

Bi_{1-x}Sb_x トポロジカル薄膜の構造・電気特性の膜厚依存性

Thickness-dependence of structural and electronic characteristics of topological Bi_{1-x}Sb_x thin films

名大院工 羽立 康浩, 森 一将, 浅野秀文, ○植田研二

Nagoya Univ., Yasuhiro Hadate, Kazumasa Mori, Hidefumi Asano, ○Kenji Ueda

E-mail: k-ueda@numse.nagoya-u.ac.jp

【序】トポロジカル物質はヘリカルスピン偏極した超高移動度表面伝導層を有する為、次世代スピントロニクス材料として注目されている。様々なトポロジカル材料があるが、我々は非常に高い移動度(~85000 cm²/Vs)に加えて、大きなスピンホール効果が表れるなど近年注目の集まるトポロジカル Bi_{1-x}Sb_x(BiSb)に着目し研究を行っている。前回の応物学会で我々は、デバイス応用に必須となる高品質 BiSb 薄膜の作製が、ミスマッチ(-3.2%)の小さな BaF₂(111)基板上で、2段階成長を用いる事により可能である事を報告した^[1,2]。本研究では BiSb のデバイス応用に向け、BiSb トポロジカル薄膜の構造及び電気特性の膜厚依存性について調査したので報告を行う。

【実験】MBE 法を用い、膜厚の異なる BiSb 薄膜 (x= ~0.1) を BaF₂(111)基板上に 2段階成長法 (T_s= ~150°C → ~250°C) で作製した^[2]。その後、フォトリソ及び RIE により BiSb 薄膜をホールバー形状(120 μm × 360 μm)に加工し、電気特性評価を行った。

【結果と考察】2段階成長法を用いて膜厚 50~300 nm の BiSb 薄膜を作製したところ、面直 XRD 測定から全ての膜厚で c 軸配向膜が得られる事が分かった(Fig.1)。膜厚増加と共に結晶性は向上し、面直 XRD 測定及び逆格子測定から 300 nm 厚の BiSb 薄膜ではエピタキシャル成長が確認できた (BiSb (001)[2-10] // BaF₂ (111)[1-10])。次にホール抵抗測定(ρ_{xy})を行った所、複数伝導層の存在を示唆する非線形挙動が観測された。これは作製した BiSb がトポロジカル表面伝導とバルク伝導の 2つの異なる伝導層を有する事に対応していると考えられる。300 nm 厚の BiSb のホール伝導度 σ_{xy} の 2バンドモデル解析から、キャリア(電子)濃度、移動度がそれぞれ、伝導層 1: 1.8×10¹⁸ cm⁻³、7450 cm²/Vs、伝導層 2: 4.6×10²¹ cm⁻³、5.5 cm²/Vs(@2 K)と算出された。これらの結果から、高移動度の伝導層 1 がトポロジカル表面伝導層、伝導層 2 がバルク伝導層に対応すると考えられる。膜厚が薄くなるにつれ表面伝導層の移動度は減少したが 50 nm 厚で移動度は 2510 cm²/Vs (@5.7×10¹⁶ cm⁻³, 2 K)となり、50 nm 厚の BiSb においても比較的大きな表面移動度が観測できた。また、膜厚が薄くなるにつれバルク伝導の寄与が抑えられ、~50 nm 厚でバルク 76%、表面 24%となった。結果として 50 nm 膜において、300 nm 膜では確認できなかったトポロジカル表面伝導特有の弱反局在効果に由来するカスプ型の磁気伝導特性が観測できた(Fig.2)。この磁気伝導特性を Hikami-Larkin-Nagaoka 式を用いて解析したところ、1.8~4 K の温度範囲で α = -0.5 ~ -0.6 となり、トポロジカル表面伝導を示唆する α = -0.5 とほぼ一致した(Fig.3 上)。また、位相コヒーレンス長 (L_φ)は 1.8 K で 108 nm となり、L_φ の温度依存性は、1.8~4 K の温度範囲で、2次元伝導であることを示唆する T^{-0.5} に沿った温度依存性を示した(Fig.3 下)。これら結果は、我々の作製した BiSb 薄膜が高移動度かつ L_φ の十分に長いトポロジカル表面伝導を有しており、トポロジカルデバイス作製に十分な品質を有する事を示唆している。Ref.: [1] 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 8a-Z08-5, [2] K. Ueda, Y. Hadate, H. Asano, Thin Solid Films 713 (2020) 138361.

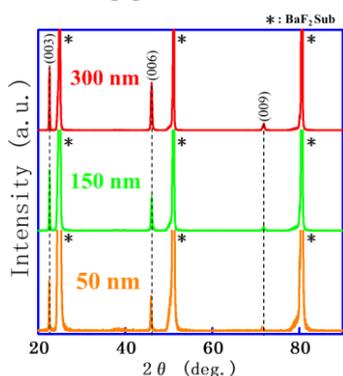


Fig.1 Out of plane XRD patterns of the BiSb films (50 ~ 300 nm).

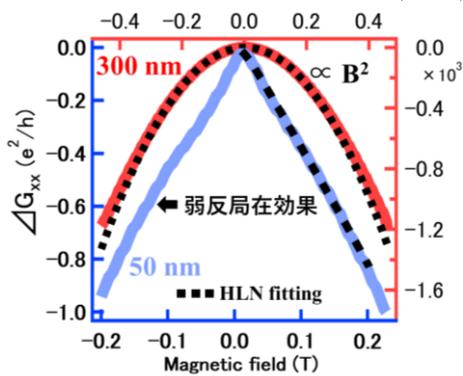


Fig.2 Magnetoconductance (ΔG_{xx}) curves of the BiSb films (50, 300 nm).

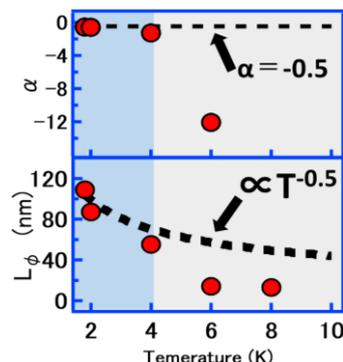


Fig.3 Temperature dependence of L_{ϕ} and α for the BiSb film (50 nm).