

| | |
|--------------|---|
| Title | 高強度テラヘルツ波パルスの発生・検出とコヒーラー効果の誘起 |
| Author(s) | 田所, 譲 |
| Citation | 大阪大学, 2016, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/55961 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (田 所 謙)

論文題名

高強度テラヘルツ波パルスの発生・検出とコヒーラー効果の誘起

論文内容の要旨

本論文では高強度テラヘルツ波応用のさらなる加速を目指して、簡便なイメージャー開発等のテラヘルツ波検出法の改善に加えて、テラヘルツ波誘起不可逆構造変化であるコヒーラー効果の実証及び新たな犠牲的な役割を果たす素子の提案を行った。

第1章では、本研究の背景である高強度テラヘルツ波の現状、高強度テラヘルツ波が誘起する非線形現象について概説し、非線形現象を介した不可逆構造変化の現状について述べた。上記現状を踏まえた上で、本研究の目的について述べ、本論文の構成を紹介した。

第2章では、本研究における基礎技術であるテラヘルツ時間領域分光法について述べた。テラヘルツ時間領域分光法における複素屈折率、透過率等の導出法および解析手法を述べ、構築したテラヘルツイメージングシステムについて概説した。

第3章では、LiNbO₃結晶を用いたテラヘルツ波の発生における位相整合について述べ、LiNbO₃結晶を用いた発生法であるパラメトリック発生/発振、パルス面傾斜法について概説した。また、熱型検出が主流であったパラメトリック光源において、ピコ秒パラメトリック発振器を開発することで時間領域検出の導入を可能にし、分割Siプリズム結合器によるパルスの分離等を時間領域検出によって明らかにした。さらに、非線形現象の誘起を可能にする高出力光源として、パルス面傾斜法を用いた高強度テラヘルツ波光源を構築し、最大1.2 μJのテラヘルツ波出力を得た。

第4章では、3章で開発した高強度テラヘルツ波光源に対する簡便なイメージャーとして、コレステリック液晶を用いたセンサーカードを開発した。コレステリック液晶の温度で色が変わる性質を利用して、テラヘルツ波照射によるセンサーカードの温度上昇を色変化として可視化し、簡便にビームプロファイルを得ることに成功した。また、センサーカードの応答を色相を導入し評価することを行い、センサーカードの応答時間が約5秒、検出限界が4.3 mW/cm²であることを確認した。さらに、センサーカードの応用として実験系のアライメントでの利用を例に挙げ、その有用性を示した。

第5章では、高強度テラヘルツ波パルスで不可逆構造変化であるコヒーラー効果の誘起に成功した。また、テラヘルツコヒーラーがシングルショットで動作すること、偏光に依存した透過率の不可逆減少が得られること、数十kV/cmの閾値が存在することを明らかにした。コヒーラーの粒子間ギャップでの電場増強に言及し、伝導経路の形成機構について議論した。最後に、コヒーラーの応用の可能性として、テラヘルツ波用イメージャーやヒューズとしての利用を挙げた。

第6章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (田 所 謙) | | | |
|---|-----|-----|-----------------|
| | (職) | 氏 名 | |
| 論文審査担当者 | 主 査 | 准教授 | 中嶋 誠 |
| | 副 査 | 教授 | 高原 淳一 |
| | 副 査 | 教授 | 小林 慶裕 |
| | 副 査 | 教授 | 芦田 昌明 (基礎工学研究科) |
| 論文審査の結果の要旨 | | | |
| <p>テラヘルツ波は、フェムト秒パルスレーザー励起による発生方法が開発されて以来、その研究や技術は急速に進展しており、応用展開がまさに図られようとしている。また近年、高い電場振幅を有する高強度テラヘルツ波パルスの開発が進んでおり、テラヘルツ波パルスをもちいた非線形応答に関する学術研究やその応用例が報告されるようになってきている。本論文では高強度テラヘルツ波パルス応用のさらなる加速を目指して、光源や検出器をはじめとするテラヘルツデバイスの開発を行っている。また、高強度テラヘルツ波パルスの応用例として、金属粒子集団に照射したときに生じるテラヘルツ波誘起不可逆伝導変化であるコヒーラー効果をはじめて実証し、その特性や機構について議論している。</p> <p>本論文第一章では、本研究の背景である高強度テラヘルツ波パルス光源の現状、高強度テラヘルツ波が誘起する非線形現象や非線形現象を介した不可逆構造変化について概説している。</p> <p>本論文第二章では、本研究における基礎技術であるテラヘルツ波の発生・検出法をはじめテラヘルツ時間領域分光法について紹介し、テラヘルツ時間領域分光法における複素屈折率、透過率等の導出法および解析手法を説明している。また実際にもちいた実験系の詳細やその特性について概説している。</p> <p>本論文第三章では、LiNbO₃結晶を用いたテラヘルツ波の発生における位相整合について述べ、LiNbO₃結晶を用いた発生法であるパラメトリック発生/発振、パルス面傾斜法について概説している。ピコ秒パルスレーザー励起によるテラヘルツパラメトリック発振器の開発を行い、熱型検出が主流であったパラメトリック光源において、時間領域検出の導入を行っている。分割 Si プリズム結合器によるパルスの分離の問題を明らかにし、これを単一 Si プリズム結合器及び面放射型パラメトリック光源を導入することで解消している。フェムト秒パルスレーザー励起の系では、LiNbO₃結晶を用いたパルス面傾斜法により、高強度テラヘルツ波光源を構築し、最大 1.2 μJ のテラヘルツ波出力を得ている。最大電場強度は約 170 kV/cm、そのスペクトル帯域は 3 THz である。</p> <p>本論文第四章では、三章で開発した高強度テラヘルツ波光源に対するイメージャーとして利用できるコレステリック液晶を用いたテラヘルツ波検出器の開発を行っている。コレステリック液晶の温度で色が変わる性質を利用し、これをテラヘルツ波の検出器として用いることを提案し、テラヘルツ波照射によるセンサーカードの温度上昇を、色変化として可視化することに成功している。また、色変化を色相を導入して評価することで、テラヘルツ波の集光位置でのビームプロファイルを取得している。これは室温で電子機器や配線等が不要で単独に動作させることができるテラヘルツセンサーカードとしての応用が期待されるものである。センサーカードの性能評価として、応答時間が約 5 秒、検出限界が 4.3 mW/cm²であることを確認している。テラヘルツ波</p> | | | |

は不可視な電磁波であるが、本センサーカードを用いることで容易に可視化することが可能であり、ビームプロファイルの測定や実験系のアライメント等にも利用可能であることを示している。

本論文第五章では、高強度テラヘルツ波パルス照射により、不可逆伝導変化であるコヒーラー効果が誘起することを実証している。コヒーラーがピコ秒パルスであるテラヘルツ波によりシングルショットで動作すること、偏光に依存した伝導変化を示すこと、数十 kV/cm の電場閾値が存在することを明らかにし、従来の電波等で報告されているコヒーラー効果について、新たな知見を得ている。金属粒子間の接点における伝導経路形成機構と、系全体における伝導特性の発現について、有限要素法の計算を交えて議論している。金属粒子間ギャップでは、強い電場増強が生じることを言及し、伝導経路の形成機構に関して、複数のモデルについて可能性を議論している。マクロな伝導経路の生成に関しては、金属球の占める面積分率依存性の測定結果に関して、パーコレーション理論を交えて議論しており、コヒーラーの系でもパーコレーションのモデルにより、説明できることを確認している。また、コヒーラーの応用の可能性として、テラヘルツ波用イメージャーやヒューズとしての利用を提案している。

本論文では、非線形効果を誘起しうる高強度テラヘルツ波の光源開発ならびに室温下で動作する簡便に取り扱うことが可能なイメージャーの開発および評価を行っている。また構築した高強度テラヘルツ波光源を用いて、非線形不可逆応答であるコヒーラー効果を実証した。またコヒーラー効果の特性や起源解明について新たな知見を得ることに成功しており、金属粒子間ギャップにおける電場増強効果が強く寄与していることを確認している。ここで得られた知見は、応用物理学、とくに物性物理学や光科学、テラヘルツ波工学等の関連分野の科学および技術の発展に寄与するものである。よって、本論文は博士授与に値する論文であると認める。

最終試験の結果の要旨及び担当者

| 学位申請者氏名 (田 所 讓) | | | |
|---|-----|-----|-----------------|
| | 職 名 | 氏 名 | |
| 最終試験担当者 | 主 査 | 准教授 | 中嶋 誠 |
| | 副 査 | 教授 | 高原 淳一 |
| | 副 査 | 教授 | 小林 慶裕 |
| | 副 査 | 教授 | 芦田 昌明 (基礎工学研究科) |
| 最終試験の結果の要旨 | | | |
| <p>本学学位規程第 10 条の規定により、学位申請者に対して学位論文を中心とし、論文内容及びこれに関連のある科目について試問を行い、審査委員全員の協議の結果、平成 28 年 2 月 4 日合格と判定した。</p> | | | |