

回折限界をはるかに超えた単一分子・単一原子のテラヘルツ分光

Terahertz spectroscopy of single molecules and single atoms far beyond the diffraction limit

東大生研¹, 東大ナノ量子機構² ○平川一彦^{1,2}, 杜少卿¹, 吉田健治¹, 張 垂¹

IIS¹ and INQIE², Univ. of Tokyo, °Kazuhiko Hirakawa^{1,2}, Shaoqing Du¹, Kenji Yoshida¹, Ya Zhang¹

E-mail: hirakawa@iis.u-tokyo.ac.jp

分子の振動、回転などはテラヘルツ (THz) 周波数領域に存在しており、分子の構造やダイナミクスに関する様々な情報を得ることができる。また、近年、分子の機械的な振動を用いた量子情報処理についても検討がなされつつある。しかし、THz 電磁波の波長は 100 μm のオーダーであるため、従来は多数の分子の平均的な情報しか得ることができなかった。我々は、単一分子トランジスタ構造の電極をアンテナとして用いることにより、単一分子に THz 電磁波を集光し、その情報を読み出す研究を行っている。

本研究では、通電断線現象を利用して原子スケールのギャップを有する金属電極を作製し、単一分子をギャップ中に捕獲している。さらにゲート電極により、分子内の静電ポテンシャルや電子数を精密に制御することができる。図1に示すように、分子内の電子状態を電極で制御・モニターした状態で、ナノギャップ電極をアンテナとして用いて単一分子に THz 電磁波を集光する。このアンテナ効果により、ギャップ内の THz 電界は、THz 電磁波の波長約 100 μm をギャップ長約 1 nm で割った程度に対応する約 10^5 倍も増強される[1]。

THz 電磁波の照射により分子振動が誘起され、分子を介して流れる電流が変調されるため、THz 電磁波誘起の電流変化を読み取ることにより、単一分子のダイナミックなスペクトルが読み出せる。本研究では、10 fs のレーザパルスにより THz バーストを発生させて、単一の C60 分子や金属内包フラーレン分子の測定を行い、金属電極上で C60 分子が超高速に重心運動する様子や、フラーレンカゴ分子内に内包された単一 Ce 原子の超高速 rattling 運動の観測に成功した。この成果は、回折限界を大きく超えて、テラヘルツ電磁波で原子スケールのダイナミクスを明らかにすると言う新しい研究分野が拓けつつあることを示している。

本研究は、科学研究費補助金新学術領域研究「ハイブリッド量子科学」(15H05808)、基盤研究 A (17H01038)、キャノン財団の支援を受けて行われた。

【参考文献】 [1] K. Yoshida, K. Shibata, and K. Hirakawa, Phys. Rev. Lett., 115, 138302 (2015).

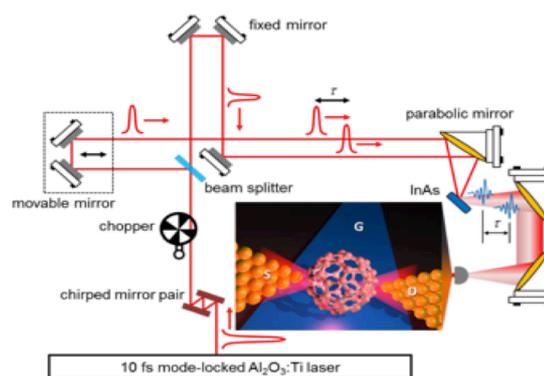


図1 単一分子 THz 分光測定系