17a-C15-7

IV 族強磁性半導体 GeFe 薄膜における アニールによる強磁性ナノ微粒子の形成

Ferromagnetic nano-particles formed by annealing

in group-IV ferromagnetic-semiconductor GeFe

東大院工¹, ^O若林勇希¹, 伴芳祐¹, 大矢忍¹, 田中雅明¹

The Univ. of Tokyo¹, ^oYuki Wakabayashi¹, Yoshisuke Ban¹, Shinobu Ohya¹, Masaaki Tanaka¹

E-mail: wakabayashi@cryst.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】我々はシリコンテクノロジーに整合する IV 族強磁性半導体 GeFe 薄膜が強磁性化合物の析

【はじめに】 我々はシリコンテクノロジーに整合する IV 族強磁性半導体 GeFe 薄膜が強磁性化合物の析 出のない強磁性半導体であり、また Si(001)基板上に直接エピタキシャル成長可能であることを示してきた^{1,2)}。今回、キュリー温度(T_c)が 170 Kの Ge_{0.895}Fe_{0.105}薄膜に対して成長後にアニールを行うことにより、 Ge ダイヤモンド構造中に強磁性ナノ微粒子が形成されることが分かったので報告する。 【実験結果】低温分子線エピタキシー(LT-MBE)により、Ge(001)基板上に成長時基板温度 $T_s = 240^{\circ}$ C で 成長した Ge_{0.895}Fe_{0.105}薄膜に対して、アニール温度 $T_a = 600^{\circ}$ C で窒素雰囲気中において 30 分間アニール を行い、アニール前とアニール後のサンプルの磁気円二色性(MCD)の磁場依存性と MCD スペクトルを 測定した。Fig. 1a に見られるように、Ge の L 点に対応する 2.3 eV での E_1 ピークと 1.5 eV 付近でのブロードなピークが観測された。このブロードなピークの起源としては、Fe の 3d 軌道の結晶場分裂による d-d 遷移、Fe3d 軌道が形成する不純物バンドからの遷移、強磁性 GeFe 化合物の析出物に起因するスペクトルの 3 つの可能性が考えられる。アニール前のサンプルは、MCD 強度の磁場依存性が 1.5 eV~3 eV の 各エネルギーにおいて相似形状のヒステリシスループを描く(Fig. 1b)ことから、ダイヤモンド構造以外の 異相の析出がなく、全体としてダイヤモンド構造を保った強磁性半導体である。その為 1.5 eV 付近で見 異相の析出がなく、全体としてダイヤモンド構造を保った強磁性半導体である。その為 1.5 eV 付近で見られるブロードなピークは Fe の 3d 軌道の結晶場分裂による d-d 遷移、もしくは Fe3d 軌道が形成する不 純物バンドからの遷移に起因するものであると考えられる。X 線回折(XRD)による *θ-2θ* スキャン、透過 電子線顕微鏡(TEM)による格子像の観察や透過電子線回折(TED)による回折像の観察でもダイヤモンド構 造以外の異相は観察されなかった。それに対し 600℃ でアニールを行ったサンプルは、MCD 強度の磁場 依存性がフォトンエネルギーによって異なっており(Fig.1c)、複数の強磁性相が存在していることが分か った。1.5 eV 付近でのブロードなピークは強磁性ナノ微粒子によるものと考えられ、その MCD の磁場 依存性に対するアロットプロットより Tcは 230 K だと見積もられた。実際に TEM 観察により、Ge ダイ ヤモンド構造中に強磁性ナノ微粒子が観察された(Fig. 2)。さらにエネルギー分散型 X 線分析(EDS)での組成分析を行った結果、強磁性ナノ微粒子が形成されている領域においては、Fe 濃度が 20~30%と高濃度 になっていることが分かった。また、600℃でアニールを行ったサンプルの MCD 強度の磁場依存性の形 状は 1.3 eV、2.5 eV 共にアニールを行う前のサンプルと異なっており、はっきりとした保磁力や磁気光学 効果の大きさの違いを示している。

【謝辞】本研究の一部は科学研究費補助金(特別推進研究),先端融合 COE, FIRST の支援を受けて行われた。 1) Y. Shuto, M. Tanaka, and S. Sugahara, Appl. Phys, Lett. 90, 132512 (2007).

2) Y. Shuto, M. Tanaka, and S. Sugahara, Jpn. J. Appl. Phys. 47, 7108 (2008).



Fig. 1 (a) MCD spectra of Ge_{0.895}Fe_{0.105} films before and after annealing, measured at 10 K with a magnetic field of 1 T applied perpendicular to the sample plane with a reflection configuration. (b) (c) Magnetic field dependence of MCD intensities at 1.5 eV (broad peak) and 2.3 eV (E_1 peak) (b) before annealing and (c) after annealing.



Fig. 2. High resolution transmission electron microscopy lattice image projected along the Ge[110] axis of ferromagnetic nanoparticles in the Ge0 895 Fe0 105 film after annealing.