



CHIBA
UNIVERSITY



ニュースリリース

平成28年12月14日
国立大学法人 千葉大学

マイクロメートルスケールの空間分解能でテラヘルツイメージングを可能にする高強度テラヘルツ光渦を世界で初めて発生

テラヘルツ帯(注1)における高強度光渦(注2)を世界で初めて発生しました。また、発生した光渦を利用すれば、テラヘルツ帯におけるグラフェンの吸収応答をマイクロメートルスケールで観測できることも実証しました。本研究は、千葉大学 尾松孝茂教授・宮本克彦准教授、KAIST・Ajou大学 Fabian Rotermund教授らのグループによる国際共同研究であり、科学研究費補助金新学術領域「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」の一環として行われました。本成果は、テラヘルツ帯でもマイクロメートルスケールの高い空間分解能でイメージングできることを原理実証したものであり、今後のテラヘルツイメージング技術に多大な貢献が期待できます。

■研究の背景

生体組織に非侵襲でかつ様々な物質を透過するテラヘルツ帯の電磁波(テラヘルツ波)を用いたイメージング技術(可視化技術)はセキュリティ検査などへ積極的に応用されています。また、テラヘルツ波の周波数は比較的大きな分子群などの固有振動に相当するので、生体分子や高分子結晶の構造解析などの可視化も期待されています。しかしながら、テラヘルツ波の波長が長いため、高い空間分解能で可視化することが困難でした(回折限界(注3))。

■研究の成果 ～テラヘルツ光渦の発生と非線形応答の観測～

本成果は、光渦(注2)を用いれば超解像(回折限界より高い空間分解能を有する)イメージング(2014年度ノーベル化学賞)がテラヘルツ帯においても実現できることを示したものです。テラヘルツ波を光渦に変換するための螺旋位相板と呼ばれる素子を用いて、高強度テラヘルツ光渦の発生に世界で初めて成功しました。さらに、テラヘルツ光渦とテラヘルツガウスビームをグラフェン(テラヘルツ帯で非線形応答を示す二次元材料)上に空間的に重ねて照射したところ、テラヘルツ光渦の円環状の強度分布を反映してテラヘルツガウスビームの形状がリング状に変化しました。すなわち、グラフェンの吸収を飽和させることで光渦の円環の孔の部分だけで吸収が計測できたことを示すもので、超解像テラヘルツイメージングの原理実証であると言えます。

■今後の展開

高強度テラヘルツ光渦の発生とグラフェンの吸収応答を回折限界より小さな領域で観測できた本研究成果は、グラフェンに限らず様々な二次元材料に適用できます。したがって、トポロジカル絶縁体をはじめとする材料のテラヘルツ帯光物性研究に大きなインパクトを与えます。また、半導体などの電子励起状態を高い空間分解能で観測できる可能性もあります。

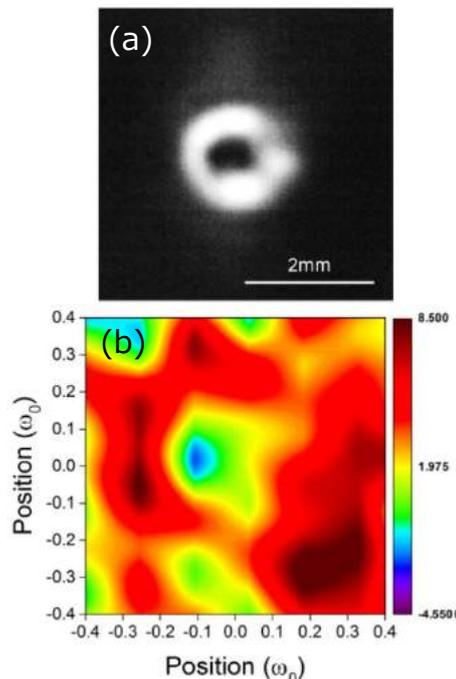


図1 (a)高強度モノサイクルテラヘルツ光渦の分布図(出力2.3mW, 0.6THz)
(b)グラフェン中の非線形性を利用してテラヘルツガウスビームの形状がリング状に変化

※ 本研究成果は、2016年12月14日(英国時間) Nature系学術誌Scientific Reportsにオンライン版で発行されます。
※ 論文タイトル: Highly intense monochycle terahertz vortex generation by utilizing a Tsurupica spiral phase plate

本件に関するお問い合わせ・取材のお問い合わせ

■尾松 孝茂(オマツ タカシゲ) 千葉大学 大学院融合科学研究科情報科学専攻 教授
Tel: 043-290-3477 Fax: 043-290-3477 メール: omatsu@faculty.chiba-u.jp

■ 研究詳細

テラヘルツ光渦を発生させるための最も簡便で有効な方法は、螺旋位相板を用いてガウスビームから光渦へと変換する方法が挙げられます。螺旋位相板はある特定の周波数に対して設計されます。しかしながら、一般的に用いられている高強度なテラヘルツ光源はスペクトル幅が広いいため、通常の方法で螺旋位相板を作成しても屈折率分散の影響で使用できません。そこで、われわれはテラヘルツ周波数で屈折率分散が非常に小さな(屈折率 $n=1.52@0.1-1.6\text{THz}$ 、図2(a)参照)樹脂材料(Tsurupica)を用いて螺旋位相板を作成することを着想し、広帯域で高強度なテラヘルツ波からも光渦が発生できることを実証しました。今回実験に用いたテラヘルツ波は、フェムト秒レーザー励起のパルス面傾斜法を用いて発生させています。(図2(b)にそのスペクトル形状を示します)。帯域が0.6THzもあるにもかかわらず、出力2.3mWの高強度なテラヘルツ光渦(中心周波数0.6THz、光渦次数 $\ell = 1.15$)が発生できました。これは世界初です。また、螺旋位相板の屈折率分散を考慮して理論的に求めたテラヘルツ光渦のビームパターン(図3(a))と実験結果(図3(b))は非常に良く一致します。

次に、グラフェンはテラヘルツ波の強度によって吸収係数が非線形に変化する材料として知られています。このグラフェン上に、高強度テラヘルツ光渦(ポンプ光)とテラヘルツガウスビーム(プローブ光)を重ねて照射しました。その結果、二つのビームが重なった部分は吸収が飽和し、プローブ光であるテラヘルツガウスビームの形状が円形からリング状に変化しました。その様子を1次元および2次元で計測した結果が図4(a)(b)です。図4(c)(d)は、グラフェンの吸収特性から計算したシミュレーション結果ですが、実験と計算値が非常に良く一致していることがわかります。

■ 用語解説 :

注1)テラヘルツ 一般に周波数0.1~10THz、波長にして3000~30 μm の電磁波の事です。光子のエネルギーが数meVと小さく分子の大振幅振動や半導体などの電子励起状態に対応しています。また、可視光では透過できない様々な物質において良好な透過特性を有していることから、非侵襲のセキュリティ検査などに利用されています。

注2)光渦 光の等位相面である波面が螺旋状(螺旋波面)になっており、ドーナツ型の強度分布をもつ光を光渦と呼びます。光渦の螺旋波面は光の波長に対する波面の螺旋の巻き数 ℓ (整数)で定義することができます。

注3)回折限界 電磁波はレンズなどの光学系を用いても、点にはなりません。一般には波長程度の直径のスポットまでしか絞れません。このスポットを回折限界と呼びイメージング技術の空間分解能を決定することになります。

■ 論文タイトル:

“Highly intense monocycle terahertz vortex generation by utilizing a Tsurupica spiral phase plate”

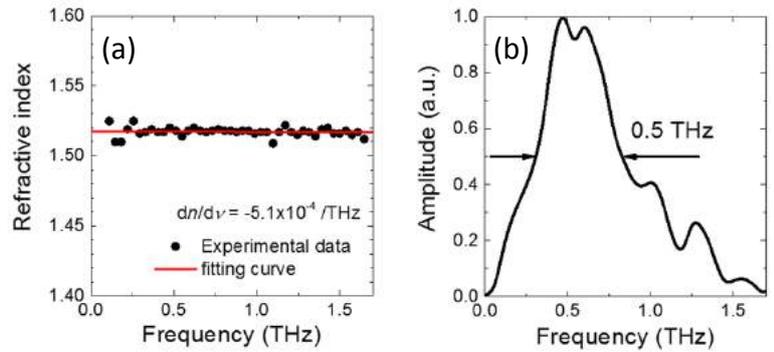


図2 (a)Tsurupica樹脂の屈折率周波数分散
(b)テラヘルツ光渦のスペクトル分布

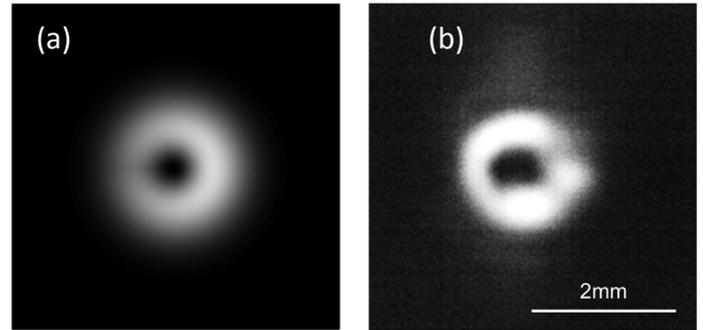


図3 (a)テラヘルツ光渦強度分布のシミュレーション結果
(b)テラヘルツ光渦の強度分布：実験結果

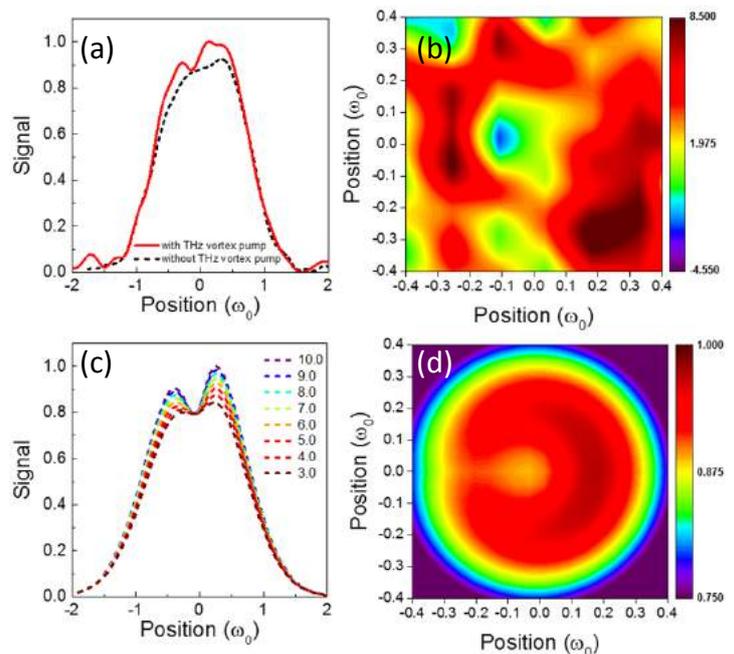


図4 (a)(b)グラフェンに高強度テラヘルツ光渦を照射した際の、プローブ光であるテラヘルツガウスビームの強度分布図。リング状に計上が変化していることがわかる。
(c)(d)は、グラフェンの過飽和吸収からシミュレーションしたテラヘルツガウスビームの強度分布。実験結果と非常に良い一致を示している。