

偏光ラマンスペクトルによるトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 エピタキシャル膜の評価Investigation of topological insulator Bi_2Se_3 epitaxial films by polarized Raman spectra九工大情報工, [○]近藤智裕, 野崎孝武, 寺井慶和Kyushu Inst. of Tech., [○]T. Kondo, T. Nozaki and Y. Terai

E-mail: terai@phys.kyutech.ac.jp

【はじめに】トポロジカル絶縁体は物質内部（バルク）は絶縁体だが、3次元系なら表面、2次元系なら界面端にギャップレスの高移動度、スピン偏極した伝導状態を有する新物質である。前回我々は、Si基板上にトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 エピタキシャル膜を作製し、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[1]。今回は、その低温1段階成長法を用いて Al_2O_3 , SiO_2 基板上に Bi_2Se_3 を成長し、ファンデルワールスエピタキシーの基板種依存性について検証した。また、偏光ラマンスペクトルの偏光解消度を評価したところ、偏光解消度と電子移動度に明確な相関があ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、基板温度 120°C の低温1段階成長法で約 70 nm の Bi_2Se_3 を成長させた。その際、高抵抗 FZ $n\text{-Si}(111)$ ($\rho \geq 1\text{ k}\Omega$), $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ と $\text{SiO}_2(500\text{ nm})/\text{Si}(001)$ の3種類の基板を用いた。また比較のため、従来報告の2段階成長法 ($3\text{ nm at } 120^\circ\text{C} \rightarrow \sim 68\text{ nm at } 250^\circ\text{C}$) で $n\text{-Si}(111)$ と $\text{SiO}_2(500\text{ nm})/\text{Si}(001)$ 基板上への成長も行った。成長後、RHEED, AFM, 偏光ラマンスペクトル, ホール効果測定で試料を評価した。

【結果】 Bi_2Se_3 成長表面の RHEED 観察の結果, Si と Al_2O_3 基板試料では Fig. 1(a)内挿図に示したストリークパターンが観測され, $\text{Bi}_2\text{Se}_3(001)$ エピタキシャル成長が確認された。一方, SiO_2 上へ成長させた場合, 1 または 2 段階成長の方法によらず Fig. 1(b)内挿図のストリークとリングが混ざったパターンが観測され, 部分的に多結晶化していると考えられる。ホール効果から求めた電子密度は基板種に依存せず $1\text{--}5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ であったが, 移動度の大小関係は $\text{Si}(324) > \text{Al}_2\text{O}_3(226) > \text{SiO}_2(60\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$ となった。また, 2 段階成長試料では表面平坦性が悪化するが, 移動度は 1 段階成長試料より若干高い値を示した。次に入射電界と散乱電界が平行 ($X(YY)\bar{X}$) および垂直 ($X(YZ)\bar{X}$) 配置で測定した, 偏光ラマンスペクトルを Fig. 1 に示す。 Bi_2Se_3 の分子振動に由来する A_g モード ($73, 174\text{ cm}^{-1}$) と E_g モード (131 cm^{-1}) の3つの散乱ピークが観測され, その散乱強度は測定配置に依存して大きく変化していることがわかる。各ピークで $X(YY)\bar{X}$ と $X(YZ)\bar{X}$ 配置での散乱強度 $S_{//}$, $S_{\perp}$ を求め, 偏光解消度 $\rho (= S_{\perp}/S_{//})$ を求めた。その偏光解消度を電子移動度に対してプロットした (Fig. 2)。図より移動度が高くなるにつれ, 偏光解消度は A_g^2 モード(a)で減少, E_g^2 モード(b)で増加しており, 移動度と偏光解消度に明確な相関があることが明らかとなった。 Bi_2Se_3 のラマン選択則では, A_g モードで $\rho = 0$, E_g モードで $\rho \neq 0$ となるため, Fig. 2 は移動度が高い試料ほどラマン選択則を満たす結果と解釈できる。よって, Bi_2Se_3 の偏光解消度評価は, 結晶配向性と電子散乱頻度の評価に有効な手段であると結論づけられる。

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

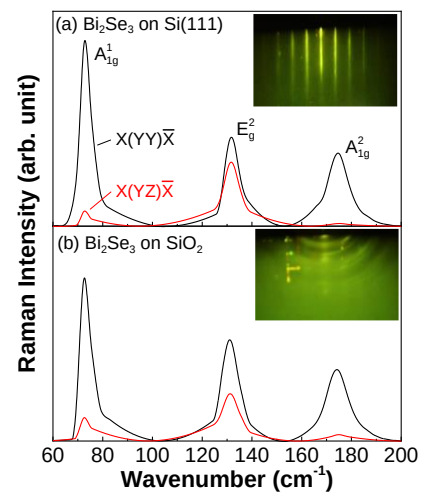


Fig. 1 Polarized Raman spectra of Bi_2Se_3 . Inset : RHEED images of Bi_2Se_3 surface.

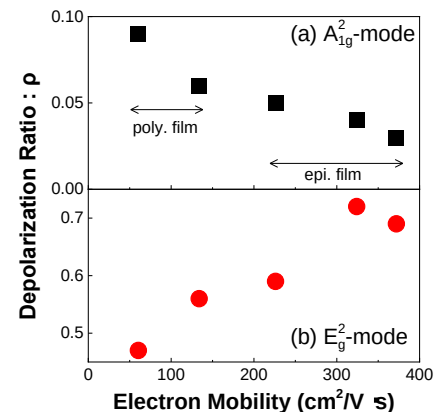


Fig. 2 Depolarization ratios as a function of electron mobility at RT.