

サブnmギャップ電極によるTHz電磁波の増強及び 単一分子における光子支援トンネル効果の観測

Photon-Assisted Tunneling through Single Molecules Induced
by Terahertz Radiation Enhanced in the Sub-nm Gap Electrodes

H27海自72

派遣先 第40回赤外光、ミリ波及びTHz波に関する国際会議（中国・香港）

期 間 平成27年8月22日～平成27年8月29日（8日間）

申請者 東京大学 生産技術研究所 助教 吉 田 健 治

海外における研究活動状況

研究目的

有機分子の特徴的自由度である分子振動や回転運動のエネルギーはTHz周波数帯に主に分布していることから、THz光を用いた単一分子分光を行うことで個々の分子の機械的運動に関する詳細な情報を読出すことが可能である。しかし、THz波長と単一分子との間には5桁以上のサイズミスマッチが存在する。本研究では、単一分子のTHz分光を実現する上で必要な回折限界を大きく超えたTHz光の単一分子への集光の実現を目的とした。

海外における研究活動報告

申請者は貴財団の渡航支援を受け、2015年8月23日から8月28日までの日程で中華人民共和国香港にて開催される第40回赤外光、ミリ波及びテラヘルツ（THz）波に関する国際会議（IRMMW-THz 2015）に参加し、口頭発表を行った。本会議は、赤外からミリ波の周波数帯における物理や電子デバイスに関して基礎から応用まで多岐に亘る内容を対象としている。本会議は当該研究分野では最も伝統がある国際会議であり、その規模も最大級である。今回、

参加者は世界30ヶ国から総勢600人以上を数え、本研究分野の注目度の高さを裏付けるものであった。

本国際会議では、申請者がサブnm幅の空隙を有した金属ナノギャップ電極に単一分子が結合した構造を持つ単一分子トランジスタを用いることによって、世界に先駆けて実現した単一分子へのTHz光の高効率集光とTHz光・単一分子間での量子力学的相互作用であるフォトンアシストトンネル効果の観測に関する成果について発表を行った。

THz光は100GHz～10THzという電波と光波との境界に位置する周波数領域の電磁波である。分子の回転運動や分子振動などの多くはTHz周波数領域に存在することから、THz光を用いた分子の分光を行うことで、分子の構造や分子振動に関する情報を得ることが可能である。一方で、これまでのTHz分光ではバルク試料の測定が主であったため、膨大な量の分子からの平均化された情報しか得ることができない。そのため、単一分子のTHz分光を実現できればアンサンブル測定では不可能な詳細な情報（例えば、ある局所環境に置かれた分子の振動状態など）を得ることが可能である。しかし、単一分子の典型的な寸法は1nm程度であるのに

対して、THz光の波長は数百 μm であり、両者の間には5桁以上の大きなサイズミスマッチが存在する。したがって、単一分子のTHz分光を行うためには、回折限界をはるかに超えた分子へのTHz光の集光を実現しなければならない。

この困難を解決するため、我々は単一分子を活性層とした三端子素子である単一分子トランジスタに種々の工夫を施すことでTHz光の高効率集光が可能な構造を作製した。具体的には、①THz光を透過するNiCr薄膜電極を用いたバックゲート電極、②THz波長に感度を持つボウタイアンテナ型ソース・ドレイン電極、③金属ナノギャップ電極による電場増強効果、④Si超半球レンズ上に素子を配置するなどの工夫を行った。これらの構造を有した素子にTHz光を照射した際の電気伝導特性の変化を調べることで、THz光と単一分子との相互作用について詳細に検討を行った結果、フォトンアシストトンネル効果 (PAT) に起因した電気伝導度の変調効果を観測することに成功した。PAT効果の理論モデルと実験結果とをフィッティングした結果、100kV/cm以上という高強度THz交流電場が単一分子領域に誘起されていることがわかった。さらに、この値は、本実験で用いたTHz光の自由空間での電場強度と比して5

桁以上大きな値であった。以上の結果はTHz光の単一分子への高効率な集光を実現に成功したことを意味し、単一分子のTHz分光という未踏領域の開拓に向けた大きな一歩となるものであると考えられる。本会議では質疑応答の際には、ある質問者からは称賛の言葉を頂き、セッション終了後も何人かの参加者から質問されるなど聴衆からの反応は概ね良好であり、今後の研究をするに当たり大きな励みとなるものであった。また、本会議ではナノスケールのスリット構造を利用した高強度THz電場の発生、走査型プローブ顕微鏡を用いたナノ領域のTHz分光測定など申請者の研究と関連する興味深い報告が為されており、ナノスケール領域におけるTHz分光研究の活発化を感じることができた。

末筆ながら本発表を行うに当り支援を頂いた村田学術振興財団に厚く御礼申し上げる。

**この派遣の研究成果等を発表した
著書、論文、報告書の書名・講演題目**

“Photon-Assisted Tunneling through Single Molecules Induced by Terahertz Radiation Enhanced in the Sub-nm Gap Electrode”, K. Yoshida, K. Shibata, and K. Hirakawa, Proceedings of 40th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 3130596 (2015).