

※課題番号 : F-12-UT-0041  
※支援課題名 (日本語) : n型強磁性半導体(In,Fe)As の作製と物性  
※Program Title (in English) : Growth and Properties of N-type Ferromagnetic Semiconductor (In,Fe)As  
※利用者名 (日本語) : ファムナムハイ、レデウックアイン、田中雅明  
※Username (in English) : Pham Nam Hai, Le Duc Anh, and M. Tanaka  
※所属名 (日本語) : 東京大学大学院工学系研究科  
※Affiliation (in English) : Graduate School of Engineering, University of Tokyo

※概要 (Summary) :

本研究では、InAs 半導体に Fe をドーピングして、さらに Be や Si を同時ドーピングすることによって、キャリア誘起強磁性の発現を目指す。特に(In,Fe)As ベースの n 型電子誘起強磁性半導体を開発し、スピン pn 接合、スピンバイポーラートランジスタ、さらにスピン電界効果トランジスタを試作し、スピン依存伝導特性を調べる。

※実験 (Experimental) :

高速大面積電子線描画装置  
マスク・ウェーハ自動現像装置群  
形状・膜厚・電気・機械特性評価装置群  
を用いてテスト構造を試作した。

※結果と考察 (Results and Discussion) :

まず、同時ドーピングしない(In,Fe)As のみを成長した場合、Fe 濃度が  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以上あるにもかかわらず電子濃度が  $1.8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下しかない。さらに、移動度の温度依存性を調べるところ、移動度があまり温度に依存しないことから、Fe がイオン化不純物にならず、中性状態の  $\text{Fe}^{3+}$  になっていることが分かった。さらに、Be および Si を同時ドーピングした(In,Fe)As の場合、電子濃度が  $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上になると、強磁性になることを明らかにした。また、キュリー温度は電子濃度が増えるにつれて増大することを明らかにした。また、磁気円二色性(MCD)スペクトルを測定したところ、InAs のすべての特異エネルギー点において、大幅に MCD が増大することから、InAs のバンド構造がスピン分裂していることが分かった。以上のように本研究では、世界で初めて、n 型電子誘起強磁性半導体の開発に成功した。

※その他・特記事項 (Others) :

今後の予定としては、(In,Fe)As を含めたスピン pn 接合、スピンバイポーラートランジスタおよびスピン電界効果トランジスタの開発を目指す。

共同研究者等 (Coauthor) :

ファムナムハイ、レデウックアイン、東京大学大学院工学系研究科 小塚雅也、大久保忠勝、宝野和博 物質・材料研究機構

論文・学会発表

(Publication/Presentation) :

1. P. N. Hai, D. Sasaki, L. D. Anh, M. Tanaka, "Crystalline anisotropic magnetoresistance with two-fold and eight-fold symmetry in (In,Fe)As ferromagnetic semiconductor", Appl. Phys. Lett. 100, 262409 (2012).
2. P. N. Hai, L. D. Anh, S. Mohan, T. Tamegai, M. Kodzuka, T. Ohkubo, K. Hono, M. Tanaka, "Growth and characterization of n-type electron-induced ferromagnetic semiconductor (In,Fe)As", Appl. Phys. Lett. 101, 182403 (2012)
3. P. N. Hai, L. D. Anh, M. Tanaka, "Electron effective mass in n-type electron-induced ferromagnetic semiconductor (In,Fe)As: Evidence of conduction band transport", Appl. Phys. Lett. 101, 252410 (2012).

関連特許 (Patent)

なし