



Title	テラヘルツ波帯におけるスーパーオシレーション効果を利用した超集光技術に関する研究
Author(s)	射庭, 彩人
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/98624
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (射 庭 彩 人)

論文題名 テラヘルツ波帯におけるスーパーオシレーション効果を利用した超集光技術に関する研究

論文内容の要旨

本博士学位論文では、テラヘルツ波 (THz波) 計測における課題であった空間分解能向上のため、回折限界以下の集光を実現する手段について研究に取り組んだ。THz波計測をより普及させ、実用的な技術にしていくためには回折限界以下の集光だけではなく、長い焦点距離、焦点深度 (DOF) が重要であり、これら条件を満たす集光コンポーネント開発に取り組んだ。THz波用集光コンポーネントとして、回折限界以下の分解能、10 mm以上のFar-fieldの焦点距離、5 mm以上の長いDOFの3つの目標を満たすことができる技術として、従来は顕微鏡用途で可視光やUV向けに研究されていたスーパーオシレーションレンズ (SOL) に着目した。SOLのTHz波帯での応用に取り組み、様々な用途を想定して形状が異なる3種類のレンズを開発、全てにおいてTHz波帯で回折限界以下の集光ができることを計算・実験の両面から実証を行った。以下に本研究で得られた主要成果を記述する。

第1章では本研究の背景と目的を示した。

第2章ではスーパーオシレーションと呼ばれる物理現象に関するこれまでの研究の歴史と、基本原理について述べた。

第3章からはスーパーオシレーション現象をTHz波帯でレンズとして活用するため、同心円型の金属パターンを使ってSOLを製作、評価を実施し、THz波帯でも他周波数帯と同様にスーパーオシレーション効果を発現し、回折限界以下の集光が実現できることを確認した。また焦点距離、DOFについても目標を達成していることが確認した。このレンズの計測分解能評価用サンプルを用意し、1.5 mm (0.5 λ) の性能があることを実証した。

第4章ではTHz-SOLの実用性を広げるため、1軸方向に集光するレンズパターンを設計製作し、評価を実施した。ラインアンドスペースの金属パターンを用いて、パターンの長手方向と直行する方向に偏光を持つTHz波を入射することで、パターンの短手方向の1軸方向のみに集光させ、回折限界以下の幅に集光できることを計算にて確認した。またこのとき実効的なNAを算出すると1.43と従来レンズを超える数値を実現しており、DOFも3.3 λ と従来レンズを超える性能が確認できた。焦点距離100 mmのレンズを製作、評価実験を実施し、実験的にも回折限界を超える集光能力をもつことを実証した。

第5章ではメタマテリアルの技術を使い、スーパーオシレーション現象を波長よりも小さなパターンを周期的に配置することで発現することができることを示した。ここでは5つの波長以下のリングスリットを十字に並べたものを単位パターンとし、これを周期的に並べることで、レンズ面内に複数の極小のスポットを生成させた。この特徴を生かせばレンズ面内において複数点を同時に計測することも可能である。またスポットが焦点距離方向にも繰り返し発生するという特徴があり、この繰り返し発生する間隔をタルボ効果で説明できることを実験、計算の両面から確認した。本研究では回折限界の0.27倍のスポットサイズ、16 mmの焦点距離、を達成できることを実証した。

第6章では、第2章から第5章で示した研究成果を総括し、本博士学位論文における結論を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (射 庭 彩 人)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	准教授	中嶋 誠
	副 査	教授	上田 良夫
	副 査	教授	兒玉 了祐
	副 査	教授	蔵満 康浩
	副 査	教授	吉村 政志
	副 査	教授	村上 匡且

論文審査の結果の要旨

本博士学位論文では、テラヘルツ (THz) 波計測における課題であった空間分解能向上のための回折限界以下の集光を実現する手段について研究に取り組んでいる。THz 波計測をより普及させ、実用的な技術にしていくためには回折限界以下の集光だけではなく、長い焦点距離、焦点深度 (DOF) も重要であり、これら条件を満たす集光コンポーネント開発に取り組んでいる。THz 波用集光コンポーネントとして、回折限界以下の空間分解能、10 mm 以上の Far-field の焦点距離、5 mm 以上の長い DOF の 3 つの目標を満たすことができる技術として、従来は顕微鏡用途で可視光や紫外光向けに研究されていたスーパーオシレーションレンズ (SOL) に着目している。SOL の THz 波帯での応用に取り組み、様々な用途を想定して形状が異なる 3 種類のレンズを開発、全てにおいて THz 波帯で回折限界以下の集光ができることを計算・実験の両面から実証を行っている。以下に本研究で得られた主要成果を要約する。

まずスーパーオシレーションと呼ばれる物理現象に関するこれまでの研究の歴史と、基本原理について述べている。

次にスーパーオシレーション現象を THz 波帯でレンズとして活用するため、同心円型の金属パターンを使った SOL を製作している。THz 波帯でも他周波数帯と同様にスーパーオシレーション効果を発現し、回折限界以下の集光が実現できる評価結果を得ている。また焦点距離、DOF についても目標を達成していることを確認している。加えて計測分解能評価用サンプルを用意し、1.5 mm (0.5 λ) の性能があることを実証している。

さらに THz-SOL の実用性を広げるため、1 軸方向に集光するレンズパターンを設計製作し、評価を実施している。ラインアンドスペースの金属パターンを用いて、パターンの長手方向と直行する方向に偏光を持つ THz 波を入射することで、パターンの短手方向の 1 軸方向のみに集光させ、回折限界以下の幅に集光できることを計算にて確認している。またこのとき実効的な NA は 1.43 と従来レンズ以上であり、また DOF も 3.3 λ と従来レンズを超える性能が確認できている。 $f = 100$ mm のレンズを製作、評価を実施し、実験的に回折限界を超える集光能力を実証している。

また、メタマテリアルの技術を使い、スーパーオシレーション現象が発現することを示している。5 つの波長以下のリングスリットを十字に並べたものを単位パターンとし、これを周期的に並べ、レンズ面内に複数の極小のスポットを生成させている。この特徴を生かし、複数点を同時に計測することが可能である。またスポットが焦点距離方向にも繰り返し発生する特徴があり、間隔をタルボ効果で説明できることを実験・計算の両面から確認している。本研究では回折限界の 0.27 倍のスポットサイズ、16 mm の焦点距離、を達成できることを実証している。

最後に研究成果を総括し、本博士学位論文における結論を述べている。

以上のように、本論文はテラヘルツ波帯におけるスーパーオシレーション効果を利用し、回折限界以下の集光を実現できることを実証している。回折限界以下の空間分解能に加えて、十分な焦点距離、大きな焦点深度を両立することが可能な集光素子を計算・実験より実現できることを明らかにしている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。