Fe δ ドーピングによる(In,Fe)Sb 高感度磁気センサーの作製と評価

Fabrication and evaluation of Fe delta-doped (In,Fe)Sb high sensitivity magnetic sensors

東エ大エ¹, 東大エ², ⁰西嶋 健人¹, 田中 雅明², ファム ナム ハイ^{1,2}

Tokyo Inst. Tech.¹, Univ. Tokyo², ^oKento Nishijima¹, Masaaki Tanaka², Pham Nam Hai^{1,2}

E-mail: nishijima.k.aa@m.titech.ac.jp

鉄系強磁性半導体は p 型強磁性半導体だけ ではなく n 型強磁性半導体の実現が確認され ており[1,2]、また室温強磁性[3,4]も実現してい るため、近年に注目されている。特に、n型室 温強磁性半導体(In,Fe)Sb は室温において大き い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、ホールセンサー感度の向上を目的 とし、 (In.Fe)Sb について、新たな成長方法と して InSb への Fe δ ドーピングによる手法を提 案し、材料作製および異常ホール効果の評価を 行った。その結果、(In,Fe)Sb と同様の MCD ス ペクトルが確認されており、Fe δ ドーピング (In.Fe)Sb 層は真性強磁性半導体であることを 確認した。また、鉄が均一ドーピングされた (In,Fe)Sbと比較して、キュリー温度は劣るもの の、キュリー温度よりはるかに高い温度で異常 ホール効果が観測され、室温における磁気セン サーの感度が向上した。これは、Fe がδドー ピングされた領域について、局所的に電子の散 乱が強く、異常ホール効果が向上したためだと 考えられる。図 1(a)に Fe-δ ドーピング層の断 面構造の一例を示す。このサンプルは、低温分 子線エピタキシャル法を用いて、3 原子層(3 ML)ごとに 0.5 ML (2.21x10¹⁴cm⁻²)の Fe をδド ーピングすることにより名目Fe濃度x=17%相 当の(In.Fe)Sb となっている。図 1(b)に異常ホー ル効果感度の比較を示す。0.33 ML の Fe δ ド ーピング(In,Fe)Sb が、均一ドーピング(In,Fe)Sb や(Ga,Fe)Sb よりも数倍高い感度を持っている ことが分かる。表1に今回作製したサンプルの 設計値とキュリー温度および室温における異 常ホール効果の感度を示す。Fe 濃度と共にキ ュリー温度が上昇しているが、感度は0.33 ML Fe-δ ドーピングで最大となる。

Refs: [1] P. N. Hai, L. D. Anh *et al.*, Appl. Phys. Lett. 101, 182403(2012). [2] N. T. Tu, P. N. Hai *et al.* Appl. Phys. Lett. 105, 132402 (2014). [3] N. T. Tu, P. N. Hai *et al.*, Appl. Phys. Lett. 108, 192401 (2016). [4] N. T. Tu, P. N. Hai *et al.*, Appl. Phys. Express 11, 063005 (2018).



Fig. 1. (a) Schematic structure of a 0.5 ML Fe δ -doped (In,Fe)Sb layer (nominal Fe concentration x = 17%), (b) Voltage-related AHE (Anomalous Hall Effect) sensitivities of an 0.33 ML Fe δ -doped (In,Fe)Sb layer (nominal x = 11%, blue diamonds), an Fe uniformly-doped (In,Fe)Sb layer (x = 16%, light blue dots), and an Fe uniformly-doped (Ga,Fe)Sb layer (x = 25%, red triangles) at room temperature.

Table 1. Structural parameters, $T_{\rm C}$, and AHE sensitivity of Fe δ -doped (In,Fe)Sb samples. Here, the AHE sensitivity was estimated at the bias condition of $V_{\rm in} = 1$ V and $I_{\rm in} = 4$ mA.

δ-doped (In,Fe)As sample			T_{c}	AHE consitivity (300 K 50 mT)
δ-doped Fe concentration (ML)	Nominal Fe concentration <i>x</i> (%)	d (nm)	(K)	(mV/mT/V)
0.145	5	8.7	30	-
0.33	11	8.7	130	5.1
0.5	17	8.6	200	4.3