

トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 成長条件の最適化 Optimization of topological insulator $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ growth conditions

九工大情報工, [○]山形 悠太, 日浦 由登, 寺井 慶和
Kyushu Inst. of Tech., [○]Y. Yamagata, Y. Hiura and Y. Terai
E-mail: yamagata.yuta503@mail.kyutech.jp

【はじめに】トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 は物質内部 (バルク) は絶縁体だが, 表面に高いキャリア移動度のトポロジカル電子状態を形成する。しかし, トポロジカル電子状態は表面酸化により消失する, Se 空孔由来の高い Bi_2Se_3 バルク電子濃度によりトポロジカル電子伝導の観測が困難といった問題がある。そこで, 我々はバンドギャップ (E_g) の大きい CdSe ($E_g = 1.74$ eV) と Bi_2Se_3 ($E_g = 0.30$ eV) からなる $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}$ 超格子の作製を最終目標としている。 $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}$ 超格子ではヘテロ界面にトポロジカル電子状態が形成されるため表面酸化の影響がなく, E_g 差により Bi_2Se_3 層へのキャリアの量子閉じ込めが可能である。また, Bi_2Se_3 中の Cd はアクセプターとして機能するため, Cd の Bi_2Se_3 層への拡散によりバルク電子濃度の低減につながると期待される。そのため, $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}$ 超格子は新規トポロジカル量子物質として機能することが予測される。これまで我々は, $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Si}(111)$ sub. 構造のファンデルワールスエピタキシーを実証してきた[1]。しかし, 2 層目 Bi_2Se_3 の表面平坦性が不十分であるため, 超格子作製には高い表面平坦性を維持する成長条件の探索が必要不可欠である。そこで, 本研究では 2 層目 Bi_2Se_3 成長の Se/Bi 蒸気圧比 (Se/Bi) をこれまでの Se/Bi = 163 から変化させ, 表面平坦性の向上を達成したので報告する。

【実験方法】基板種の最適化の結果, FZ n -Si(111) ($\rho \geq 1$ $\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$) 基板, 成長温度 (T_S) 120 °C で最も表面平坦性の高い Bi_2Se_3 エピタキシャル膜が得られている[2]。この成長条件で Bi_2Se_3 を約 40 nm 成長させた後, Se のセル温度を変更し, $T_S = 220$ °C で CdSe を約 50 nm, その上に Bi_2Se_3 を約 40 nm 成長した。Se セル温度の変更により, 2 層目 Bi_2Se_3 の Se/Bi フラックス比は Se/Bi = 163 – 1201 の範囲で変化させた。 $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 構造の作製後, XRD, AFM 測定による評価を行った。

【結果】Fig. 1 に XRD パターンの Se/Bi 比依存性を示す。全試料で CdSe と Bi_2Se_3 の c 軸配向した回折ピークのみ観測され, Se/Bi 比に依存しない $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ エピタキシャル成長が確認された。よって, 表面平坦性が超格子作製条件の決定パラメータとなるため, 2 層目 Bi_2Se_3 表面の AFM 測定を行った。代表的な AFM 像として, Fig. 2(a) に Se/Bi = 163, Fig. 2(b) に Se/Bi = 1201 の結果を示す。Se/Bi 比に依存して表面形状が明らかに変化しており, 高 Se/Bi 比で平坦性が向上していることが分かる。AFM 像より算出した二乗平均表面粗さ (RMS) の Se/Bi 比依存性を Fig. 2(c) に示す。Se/Bi \leq 609 では RMS が 3.0 nm 以上の粗い表面が形成されるのに対し, Se/Bi \geq 998 では RMS \approx 0.8 nm と高い表面平坦性が得られた。この表面形状の変化は Se/Bi 比に依存して成長モードが 2 次的に変化した結果と考えられる。以上の結果より, Se/Bi \geq 998 で超格子の作製が可能であることが示された。

[1] 山形他, 2024 年度応用物理学会九州支部学術講演会, 8Ba-8.

[2] 近藤他, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 11p-N304-7.

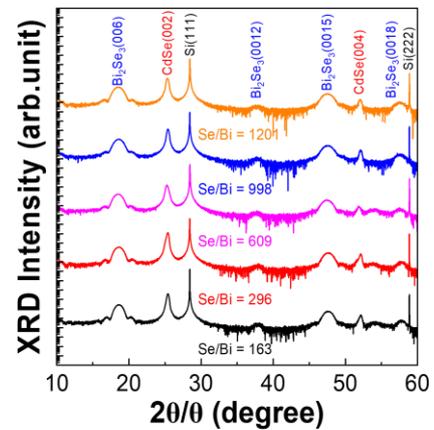


Fig. 1 XRD patterns of $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{CdSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ grown by different Se/Bi flux ratio.

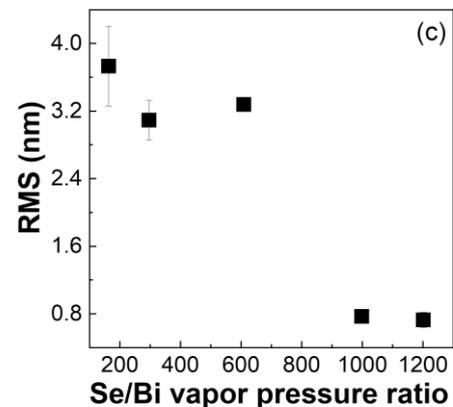
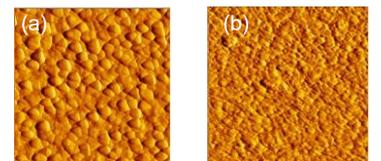


Fig. 2 AFM images of Bi_2Se_3 surface at Se/Bi = (a) 163, (b) 1201. (1 $\mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$), (c) RMS as a function of Se/Bi.