



Title	レーザー走査型近接場テラヘルツ分光イメージングシステムの開発に関する研究
Author(s)	芹田, 和則
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/34427">https://hdl.handle.net/11094/34427</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*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 ( 芹 田 和 則 )

## 論文題名

レーザー走査型近接場テラヘルツ分光イメージングシステムの開発に関する研究

## 論文内容の要旨

本論文は、著者が、大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士後期課程において実施した、レーザー走査型近接場テラヘルツ分光イメージングシステムの開発に関する研究成果をまとめたものであり、以下の10章で構成される。

第1章では、本研究の背景を述べ、本研究の重要性を明らかにし、解決手段を述べた。

第2章では、非線形光学結晶中のテラヘルツ波発生原理について述べた。

第3章では、光伝導アンテナ、テラヘルツカメラによるテラヘルツ波検出原理についてそれぞれ述べた後、テラヘルツ時間領域分光法について解説した。

第4章では、分布光源モデルを利用した電磁界解析法の開発について述べた。従来困難であった局所場の全波解析を効率的に行えることを示し、本モデルが本システム評価に有効利用できることを示した。

第5章では、システム開発と評価について述べた。128 × 128 画素を1枚約4秒で取得し、最大空間分解能  $\lambda_{THz}/28$  ( $\lambda_{THz} \approx 750 \mu m$ ) を達成できたことから、本システムが従来の商用システムと比較して最高レベルの性能であることを示した。また、テラヘルツカメラとの併用によりサンプルの全体検査から局所検査までを可能とするハイブリッドシステムへの拡張可能性について示した。

第6章では、サブテラヘルツ波長領域をセンサー部とするメタマテリアル薄膜センサーの近接場評価について述べた。従来システムでは観測できないセンサーサイズに線形的な共振周波数シフトや隣接メタ原子間相互作用を観測した結果について述べ、本システムの有効性を示した。

第7章では、毛髪1本の近接場評価について述べた。1.2 THz 以上で白髪と黒髪の透過スペクトルが異なる点やキューティクルの有無による保湿具合の時間変化に関する知見をテラヘルツ領域で初めて観測した結果について述べた。

第8章では、微量液体の評価について述べた。測定専用のGaAs (110) 製テラヘルツチップを開発し、これを利用してそれぞれ200 nL のラクトース水溶液 (0.7 mol/L) と食用油の特徴的なテラヘルツ吸収ピークを観測できたことについて述べ、従来システムとの実験比較から本システムの有効性を示した。

第9章では、新奇材料である磁性ナノ中空粒子と微小なペロブスカイト型オスミウム酸化物単結晶 ( $NaOsO_3$ ) の評価について述べた。磁性ナノ中空粒子の計測では、それぞれの径サイズに応じてテラヘルツ吸収率に差異があること、 $NaOsO_3$  の計測では、室温で金属・絶縁体転移によるエネルギーギャップの僅かな開きを観測できたことについて述べた。

第10章では、本研究を総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 芹 田 和 則 )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	斗内 政吉
	副 査	教 授	森 勇介
	副 査	准教授	村上 博成
	副 査	准教授	川山 巖
	副 査	教 授	伊藤 利道
	副 査	教 授	片山 光浩
	副 査	教 授	尾崎 雅則
	副 査	教 授	栖原 敏明
	副 査	教 授	近藤 正彦
	副 査	教 授	大森 裕
	副 査	教 授	八木 哲也

## 論文審査の結果の要旨

近年のテラヘルツ技術の著しい進歩は、新しい産業応用や安心安全な社会の構築など、様々な分野での応用が期待されている。特に、テラヘルツ電磁波を使ったイメージングは、その電磁波が持つ透過性や安全性の点からもその応用への期待が大きい。本研究は、このテラヘルツイメージングにおける測定的高速化、高空間分解能化、および 1.5 $\mu\text{m}$  ファイバーレーザーを光源として使用することによりシステム開発の低コスト化を目指したもので、実際にレーザー走査型近接場テラヘルツ分光イメージングシステムの開発およびその応用を行ったものである。システム開発において、二次元テラヘルツエミッターである非線形光学結晶直上に被測定試料をセットし、これに対して、ガルバノメーターで励起光としてのフェムト秒光パルスを高速に X-Y 走査させイメージングを行うという新規な手法をとっており、従来の試料移動型のシステムと比較して測定時間の格段の短縮およびサブテラヘルツ波長オーダーの空間分解能を達成している。また、非線形光学結晶内でのテラヘルツ波発生のメカニズムを明確にするため「分布光源モデル」の開発を行い、従来の電磁界解析モデルでは困難であった非線形光学結晶中の非線形テラヘルツ波発生および伝搬解析を効率的に記述できることを明らかにしている。本論文はこれらの研究結果をまとめたもので、以下に得られた主たる研究成果を要約する。

- (1) ガルバノメーターによる高速光走査ならびに非線形光学結晶を二次元テラヘルツエミッターとして利用することで、128 $\times$ 128 画素のテラヘルツイメージ 1 枚あたりを約 4 秒で取得し、かつ同時に空間分解能 27 $\mu\text{m}$  を達成した。これは、従来の商用テラヘルツイメージングシステムと比較して、測定時間・分解能ともに最高レベルの性能であることを明らかにしている。また、従来システムでは観測困難なサンプルとテラヘルツ波との興味深い相互作用をテラヘルツ近接場を用いることで可視化できることを明らかにしている。
- (2) 非線形テラヘルツ波発生・伝搬のための全波解析モデルを開発し、非線形光学結晶の一つである GaAs<110>結晶を例としてモデル評価を行った。これにより、商用の電磁界解析モデルでは困難であった非線形光学結晶中の光整流によるテラヘルツ波の発生から伝搬までを効率的に解析できることを明らかにしている。
- (3) 開発したシステムの応用として、以下の 5 種類のサンプルについて評価・検討を行っている。
  - ① テラヘルツメタマテリアル薄膜センサーの測定では、センサー部のサブテラヘルツ波長サイズの違いを共振周波数の微小シフトを持って評価することができることを明らかにしている。
  - ② 毛髪の測定では、黒髪 1 本と白髪 1 本のテラヘルツ透過スペクトルにおいて 1.2 THz より高い周波数領域でスペクトル傾向に差異があることを初めて観測し、また、毛髪の保湿具合が、その表面状態に深く関連している点を明らかにしている。

- ③ これまで測定が困難であった極微量液体の測定では、GaAs(110)をベースとする専用のテラヘルツエミッターとしてのチップを開発することで、ラクトース水溶液のテラヘルツ吸収線をごく微量で観測しており、システムが微量溶液評価に応用利用できる可能性を明らかにしている。
- ④ 磁性ナノ中空粒子の測定では、サイズが微妙に異なる磁性ナノ中空粒子のテラヘルツ吸収スペクトルにおける差異を初めて観測し、ナノ科学分野においても本システムが応用できる可能性を明らかにしている。
- ⑤ 新奇材料として期待されているペロブスカイト型オスミウム酸化物 ( $\text{NaOsO}_3$ ) 微結晶の測定では、300 K の室温における金属絶縁体転移由来のバンドギャップの僅かな開きを観測し、このような極微小な新材料の物理現象について評価ができることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、レーザー走査型近接場テラヘルツ分光イメージングシステムの開発から、システムの様々な応用利用の可能性まで幅広く研究を行った結果について述べたものである。特に、産業利用を意識したシステム設計を行い、高速測定と高空間分解能画像取得を可能としており、開発したシステムが様々なサンプルの近接場テラヘルツ評価に有効で、今後のこの分野の発展に寄与する可能性が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。