

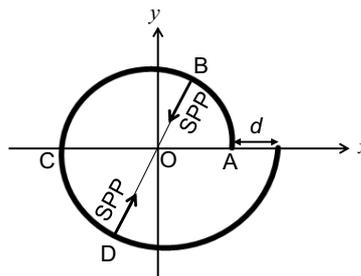
直線偏光照明におけるプラズモニック螺旋レンズによる集光

Plasmonic Focusing in Spiral Nanostructures under Linearly Polarized Illumination
[J. Li, C. Yang, H. Zhao, F. Lin and X. Zhu: Opt. Express, 22, No. 14 (2014) 16686-16693]

表面プラズモン共鳴は、電場増強効果と回折限界を超える集光機能をもつことから、超解像イメージングなどへの応用が期待されている。しかし、金属膜に同心円状の溝を設けた従来のプラズモニックレンズでは、直線偏光入射に対して弱め合う干渉効果のため、構造中心において単一の集光点を得ることができなかった。そこで著者は、アルキメデスの螺旋とよばれる半径が偏角に比例する溝構造 (図) に着目した。この構造は一種の円偏光板として機能することが実証されていたが、著者は任意の直線偏光に対して単一集光点を得ることが可能であることを確かめた。具体的には、距離 d をプラズモン波長と等しく設計することで、AとCあるいはBとDなどの相対する点から中心Oへの距離の差が常にプラズモン波長の半分となり位相が π シフトし、その結果中心で強め合うため単一集光点を得ることができる。波長 671 nm の直線偏光を垂直入射したときのプラズモン波長は 640 nm であり、最も内側の半径を 1280 nm、巻き数 3 とし、石英基板上の 200 nm 厚の金薄膜に集束イオンビーム加工を用いて 200 nm 幅の溝を作製した。直線偏光の方向にかかわらず、近接場顕微鏡による観測結果から、集光点の半値幅は約 250 nm であった。(図 7, 文献 26)

直線偏光は右円偏光と左円偏光の合成で表現できるので、螺旋状の

溝へ入射したときに任意の直線偏光で集光できる結果は予想できるが、実証しているのが興味深い。また、従来の同心円状の溝に対するラジアル偏光のようにレンズとビームの中心の位置合わせが不要なことから、応用範囲の広がりが期待できる。(水谷 彰夫)



右手系プラズモニック螺旋レンズー巻き分の模式図 (SPP: surface plasmon polariton)

局在プラズモンによる MSM フォトディテクターのスペクトル応答変調

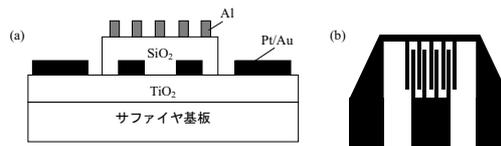
Spectral Response Modification of TiO₂ MSM Photodetector with an LSPR Filter
[D. Çalışkan, B. Büttün, Ş. Özcan and E. Özbay: Opt. Express, 22, No. 12 (2014) 14096-14100]

有機材料によるカラーフィルターをプラズモンフィルターで置き換える技術開発がすすめられている中で、本論文では、局在プラズモンにより UV 領域でも応答変調できることを示している。吸収層 TiO₂ (25 nm) と Pt/Au による櫛形電極からなる MSM フォトディテクターに対して、スペーサー層として SiO₂ (360 nm) を成膜し、その上にプラズモン励起層である Al の円柱の粒子 (高さ 50 nm) を正方格子で周期的に並べた。FDTD シミュレーションによりパラメーターを振って計算すると、周期・径ともに小さくなるほど共鳴波長は短くなり、150 nm 周期で径を大きくすると、隣の粒子との結合が起きるため共鳴ピークの幅が広がった。これらの結果から、UVB 領域 (315~280 nm) をカットし、UVC 領域 (280 nm 未満) を通すフィルターとするために、周期を 180 nm、径を 70 nm としている。この設計値で作製したデバイスは、Al 粒子がない場合に比べ、UVB 領域の応答を 60%

抑え、結果的に応答ピークを UVC 側に 40 nm シフトさせている。(図 4, 文献 10)

通常とは逆の発想で、検出不要な波長域を局在プラズモンによる吸収により透過させないようにしている。短波長領域のフィルタリング技術として期待が高いだけに、さらに深い議論が望まれる。

(北澤田 鶴子)



MSM フォトディテクターの断面図 (a) と、櫛形電極の上面図 (b)

フルカラー自然光ホログラフィックカメラ

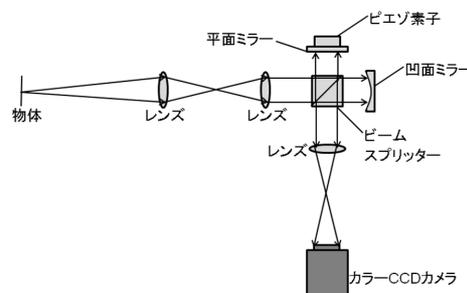
Full Color Natural Light Holographic Camera
[M. K. Kim: Opt. Express, 21, No. 8 (2013) 9636-9642]

ホログラム像の記録には、レーザーのようなコヒーレント光源を必要とするため、適用先に制限があった。しかし、近年、自然光のようなインコヒーレント光を用いたホログラム記録が研究されている。著者は、ビームスプリッターと曲率半径の異なる 2 枚のミラーからなる自己干渉部、複数枚のレンズ、カラー CCD カメラで構成されたフルカラー自然光ホログラフィックカメラを提案、試作した。まず、自然光下でレンズから像を取り込み、ビームスプリッターで 2 つの光路に分割する。一方はピエゾ素子上の平面ミラーで、他方は凹面ミラーで反射して、2 つの反射光を CCD カメラ上で重ねることで、フレネル帯のような同心円状の縞模様を記録できる。また、RGB の波長に合わせて駆動量を最適化したピエゾ素子を用いて、2 つの光路間の位相差を変えながら複数枚の画像を取得し、位相シフト法を適用することでインコヒーレント光下でもノイズの少ないフルカラー像を再生できる。また、野外の景色を実際に撮影し、焦点位置を 0~100 mm まで変更可能なフルカラー三次元像の取得に成功した。(図 5, 文献 28)

レーザー等のコヒーレント光源を使用せず、自然光下でホログラム

像を記録できる手法は非常に興味深い。今後、可視光以外の波長帯への応用や、小型で高解像度な三次元カメラの実現を期待する。

(多久島 秀)



フルカラー自然光ホログラフィックカメラの概略図

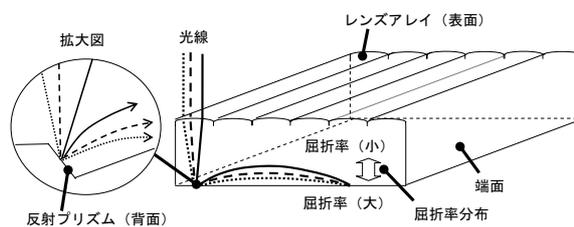
屈折率分布型の平面導光板を用いた一軸追尾の集光器

GRIN Planar Waveguide Concentrator Used with a Single Axis Tracker
[S. Bouchard and S. Thibault: Opt. Express, 22, No. S2 (2014) A248-A258]

集光型太陽電池は、集光器を用いて発電量を落とさずに太陽電池セルのサイズを小さくできる。これはコストの低減に有効である。本論文では、薄型化可能なレンズアレイと導光板を組み合わせた集光器の光利用効率向上について報告された。この方式は、導光板の背面に反射プリズム、端面に太陽電池セルを有し、光はレンズアレイで集光、プリズムで反射、導光板中を全反射により端面まで導かれる。しかし、導波する光の一部は、反射プリズムに当たり、導光板外部へと漏れるため、光利用効率の向上が課題となる。本論文では、導光板内部に屈折率分布を与え、屈折による導光距離を長くすることにより、端面までの導光に必要な全反射回数を低減した。その結果、反射プリズムに当たる回数が減少し、光の漏れを低減できた。また、導光板表面での全反射がないため、レンズアレイと導光板の表面に空気層を設けなくてよく、入射時のフレネル反射損失も削減できた。本集光器を樹脂で作製した結果、光利用効率は従来よりも33%向上した。

屈折率分布型の導光板は、光利用効率の向上とコンパクト化を実現

でき、今後の応用展開が興味深い。集光型太陽電池において光利用効率は重要な性能指標であり、それを向上できる本集光器の実用化が期待される。(大野 博司)



屈折率分布型の集光器の模式図

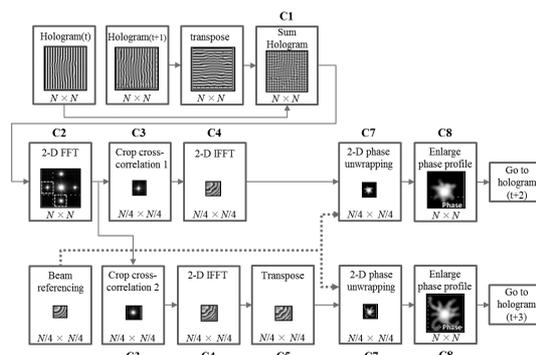
多重化を利用したオフアキスデジタルホログラフィーにおけるリアルタイム定量位相再構成

Real-time Quantitative Phase Reconstruction in Off-Axis Digital Holography Using Multiplexing
[P. Girshovitz and N. T. Shaked: Opt. Lett., 39, No. 8 (2014) 2262-2265]

本論文で提案する多重ホログラムを利用した再構成アルゴリズムを図に示す。まず、時間 t のホログラムと時間 $t+1$ のホログラムを90°回転させたものを加算し(C1)、それを二次元高速フーリエ変換する(C2)。次に、垂直と水平の相互相関項2つを $N/4 \times N/4$ ピクセルで抽出し(C3)、従来行われているゼロパディング処理を行わずに、それぞれを逆高速フーリエ変換する(C4)。垂直相互相関項から得た複素振幅分布を90°回転させる(C5)。実験前に取得した、取差などが付加されている参照光を計算し、位相プロファイルを補正する(C6)。最後に位相をアンラップし(C7)、位相分布を $N \times N$ ピクセルに拡大する(C8)。テストターゲットの測定により、ゼロパディング処理を行わない本提案手法でも分解能低下がきわめて小さいことを実証した。また、多重ホログラムを利用した提案アルゴリズムのフレームレートは、 1024×1024 ピクセルのホログラム処理においてゼロパディングのある従来型アルゴリズムと比べて16倍、ゼロパディングのないアルゴリズムと比べて1.25倍となった。(図6、文献8)

ゼロパディングなしによる計算速度の向上は大きく、多重化による速度差は1.3倍程度であるが、直交する2軸に2つのホログラムを多重

化する方法によるシンプルな高速化は、実用上高い有効性をもつと考えられる。(渡邊恵理子)



多重ホログラムを利用した位相再構成アルゴリズム

ゲルマニウムを用いたシリコン基板上での光インターコネク

Integrated Germanium Optical Interconnects on Silicon Substrates

[P. Chaisakul, D. Marris-Morini, J. Frigerio, D. Christina, M.-S. Rouified, S. Cecchi, P. Crozat, G. Isella and L. Vivien: Nat. Photonics, 8, No. 6 (2014) 482-488]

CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) 電子回路の配線における電力消費、遅延を解消する目的で、光配線と CMOS 電子回路の一体集積が盛んに研究されている。これらの研究の多くは、厚さ $1 \mu\text{m}$ 以上の BOX (buried oxide) 層と厚さ 200 nm 以上の Si 層をもつ SOI (silicon on insulator) 基板が使われている。しかし、今日の Si CMOS 集積回路ではこのような構造の SOI 基板は使われておらず、それらの 90% はバルク Si 基板上に製造されている。バルク Si 基板にこれらの光配線が実現できれば製造プロセスのフロントエンドにおける大幅な変更が不要となるため、光配線の適用範囲をさらに拡大できる。本論文では、バルク Si 基板上で低電圧・広帯域動作が可能な光配線を実現できる新たなモノリシック集積手法を提案し、その原理検証を報告している。具体的には $\text{Si}_{0.16}\text{Ge}_{0.84}$ を Si 基板にエピタキシャル成長させることでリッジ導波路 (幅 $2 \mu\text{m}$, 高さ $1.5 \mu\text{m}$, エッチング深

さ $1 \mu\text{m}$, 波長 1440 nm での伝搬損失 2 dB/cm) を作製し、さらにも上に Ge/SiGe の多重量子井戸を成長させて p-i-n ダイオードを作製し、それを受光器 (応答度 $0.3 \sim 0.6 \text{ A/W}$, 暗電流 nA オーダー, 3 dB 帯域 6.3 GHz) と変調器 (消光比 4 dB , 損失 3 dB , 動作波長帯域 20 nm , 3 dB 帯域 4 GHz) として使用している。これらの結晶成長プロセスはすべて 450°C 未満の温度で、CMOS プロセスのバックエンドでも適用可能である。(図5、文献45)

提案された集積デバイスを使った信号伝送が評価されていない点が残念で、実際にどの程度高速な信号を伝送できるのかという点がこのプラットフォームを評価する上で重要と考える。バルク Si 基板上に作製可能というのは、これまでの Si フォトニクスにない大きな特徴である。(鈴木恵治郎)