

### 誘導ラマン散乱を用いた生体組織の高速分子スペクトルイメージング

High-Speed Molecular Spectral Imaging of Tissue with Stimulated Raman Scattering

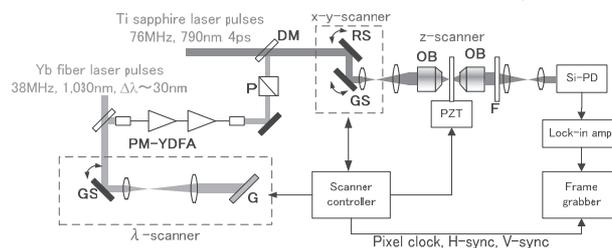
[Y. Ozeki, W. Umemura, Y. Otsuka, S. Satoh, H. Hashimoto, K. Sumimura, N. Nishizawa, K. Fukui and K. Itoh: Nat. Photonics, 6, No. 12 (2012) 845-851]

ラマン分光法は非染色の生体組織の分子識別手段として知られている。中でも誘導ラマン散乱 (SRS) は他のラマン分光法に比べ高感度であり、定量性に優れる点で注目されている。著者らは、高速波長掃引ファイバーレーザー光源に、独立成分分析の解析方法を組み合わせることで、高速に生体組織の特徴スペクトルを分離し、画像化する方法を実現した。実験系においては、光源の波長掃引の高速化を回折格子とガルバノスキャナー (GS) で実施し、CH 伸縮振動領域 (2800~3100  $\text{cm}^{-1}$ ) の信号を計測した。またレゾナントガルバノスキャナー (RS) と GS より走査されたレーザー光の強度変化を高速ロックインアンプにより検出し、1 波長につき 30.8 フレーム / 秒で画像を取得した (下図)。多変量解析の一種である独立成分分析においては、特徴スペクトルが正の値を取るよう計算アルゴリズムを修正し、91 次元のデータセットに対する分析を行った。本検討により、PMMA とポリスチレンの分離、ネズミの肝臓の特徴的な画像の抽出、肝臓線維の 3D 表示、麻酔で眠っているマウスの *in vivo* 計測の結果が、それ

ぞれ測定時間とともに紹介されている。(図 6, 動画 4, 文献 25)

成分分析に必要な複数波長のデータを高速で取得できる点が効果的である。被検体の構成物質が未知の場合にもその成分を特定できる初めての SRS 実験結果であるため、インパクトの大きい論文である。

(加藤 正磨)



実験系の構成

### マイクロ二次レンズアレイを用いた LED フラットパネルの照明均一性の向上

Improvement of Illumination Uniformity for LED Flat Panel Light by Using Micro-Secondary Lens Array

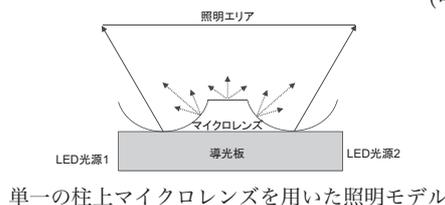
[H.-W. Lee and B.-S. Lin: Opt. Exp., 20, No. S6 (2012) A788-A798]

LED (light emitting diode) の光利用効率の向上に伴い、照明産業に多くの革新的な製品が生み出されてきている。LED フラットパネルもそのひとつであるが、狭い照明領域とホットスポットといった課題が存在する。それらは LED が配光をもった光源であり、等方性の照明が要求される室内照明には、完全にはフィットしないことを意味する。例えば、LED の配光は、光の発した方向により光の強さが異なる。著者らは、照明均一性を向上させるために、マイクロ二次レンズアレイを導光板表面の設計に適用した。マイクロ二次レンズアレイを柱上に形成することにより、LED の配光分布はコウモリの羽状の分布となり、それにより照明均一性の向上が実現された。著者らは、マイクロ二次レンズアレイを用いない従来方式に比べ、床表面で約 61%、壁表面で約 20.5% の照明均一性の向上をシミュレーションによ

り確認した。(図 17, 文献 6)

照明均一性を向上させるため、マイクロ二次レンズアレイを用いて、LED の配光分布をコウモリの羽状の分布に最適化する手法が面白い。平均的な照度は落ちてしまうが、穏やかな室内照明には好適と考える。

(中山 裕俊)



単一の柱上マイクロレンズを用いた照明モデル

### プラズモニック・スリットによる偏光の弱測定

Weak Measurement of Light Chirality with a Plasmonic Slit

[Y. Gorodetski, K. Y. Blikoh, B. Stein, C. Genet, N. Shitrit, V. Kleiner, E. Hasman and T. W. Ebbesen: Phys. Rev. Lett., 109, No. 1 (2012) 013901]

Aharanov らによって 1988 年に提唱された弱測定 (weak measurement) を利用した観測手法は、対象とする系の微小な物理量の測定に応用できることから、近年関心が高まり、光学をはじめとする分野で研究が進められている。

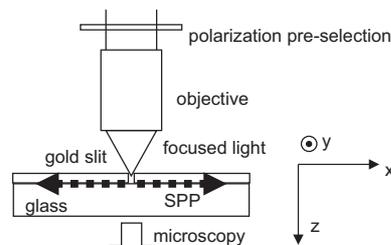
測定は、対象と相互作用するプローブの物理量を読み取ることによって行われる。弱測定では、対象とプローブの間の相互作用を弱くして測定による対象への影響を小さくし、また、始状態を特定の状態に準備 (pre-selection) し、かつ終状態として (始状態とほぼ直交する) 特定の状態のものを選択 (post-selection) することによって、対象とする系の物理量を増幅して観測できることが知られている。

本論文では、光の振幅分布をプローブとして、光の偏光状態を測定している。始状態として、振幅分布はガウス分布とし、偏光は y 方向の直線偏光から少しずれた状態を想定する。この入射光を、対物レンズによって y 軸に平行な金属スリットに集光することによって、伝搬光を SPP (surface plasmon polariton) に変換する。伝搬光から SPP への変換の過程で偏光状態と振幅分布の間の相互作用が働き、偏光情報が SPP の振幅分布に変換される。同時に、大部分を占める y 偏光成分はスリットと相互作用せずに透過するので、弱測定に不可欠な終状態

の選択が実現される。SPP の振幅分布は、下部の顕微鏡で観測する。

実際に実験を行い、入射光の偏光情報が SPP の強度ピーク位置に反映され、理論曲線とほぼ一致する測定値が得られることを示している。(図 3, 文献 26)

これまで、屈折面における偏光と振幅分布の相互作用を利用した弱測定の研究はあったが、本論文の手法は、金属スリットに通すだけという簡素な手法で、屈折相当の相互作用と終状態の選択を同時に実現していて興味深い。応用技術の発展が期待される。(奥平 陽介)



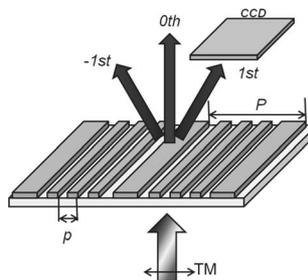
実験系の構成

## 二重周期金属ナノスリットアレイを用いた表面プラズモン共鳴型屈折率センサー

Surface Plasmon Resonance in Superperiodic Metal Nanoslits  
[H. Leong and J. Guo: Opt. Lett., 36, No. 24 (2011) 4764-4766]

近年、表面プラズモン共鳴 (SPR) を利用した高感度屈折率センサーの研究が盛んである。しかし、分光タイプの SPR センサーでは、共鳴ピーク波長を検出して解析するためには外部検出器として分光器が必要とされる。本論文は、外部分光器が不要な SPR 型屈折率センサーを提案し、実証実験を行っている。著者らは、図のような二重の周期をもつ金ナノスリットアレイ構造を提案した。光を垂直入射すると、短周期成分 ( $p = 420 \text{ nm}$ ) によって SPR が励起され、同時に長周期成分 ( $P = 2100 \text{ nm}$ ) によって回折光が生じる。回折光の角度分散を用いると、CCD 上に照射して回折光の強度分布を取り込めば、CCD ピクセル位置と回折光の波長との対応関係から、回折光の透過スペクトルが得られる。CCD で検出して求めた一次回折光の透過スペクトルのピーク波長と、0 次光を分光器で測定した SPR ピーク波長を比較したところ、両者はよく一致した。回折光の角度分散から分解能を計算すると  $0.7 \text{ nm}$  となった。また、メタノールとアセトンの屈折率測定結果から、従来と同程度の屈折率感度  $298 \text{ nm/RIU}$  が得られた。(図 5, 文献 20)

ナノスリットアレイを数周期ごとに 1 つ取り除いた簡単な構造を用いて、CCD 上で分光できるのは興味深い。なお、一次回折光は微弱なために、ピークの検出精度が懸念されたが、スペクトルを見る限りは 0 次光と同程度のノイズレベルであった。今後は、化学やバイオセンサーへの実用化が期待される。(水谷 彰夫)



提案する超周期金属  
ナノスリットアレイ

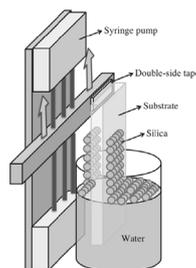
## ナノ粒子の自己組織化を利用した反射防止コーティング

Self-Assembled Nanoparticle Antiglare Coatings

[K. Askar, B. M. Phillips, X. Dou, J. Lopez, C. Smith, B. Jiang and P. Jiang: Opt. Lett., 37, No. 21 (2012) 4380-4382]

反射防止膜は、レンズなど光学部品の透過率向上のため、あるいはテレビやパソコン等の画面、自動車のフロントガラスなど、ガラス表面での反射により観察者側の風景がガラス表面に映りこんで見にくくなることを防止するために使われている。最近、ナノ粒子の自己組織化を用いることで、プロセスが単純で、かつ、比較的低コストで反射防止膜の作製が可能となる報告があった。本論文では、ガラス基板の両面に単層のシリカナノ粒子を形成することに成功した。直径  $110 \text{ nm}$  のシリカ粒子から成る単層コートにより、可視光領域の反射率が抑えられ、かつ透過率が約 5% 増加することを、実験および解析の両面から明らかにした。一方、直径  $210 \text{ nm}$  のシリカ粒子を用いた場合は、反射率の低減および透過率の増加は得られず、自己組織化された単層コートの光学特性はナノ粒子のサイズに大きく依存することが示唆された。(図 5, 文献 22)

反射防止膜を量産品に適用する際には、耐傷性、防汚性などさまざまな特性が要求される。本論文による反射防止膜の作製手法が、量産性向上に適したプロセスになることを期待したい。(高田 健治)



ナノ粒子の自己組織化  
プロセス

## 連続波ファイバーレーザーを用いたシリコン表面へのアブレーションによらないテクスチャー形成

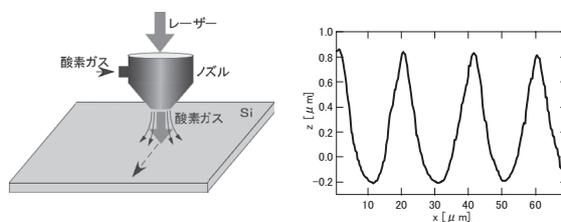
Non-Ablative Texturing of Silicon Surface with a Continuous Wave Fiber Laser

[H. Farrokhi, W. Zhou, H. Y. Zheng and Z. L. Li: Opt. Express, 20, No. 21 (2012) 23180-23185]

表面へのテクスチャー加工は、太陽電池などさまざまな用途で用いられる。レーザーを用いて Si 表面などにミクロンオーダー、サブミクロンオーダーのテクスチャーを形成する技術は、今までさまざまな提案がなされている。それらは、すべてアブレーションや溶融を伴うものであった。著者らは、Si 表面に酸素雰囲気下で連続波レーザーを照射することで、アブレーションを伴わずに凹凸が最大約  $1 \mu\text{m}$  のテクスチャーを形成することに成功した。実験では、波長  $1090 \text{ nm}$  の連続波ファイバーレーザー光を Si ウェハ表面に集光し、 $20 \mu\text{m}$  ピッチでウェハを移動しながら、それぞれの点で  $40 \text{ ms}$  の間レーザーを照射した。集光径は  $40 \mu\text{m}$  である。ノズルから酸素ガスを噴射して照射点を酸素雰囲気とし、レーザーパワーおよび酸素の圧力を変化させて実験を実施した。レーザーパワーが弱すぎると特徴のある形状は形成されず、レーザーパワーが強すぎると Si の溶融の影響が強くなりランダム形状の凹凸が形成された。適度なレーザーパワー条件 ( $19 \text{ W}$ ) では、酸素の圧力に依存した均一な高さの凸構造が形成された。EDX (energy dispersive X-ray spectroscopy) による分析結果から、凸構造は  $\text{SiO}_2$  であることが明らかとなった。著者らはレーザー

照射に起因する局所的な熱酸化によるものと推測している。凸構造の高さは、酸素圧力が  $0.25 \text{ bar}$  のときに  $850 \text{ nm}$ 、 $0.5 \text{ bar}$  では  $720 \text{ nm}$ 、 $0.75 \text{ bar}$  では  $660 \text{ nm}$  であった。圧力の増加に伴い、レーザー照射時の Si 表面での温度上昇がガス流によって抑制され、酸化速度が低下したためと推測している。(図 6, 文献 17)

レーザーを用いた新しい成形加工として興味深い。メカニズムの解明と形状制御性の向上および応用を期待する。(桂 智毅)



テクスチャー形成試験の構成およびテクスチャー形状