

気になる論文コーナー

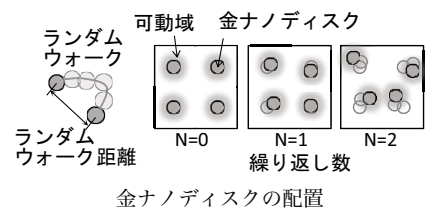
広帯域な光捕集のための周期的 / ランダムパターン金ナノディスクにおける表面プラズモン共鳴

Surface Plasmon Resonances in Periodic and Random Patterns of Gold Nano-Disks for Broadband Light Harvesting [Y. Nishijima, L. Rosa and S. Juodkazis: Opt. Exp., 20, No. 10 (2012) 11466-11477]

金属ナノ構造の表面プラズモンによる電場増強効果は、微量物質のセンシングや光トラッピングなどに広く応用されている。これらのナノ構造は、半導体加工技術や化学的な合成方法によって作製されていることが多く、基板への固着の位置制御が難しいため、ランダムな配置での共鳴吸収効果を利用することが多い。一方で電子線描画によって作製されたナノ構造は、形状や位置の制御が容易であり、規則的な配置での双極子同士の長距離相互作用による共鳴効果も期待できる。しかし、作製コストが高く、大面積な加工や大量生産を実現するには課題がある。著者は、金ナノディスクアレイの配置を周期的な初期状態から段階的にランダムな配置に変化させ、これらの共鳴吸収特性電や場増強効果について述べている。金ナノディスクアレイは、ランダムウォーク法によって乱数を発生させて配置を決定し、CADデータから電子線リソグラフィによってガラス基板上に作製している。ディスク直径、周期幅、ランダム度合いと共鳴吸収特性の関係を、実験とFDTD法による電場解析から検討している。その結果、比較的ランダムな配置であっても、ディスクの直径と周期幅の条件によって

は、構造単一の共鳴吸収に加えて、高次回折光が基板表面へ伝搬することで、ブロードな吸収特性が得られることを示した。(図8, 文献41)

シャープなプラズモン共鳴吸収特性を実現するための規則的な構造とその効果については、多く成果が報告されている。一方、比較的ランダムなナノ構造での共鳴吸収は、今後、広帯域での光の吸収と大面積な加工が求められる太陽電池などへの応用が期待される。(海老澤瑞枝)

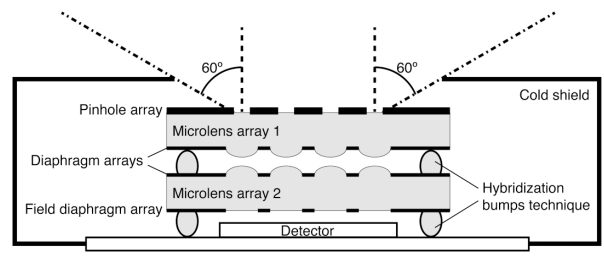


小型極低温赤外線ウェハーレベルカメラ：設計と実験的検証

Compact Infrared Cryogenic Wafer-Level Camera: Design and Experimental Validation [F. de la Barrière, G. Druart, N. Guérineau, G. Lasfargues, M. Fendler, N. Lhermet and J. Taboury: Appl. Opt., 51, No. 8 (2012) 1049-1060]

本論文では、中赤外冷却アレイセンサーにおける複眼画像入力装置TOMBOの原理に基づく小型で広い視野をもつ撮像システムの設計、実験的検証について示されている。まず、光学系とセンサーをウェハーレベルで統合するためのシステム設計指針について、広視野と短焦点距離、単眼の角解像度、複眼システムにおけるナイキスト周波数、画素の開口率、および最終画像の解像点数の観点から述べられている。さらに、これらの指針に基づくウェハーレベルカメラの設計におけるマイクロレンズアレイの製造や、それらをセンサー上に組み立てる上での技術的制約について検討している。設計、最適化された光学モジュールは半導体プロセスを利用して製造され、ハイブリダイゼーション技術によりセンサー上に配置される。サブピクセルシフトを利用した再構成手法により得られた再構成画像は、個眼像を線形補間により拡大した画像と比較して、解像度がよくなっていることを確認している。また、MTF (modulation transfer function)、等価雑音温度差についても評価しており、良好な結果が得られている。(図11, 表3, 文献32)

冷却装置内の制限された空間に組み込むために複眼光学系を採用しており、TOMBOの原理の応用としてみても合理的なシステム設計となっている。また、マイクロレンズアレイを1層、2層とした場合について検討するなど設計過程についても詳解されており、設計思想が理解しやすい。より高度な再構成処理を適用することで、高画質化が可能であると考えられる。(生源寺 類)



設計された極低温赤外線ウェハーレベルカメラ構成概略図

冷却装置内の制限された空間に組み込むために複眼光学系を採用し

ベイズ推定による改良版構造化照明顕微鏡

Bayesian Estimation for Optimized Structured Illumination Microscopy [F. Orieux, E. Sepulveda, V. Lorient, B. Dubertret and J.-C. Olivo-Marin: IEEE Trans. Image Process., 21, No. 2 (2012) 601-614]

構造化照明顕微鏡は、通常の顕微鏡の解像限界を超える解像度をもつ画像(超解像)を得る手法のひとつで、数方向の縞状の照明によって変調された複数の蛍光画像を元に、計算によって超解像を得る手法である。物体をある形状の照明で励起し、その蛍光を光学系で結像したときに、どのような像が得られるかは、結像公式によって与えられるが、超解像を求める計算はちょうどその逆で、像から物体を求める問題を解くことに相当する。本論文では、この逆問題をベイズ推定によって解いている。通常のベイズ推定の手順通り、妥当な事前確率分布やノイズモデルなどを与え、事後確率分布に基づいて推定を行う。本論文では、事後確率分布による期待値を推定値とするアルゴリズムを採用している。期待値の計算は膨大な次元の積分になるので、直接解くのではなく、MCMC (Markov chain Monte-Carlo) とよばれる方

法によって行っている。また、従来は3方向の照明縞で、各3位相ずつ、合計9画像から超解像を復元していたが、本論文の手法では、3方向各1位相に一樣照明の通常画像1つを加えた合計4画像で復元を行える。従来は各方向独立に行っていた計算が、3方向の情報を同時に活用できる計算になったことで、入力冗長性を減らすことができたのである。(図19, 文献40)

超解像に必要な画像枚数が減ったことで、超解像のフレームレートが向上するため、ライブセル観察等、高速・高解像度での観察が必要なきさまざまな用途での活用が期待できる。ただし、ベイズ推定のための反復計算を要するため、現状では1フレームを復元するためにかなりの計算量が必要とみられ、即時性の確保が課題と考えられる。(奥平 陽介)

アークプラズマ法により作製した酸化亜鉛微結晶が示す非線形光学応答特性

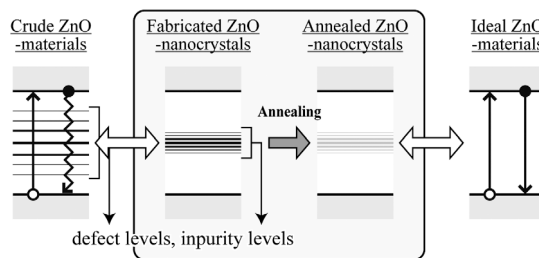
Optimization of Nonlinear Optical Properties of ZnO Micro and Nanocrystals for Biophotonics

[B. E. Urban, J. Lin, O. Kumar, K. Senthilkumar, Y. Fujita and A. Neogi: Opt. Mater. Express, 1 (2011) 658–669]

酸化亜鉛 (ZnO) は紫外光領域に吸収帯域をもつ酸化物半導体であり、粒子が細かい上に毒性がなく、高純度において透明かつ導電性をもつといった特徴から、化粧品や医薬品、または電子部品の材料などとして広く活用されている。光学的には、その高い励起子束縛エネルギーや直接遷移型のバンドギャップ構造に起因して室温で発光可能な材料として知られているものの、欠陥や不純物を含みやすい結晶構造が災いして、その光学応答の詳細についてはいまだ明らかにされていない。本論文では、アークプラズマ法と熱アニールにより結晶構造が整った高品質の ZnO 微結晶を作製し、第二高調波発生 (SHG) と二光子発光 (TPE) といった非線形光学応答の検証について行った各種実験の結果について報告している。実験では作製条件の異なる複数の試料を用い、光学的・電子的側面から多様な解析を行っており、各分析結果の比較から明快な光学応答特性を示すのに必要な結晶・組成条件について議論している。(図 11, 表 1, 文献 22)

これまで、光学材料としては積極的に活用されてこなかった ZnO の現状に際し、独自の作製手法に基づきその光学応答特性を明

確にし、実用に足る性能を実証した点は意義深いものである。得られた性能の再現性を保証できる作製手法の確立についてはさらなる検証が望まれるものの、今後その特徴的な光学応答特性を生かした機能性光デバイスの実現も十分に期待される。(堅直也)



アークプラズマ法と熱アニールによる ZnO 微結晶の光学特性の改善

インコヒーレント光を用いて不透明媒質の裏側をリアルタイムに観測する

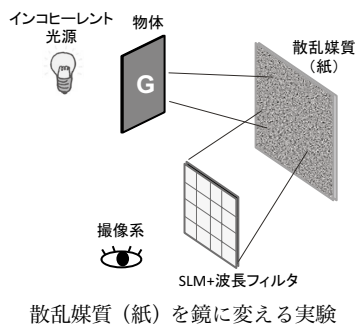
Looking Around Corners and through Thin Turbid Layers in Real Time with Scattered Incoherent Light

[O. Katz, E. Small and Y. Silberberg: Nat. Photonics, 6 (2012) 549–553]

著者らは、インコヒーレント光源と液晶空間光変調器 (SLM: spatial light modulator) による波面整形技術を用いることで、不透明媒質の裏側をリアルタイムに観測することに成功した。SLM を用いた不透明媒質中のイメージング技術は近年注目を集めており、回折限界以下の集光や時間領域でのパルス圧縮など、さまざまな興味深い機能が実験的に報告されている。これらの先行研究に対して、本報告では、空間的・時間的インコヒーレント光源を用いたこと、および、最初に一度最適化測定を行った後はリアルタイムに観測ができること、という 2 点において新規性がある。実験では、タングステンハロゲンランプを光源として、4800 (80×60) 画素の SLM を用いることで、散乱媒質の裏側にある像のリアルタイムイメージングを実証している。さらには、散乱媒質 (実験では白い紙) からの後方散乱光を用いることで、「紙を鏡に変える」実験にも成功している。(図 3, 文献 34)

原理自体は従来から提案されているものの延長であり目新しくないが、インコヒーレント光を用いるなど、実用を意識した実験であるこ

とが興味深い。天文観測やバイオセンシングなど幅広い応用が期待される反面、最初の最適化測定をどのように行うか、実用化に向けた課題が予想される。(種村 拓夫)



金ナノロッドおよびクラスターの光トラッピングと溶融における光電場干渉効果

Role of Interfering Optical Fields in the Trapping and Melting of Gold Nanorods and Related Clusters

[H. D. Deng, G. C. Li, Q. F. Dai, M. Ouyang, S. Lan, A. V. Gopal, V. A. Trofimov and T. M. Lysak: Opt. Express, 20, No. 10 (2012) 10963–10970]

金ナノ粒子は、表面プラズモン共鳴 (LSPR) を利用した表面増強ラマン散乱、バイオイメージング、バイオセンシングなどへの応用に期待されている。特に、棒状の金ナノ粒子である金ナノロッドは、長軸方向の LSPR が強く、共鳴波長をコントロールすることができるため、ナノ加工や化学合成技術の分野でも注目されている。本論文では、微粒子のコロイド溶液にレーザー光を集光することにより焦点付近に微粒子が集まるレーザートラッピング技術を金ナノロッドに応用し、1本のレーザー光でトラッピングと引き続き起こる熱溶融により、金ナノロッドが特異な形状でトラッピングされる現象を見いだしている。

チタンサファイアレーザー (波長 800 nm, パルス幅 130 fs, 繰り返し 76 MHz) を対物レンズ (×100, NA 1.43) で集光し、金ナノロッド粒子の LSPR と共鳴する波長域でレーザートラッピングを行い、金ナノロッドが発する二光子蛍光 (TPL) を計測している。また、レーザートラッピング後、基板に付着した金ナノロッドおよびそのクラス

ターの SEM 像観察も行っている。市販の金ナノロッドコロイド水溶液を 50 μm 離れた 2 枚のスライドガラス (一方は導電性ガラス) にはさんだサンプルを用いている。

その結果、レーザー照射後、数十秒で金ナノロッドが集光位置に集まり、TPL が観測された。その後、集合した中心部の TPL が暗くなり、レーザーによる熱溶融が起きている結果が得られた。さらに時間が経つと、同心円状に金ナノロッドのクラスターが光トラッピングされ、しかも 1 つの軌道に複数のクラスターがほぼ等間隔にトラップされる現象が見いだされた。これは、入射光と中心部の溶融した粒子の散乱光との干渉によるものであり、サンプルの厚さ等に依存すると考察されていた。(図 6, 文献 33)

本論文は、1本のレーザー光で金ナノロッド粒子を光トラッピングし、光溶融することで特異な集合状態を形成させており、ナノフォトニック機能性材料やデバイス加工への応用が期待される。

(鈴木 基嗣)