

気になる論文コーナー

アモルファスシリコン光導波路による低消費電力な全光高速光信号処理

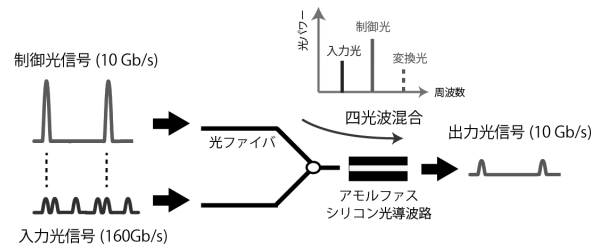
Ultralow-Power All-Optical Processing of High-Speed Data Signals in Deposited Silicon Waveguides
[K.-Y. Wang, K. G. Petrillo, M. A. Foster and A. C. Foster: Opt. Exp., 20, No. 22 (2012) 24600-24606]

シリコン・オン・インシュレーター (SOI) 技術を利用したシリコン光導波路は、低消費電力・低コスト・小型化などから、将来のフォトニック・ネットワークを担う光デバイスとして期待されている。しかしながら、従来のシリコン光導波路は光信号処理で扱う際には、入力光パワーに依存した二光子吸収と、二光子吸収のプロセスで発生した自由キャリアによる吸収の影響が問題視されていた。そこで、近年では非線形性を成膜条件によって変化させることのできるアモルファスシリコン光導波路の研究が注目されており、非常に大きな非線形性をもつ導波路などが報告され、光信号処理への応用がなされている。

本論文では低損失かつ高非線形なアモルファスシリコン光導波路(導波路長 6 mm, 伝搬損失 3.5 dB/cm)を用いて、160 Gb/s の信号を 10 Gb/s に光ゲーティング (DEMUX) することに成功している。光ゲーティングの際に必要なピークパワーは 50 mW であり、従来の結晶シリコン光導波路による光ゲーティングの報告 (4.0 W) のものに比べると 2桁程度と、大幅に改善されている。(図 4, 文献 26)

アモルファスシリコンは従来の結晶シリコンに比べて低温で成膜可

能であることから、CMOS 集積回路のバックエンドプロセスとの融合化に期待がもてる。アモルファスシリコン光導波路による光信号処理が進展すれば、光集積回路への大きな第一歩となるといえる。今後の研究結果に期待したいところである。(須田 悟史)



アモルファスシリコン光導波路による 160G-10G 光ゲーティングの動作原理

組織光学特性測定のための非接触拡散分光プローブの開発

Development of a Noncontact Diffuse Optical Spectroscopy Probe for Measuring Tissue Optical Properties
[S. F. Bish, N. Rajaram, B. Nichols and J. W. Tunnell: J. Biomed. Opt., 16, No. 12 (2011) 120505]

本論文では、生体組織の等価散乱係数 μ_s' と吸収係数 μ_a を測定するための非接触型拡散反射分光プローブを提案しており、ハロゲンランプ光源、ファイバー光学系、マルチチャンネル分光器を用いることで、コンパクトなシステムが実現可能であることが示されている。実験で使用したファイバープローブは 1 本の照明用ファイバーとその周囲に配置された 8 本の集光用ファイバーから構成されており、サンプル表面とファイバープローブ端面は可動ステージに設置された 2 枚のアクロマティックレンズにより等倍で結像されている。照明用ファイバー端面と集光用ファイバー端面にそれぞれ直線偏光フィルムをクロスニコル配置になるように取り付けることで、サンプルからの表面反射成分を抑制している。焦点深度を広げるために、カメラとミラーによる斜め方向からの照明スポット画像計測と可動ステージを用いたオートフォーカスフィードバック機構を組み込んでいる。 μ_s' と μ_a の推定は、光伝搬モンテカルロシミュレーションの結果に基づく LUT (look-up table) を用いた繰り返し推定アルゴリズムにより行われる。実験では、はじめに直径 1.0 μm のポリスチレンビーズとヘモグロ

ビンを用いて作成した光学ファントムにより定量性の評価を行い、 μ_s' と μ_a の推定誤差はそれぞれ 3.46% と 8.62% であることが確認されている。オートフォーカスフィードバック機構の導入により、最大焦点深度は 12 mm であることが実証されている。また、酸化チタンを散乱体としたポリジメチルシロクサンにより作成したサンプルを用いた実験結果から、クロスニコル配置による表面反射成分の抑制効果が示されている。さらに、*in vivo* での有効性を実証するために、ヒト手の甲皮膚を対象とした測定を行い、波長 630 nm での μ_s' は 1.32 mm^{-1} 、酸素化ヘモグロビンの体積分率は 5.57%、酸素飽和度は 0.622、平均的な血管径は 30 μm と推定されており、これらの光学的小および生理学的特性は正常皮膚の取り得る値の範囲内に収まっているとしている。(図 4, 文献 12)

本論文で提案された方式は、サンプルへの接触圧による光学推定値の推定誤差を改善する上で有効であると思われ、システムの小型化により、皮膚のみならず、他の臓器を対象とした手術中の組織バイオプティモニタリングへの応用も期待できる。(西館 泉)

光カー効果を用いたパルス強度ゆらぎの低減

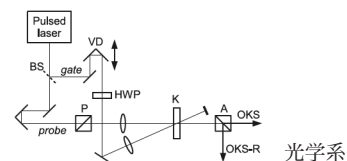
Reduction of Pulse-to-Pulse Fluctuation in Laser Pulse Energy Using the Optical Kerr Effect
[S. Matsuo, L. Yan, J. Si, T. Tomita and S. Hashimoto: Opt. Lett., 37, No. 10 (2012) 1646-1648]

近年の超短パルスレーザー技術の進展によって、高次高調波発生や多光子吸収、および光カー効果を含む非線形光学現象が容易に観測できるようになった。特に光カー効果は、超高速光シャッターを用いた分光計測やイメージング、チタンサファイアレーザーのカーレンズモード同期に利用されている。本論文は、光カー効果を用いたフェムト秒パルス強度の時間的な変動の安定化法を提案している。

フェムト秒パルス (1 kHz, 130 fs, $\lambda = 800 \text{ nm}$) をプローブ光とゲート光に分割し、半波長板 (HWP) を用いて、ゲート光の偏光を 45 度回転させる。偏光子 (P) と検光子 (A) は、クロスニコルで配置される。プローブ光のみの場合、プローブ光は検光子で反射される (OKS-R)。プローブ光とゲート光を時間的・空間的に合わせてカー媒質 (K) (二硫化炭素 CS_2) に集光照射した場合、光カー効果に起因する屈折率変化によりプローブ光の偏光が回転し、プローブ光の一部が検光子を透過する (OKS)。検光子で反射される光強度は、 $I_{\text{OKS-R}} = I_{\text{probe}} [1 - \sin^2(kI_{\text{probe}})]$ で記述され、これを安定化パルスとして用いる。ここで、 I_{probe} はプローブ光の強度、 k は定数である。式より、 $I_{\text{OKS-R}}$ は

I_{probe} に対して \sin^2 で変化するため、減光フィルターで k を調節して、 \sin^2 波の頂点近傍に I_{probe} を設定する。頂点近傍では、入力光 (I_{probe}) の変動に対して、出力光 ($I_{\text{OKS-R}}$) の変化は小さくなるため、パルス強度が安定化される。本手法により、パルス強度ゆらぎは従来と比べ半分以下に低減された。(図 4, 文献 10)

本光学系はすべて光学的に組まれるため、システムの応答速度はカー媒質の緩和時間 (10 ps) のみによって制限される。よって、きわめて高繰り返し (100 GHz) なパルスにも追従して安定化する。従来、光スイッチとして用いた光カー効果を、パルス強度の安定化に利用した発想がユニークであり、本システムを用いた応用が期待される。(長谷川智士)



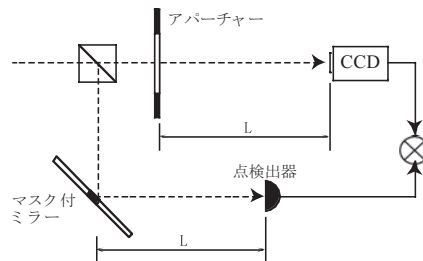
偽熱光源による2分岐照明からの拡散反射ゴーストイメージング

Diffuse-Reflection Ghost Imaging from a Double-Strip Illuminated by Pseudo-Thermal Light
[L. Basano, P. Ottonello: Opt. Comm., 283, No. 13 (2010) 2657-2661]

ゴーストイメージングは、時間的および空間的にインコヒーレントな照明を用い、その強度分布が既知であれば、点検出器で検出した信号から二次元画像が再構成できるというイメージング法である。基礎物理学における光子対生成の検出法として開発された歴史的背景があるが、近年では、干渉や回折という光学の基礎分野への応用のほかに、空間光位相変調器などのデバイスを利用した新たな装置開発が試みられている。著者らは、非局在型および局在型ダブルスリットを用いた鏡面および拡散反射面でのヤングの回折実験結果をそれぞれ報告している。非局在型ダブルスリットでは、スリットを2つのパートに分けておのおの相関を取ることで、1つのダブルスリット（ここでは局在型ダブルスリット）からの干渉パターンを取得したのと同様な結果が得られている。また、拡散反射面に局在型ダブルスリットを形成したものをを用いて、スリットパターンのゴーストイメージングにも成功している。（図4、文献16）

これまでに透過物体に着目して研究が進められてきたが、本論文に

より、反射型、透過型、また、鏡面、拡散反射面の測定物体の干渉（回折）計測が可能であることが示された。これは、物理学的興味はもちろんのこと、画像計測に利用できる可能性が広がったともいえ、今後の応用に期待できる。（水谷 康弘）



非局在型ダブルスリットのゴースト干渉イメージング光学系

超振動レンズ光学顕微鏡によるサブ波長イメージング

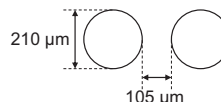
A Super-Oscillatory Lens Optical Microscope for Subwavelength Imaging

[E. T. F. Rogers, J. Lindberg, T. Roy, S. Savo, J. E. Chad, M. R. Dennis and N. I. Zheludev: Nat. Mater., 11, No. 3 (2012) 432-435]

近年、回折限界を超えた空間分解能を有する光学顕微鏡技術が発展している。この技術は、(i) 蛍光分子の強い非線形応答やスイッチング特性を用いるものと、(ii) 近接場を発生・検出するもの、に二分される。前者は蛍光標識が不可欠で、後者は試料のごく近傍（一波長以下）まで検出系を近接させる必要があり、いずれも侵襲的である。著者らは、超振動レンズ（super-oscillatory lens, SOL）を用い、透過型光学顕微鏡において、サブ波長イメージングを行った。超振動とは、周波数制限された波形の零点近傍において、上限周波数よりも高い周波数の振動が生じる現象である。本論文で設計した SOL は、25本の振幅マスクゾーンプレートからなり、その直径は40 μmである。SOLを製作するため、ガラス基板に厚さ100 nmのアルミ薄膜を堆積させ、集束イオンビーム加工を行った。SOLに波長640 nmのレーザー光を照射したところ、SOLから10.3 μm離れた面に直径185 nmのスポットが形成された。集光点に試料を設置し、透過光をCCDに結像させ、スポット中心の光強度を検出しながら試料位置を走査してイ

メージングを行った。試料として、金属フィルムで作製した微小なダブルスリットや複数の穴を観察した。図に示すような、105 nm離れた直径210 nmの穴を分解することに成功した。（図4、文献25）

本論文は、SOLという新しい素子を光学顕微鏡に導入したという意味で興味深い。しかし、実用上は多くの課題が残されている。集光効率の低さ、サイドローブの強さ、波面誤差に対するトレランスなどである。さらに、分解能の評価法にも疑問が残る。図の状況は、本来ならば315 nm離れた穴を分解した、というべきであり、これは通常の光学顕微鏡で達成可能な分解能である。これらの点は今後議論を呼びそうである。（小関 泰之）



観察した金属フィルムの穴の配置

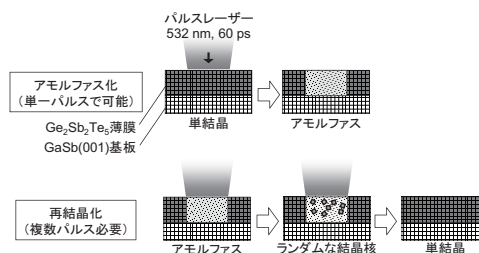
エピタキシャル Ge₂Sb₂Te₅ 薄膜の光スイッチングと結晶構造特性Optical Switching and Related Structural Properties of Epitaxial Ge₂Sb₂Te₅ Films

[F. Gericke, T. Flissikowski, J. Lähnemann, F. Katmis, W. Braun, H. Riechert and H. T. Grahn: J. Appl. Phys., 111, No. 11 (2012) 113524]

高速な相変化メモリーの実現に向け、相変化材料の結晶化・アモルファス化のより詳細なメカニズムの解明が求められている。著者らは、高速相変化材料 Ge₂Sb₂Te₅ のエピタキシャル単結晶薄膜を作製し、パルスレーザーの照射に伴う結晶構造の変化を評価した。

まず、格子整合する GaSb(001) 基板の上に90 nm厚の Ge₂Sb₂Te₅ をエピタキシャル成長させ、単結晶薄膜を作製した。次に波長532 nm、パルス幅60 psのパルスレーザーを照射し、Ge₂Sb₂Te₅ 薄膜のアモルファス化、および再結晶化を試みた。アモルファス化は単一パルスの照射で行えたが、アモルファス化領域の再結晶化には必ず複数パルスの照射が必要であった。この相変化の過程における結晶構造の変化を電子線後方散乱法によって調べた結果、再結晶化の途中段階でみられた多数の結晶核は、基板からの影響を受けずランダムに形成されているのに対し、アモルファス化領域を完全に再結晶化すると、元の単結晶薄膜に復元することがわかった。この結果は、Ge₂Sb₂Te₅ 薄膜の表面近傍から結晶核が生成していることを示唆している。（図5、文献10）

再結晶化の段階によって、結晶の配向性が変化するのが非常に興味深い。今後、相変化メモリーの高速化につながる、さらなる詳細な相変化メカニズムの解明を期待したい。（三原 尚士）

パルスレーザーによる Ge₂Sb₂Te₅ 単結晶薄膜のアモルファス化・再結晶化