ディラック電子系薄膜におけるテラヘルツ波表面プラズモン共鳴

Terahertz wave surface plasmon resonance in thin films of Dirac electron systems

東大院工 [1]　○杉本雛乃 [1], 西村佳菜 [1], 高橋茉由子 [1], 田畑 仁 [1]

[1]School of Engineering, University of Tokyo ○Hinano Sugimoto[1], Kana Nishimura[1], Mayuko Takahashi[1],Hitoshi Tabata[1]

E-mail: sugimoto@bioxide.t.u-tokyo.ac.jp

1.　序論

テラヘルツ(THz)帯域(0.1～10 THz)には、生体関連分子の分子間結合に起因する、数多くの重要な振動モードが存在するため、特異結合状態を蛍光分子修飾なく直接観測できるバイオセンサの実現が期待されている[1]。

我々は、トポロジカル物質 $Bi_2(Se, Te)_3$ 等のディラック電子系を用いた THz 帯域表面プラズモン共鳴(SPR)法に着目し、分子間振動に合致した THz 波帯域で、分子間振動共鳴と表面プラズモン共鳴の二つの共鳴現象の相乗効果により従来型の可視光域 SPR 法では困難であった分子種・結合種の特定を目指している[2]。また、金属メッシュやメタマテリアルを用いた THz 分光 [3]では光が波長程度(数十 μm)の侵入長に対し、10-20nm の極表面領域で表面プラズモン共鳴が発現することが知られており、原理的に表面敏感な検出が期待できる。本研究では、ディラック電子系のワイル半金属 WTe_2 に着目し、より極表面領域センシングに適したクレッチマン配置型 THz-SPR の観測を行った。なお、ワイル半金属は、従来表面プラズモンで利用されてきた金属材料(マクスウェル電磁気学に従う)と異なりアクシオン電磁気学に従うことから、SPR が生じるための入射電磁波の制約（光入射境界面に対して磁場が横波の TM モード波制限）がなくなるとされている[4]。また、ワイル半金属に存在する伝導電子は不純物に影響されにくい高い伝導特性を有することから、より高感度なセンシングが期待できる。

2.　実験と結果

パルスレーザー堆積法を用いて高抵抗 Si 基板(100)上に WTe_2 薄膜(膜厚約 100 nm)を作製した。XRD 測定より、WTe_2 特有のピークが見られ、WTe_2 の成長を確認した (図(a))。一方で、WO_3 と Te_2O_3 由来の XRD ピークも見られ、別途測定した XPS 測定からも薄膜表面が一部酸化していることが分かった。

次に、Si プリズムと WTe_2 薄膜を図(b)のようにクレッチマン配置し、入射角 25 度から 55 度における反射率を測定したところ、図(c)のようになった。入射角を大きくするほどディップ位置が低周波数側に移動していることが分かり、これまで理論的計算に留まっていた、ディラック電子系表面プラズモン共鳴現象の実験的観測を示唆する結果が得られたと考えられる。

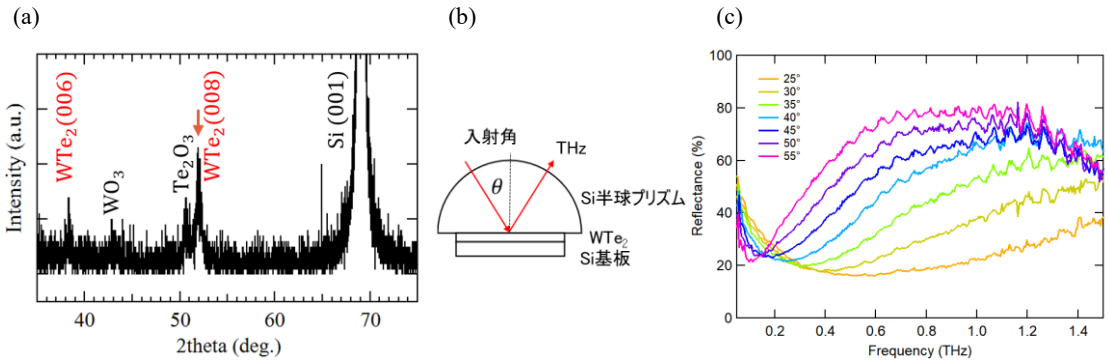

図 1(a) WTe_2 薄膜の XRD 結果 (b)実験の概要図 (c)入射角 25 度から 55 度における反射率の周波数依存性

参考文献 [1] S. Kawabe, M. Seki, and H. Tabata, Appl. Phys. Lett., vol. 108, no. 8, p. 081103, 2016. [2] H. Sugimoto et al., Optics Letters 46. 16. 3897-3904 (2021). [3] Hasebe, T. et al., Biochemical and Biophysical Research Communications 414 (1): 192–98. 2011 [4] Z. Jalali-Mola and S. A. Jafari, Physical Review B 100, 205413, 2019

謝辞　本研究の一部は、日本学術振興会科研費(20H05651, 19K15022, 21J12725)、東京大学 Beyond AI 研究推進機構の支援を受けています。