

テラヘルツ放射を集束させる 3層メタマテリアル

光学メタマテリアルはサイズが波長よりわずかに小さな単位胞で構成されている。このことは、複雑な金属構造と絶縁体で構成される可能性のある単位胞のサイズは、設計されたメタマテリアルの操作波長に、直接対応することを意味する。その結果、多くの理論的なメタマテリアル構造は、まず、格子のサイズの製造容易な10mm程度となるマイクロ波の波長で試験が行われてきた。対照的に、可視域用のメタマテリアルは単位胞のサイズが200nm台になる可能性がある。一般に、可視メタマテリアルは吸収性も非常に高い。

しかし、現在、化学物質、産業分野での品質管理、セキュリティや他のイメージングシステムの試験に利用されている「中間」テラヘルツのスペクトル領域が、メタマテリアル技術の主なターゲットになっているようだ。テラヘルツメタマテリアルの単位胞サイズは数十 μm であり、フォトリソグラフィを使って容易に製造できる。材料の吸収性も低い。集光レンズなどの結像部品に使用するのに適した従来型光学材料は存在しないため、メタマテリアル光学はテラヘルツ領域にとっては恩恵そのものである。

スペクトル的に広帯域のメタマテリアルから成る屈折率分布型 (GRIN) レンズが独カイザーセラウテルン大学と独フラウンホーファー物理計測技術研究所 (IPM) によって開発された。この研究チームは、特に、単層 GRIN レンズに比べてはるかに強く 1.2~1.5THz 領

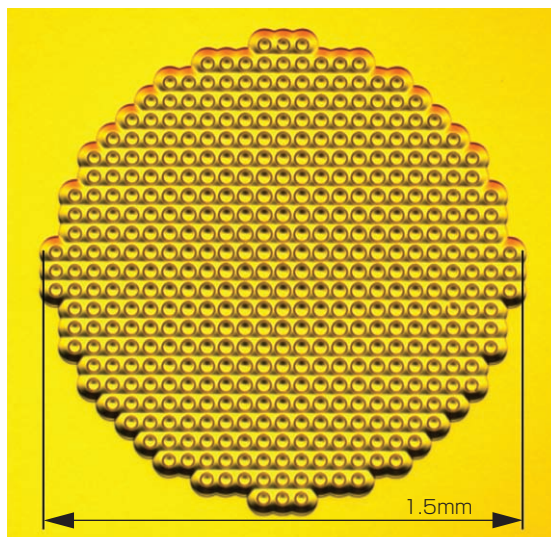


図1 メタマテリアルテラヘルツ放射集束GRINレンズは絶縁体であるベンゾシクロブテンの二つの平板間に挟まれた200nm厚の銅膜から成る60 μm 幅の単位胞を持っている。(資料提供:カイザーセラウテルン大学)

域を集束させる3層 GRIN レンズを製作した。

環状スリット単位胞

実験による比較のために、二つのメタマテリアル GRIN レンズがいずれも 60 \times 60 μm の横方向サイズと 40 μm の軸方向サイズをもつ単胞を使って作製された(図1)。第1のレンズは中心に銅膜を含む絶縁体サンドイッチ構造をもつ単位胞の単一層から成る。スリット幅が一定の3 μm で、スリット長がレンズの光学軸からの格子半径の関数として18~23 μm の範囲で変化する環状スリットを各単位胞内の銅層に合体させることによって、1.3THzの中心周波数で0.08から1.65まで変化する放物線状の屈折率分布を生み出した。

二つ目のレンズは、単層ではなく3層から構成されるということを除け

ば、単層とはほぼ同じであるが、集束能力がはるかに高いレンズになった。両レンズとも、関心周波数でブラッグ形の動作をしないように設計された。これは、不必要な損失をもたらす従来式回折レンズとしての動作を避けることを意味する。

テラヘルツ放射を発生させるために、15フェムト秒(fs)のレーザーの超短パルスを光伝導スイッチの極間に集束させ、その結果生じた偏光放射を二つの軸外し放物面鏡で収集し、サイズ1.5mmのスポットに集束させた。試験にあたっては、スキュー集束がまったく起こらないように GRIN レンズを注意深く光学軸に対してアラインメントさせた。

GRIN レンズの焦点は、それをリン化ガリウム (GaP) 平板上に導き、GaP 上に発生した電気光学効果を光プローブ走査で測定することによって、60 μm の空間分解能で結像された。その結果、単層 GRIN レンズはテラヘルツ放射の波長の1.45倍に相当する320 μm のスポットサイズに集束させ、3層レンズは波長の0.96に相当する最高220 μm のスポットサイズに集束させることが明らかになった。1.2~1.5THzでのスポットサイズは、単層レンズでは波長の1.45~1.75倍の範囲で変化する一方、3層バージョンでは波長の0.94~1.05倍の範囲で変化した。

(John Wallace)

参考文献

(1) J. Neu et al., Opt. Exp., 18, 26, 27748(2010).