

プロジェクト名：スピン流の創出を目指した極低ホール係数材料のエピタキシャル成長

プロジェクト代表者：酒井 政道（理工学研究科・准教授）

1 背景と目的

エレクトロニクスの新しい潮流として、電子が先天的に獲得しているスピン磁気モーメントを積極的に利用する情報処理・記録デバイス研究（スピントロニクス）が活発である。特に、注目されているのは、電荷の輸送を伴わずに磁気モーメントだけの流れが発生する輸送形態（スピン流）である。スピン流は、電荷輸送を伴わないので、ジュール損失が原理的に発生しないという応用上波及効果の大きい特徴をもつ。

本プロジェクト代表者は、これまで、極低ホール係数材料の創出を目指して、水素吸蔵体 YH_2 および GdH_2 の作製を行ってきた。極低ホール係数材料に注目する理由は、ホール係数ゼロ状態が、正味の電荷輸送を伴わない、したがって、ジュール熱損失の無いキャリア（電子と正孔）輸送を可能にするので、上述のスピン流生成デバイスへの応用が考えられるからである[1]。 YH_2 が極めて小さい、実質的にゼロと見なせるホール係数を示すことは、既に実験的に確認している。本研究では、極低ホール係数状態を保ちつつ、キャリアがスピン偏極状態を持つ水素吸蔵体を作製する目的で、はじめて、 YH_2 と GdH_2 の合金の作製に取り組み、その結晶性評価、磁化測定、およびホール効果測定を行った。その結果に基づいて、これらの合金性水素吸蔵体のスピン流生成能力を考察する。

2 研究方法

$\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$ の作製は、 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}$ を成膜し、その後、水素雰囲気中で熱処理するという2つの工程を経る。蒸着は電子ビーム法による。チャンク状の Y と Gd（共に 3N 純度）を適量混合して同一のタングステン製坩堝内に入れる。原料に元々含まれる水素は成膜中の酸化を招くので、真空中で電子ビーム（加速電圧約 10 kV）を約 30 分間照射して脱水素処理を行う。成膜中は基板加熱しない。成膜品は一旦、大気中に取り出し後、石英管に入れて、97%Ar-3% H_2 の混合ガス（6N）を流量 1 l/min で約 15~90 分間流して、水素化反応を温度範囲 270~370 °Cで行う。組成分析は酸分解-誘導結合プラズマ発光分光法で、結晶構造解析は $\theta - 2\theta$ 法 X 線回折によって行う。磁化測定は SQUID 磁束計を用いて、磁場範囲 0 ~ 6 T、温度範囲 5 ~ 400 Kで行う。

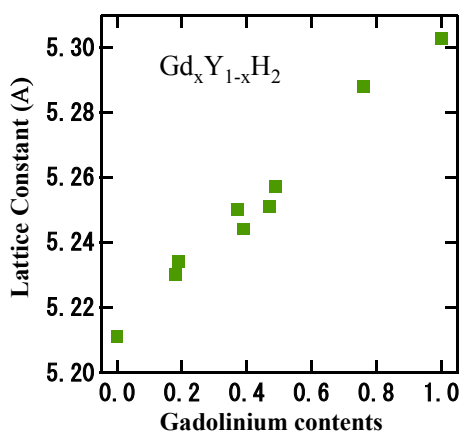


図1：作製された合金試料 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$ における格子定数の Gd 濃度依存性

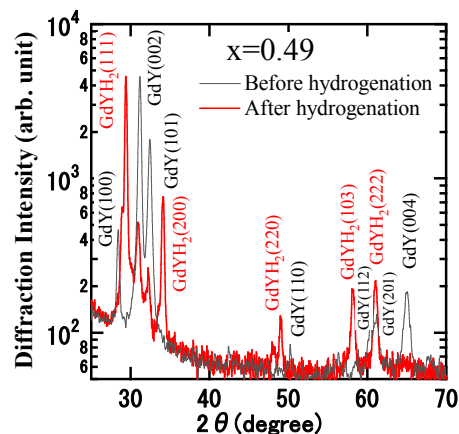


図2： $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}$ ($x=0.49$) (黒線) とその水素化物 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{H}_2$ ($x=0.49$) (赤線) の X 線回折パターン。縦軸は対数表示。

3 結果および考察

図1に、作製された合金試料における格子定数のGd濃度依存性を示す。Gd濃度の増加とほぼ比例して格子定数が増加するという、いわゆる、ヴェガード則を示していることから、固溶体合金が得られていることが分かる。作製試料のうち、 $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)のX線回折パターン、磁化、およびホール抵抗の磁場依存性をそれぞれ図2、図3、および図4に示す。第1に、結晶配向性は、 Gd_xY_{1-x} よりもそれを水素化して得られた $Gd_xY_{1-x}H_2$ の方が良好であるという特徴が観測される。さらに、回折ピークの半値巾も水素化によって小さくなる、すなわち、結晶粒サイズが大きくなることが分かった。このように、合金 Gd_xY_{1-x} は水素を取り込むことによって、自らの結晶性が向上するという結晶工学的に興味深い現象を示す。

第2に、異常ホール効果が77Kにおいて明確に観測されていることから、キャリアが外部磁場中でスピンの偏極することが分かる。なぜならば、異常ホール効果の出現は、スピナップキャリアとスピンドウンキャリアの濃度バランスが崩れていることを意味するからである。

第3の特徴は、磁化値とホール抵抗 ρ_{yx} の磁場依存性曲線が77K及び300K共に相似関係にある点である。このことは、 $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)の正常ホール効果が異常ホール効果に比較して充分小さいことを意味する。そこで、観測された磁化値とホール抵抗値を用いて、正常ホール係数 R_H と異常ホール係数 R_s を最小二乗法で回帰分析した。その結果、正常ホール係数として $R_H(77K)=-1.5 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}$ 、 $R_H(300K)=7.9 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$ 、異常ホール係数として $R_s(77K)=1.2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{C}$ 、 $R_s(300K)=5 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{C}$ が得られ、 $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)の正常ホール係数は、極低ホール係数材料 YH_2 と同程度であることが見出された。

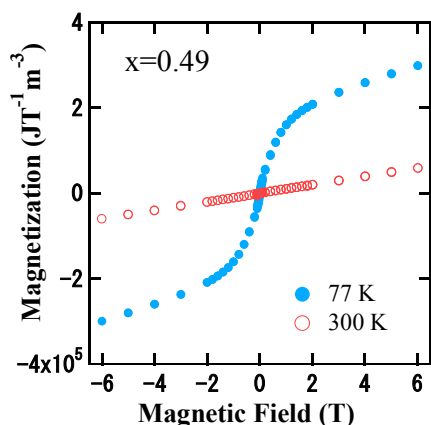


図3 : $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)における磁化値の外部磁場依存性：磁場印加方向は薄膜面に垂直

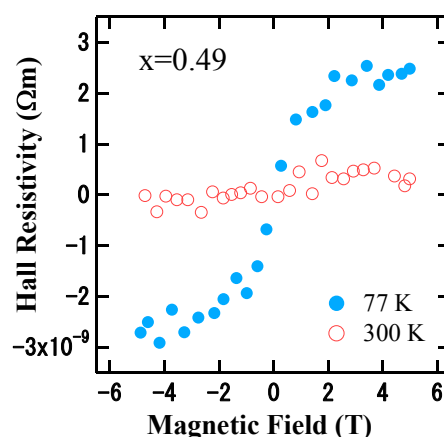


図4 : $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)におけるホール抵抗の外部磁場依存性：磁場印加方向は薄膜面に垂直

4 結論

本研究で作製した水素吸蔵合金 $Gd_xY_{1-x}H_2$ ($x=0.49$)は、極低ホール係数特性をもつパイポーラ伝導性を有し、同時に外部磁場の下で、キャリアが有効にスピン偏極していることが実験によって確認できた。したがって、この合金は、我々が提案しているパイポーラ伝導性に基づく純スピン流のチャネル材料に適していると云える。

研究成果：論文・特許

- [1] M. Sakai, T. Sakuraba, Z. Honda, S. Hasegawa, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, and O. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 103002.
- [2] M. Sakai, D. Kodama, T. Sakuraba, Z. Honda, S. Hasegawa, A. Kitajima, A. Oshima, K. Higuchi, and O. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 023001.
- [3] 酒井政道, 長谷川繁彦, 北島 彰, 大島明博, 特願 2011-282394.