

【助成 41-10】

示差熱検出型テラヘルツバイオセンシング技術の開発

研究者 神戸大学大学院理学研究科 准教授 大道 英二

〔研究の概要〕

本研究では、微量な固体あるいは液体試料に対する高感度なテラヘルツ分光測定を可能にするため、示差熱検出という新しい原理に基づいたテラヘルツ吸収スペクトル測定法を提唱する。この方法では、試料を載せた微小な熱検出デバイスを用意し、試料が吸収したテラヘルツ波を熱検出デバイスの温度変化として検出する。MEMS技術を用いて作製された微小な熱検出デバイスを用いることで微量体積試料（～数 10 nL 程度）のテラヘルツ分光測定法の確立を目指す。本研究では、この目的に向けて装置の作製ならび測定系の評価を行った。得られた結果に対し、課題と今後の展望についても述べる。

〔研究経過および成果〕

本研究では、市販の示差熱測定装置に使用されている示差熱検出デバイスに着目し、新しい検出原理に基づくテラヘルツ吸収測定法の原理検証実験を行う。用いたデバイスは図 1 に示すような、微細加工技術によって作製された微小な示差熱検出デバイスである。チップ上に参照セルと試料セルが設置されており、いずれのセルも非常に薄いメンブレン構造の中央部に直径 500 μm の試料搭載部が設けられている。試料搭載部には温度計測用のサーモパイルが設置されており、高感度な温度計測が可能になっている。試料セルと参照セルのサーモパイルは逆接続されており、2 つのセルの間で温度差が生じたときにのみ、温度差に比例した電圧信号が出力される。そのため、試料セル側に試料を搭載しておくことで、試料によって吸収された電磁波のエネルギーはメンブレンへと熱緩和し、最終的にはサーモパイルの温度上昇として検出される。示差熱検出デバイスでは 2 つのセルの温度差のみに依存しているため、外気温変化の影響を受けにくく、高い検出感度を実現できる、といった利点がある。

このような新原理に基づくテラヘルツ吸収分光装置はこれまでに例がないことから、本研究ではまず、その原理検証のための装置作製を行った。測定に用いる光源には、2 台のレーザーとフォトミキサーからなるフォトミキシング光源を採用した。この光源では、2 つのレーザー光のビート周波数にあたるテラヘルツ波を

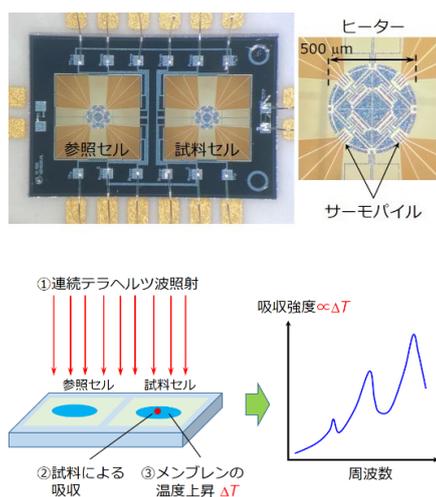


図 1：測定に用いる示差熱検出デバイス（上）。左は装置の全体写真、右は熱検出部分の拡大写真を示す。示差熱検出デバイスを用いた測定原理（下）。試料セルの試料が吸収したエネルギーは熱に変換され、最終的にセンサーの温度上昇として検出される。

得ることができるため、0.05-1.1 THz の広い周波数範囲で連続的かつ高い分解能の周波数掃引を行える。測定では、テスト用に用意したラクトース試料粉末(図2)を試料セルのメンブレン上に設置し、テラヘルツレーンズで集光したテラヘルツ波をチップ上方から照射した。チップからの信号をプリアンプで増幅し、ロックインアンプとフィルター回路をもちいて雑音低減を図った。研究期間内に測定試料の量や照射条件等を変えて繰り返し測定を行ったが、室温、大気圧の条件下ではラクトースの吸収に起因する信号を検出するまでに至らなかった(図2)。

この結果について考察を行った結果、検出可能な温度変化が得られなかった原因として以下の2点が考えられた。1つは、セルが大気圧環境に置かれていたため、試料の吸収した熱量がセル上のサーモパイル以外にも大気中に熱緩和している可能性が挙げられた。また、試料からの熱緩和によってサーモパイルの温度が上昇する必要があるが、室温では比熱が大きく、十分な温度上昇が得られていない可能性がある。実際に格子による比熱成分は T^3 に比例することから、室温での熱検出は低温での測定に比べて感度的に不利な条件となっている可能性が挙げられる。また、フォトミキシング光源の出力は 10-100 μW 程度となっていることから、セルに対して十分な温度上昇をもたらすだけの熱量が供給できてない可能性もあげられる。

以上のような考察から、現在、低温、真空下で測定を行うことで検出感度を向上し、まずは原理検証のための測定系構築を進めている。ステンレス製の真空容器内に液体窒素溜めを備えたクライオスタットを用意し、この中に測定用セルを設置することでより高感度な熱検出を行いたいと考えている。低温下ではサーモパイルの検出感度が室温に比べて減少すること

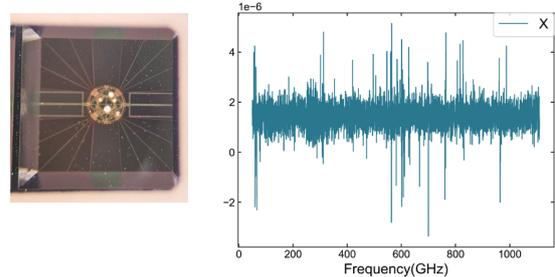


図2：試料を載せたメンブレンデバイスの写真(左)と室温における測定結果(右)。写真中央のメンブレン上にみえる白い粒が測定試料。

が知られているが、温度低下による比熱の減少、吸収スペクトルの先鋭化、ジョンソンノイズの低減といった効果が期待されることから、真空中、液体窒素温度の環境下ではより高感度な測定結果が期待できる。

また、現行のフォトミキシング光源では周波数発生領域が 0.05-1.1 THz となっているが、実際のテラヘルツ吸収スペクトルの多くはより高い周波数範囲で観測されることが知られている。そのため、本研究では並行して、波長可変レーザー光源と DFB レーザーを組み合わせることでフォトミキシング光源の広帯域化を行った。その結果、発生周波数範囲を 2.7 THz まで拡張することができた。この光源と本研究で製作した測定系を組み合わせることにより、より広範囲でのテラヘルツ吸収分光測定が可能になる。このことは、装置の実用的な観点からも、重要な改良点に挙げられる。

今後も、本助成によって整備することができた測定環境を用いることで引き続き、熱検出に基づくテラヘルツ吸収測定法の確立に向けた研究を行っていきたい。

[発表論文]

なし