

課題番号 : F-18-IT-009
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 強磁性半導体を用いた高感度異常ホール効果磁気センサー
 Program Title (English) : High sensitivity anomalous Hall sensors using ferromagnetic semiconductor
 利用者名(日本語) : 西嶋健人, ファムナムハイ
 Username (English) : Kento Nishijima, Pham Nam Hai
 所属名(日本語) : 東京工業大学 工学院 電気電子系
 Affiliation (English) : Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Tech.
 キーワード/Keyword : 強磁性半導体、ホールセンサー、リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

近年、電荷の制御による高速動作という半導体の特徴と、スピンの制御による不揮発性という磁性体の特徴を融合できる強磁性半導体は大変注目されている。鉄系強磁性半導体はn型および p 型強磁性半導体の実現できることや室温強磁性が実現できることなどから、デバイス应用到有望である。特に、Fe 系 n 型室温強磁性 (In,Fe)Sb は室温において大きな異常ホール効果を示すため、高感度磁気センサーの材料として期待されている。そこで本研究では、感度とキュリー温の更なる向上を目的とし、Fe 系 n 型室温強磁性(In,Fe)Sb について δ ドーピング法を用いた新たな成長法を提案し、Fe δ ドープ(In,Fe)Sb 薄膜の作製及び電気特性・磁気特性の評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

コンタクト光学露光装置

【実験方法】

Molecular Beam Epitaxy 法により GaAs 基板の上に、AlAs/AlSb/InSb/ Fe δ ドープ InFeSb 層を作製した (Fig. 1(a))。次にフォトリソグラフィ装置を用いて、ホールバー構造を作製し、異常ホール効果の評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1(a) の構造において、平均Fe濃度 $\langle x \rangle = d_{\text{FeSb}} / (d_{\text{FeSb}} + d_{\text{InSb}}) = 5\sim 20\%$ の室温異常ホール効果を作製した。その結果、 $\langle x \rangle = 11\sim 17\%$ において一番高い異常ホール効果の感度が得られた。Fig. 1(b)にFe δ ドープ(In,Fe)Sb、均一ドープ(In,Fe)Sb、(Ga,Fe)Sbおよび市販のInSbホールセンサーの感度を比較する。 δ ドープ(In,Fe)Sbは他のセンサーよりも4倍ぐらい超高感度が得られた。同時に、非線形性の改善も見られた。この結果は、 δ ドープ(In,Fe)Sbは超高感度異常ホール効果センサーの材料として有望であることを示した。

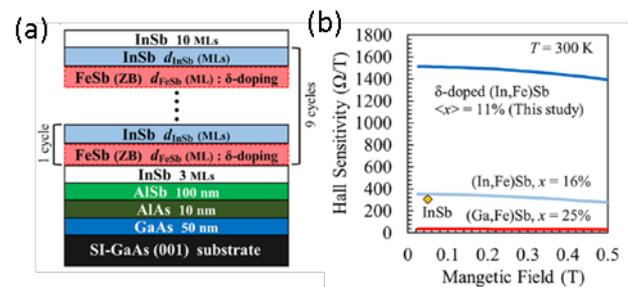


Fig. 1. (a) Schematic structure of Fe δ -doped (In,Fe)Sb samples. (b) Hall sensitivities measured in $200 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ Hall bars of the Fe δ -doped $(\text{In}_{1-\langle x \rangle}\text{Fe}_{\langle x \rangle})\text{Sb}$ with $\langle x \rangle = 11\%$ (blue line), the Fe uniformly-doped $(\text{In}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Sb}$ sample with $x = 16\%$ (light blue line), and the Fe uniformly-doped $(\text{Ga}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Sb}$ sample with $x = 25\%$ (red line) at room temperature. For comparison, we also plot the Hall sensitivity at 0.05 T (yellow diamond) of a commercial ultra-high sensitivity InSb Hall sensor.

4. その他・特記事項(Others)

本研究は JST CREST「量子技術」研究領域 (No. JPMJCR1777)の支援を受けた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) K. Nishijima, M. Tanaka, P. N. Hai. “Fe delta-doped (In,Fe)Sb ferromagnetic semiconductor thin films formagnetic-field sensors with ultrahigh sensitivity,” 20th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (ICMBE 2018), Sep. 2018.

(2) K. Nishijima, S. Takahashi, M. Tanaka, P. N. Hai. “Room-temperature anomalous Hall effect of Fe delta-doped (In,Fe)Sb ferromagnetic semiconductor thin films”, 第 23 回 半導体におけるスピン工学の基礎と応用 (PASPS-23), Dec. 2018.

(3) K. Nishijima, N. T. Tu, M. Tanaka, P. N. Hai. “Fe delta-doped (In,Fe)Sb ferromagnetic semiconductor thin films for magnetic-field sensors with ultrahigh Hall sensitivity”, Journal of Crystal Growth 511, 127-131, 2019.

6. 関連特許(Patent)

なし