

トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ による テラヘルツ波表面プラズモン共鳴の研究

Research on terahertz wave surface plasmon resonance in topological insulator $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$

東大院工¹ ○杉本雛乃¹, 西村佳菜¹, 田畑 仁¹

¹School of Engineering, University of Tokyo ○Hinano Sugimoto¹, Kana Nishimura¹, Hitoshi Tabata¹

E-mail: sugimoto@biooxide.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。このため、THz 光を利用することによって、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]。

本研究では、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を目指して、トポロジカル絶縁体を用いた THz 帯域表面プラズモン共鳴(SPR)法に着目する。分子間振動に合致した THz 波帯域での分光により、従来型の可視光域 SPR 法では困難であった分子種・結合種の特定を可能にする。加えて、フェルミレベル近傍のディラックポイントで直線的かつ急峻な電子状態密度変化を示すトポロジカル絶縁体との融合により、従来のセンシング技術にない高感度・非標識センシングの実現が期待できる。我々はこれまでトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 に着目し、トポロジカル絶縁体 THz-SPR の観測のみならず[2]、重要な生体関連分子であるアビジン・ビオチン特異結合や、糖・レクチン特異結合の非標識検出に初めて成功した[3,4]。また、 Bi_2Se_3 の ARPES 測定により、ディラックコーンを観測し、 Bi_2Se_3 のトポロジカル絶縁体状態を確認した。しかしながら、 Bi_2Se_3 は薄膜作製時に必ず格子欠陥が発生するため、バルク絶縁性が低く、ディラック系 SPR において重要な薄膜表面の massless 電子の寄与が小さくなる懸念があった。本研究では、Se の一部を Te に置換($\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$)することで、格子欠陥を減らし、より純粋な表面の massless 電子の動きをみられるようにした。また、 $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ は Bi_2Se_3 と比較してより直線的なバンド分散であるといった報告もあり[5]、これらによってセンシング応用での表面敏感性の向上が期待できる。

2. 実験と結果

パルスレーザー堆積法を用いてサファイア基板上に $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ 薄膜(膜厚約 150 nm)を作製した。XRD 測定より、 Bi_2Se_3 と同様のシャープな(003n)ピークが見られ、高結晶化薄膜の生成に成功したと考えられる。フォトリソグラと SF_6 イオンエッチングにより、幅 $W=32,64 \mu\text{m}$ の $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ マイクロ回折格子構造を作製した (Fig.1(a))。テラヘルツ直線偏光を回折格子構造に対し平行入射時は、0.3~1.6 THz 帯域でディップは見られなかったものの、垂直入射では、1.2,0.6 THz 付近で透過率低下のディップが見られた (Fig.1(b))。回折格子幅が大きい程ディップ周波数が小さいことや、 Bi_2Se_3 と同じ周波数でのディップが発生していることから、このディップは表面プラズモン共鳴由来であり、 $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ 薄膜での THz-SPR の発生を実験的にはじめて確認したものである。

参考文献 [1] S. Kawabe, M. Seki, and H. Tabata, Appl. Phys. Lett., vol. 108, no. 8, p. 081103, 2016. [2] P. Di Pietro et al., Nat. Nanotechnol., vol. 8, no. 8, pp. 556–560, 2013. [3] 杉本、他、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集 (2021), 13a-N105-3 [4] H. Sugimoto, et al., Optics Letters Vol. 46, Issue 16, pp. 3897-3900 (2021) [5] K Miyamoto, et al., Phys Rev Lett, 109, 166802 (2012)

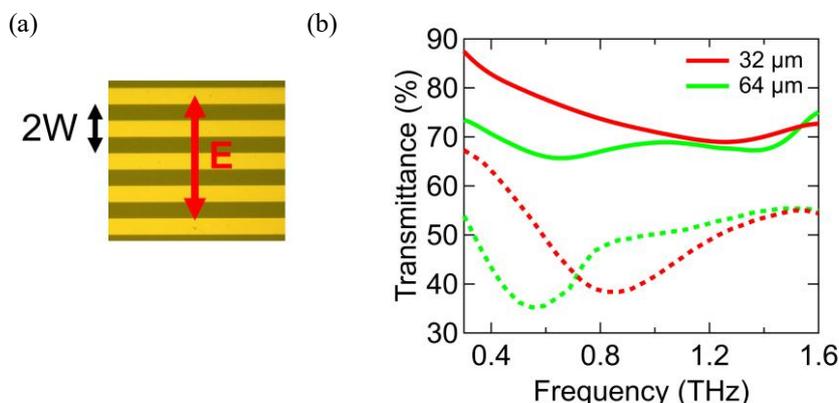


図 1(a) $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ 薄膜のパターニングと THz 垂直直線偏光 (b)回折格子 $W=32,64 (\mu\text{m})$ の場合の THz 垂直直線偏光の透過率 (実験: 実線、計算: 点線)