

トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 エピタキシャル膜における 偏光ラマンスペクトルの膜厚依存性

Thickness dependence of polarized Raman spectra in topological insulator Bi_2Se_3 epitaxial films

九工大情報工, [○]野崎孝武, 近藤智裕, 寺井慶和

Kyushu Inst. of Tech., [○]T. Nozaki, T. Kondo and Y. Terai

E-mail: q232064t@mail.kyutech.jp

【はじめに】トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 では、物質内部（バルク）は絶縁体だが、表面にギャップレスの高移動度、スピン偏極したトポロジカル電子状態が発現する。しかし、ある 2 次元限界まで薄くなるとディラック点にギャップがひらき、トポロジカル電子状態が消失することが知られている[1]。これまで、ラマンシフトによる 2 次元限界膜厚の評価が報告されているが[2]、更なる評価手法が必要とされている。前回我々は、Si 基板上に Bi_2Se_3 エピタキシャル膜の MBE 成長を行い、基板温度 120 °C の低温 1 段階成長法により表面平坦性に優れかつ最小の電子密度が得られることを明らかにした[3]。今回は、その成長法を用いて膜厚の異なる Bi_2Se_3 エピタキシャル膜を成長し、偏光ラマンスペクトルを測定した。その結果、偏光解消度 ρ により 2 次元限界膜厚が評価できることを見いだしたので報告する。

【実験方法】ホットリップ高速分子線セルを用いた MBE 法により、FZ n -Si(111)基板 ($\rho \geq 1 \text{ k}\Omega$) 上に基板温度 120 °C の低温 1 段階成長で 5–85 nm の Bi_2Se_3 エピタキシャル膜を作製した。成長後、入射電界と散乱電界が平行となる $X(\text{YY})\bar{X}$ 配置と垂直となる $X(\text{YZ})\bar{X}$ 配置で偏光ラマンスペクトルを測定し、 $X(\text{YY})\bar{X}$ および $X(\text{YZ})\bar{X}$ 配置での散乱強度 $I_{\parallel}$ と $I_{\perp}$ から偏光解消度 $\rho (= I_{\perp}/I_{\parallel})$ を求めた。

【結果】Fig. 1 に無偏光で測定したラマンスペクトルの膜厚依存性を示す。全ての試料で Bi_2Se_3 由来の A_g モード(73, 174 cm^{-1})と E_g モード(131 cm^{-1})の散乱ピークが観測された。 Bi_2Se_3 膜厚が 5 nm 以下になると A^1_{1g} , E^2_g モードが低波数側, A^2_{1g} モードが高波数側にシフトしている。このラマンシフトの膜厚依存性は従来報告と一致しており[2]、5 nm が 2 次元限界膜厚と判断される。Fig. 2 に(a) E^2_g モードのラマンシフト位置, (b)偏光ラマンスペクトルから求めた偏光解消度の膜厚依存性を示す。ラマンシフトの膜厚依存性に対応して、偏光解消度も 2 次元限界膜厚の 5 nm で急激に低下することが明らかとなった。Fig. 1 のラマンシフトより偏光解消度の方が精度高く値を求めることができるため、偏光解消度評価は Bi_2Se_3 の 2 次元限界膜厚の同定に有効であるといえる。今後は、電気特性および電子構造の膜厚依存性も評価し、偏光解消度による 2 次元限界膜厚の評価結果と比較する予定である。

[1] Y. Zhang, et al.: Nature Phys. **6** (2010) 584.

[2] S. Kim, et al.: Nanotechnology **27** (2016) 045705.

[3] 野崎他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-Z23-1.

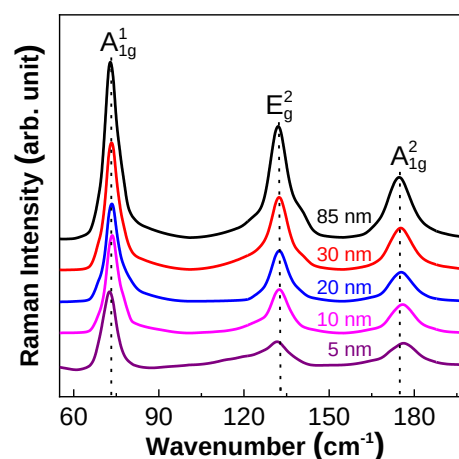


Fig. 1 Raman spectra of Bi_2Se_3 epitaxial films.

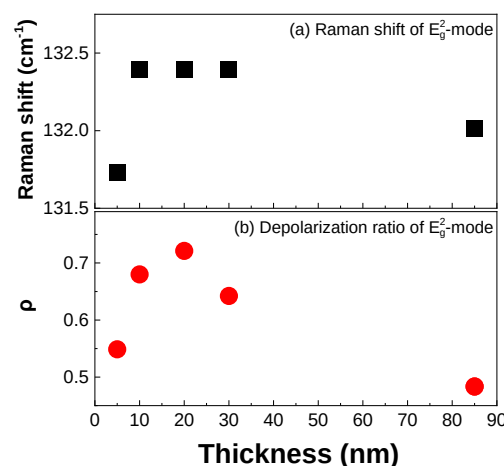


Fig. 2 (a) Raman shift, (b) Depolarization ratio of E^2_g -mode as a function of Bi_2Se_3 thickness.