

気になる論文コーナー

多数のホログラムを用いたデジタルホログラフィーにおける計測精度の改善

Improvement of Accuracy in Digital Holography by Use of Multiple Holograms

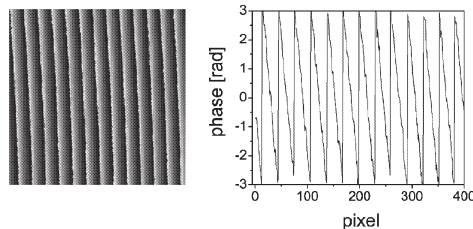
[T. Baumbach, E. Kolenović, V. Kebbel and W. Jüptner: Appl. Opt., 45, No. 24 (2006) 6077-6085]

デジタルホログラフィーでは、CCD カメラによる干渉縞の記録と数値的な再生により複素振幅の位相を直接的に扱うことができる利点がある。しかし、ほとんどのコヒーレント光を利用する方法と同様に、スペックルノイズの問題が存在する。スペックルノイズは空間分解能や S/N 比を低下させる。

本研究では、横方向にシフトした位置で撮影した多数のホログラムを用いて、フーリエ変換のシフト則に基づいたスペックルノイズ低減法を提案している。CCD カメラの大きさが有限であることを考慮した理論式より、再生像には CCD カメラの移動量に依存する位相項を含む関数が畳み込まれることを示し、異なるシフト位置で得られたホログラムからは変形などにより生じる位相は同じでもスペックルノイズは異なることを示した。提案手法ではこれらの平均化によりスペックルノイズの低減を行っている。位相は、横方向シフトさせた多数のホログラムからそれぞれの位相差を求め、横方向シフトにより生じる線形位相とオフセット位相の補正を行い、実部と虚部のそれぞれの和の逆正接より求められる。実験では、5×5 格子、シフト量 5 mm のカ

メラ位置において 2 波長 (579 nm, 582 nm) で撮影したホログラムを用いて平均化を行った。1 枚のホログラムから求めた位相差の標準偏差は合成波長について 0.653 rad であったのに対し、25 枚平均のホログラムの結果では 0.12 rad が得られた。(図 15, 文献 19)

画像処理的な手法と異なり測定データを修正しないので、信頼性の高い結果が得られると思われる。(吉川 宣一)



25 枚のホログラム情報で平均化したときの位相差とその断面図

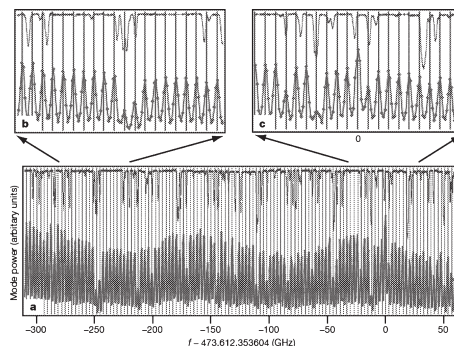
フェムト秒レーザー周波数コム分解モードによる分子の指紋検出

Molecular Fingerprinting with the Resolved Modes of a Femtosecond Laser Frequency Comb

[S. A. Diddams, L. Hollberg and V. Mbele: Nature, 445 (2007) 627-630]

フェムト秒レーザー周波数コムは多数の狭線幅のモードから成り、これらを精密に制御することによって、高分解能分光への応用が期待されている。本論文では、超高分解能分光素子である VIPA (virtually imaged phased array) と回折格子の組み合わせで、周波数コム of 3 GHz の周波数間隔の各モードを完全に空間的に分離し、CCD 画像上にマッピングすることに成功した。さらに、ヨウ素分子を透過させることにより、ヨウ素分子の吸収スペクトルを周波数掃引なしに高分解能で測定することに成功した。図は、本測定で得られた吸収スペクトル (図中下) が別の測定で得られている吸収スペクトル (図中上) と一致していることを示している。これはいわば、分子の指紋検出技術である。(図 4, 文献 22)

フェムト秒レーザーの多数のモードを完全に分離して、独立に扱える技術が成立したことは、高分解能分光のみならず、さまざまな分野への応用が期待でき、非常に興味深い。(吉富 大)



ヨウ素分子の「指紋」スペクトル

銀スーパーレンズを用いた回折限界以下光学イメージング

Sub-Diffraction-Limited Optical Imaging with a Silver Superlens

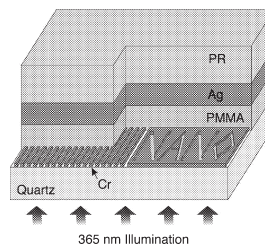
[N. Fang, H. Lee, C. Sun, X. Zhang: Science, 308, No. 22 (2005) 534-537]

屈折率が負のメタ材料でできたレンズ“スーパーレンズ”は、回折限以下の微細な構造物の像を得ることができる。そのため、スーパーレンズ技術を用いることにより、回折限界以下の次世代光リソグラフィ技術として注目されている。一般に、屈折率が正の物質でできた普通のレンズでは、回折限界という理論的限界から、光の波長よりも微細な構造物の露光はできない。しかしながら、本論文では銀のプラズモン共鳴を用いることで、屈折率が負の状態であるスーパーレンズを実現し、回折限界以下の微細描画を実現している。

図に、スーパーレンズを用いた光リソグラフィ構造の模式図を示す。50 nm 厚のクロムに focus ion beam (FIB) を用いて、線幅 60 nm、ピッチ 120 nm のストライプパターンを作製し、クロムパターン上にスペーサー層の役割である 40 nm 厚の PMMA 層、スーパーレンズ層の役割である 35 nm 厚の銀層、描画層として、最上部にフォトレジストを構成している。露光は波長 365 nm の UV 光を用いて最上層のフォトレジストへ行き、ピッチ 120 nm、線幅 60 nm の微細構造部で発生したエバネセント波を負の屈折率をもつ銀スーパーレン

ズ層でカップリングさせ、最上部に位置するフォトレジスト層へエバネセント光を集光させることで、露光波長の 6 分の 1 以下サイズである 60 nm 線幅描画を達成している。

銀薄膜を用いたスーパーレンズによって、実質的に解像度が向上し、可視光域でもスーパーレンズの基本原理解が成り立つことが確認された。このことから、今後の次世代光リソグラフィ分野への展開が楽しみな領域である。(栗原 一真)



スーパーレンズの実験配置

電磁波誘起透明化様特性のチップ上での実験的実現

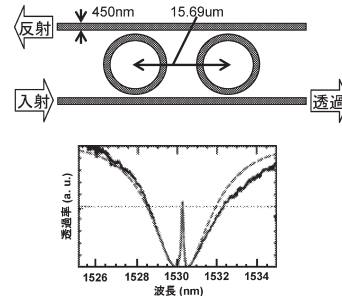
Experimental Realization of an On-Chip All-Optical Analogue to Electromagnetically Induced Transparency
 [Q. Xu, S. Sandhu, M. L. Povinelli, J. Shakya, S. Fan and M. Lipson: Phys. Rev. Lett., **96** (2006) 123901]

シリコン集積回路の信号伝搬遅延と発熱に起因して、プロセッサのクロックの高速化は飽和してきている。これを解決する方法として、やり取りする信号を光に置き換えることが考えられている。その結果、シリコン集積回路に光素子を集積し性能向上や新機能デバイス実現を目指すシリコンフォトリソグラフィの研究が活発になっている。

今回著者は、SOI上に作製した2つのリング共振器を用いて、初めて実験的に電磁波誘起透明化様スペクトルを観測した(図)。この系は幅450nm、高さ250nmのシリコン導波路と15.69μmの距離に配置した直径10μmリング共振器2個で構成されている。ここで、シリコン導波路とリング共振器との間隔は610nmである。実験ではさらにリング共振器間の距離を15.69μmから0.02μmずつ増大させた素子を用意し、同様な測定を行ったところ、図にみられるピークは低くかつブロードになり、15.77μmのとき消失した。(図3、文献17)

今回の結果は光信号の停止や蓄積、さらには光パルスの時間反転などのコヒーレントな操作が室温で可能となることを示し、光インター

コネクトや光プロセッシングへの適用が期待される。ただし、シリコンリング共振器の共鳴波長は温度に敏感なため温調が必要となるので、低消費電力化の点で課題となることが予想される。(深町 俊彦)



リング共振器系と電磁波誘起透明化様スペクトル

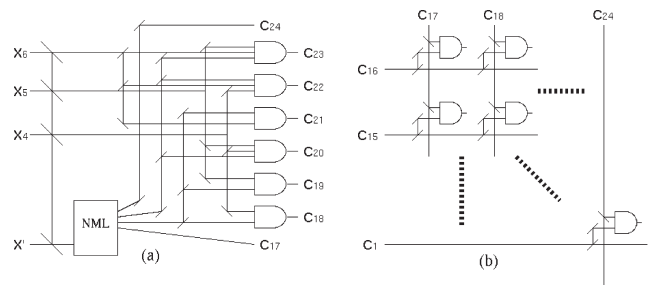
非線形物質に基づくスイッチングを利用した ASCII コードの全光復号化手法

All-Optical Decoding Method for ASCII-Coded Data Using Nonlinear-Material-Based Switching
 [S. Dhar and S. Mukhopadhyay: Opt. Eng., **45**, No. 11 (2006) 115201]

7ビットで構成される ASCII コードは、コンピューターはもちろんのこと、通信においても非常に重要な役割を果たしている。本論文では、7ビットの ASCII コードを入力すると、それをシンボル行列(8×16)に変換する全光・光学系システムのアイデアを提案している。この光学系では、スイッチングに NLM (non linear material) を用いており、光の強度に合わせて光軸が曲げられることを利用している。NLM の候補となる物質として、二硫化炭素、もしくはシリカ(二酸化ケイ素)を挙げている。図(a)は上位3ビット分の入力に対して行われる処理を、図(b)は ASCII コードが復号化される処理を示したものである。この研究グループでは、逆に、シンボルを ASCII コードに記号化する光学系も提案している。ASCII コードを自由自在に扱えるようになれば、既存のコンピューターと整合性が取れて、光コンピューティングの裾野が広がることになる。(図3、表1、文献18)

この論文で提案された光学系は、かなりの数のミラーやハーフミラーを使用するため、強い光源が必要になると考えられる。また、小型

化する場合のボトルネックについても、深い考察を必要とする。今後の展開に期待したい。(川田宗太郎)



光学系の一部。(a) 入力 X6, X5, X4 に対する処理, (b) ASCII コードの復号化

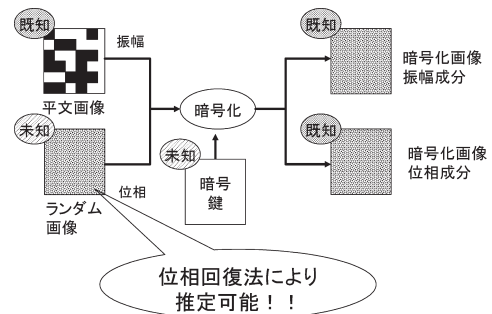
二重ランダム位相暗号化に対する既知平文攻撃

Known-Plaintext Attack on Optical Encryption Based on Double Random Phase Keys
 [X. Peng, P. Zhang, H. Wei and B. Yu: Opt. Lett., **31**, No. 8 (2006) 1044-1046]

二重ランダム位相暗号化は乗算とフーリエ変換のみによって暗号化が行われており、既知平文攻撃(ある平文とそれに対する暗号文が既知の状態での復号を試みる攻撃方法)を試みた場合に、除算と逆フーリエ変換による逆演算によって暗号鍵が推定される危険性が考えられるが、平文画像に乘算するランダム位相マスクを秘密にしているため、暗号鍵を逆演算によって求められることはない。しかし、フーリエ反復位相回復法を用いると、平文画像および暗号化画像の逆フーリエ振幅成分からランダム位相マスクを推定することができるため、容易に暗号鍵を求められてしまう。本論文では、計算機実験によってフーリエ反復位相回復法を利用した既知平文攻撃を行い、グレイレベル画像および二値画像ともに暗号解読されてしまうことを確認している(図3、文献14)

これまで二重ランダム位相暗号化の安全性に関する議論はあまりなされてこなかったが、本論文によって比較的単純な攻撃に対しても脆弱であることが示された。このほかにも脆弱性が潜んでいる可能性も

十分に考えられ、今後は二重ランダム位相暗号化のアルゴリズムをより安全なものへと改善していく必要があるだろう。(鈴木 裕之)



二重ランダム位相暗号化における既知平文攻撃