

トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 の低温エピタキシャル成長と電気特性評価Low temperature epitaxial growth of topological insulator Bi_2Se_3 and their electrical properties九工大情報工¹, ケニックス(株)², [○]野崎孝武¹, 近藤智裕¹, 太田裕己², 米澤 健², 寺井慶和¹Kyushu Inst. of Tech.¹, Kenix Co., Ltd.², [○]T. Nozaki¹, T. Kondo¹, H. Ohta², K. Yonezawa², Y. Terai¹

E-mail: q232064t@mail.kyutech.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。我々はトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 をベースとした新規人工超格子トポロジカル絶縁体の作製を最終目標としているが、 Bi_2Se_3 ではSe欠陥由来の電子ドーピングが問題となっており、バルクキャリア濃度の低減が必要不可欠である。そこで本研究では、バルクキャリア濃度の低減を目的に、 Bi_2Se_3 の低温成長を試みたので報告する。

【実験方法】MBE法により、FZ n -Si(111)基板 ($\rho \geq 1 \text{ k}\Omega$)上に基板温度(T_s) $T_s = 120\text{--}300^\circ\text{C}$ で Bi_2Se_3 膜を作製した。Se供給源にはオリフィス($\phi 100 \mu\text{m}$)付きのホットリップ高速分子線セルを用い、Se/Bi フラックス比を $\text{Se/Bi} \approx 10$ に固定して6 h 成長した。成長後、RHEED, XRD, ラマン測定により結晶構造, AFM で表面平坦性, van der Pauw 法によるホール効果測定で電気特性を評価した。

【結果】Fig. 1 内挿図に $T_s = 120^\circ\text{C}$ で作製した試料の RHEED 像を示す。成長温度に依存せず、同様のストリークパターンが観測された。また、XRD およびラマンの偏光解消度測定から、全成長温度で $\text{Bi}_2\text{Se}_3(001)/\text{Si}(111)$ のエピタキシャル成長が確認された。Fig. 1 に平均面粗さ(Ra)の成長温度依存性を示す。成長速度は約 0.25 nm/min と基板温度に依存しなかったが、低温成長で表面平坦性が高く、 $T_s = 120^\circ\text{C}$ で最も高い平坦性が得られていることがわかる。Fig. 2 に室温で測定した、(a) 電子移動度と(b) 電子密度 n の成長温度依存性を示す。 $T_s = 120^\circ\text{C}$ において最大の電子移動度と最小の電子密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ が得られた。基板温度の上昇とともに電子密度が若干増加し、移動度も低下する。 $T_s = 300^\circ\text{C}$ まで達すると、急激に電子密度が増加し、移動度も低下した。この結果は、成長温度の上昇に伴いSe欠陥 (Se 空孔, アンチサイト Se) 濃度が増加するためと解釈される。よって、バルク電子濃度を低減させ、超格子作製で必要となる界面平坦性を得る点でも、 $T_s = 120^\circ\text{C}$ の低温成長が有効であることが明らかとなった。これまでの Bi_2Se_3 エピタキシャル成長では、初期成長は低温で行い、その後、結晶品質を向上させるため $T_s = 300^\circ\text{C}$ 以上で高温成長させる「2段階成長」が主流であるが[1]、本研究結果は、低温1段階成長がトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 超格子の作製に最適であることを示す結果と位置づけられる。今後は、Se/Bi フラックス比を変化させ、さらなる電子濃度の低減と電子移動度の増加について調査する予定である。

[1] A. A. Taskin *et al.*, Adv. Matter. 24 (2012) 5581.

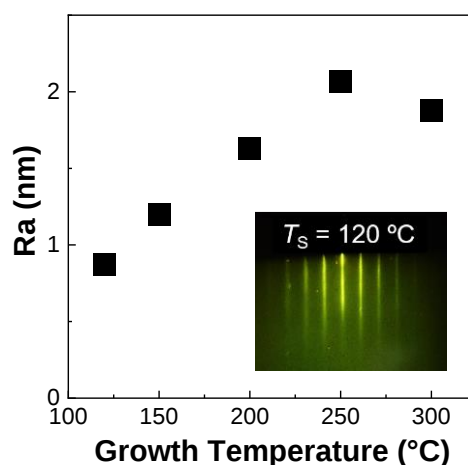


Fig. 1 Ra as a function of growth temperature. Inset shows RHEED pattern at $T_s = 120^\circ\text{C}$.

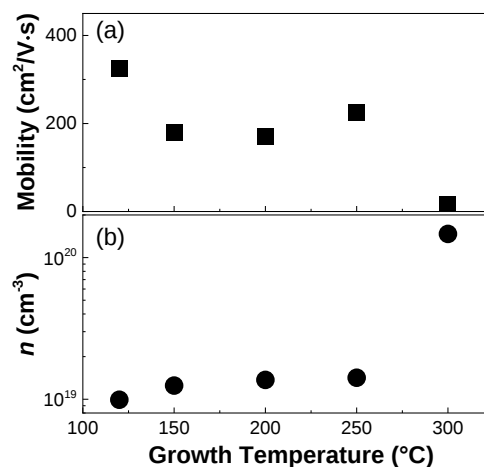


Fig. 2 (a) mobility, (b) electron density as a function of growth temperature.