

気になる論文コーナー

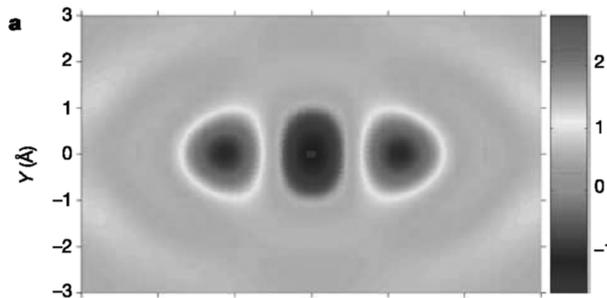
分子軌道のトモグラフィー撮像

Tomographic Imaging of Molecular Orbitals

[J. Itatani, J. Levesque, D. Zeidler, H. Niikura, H. Pépin, J. C. Kieffer, P. B. Corkum and D. M. Villeneuve: Nature, 432 (2004) 867-871]

分子の化学的性質を決定づける最高被占有軌道 (HOMO) の三次元形状を実験的に観測することは、これまで困難であった。著者らは、超短パルス高強度レーザー光を分子に集光し、その結果発生した高次高調波のスペクトルを観測することにより、窒素分子の最高被占有軌道の形状をトモグラフィー撮像することに成功した。まず、超短パルス光を窒素ガスに当て、分子の向きをそろえた後、別の超短パルス光を集光して、高次高調波を発生させた。最高被占有軌道からイオン化して連続状態に遷移した電子波束は、レーザー電場によって加速され、平面波となり、再び軌道と再結合して、双極子を形成し、高次高調波が輻射される。高調波のスペクトルは、分子軌道の空間的フーリエ成分に対応し、分子軸に対して角度を変えながら測定した高調波スペクトルから、トモグラフィーの手法で軌道の形状を再構築することができた (図)。この方法は、分子軌道の形状を測定するのみならず、超短パルス光を用いることにより、化学結合が形成または切断される様子を時間分解測定することが可能となる。(図5, 文献 37)

きわめて速い時間スケールで起きる化学変化の素過程を明らかにする上で、画期的な成果である。(吉富 大)



窒素分子の最高被占有軌道の再構築画像

Si 基板上に形成した Ge 量子井戸構造における強量子閉じ込めシュタルク効果

Strong Quantum-Confined Stark Effect in Germanium Quantum-Well Structures on Silicon

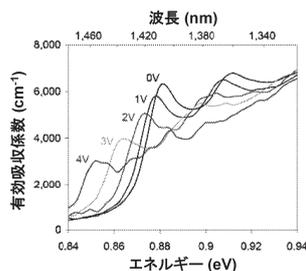
[Y.-H. Kuo, Y. K. Lee, Y. Ge, S. Ren, J. E. Roth, T. I. Kamins, D. A. B. Miller and J. S. Harris: Nature, 437 (2005) 1334-1336]

III-V 族半導体をベースとした光デバイスと同程度の高速変調性、すなわち高ビットレート化が可能で、かつ他のデバイスと CMOS チップ上に集積することにより低消費電力化・小型化・低コスト化が可能となる、シリコンフォトニクスが注目を集めている。これまでさまざまな研究機関により、シリコンベースの変調器や検出器、導波路などが報告されている。

光ネットワークシステムに必要な一連の光デバイスの中で、この光変調器は重要なデバイスとなっている。(図4, 文献 28)

今回著者らが開発した光変調器が商品化されるまでには、かなりの時間を要することが予想される。しかし今回の結果は Si ベースの光ネットワーク実現に必要な要素のひとつである。(深町 俊彦)

今回著者らは、室温において Si 基板上に形成した Ge 量子井戸構造で量子閉じ込めシュタルク効果の観測に成功した。電界を 3 V 印加することにより、波長 1438 nm の光の吸収量を最大 2800 cm⁻¹ 変化させることができた (図)。これにより CMOS プロセスと両立し、かつ III-V 族と同程度の吸光量制御性を有する電界吸収型光変調器をシリコンとゲルマニウムから作製することが可能となった。この光変調器は、電界印加によって吸光量を調節することにより、ちょうど光のシャッターのように光を吸収したり透過させたりする。これによりレーザー光を 1 秒に数十億ビットのデジタルデータに変換できる。このため



有効吸光スペクトルの印加電圧依存性

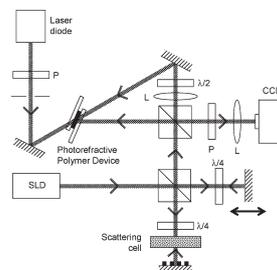
フォトリフラクティブポリマーを用いた散乱媒体の深さ分解ホログラフィックイメージング

Depth-Resolved Holographic Imaging through Scattering Media by Use of a Photorefractive Polymer Composite Device in the Near Infrared

[P. Dean, M. R. Dickinson and D. P. West: Opt. Lett., 30, No. 15 (2005) 1941-1943]

光コヒーレンストモグラフィは、低コヒーレンス光源を用いて非侵襲的に生体組織などの断層写真を得られる技術である。特にその干渉計部分にフォトリフラクティブ材料を用いると、現象やスキヤニングが不要リアルタイム二次元イメージングが可能となる。本論文で著者らは、フォトリフラクティブ材料として回折効率が高く (~100%)、応答速度の速い (~ミリ秒) 有機フォトリフラクティブポリマー材料に着目し、生体組織の吸収が少ない近赤外領域に感度をもたせたポリマー材料を作製して記録媒体とした。実験ではホログラム記録光源として、中心波長 794 nm・バンド幅 16 nm の SLD (superluminescent diode) を用い、散乱媒質を通ったあとのテストチャートの画像をフォトリフラクティブポリマーに記録している。またホログラムの再生は後方からレーザーダイオードの波長 785 nm の光を照射することでリアルタイムに行った。その結果、数秒の記録時間でテストチャートの二次元画像を再生することができ、深さ方向分解能 15 μm、面内方向分解能 42 μm 以下という結果を得ている。(図3, 文献 14)

フォトリフラクティブポリマーは、他のフォトリフラクティブ材料と比べ、安価で作製が容易であるという実用上大きなメリットをもっている。今後、近赤外領域でのさらなる高感度化をはじめ、材料の耐久性向上、低電圧動作などに向けた材料開発が行われることを期待したい。(藤村 隆史)



リアルタイム深さ分解イメージングの実験配置

SLD: broadband superluminescent diode, P: linear polarizer λ/4: quarter-wave plate, λ/2: half-wave plate, L: positive lens, O: object, CCD: charge-coupled device.

生体情報から生成した種を利用した安全な認証システム

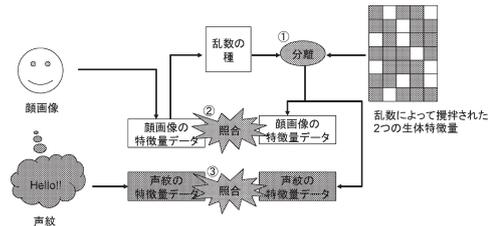
Secure Authentication System that Generates Seed from Biometric Information

[Y. Kim, J.-H. Ahn and H. Byun: Appl. Opt., 44, No. 5 (2005) 735-741]

現在の生体認証では、登録している生体情報が悪意の第三者に知られてしまうと容易に侵入されてしまうため、登録した生体情報の漏洩や偽造に対する対策が重要である。この論文では、登録生体情報を安全に保管する方法として、登録サーバーに複数の生体情報を攪拌（暗号化）して保存しておくことで、生体認証の安全性を高めるシステムを提案している。提案手法では、まずある1つの生体情報から乱数の種を生成し、一方で複数（ここでは2つ）の生体情報からそれぞれの特微量を抽出する。そして、先に生成した乱数に従って2つの特微量データを混合して並べ、登録生体情報として保存する。こうすると、正しい種を知っている者は登録データを正しく2つの生体情報に分離できるが、知らないものは登録データを分離できずに無意味なデータを得ることになる。また照合時には、乱数と2つの特微量の計3つの照合によって本人を確認するため、安全性の高い生体認証が可能になる（図）。この論文では、顔画像から乱数の種を生成し、顔画像と声紋から特微量を抽出して生体認証実験を行い、その結果十分な照合精度

が得られることを確認している。（図3、表7、文献10）

本論文では登録生体情報を安全に保管する手法について検討しているが、生体認証を普及させるためには、登録情報を安全に保管するだけでなく、登録情報の取り消し・交換までを行う技術の開発が求められている。（鈴木 裕之）



3つの照合が成功して、初めて本人と特定される

ナノインプリントリソグラフィーによるポリマーフォトリソグラフィの作製

Fabrication of Polymer Photonic Crystals Using Nanoimprint Lithography

[H. Schift, S. Park, B. Jung, C. Choi, C. Kee, S. Han, K. Yoon and J. Gobrecht: Nanotechnology, 16, No. 5 (2005) S261-S265]

近年、透明な誘電体層に波長オーダーの二次元周期パターンを形成することによって光伝播を制御できるフォトリソグラフィバンドギャップ (PBG) デバイスをローコストで作製する技術として、ナノインプリントリソグラフィー (NIL) が注目を浴びている。ここで、理想的な PBG デバイスは、高い屈折率差を必要とする。

本論文では、自由度の高い充填比（密度）とアスペクト比を実現するために電子ビームリソグラフィーと異方性エッチングを用いてスタンプを作製し、それを用いて屈折率の自由度が高いポリマー材料に転写し、金型の反転パターンを有する PBG デバイスを作製した。この技術の利点として、充填比は露光量を調節することでコントロールすることができ、アスペクト比はエッチング条件によってコントロールすることができる。また、著者らは、スタンプの厚みの不均一性の問題を解決する手段として、PBG 構造体と未構造体の間に中間エリアを設けることで、露光の際に生じる構造起因の応力を緩和した。そして、さらなる対策として、エッチング時の応力を解消するためにクロムの

中間層を設けた。また、もうひとつの問題点であるスタンプの剝離の際に生じる構造の歪曲や欠落を防ぐために、ポリマー材料のガラス転移温度のわずかに低い温度によって、複製の際の金型剝離を行っている。（図6、文献10）

NIL は、さまざまなナノ構造のデバイスをローコストに、ハイスループットで作製する技術として期待されている。しかし、量産技術の視点でこの技術を見た場合、大面積化や歩留まりなどの品質面でまだまだ課題が多い。今後の動向に注目したい。（松下 智彦）

ヘテロダイン並列スペクル計測を用いた動的散乱体の音響光学観察

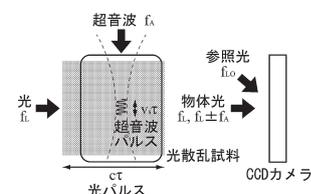
Pulsed Acousto-Optic Imaging in Dynamic Scattering Media with Heterodyne Parallel Speckle Detection

[A. Atlan, B. C. Forget, F. Ramaz, A. C. Boccara and M. Gross: Opt. Lett., 30, No. 11 (2005) 1360-1362]

近年、生体組織の深部をサブミリメートルの空間分解能で観察できる有力な手法のひとつとして、超音波変調を用いた光計測法の研究が活発に行われている。ここでは、ストロボ撮影法を用いたパルス超音波変調ヘテロダイン光計測法を提案し、ショットノイズレベルでの光計測を実現している。パルス幅 $v_s t$ 、周波数 f_A のパルス超音波が光散乱試料内部を伝搬している状態で、直交方向から時間 Δt 後にパルス幅 ct 、周波数 f_L の光パルスを照射する。 Δt を調整することで光散乱試料の観察位置を特定する。超音波と光とは光散乱試料を介して相互作用し、散乱試料から周波数 f_L および $f_L \pm f_A$ の光が透過する。これらの透過光と音響光学変調器で周波数シフトさせた光（周波数 $f_{L0} = f_L - f_A + f_c/n$ 、 n ：整数）とを適当な角度で二光束干渉させ、 n 通りの干渉パターン I_n を CCD カメラ（フレームレート f_c ）で撮影する。 $n=4$ の場合、パルス超音波変調された散乱パターン S は i を虚数単位として、 $S = (I_1 - I_3) + i(I_2 - I_4)$ で与えられる。 S を高速フーリエ変換し、そのパワースペクトル画像からヘテロダイン信号やショットノイズを

評価する。本手法を用いて、散乱係数 9.1 cm^{-1} の鶏肉内部に配置した色素物体の観察に成功している。（図6、文献14）

超音波変調による光散乱体の光計測法では、装置ノイズによる測定信号のゆらぎが大きな問題となっている。本手法は、技巧的な手法を導入しつつもショットノイズレベルでの計測法を実現している点で評価できる。計測時間の高速化や定量計測などさまざまな課題が残されているが、医用光学の有力な手法として今後の発展が期待される。（日坂 真樹）



パルス超音波変調によるヘテロダイン光計測原理