

広視野 THz レンズを積層造形で作製

テラヘルツ放射を使うイメージング用屈折レンズは、テフロン、金属板のスタックあるいは紙でも造ることができる。さらに、メタマテリアルオプティクスがテラヘルツイメージング用に開発されつつある(理由のひとつは、テラヘルツ放射の長波長のために、メタマテリアルオプティクスは、例えば赤外領域、可視光スペクトル領域よりもテラヘルツによる実験の方が遥かに簡単であることだ)。

その構造がレンズ内の位置関数として変化に富んでいる時、メタマテリアルは屈折率分布型 (GRIN) レンズのベースとしての役割を果たす。テラヘルツメタマテリアルは、サイズが100 μm オーダーの単位セルサイズとなるので、精密に製造することは比較的容易である。したがって、非常に興味深いタイプのGRINレンズを造ることができる。例えば、リューネブルクレンズはよく知られたGRINレンズ設計である。これは球形状となり、リューネブルクレンズ表面と一致する画像表面に、無限結合体として被写体を収差なく映し出すことができる。リューネブルクレンズそのものは球対称であるので、レンズは360°の視野を持つ(ただし、イメージング検出面の制約により、視野はそれ以下になる)。

リューネブルクレンズの1つの大きな欠点は、その球対称に起因するものである。画像表面自体は球であり、テラヘルツイメージャを含め、通常のイメージャではそのレンズは使いにくい。その設計を出発点として、米ノースウエスタン大と米オクラホマ州立大の研究者は、フラットな画像面を可能にしながらリューネブルクレンズの広い視

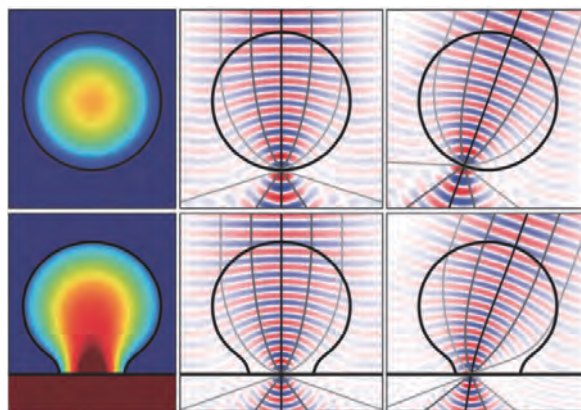


図1 リューネブルクレンズは球対称で、屈折率は中心で最高になる(上段左:色違いで示されている)。レンズは、1方向からの平面波入射をレンズの反対側に映し出し、結果的に球状の結像面となる(上段中央と右)。修正版は、屈折率分布が球対称にならないように変更されている(下段左)。結果は、フラットな結像面となっている(下段中央と右)。

野を保つ非球対称テラヘルツレンズを開発した(図1)⁽¹⁾。レンズは、マイクロ光造形法(P μ SL)と言う積層造形技術を用いてポリマで造られている。

0.4 ~ 0.6THzで優れたイメージング

形状的には、レンズは下部を切断した電球に似ており、フラットな底面が結像面になる。計算により球状の結像面をフラットにするリューネブルクレンズの疑似等角写像が得られた。変形の限界は、最大角イメージング範囲 $\pm 41.4^\circ$ 。レンズ内の屈折率は、位置の関数として0.451 ~ 1.719の範囲で変化する(メタマテリアルの屈折率は1以下になり得る、場合によっては0以下も可能)。

P μ SLシステムは、マスクにプログラマブルLCoSディスプレイチップを使用しており、ピクセルサイズは製造面で約7 \times 7 μm 、製造面積は約1 \times 0.75cm²だった。垂直ステップ精度は、米エアロテック社製ステージを使用して0.5 μm 。各82.5 μm ユニットセルの屈折率は、セル内の空気に対してポリマの体積充填

率を変えることで調整した。4.27mm厚のレンズを作製するために、100層を作製し、その結果、欠陥のない12万を超えるユニットセルが得られた。レンズのイメージング性能は、ファイバベース、角度分解能テラヘルツ時間領域分光(THz-TDS)技術を利用することで決まった。THz-TDSでは、レーザ微細加工金属マスクが、単一の200 μm スリット、またはダブル200 μm スリットなどの対物レンズを持つ。(レンズの解像度を決める)エッジ間の距離は300 μm 。

シミュレーションと実験は一致した。ダブルスリットは、スペクトル範囲0.4 ~ 0.6THzで簡単に分解された。比較して、屈折率1.64の均一誘電体でできたテラヘルツ球面レンズは、0.5THz以下の周波数でダブルスリットを分解できなかった。P μ SL技術の使用によって、新タイプのテラヘルツ光学素子の構想と製造が可能になる。

(John Wallace)

参考文献

(1) F. Zhou et al., Adv. Opt. Mater. (2016); doi:10.1002/adom.201600033.