

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月 31日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656091

研究課題名（和文） ナノスケールかつパッシブな THz イメージング

研究課題名（英文） Passive THz imaging in nanoscale

## 研究代表者

梶原 優介 (KAJIHARA YUSUKE)

東京大学・大学院総合文化研究科・研究員

研究者番号：60512332

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、照射光源を利用しないパッシブな方法で、ナノスケールな THz イメージング法の確立を目指した。近接場プローブ作製法を確立し、プローブ顕微鏡を開発して THz ナノ顕微鏡を構築し、自然放出光の近接場イメージングを行った。常温サンプル(GaAs/Au)をイメージングした結果、表面プラズモンではなく、物質表面上における熱揺らぎに起因したエバネッセント波を検出することに成功した。空間分解能は 60nm(波長の 1/240)を達成している。

## 研究成果の概要（英文）：

We have developed an ultra-sensitive scanning near-field THz microscope with a method of forming a near-field probe and with a home-made scanning probe microscope. With the developed microscope, we have achieved passive near-field images with 60 nm spatial resolution. By studying a GaAs/Au sample at room temperature without an external light, we obtained evanescent field near the surface. Through many experimental examinations, the signal origin was turned out to be thermal charge/current fluctuation, which had not been experimentally probed.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：テラヘルツ波、パッシブ計測、エバネッセント波、赤外光、プローブ顕微鏡、ナノサーモメトリー

## 1. 研究開始当初の背景

THz 波(波長：10  $\mu\text{m}$ ~1 mm)は、固体の格子振動、分子の振動・回転準位など物質現象の基礎研究において極めて重要なスペクトル領域を成す。それゆえ、物質現象に起因する自然放出光を、外部照射光を用いずにパッシブに計測可能であれば、生体分子挙動などのメゾスコピック現象を観測可能な全く新しい計測技術の確立が期待できる。このような計測技術

は様々な分野で強く求められていたが、既存の THz 検出器の感度が圧倒的に不足すること、及び回折限界によって分解能が 10 $\mu\text{m}$  程度に制限されること、という制約があったため実現例が無かった。

しかし申請者の所属グループでは二重量子井戸構造を利用し、従来の検出器(光伝導型 HgCdTe や多重量子井戸型 QWIP と比べて 2~4 桁の感度を有する THz 検出器 CSIP を開発した。CSIP は単一光子レベ

ルの感度を有するため、パッシブ計測において十分な感度を有する。申請者は本検出器に対し、回折限界に制限されない散乱型近接場顕微技術の導入を提案し、ナノスケールかつパッシブな THz イメージングの実現を目指した。

## 2. 研究の目的

計測対象近傍に存在する THz 近接場成分を金属プローブにより散乱させ、CSIP によって検出する光学系を構築して、ナノスケールかつパッシブな THz イメージングの実現を目指した。THz 近接場計測の例はわずかにあるが、低感度検出器を利用した外観計測に留まり、超高感度検出器を使用する本研究とはアプローチが根本的に異なる。

ナノスケールかつパッシブな THz イメージング技術を実現するには、近接場プローブを計測対象の極近傍において、高速・高精度で走査する機構が必要不可欠である。そのため本研究では、以前申請者が代表した若手研究(スタートアップ 平成 20-21 年度, 課題番号: 2086002)において開発した走査プローブ顕微鏡を軸として、THz ナノ顕微鏡を構築し、パッシブなナノイメージングを行うことを目標とした。

## 3. 研究の方法

2010 年度は、近接場プローブの作製法を確立し、THz ナノ顕微鏡を開発した。また 2011 年度は、THz ナノ顕微鏡を利用して金属のエバネッセント波測定を行い、またアプリケーション展開へ向けてナノサーモメトリーのデモンストレーションを行った。具体的な実験方法は以下のとおり。

### [2010 年度]

#### ・近接場プローブの作製

タングステン細線を KOH または NaOH 水溶液で電解研磨し、先端径 100nm 以下のプローブを作製する方法を確立した。また、Pt や Ag をコーティングした散乱型近接場プローブ(nano world 社などが販売)を購入して自作プローブと併用した。

#### ・THz ナノ顕微鏡の開発

図 1 に示すように、近接場光学系を開発し、共焦点 THz 顕微鏡に導入して THz ナノ顕微鏡を構築した。取得信号は膨大な背景輻射にさらされるため、近接場プローブを上下に微小振動(10Hz 程度)させた状態で常温の計測対象表面を走査し、プローブ振動数を参照として Lock-in 検出することにより、計測に有効な S/N 比を達成した。

液体Heクライオスタット

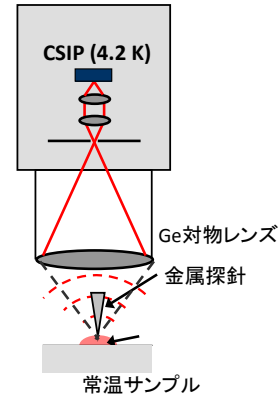


図 1 THz ナノ顕微鏡

### [2011 年度]

Au/GaAs の標準試料上を作製し、常温において近接場プローブを走査させてパッシブ計測を行った。計測対象は、常温からの放射が多い波長 14 $\mu$ m 近傍をターゲットとした。図 2 に示す通り、従来の顕微鏡では不可能であったパッシブな超波長イメージングに成功している。空間分解能とは 60nm という、波長の約 240 分の 1 の分解能を達成した。

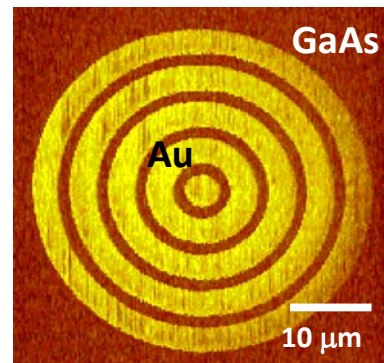


図 2 パッシブな超解像像

パッシブな THz 信号は Bose 分布に従うため、THz ナノ顕微鏡のアプリケーションの 1 つとしてナノ分解能の顕微鏡が考えられる。そのデモンストレーションとして NiCr や Au 配線上のパターンに電流を流した状態で近接場測定を行い、ナノサーモメトリーとして利用できることを確認した。

## 4. 研究成果

パッシブな THz イメージングにおいて、分解能 60nm は前例のない結果である(これまでに 1 ミクロンを切った例さえ無い)。

検出された信号の物理的な解釈を行うにあたり、金属からの THz 近接場信号の要因を表面プラズモンポラリトンと考えて解析を行っていたが、実験値との乖離が生じ、全く

予想外の信号要因であることが確認された。実際、THz ナノ顕微鏡によって検出される金属表面のエバネッセント波の要因が、伝導電子の熱揺らぎであることが理論・実験の両面から確かめられた。伝導電子の熱揺らぎは10年前に仏グループが理論的に予言し、様々なグループが検出を試みるものの技術的な理由により検出例が無かったが、本研究は初めて熱揺らぎを観測した例となり、物理学上非常に意義深い結果となった。

熱揺らぎは Bose 分布に従うため、THz ナノ顕微鏡のアプリケーションの1つとしてナノ分解能の顕微鏡が考えられる。そのデモンストレーションとして NiCr や Au 配線上のパターンに電流を流した状態で近接場測定を行い、非侵襲かつナノ分解能というこれまでに存在しなかったスペックのサーモメトリとして利用できることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件) 全て査読有り

1. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Passively detecting thermal evanescent waves from room temperature objects, *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, **19**, 4 (2010) 589-594.
2. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Passive near-field microscopy in long-wavelength infrared, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, **9**, (2011) 173-175.
3. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Thermally excited near-field radiation and far-field interference, *Opt. Express*, **19**, 8 (2011) 7695-7704.
4. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Probing thermal evanescent waves with a scattering-type near-field microscope, *Meas. Sci. Tech.*, **22** (2011) 085102 1-5.

[学会発表] (計 9 件)

1. (招待講演) 梶原優介 : THz near-field Imaging of thermally excited surface waves, 日本物理学会 2011 年秋季大会領域 9, 領域 5 合同シンポジウム Nanoscience by the fusion of light and scanning probe microscopy (光と走査プローブ顕微鏡の融合によるナノサイエンス), 富山大学, (2011).
2. Y. Kajihara, S. Komiyama, and K. Kosaka: Near-field microscopy for thermal radiation, *The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2010)* CWO6, San Jose, USA, (2010).

3. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Passive near-field microscopy in long-wavelength infrared region, *The International Conference on Nanophotonics* 147, Tsukuba, Japan, (2010).

4. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Detecting terahertz near-field radiation without external illumination, *10th International Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC 2010)* E5-080-1-5, Osaka, Japan, (2010).

5. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Ultra-sensitive passive near-field microscopy in long-wavelength infrared region, *The 6th International Workshop on Nano-scale Spectroscopy and Nanotechnology (NSS6)*, Kobe, Japan, (2010).

6. Y. Kajihara, K. Kosaka, and S. Komiyama: Probing thermal evanescent fields with a near-field microscope, *The 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011)*, Tu2D.4.1, Houston, USA, (2011).

7. 梶原優介, 小坂圭史, 小宮山進 : パッシブ THz 近接場顕微鏡による金属表面波の観測, 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2011) 882-883.

8. 梶原優介, 水谷丈洋, 小宮山進 : パッシブ THz 近接場顕微鏡の工学的アプリケーション, 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2012) 463-464.

9. 水谷丈洋, 梶原優介, 小宮山進 : パッシブ THz 近接場顕微鏡を用いたナノサーモメトリ, 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会講演予稿集, (2012) 17a-B11-3.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :

取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~komiya  
a/index.html](http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~komiya<br/>a/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶原 優介 (KAJIHARA YUSUKE)  
東京大学・大学院総合文化研究科・研究員  
研究者番号：60512332

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：