すように、ピッチ Λ の四角形の中に、一辺の長さ a で位相深さ π の四角領域を対角位置に配置し、コーナー位置を固定させた状態で a の値を変えていく。試作では、2.5 μm ピッチの位相格子マスクを用いて、直径 100 μm で焦点距離 200~330 μm の非球面レンズと、100 μm 角で高さ 8 μm のプリズムを作製し、設計値に対する形状誤差 5% 以下を実現している。(図 4, 文献 4)

1つのマスクで、かつ簡便な設計手法でアナログ形状を有するマイクロ光学素子を作成でき、興味深い。本手法をどの程度の素子サイズ

まで適用できるか、さらなる検討が必要と思われるが、アレイ化も含め今後の展開に期待したい。(大村 陽一)



2軸バイナリー位相マスク、1周期分の平面図

微小光学望遠鏡を用いた複眼

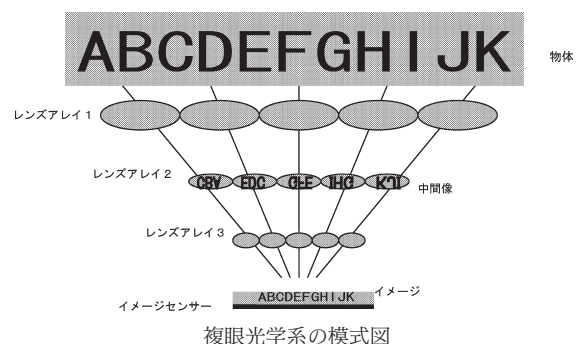
Microoptical Telescope Compound Eye

[J. Duparré, P. Schreiber, A. Matthes, E. Pshenay-Severin, A. Bräuer, A. Tünnermann, R. Völkel, M. Eisner and T. Scharf: Opt. Express, 13, No. 3 (2005) 889-903]

デジタル撮像素子の小型化により撮像デバイスは小型になったが、通常の撮影光学系では回折の影響のために小型化には限界があった。複眼を用いた光学系は、この限界を超える超小型撮像光学系として期待されている。著者らは、図のような3種類のレンズアレイを用いた複眼光学系を提案した。著者らは、傾き等を盛り込んだ 3×3 の近軸行列計算を用いて、21行3列のレンズアレイを3段用いることで、 70×10 度の視野をもつ厚さ 2 mm の複眼光学系を設計した。さらに、像の性能やゴースト光の影響についてもシミュレーションを行った。著者らは半導体プロセスを用いて、シリカガラス上にレンズアレイを作製し、それらを組み合わせた光学系を試作し性能を評価した。試作した複眼光学系は製造誤差のため、中心の8行3列のレンズアレイのみの結像しか評価できなかったが、複数のチャンネルからの重ね合わせで1つのイメージが得られた。(図 15, 文献 26)

著者らの作製した光学系は、すべてのチャンネルが使えなかったが、結像原理は実証できた。複眼光学系はノイズや解像力等の課題がある

が、超小型光学系のアプローチのひとつとしては興味深く、著者らの今後の研究も含め、この分野の進展には注目したい。(金野 賢治)



複眼光学系の模式図