スピントロニクス応用に向けた高品質トポロジカル $Bi_{1-x}Sb_x$ 薄膜の作製

Fabrication of high-quality topological $Bi_{1-x}Sb_x$ thin films toward spintronic applications

名大院工　浅野研　○羽立 康浩，鈴木 健太，浅野 秀文，植田 研二

Nagoya Univ., ○Yasuhiro Hadate, Kenta Suzuki, Hidefumi Asano, Kenji Ueda

E-mail: hadate.yasuhiro@g.mbox.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性を有する為、スピントロニクスデバイス材料として注目されている。中でも $Bi_{1-x}Sb_x$ は非常に高い移動度(~85000 cm^2/Vs)に加えて大きなスピンホール効果が表れる等優れた物理特性を有することから盛んに研究が行われている。$Bi_{1-x}Sb_x$ (BiSb)は Sb 組成により特性が変化し、x >~0.04 でトポロジカル相転移が生じトポロジカル半金属化し、x=0.07~0.22 でトポロジカル絶縁体となる。本研究ではトポロジカル絶縁体となる x=~0.1 を中心に高品質 BiSb トポロジカル薄膜の作製と特性評価を行ったので報告する。

【実験】$Bi_{1-x}Sb_x$（x=0~0.45）薄膜は、BaF_2(111)基板（ミスマッチ: ~3.2 %）上に分子線エピタキシ(MBE)法を用いて作製した。BiSb を可能な限り高温で成長させるため固液境界線上直下の温度である~300°C を目安に高品質 BiSb 薄膜作製を試みた。

【結果と考察】BaF_2(111)基板上に製膜温度（T_s）=200-250°Cで BiSb 薄膜を作製した所、不均一に付着した多結晶膜となった[Fig.1(a)上]。150 °C以下の成長温度ではアモルファス膜、280 °C以上の温度では膜付着が殆ど起こらなかった。これらは、Bi の融点が低く(271 °C)、高揮発性であることが主要因と考えられる。そこで、BaF_2(111)基板上に低温で Bi の揮発を抑えながら BiSb を成長させた後に高温成長させる 2 段階成長法（T_s= ~150°C→ ~250°Cの 2 段階で成長）により BiSb 薄膜を作製した所、X 線回折測定で、基板ピーク以外で BiSb の(00*l*)ピークのみが観測され、BaF_2(111)基板上で BiSb の c 軸配向成長が確認された[Fig.1(a)下]。BiSb (003)ピークの半値幅は 0.75°と小さな値になり、結晶性の良好な薄膜が作製できている事が示唆された。面内 XRD 測定(φスキャン)結果から、BiSb (012)と BaF_2(-111)の双方で 3 回対称の鋭いピークが観測され、双方のピーク位置が一致した。これら XRD 測定結果から、BiSb が BaF_2(111)基板上で BiSb (001)[2-10]//BaF_2(111)[1-10]の配向関係でエピタキシャル成長する事が分かった[Fig. 1(b)]。薄膜の面内、面直 XRD と逆格子マッピング[Fig. 1(c)]より算出した BiSb 薄膜の格子定数は a=0.449 nm、c=1.186 nm となり、バルク値(a=0.454 nm、c=1.184 nm)とほぼ一致し、格子緩和した成長をしていることが分かった。これらの結果から、BaF_2 等の格子整合性の良い基板を用いて 2 段階成長で製膜する事で、エピタキシャル BiSb 薄膜を作製できる事が分かった。次に BaF_2(111)基板上 BiSb 薄膜のホール抵抗測定(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 種類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。ホール伝導度 σ_{xy} の 2 バンドモデル解析から、２つの伝導層に対応したキャリア濃度、移動度がそれぞれ、伝導層 1 : 9.8×10^{17} cm^{-3}、7430 cm^2/Vs、伝導層 2 : 4.1×10^{19} cm^{-3}、37 cm^2/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していると考えているが、これらの詳細や BiSb 薄膜のトポロジカル特性についてはホール測定のみでは判断できないので今後高磁場磁気伝導度測定等を行い確認していく予定である。

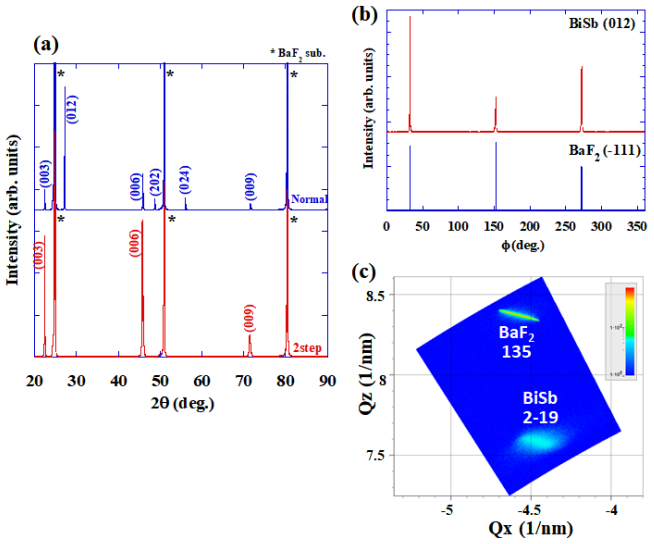

Fig.1 (a) Out of plane and (b) in-plane XRD patterns, and (c) reciprocal space mapping of the BiSb films.

© 2020年 応用物理学会