

気になる論文コーナー

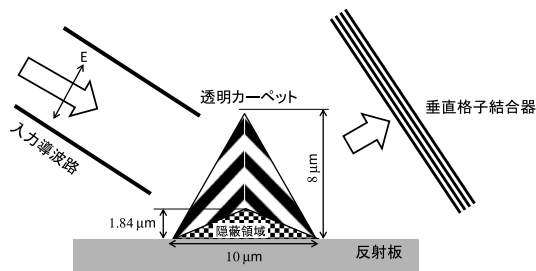
格子構造を用いた均質な透明カーペット

Homogeneous Optical Cloak Constructed with Uniform Layered Structures

[J. Zhang, L. Liu, Y. Luo, S. Zhang and N. A. Mortensen: Opt. Exp., 19, No. 9 (2011) 8625-8631]

メタマテリアルは、完全レンズや透明マントが実現できることから注目されている。本論文は、透明マントの一種である透明カーペットとよばれる隠蔽技術を実現するものである。このカーペットの下に隠蔽物体を配置すれば、入射光は単なる平面反射と同様の挙動を示し、外部から検出できない。提案素子は、以前のものと比べて作製が容易で、隠蔽領域がカーペットと比べて大きく、動作波長範囲が広いことが特長である。変換光学を用いた設計によると、透明カーペットを実現するには、透磁率が1かつ誘電率が正でもよく、異方性媒質であればよいことがわかる。この異方性媒質を構造的複屈折で実現するために、SOI (silicon on insulator) 基板上のシリコン層に電子線描画とドライエッチングで作製した周期 140 nm、占有比 0.5 の格子を図のように三角形状に配置した。実験では隠蔽物の代わりに金を反射板として埋め込んでいる。カーペットからの反射光を、垂直格子結合器により基板上方へ回折させ、赤外カメラで観察する。波長 1480~1580 nm までの電場がシリコン層に平行な偏光が、単なる平面に入射した場合と同じ位置に反射されることが確認された。(図5、文献26)

本論文は、メタマテリアルの分野で発展した変換光学を用いることで素子作製を容易にした応用例であり、今後は隠蔽技術以外の分野への発展も期待される。(水谷 彰夫)



透明カーペットの模式図

チップ上での表面プラズモンピンセット

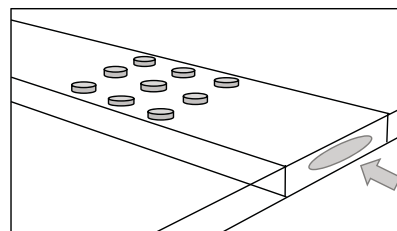
On-a-Chip Surface Plasmon Tweezers

[H. M. K. Wong, M. Righini, J. C. Gates, P. G. R. Smith, V. Pruneri and R. Quidant : Appl. Phys. Lett., 99 (2011) 061107]

表面プラズモンを用いた光ピンセットは、微小物質の固定に有用な手段として、近年研究が進められている。表面プラズモンは自由空間を伝搬する光とは直接結合しないので、プリズムカップラーが用いられることが多いが、プリズムの大きさのために、小型化、集積化が進んでいなかった。著者らは、誘電体導波路の表面にディスク状の金パッドを複数配列し、導波路の導波モードと金パッド上の表面プラズモンを結合させることで、チップ上に集積化した表面プラズモンピンセットを作製した。金パッドの直径は5μmで、GeがドーパされたSiO₂導波路の上に15μm間隔で三角格子状に配列されている。金パッドが配置された面の上にポリスチレンビーズの懸濁液を流しながら、波長633nm、出力20mWのレーザー光を導波路に入射させたところ、各パッドでポリスチレンビーズの捕捉が観察できた。捕捉強度は17fN/μmで、プリズムカップラーを用いたときの3分の2程度の大きさであった。(図4、表1、文献19)

光ピンセットの小型化、集積化により、他センサーとの組み合わせが容易になると考える。今後、他のデバイスとの複合化により、1枚のチップ上で捕捉、分析まで行えるデバイスの開発に期待したい。

(田中 優紀)



表面プラズモンピンセット光学系の概念図

光でパターンニングした液晶デバイスによる高耐光強度の静的レーザービーム形状変換素子

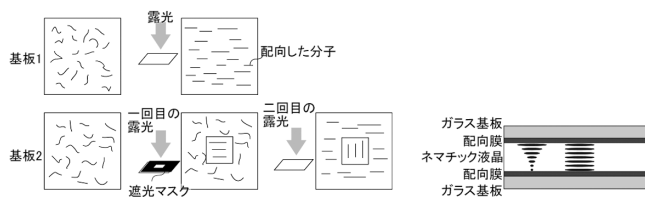
High-Damage-Threshold Static Laser Beam Shaping Using Optically Patterned Liquid-Crystal Devices

[C. Dorrer, S. K.-H. Wei, P. Leung, M. Vargas, K. Wegman, J. Boule, Z. Zhao, K. L. Marshall and S. H. Chen: Opt. Lett., 36, No. 20 (2011) 4035-4037]

レーザービーム形状変換素子は、レーザー加工、高出力レーザー増幅などに用いられる。これらの用途では耐光強度が重視される。著者らは、ネマチック液晶の配向を応用して、ナノ秒レーザーに対して30J/cm²以上という実用に十分な耐光強度をもつビーム形状変換素子を作製した。素子の作製方法を以下に示す。まず、ガラス基板2枚に、偏光によって配向可能なクマリン薄膜を形成する。1枚の基板に対しては直線偏光UVランプを全面に露光することで一方向の配向をもたせ、もう1枚の基板は遮光マスクを使用し、基板を90度回転させて2回露光することで、空間的に配向をパターンニングした。2枚の基板間にスペーサーを設置し、ネマチック液晶を注入して素子を形成した。得られた素子の633nm、1053nmでの透過率は、設計値との誤差が最大14%であり、幅広い波長で使用できることを示した。この誤差は、あらかじめマスク形状を補正することで改善できる。マスク形状補正により、設計値からの誤差3%程度の鞍型レーザービーム形状への変換を実証した。(図4、文献13)

本報告では配向の角度は90度であったが、配向の角度を細かく制御することで、回折効率を向上できる。また、一般的なガラス基板をドライエッチングした素子と比較して、工程が単純であり、大面積の素子を製造可能である。今後、加工用途などへの展開を期待する。

(桂 智毅)



ビーム形状変換素子の製造工程と断面構造

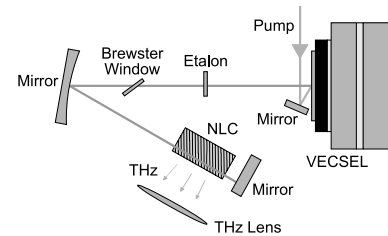
室温ミリワット級連続テラヘルツ波源

Room Temperature Continuous Wave Milliwatt Terahertz Source

[M. Scheller, J. M. Yarborough, J. V. Moloney, M. Fallahi, M. Koch and S. W. Koch: Opt. Express, 18, No. 26 (2010) 27112-27117]

わずかに周波数の異なる2つのレーザー光を非線形光学結晶に入射させると、その差分周波数のテラヘルツ波を発生できる。本論文では、垂直外部共振器型面発光レーザー(VECSEL)を2波長発振させ、共振器内に設置した非線形結晶から高出力連続テラヘルツ波を発生させることを試みた。1030 nm 帯 VECSEL チップを 808 nm 帯半導体レーザー(大出力 50 W)で励起し共振器内にエタロンを挿入することで、周波数差が 1.9 THz となる二波長発振を得た。非線形結晶として、発生したテラヘルツ波が結晶側面から光軸に対して垂直に出射するよう、傾斜角 67°, 周期 29 μm で分極反転グレーティングを形成した 5% MgO ドープ LiNbO_3 結晶(長さ 10 mm)を用いた。発生したテラヘルツ波はポリエチレン製シリンドリカルレンズでコリメートし、球面レンズでゴーレイセルに集束させてテラヘルツ波出力パワーを測定した。共振器内のレーザー光パワーを増加させるにつれてテラヘルツ波パワーは二次関数的に増加し、レーザー光パワー 500 W のとき 2 mW を超えるパワーを達成した。また厚さの異なるエタロンと分極反転周期 58 μm の非線形結晶を用い、周波数 1 THz, 出力パワー 0.5 mW のテラヘルツ波発生にも成功した。(図 5, 文献 19)

本論文では、共振器内に挿入するエタロンを変更することで、広い範囲でテラヘルツ波周波数を調整できることを実証した。非線形結晶側面でテラヘルツ波の大きな反射損失が生じており、側面に無反射コーティングを施すことにより、出力パワーの大幅な増加が期待できる。(上向井正裕)



高出力連続テラヘルツ波源のセットアップ

単一移動群を有する光学ズームレンズの小型化を目指したハイブリッドイメージングの実証

Experimental Demonstration of Hybrid Imaging for Miniaturization of an Optical Zoom Lens with a Single Moving Element

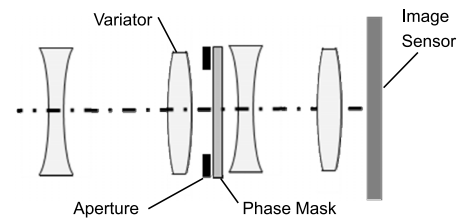
[M. Demenikov, E. Findlay and A. R. Harvey: Opt. Lett., 36, No. 6 (2011) 969-971]

近年、位相変調マスクとデコンボリューション処理を組み合わせた深度拡大技術の開発が進められている。著者は、深度拡大技術をズームレンズ光学系に適用することにより、ズームレンズ光学系における移動群数を減らすことを試みている。ズームレンズ光学系では、変倍群と、変倍群の移動による像面シフトを補正する群の、少なくとも2つの移動群が必要である。本論文では、ズームレンズ光学系の絞り位置近傍に三次関数で表現される位相変調マスクを配置して、ズームレンズ光学系の焦点深度を拡大する。各ズームポジションにおける光軸上での点像分布関数を用いて、撮影画像に対して画像回復処理を行うことにより、移動群が1つの構成でのズームが可能であることを確認した。同時に、位相変調に用いる関数の係数を適切に選択することにより、画像回復時のノイズを減らすことができることを示した。(図 4, 表 1, 文献 9)

焦点深度拡大技術を応用することにより、近軸理論上は原理的に困難である、単一移動群でのズームレンズを実現している点が興味深

い。画像回復処理時に各ズームポジションに応じて異なる点像分布関数データを用いる必要がある点や、画像回復処理後の像性能等、実用化に向けての課題はあるが、移動群数の削減は小型ズームレンズのコスト低減につながると考えられ、今後の動向に注目したい。

(生野 恵子)



深度拡大用の位相マスクを適用したズームレンズ光学系の概念図

自己組織化による反射防止構造を有する紫外線対応レンズの透過率の改善

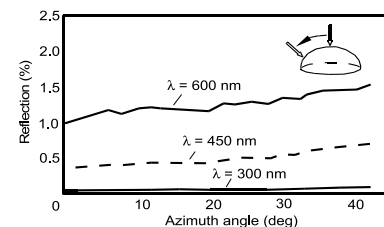
Transmission Enhanced Optical Lenses with Self-Organized Antireflective Subwavelength Structures for the UV Range

[M. Schulze, D. Lehr, M. Helgert, E.-B. Kley and A. Tünnermann: Opt. Lett., 36, No. 19 (2011) 3924-3926]

格子の周期が使用波長よりも短いサブ波長格子の開発が活発に行われている。特に、モスアイ構造とよばれる円錐状の格子構造は、広い波長帯域にわたって反射防止の機能を実現することが可能である。近年では産業界を中心に、レンズなどの曲面上へモスアイ構造を製作する試みも行われている。著者は、単一プロセスで大面積の反射防止構造(antireflection structure; ARS)が製作できる自己組織化の手法を用いて、曲面上にARSが付加された紫外線(UV)対応レンズの製作を行っている。UVレンズは有効径 25 mm, 焦点距離 38 mm のシリカガラスの平凸レンズであり、波長 300 nm から 400 nm の帯域で反射率が最小となるようにレンズ曲面上にARSを製作した。ARSの製作には誘導結合(inductively coupled plasma; ICP)方式のドライエッチング装置を用いた。フッ素混合ガスによる10分間のエッチングの際に生じるナノ構造をマスクとした自己組織化のプロセスを通して、基板上にランダムなARSが形成された。製作されたUVレンズを光学評価したところ、光軸からの方角 42° までの反射率は波長 300 nm で

0.1%以下となり、反射防止の効果がレンズ面の広い範囲にわたって有効に機能していることが報告された。(図 6, 文献 10)

曲面上へのARSの製作においては、低コストでの大面積加工技術の開発が不可欠である。自己組織化は有効な加工技術のひとつと考えられ、今後の進展を期待したい。(岡野 正登)



UVレンズ上の各地点における反射率の推移