

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23710110

研究課題名（和文）磁性多層膜パタン周期アレイの作製と電流による特性制御

研究課題名（英文）Fabrication of Magnetic Multilayer Patterned Arrays and Current-Control of its Magnetism

研究代表者

宮川 勇人 (MIYAGAWA HAYATO)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：00380197

研究成果の概要（和文）：紫外光レーザーを用いた干渉露光法と高真空蒸着法とを用い、面直（Z方向）にはナノサイズの磁性多層周期構造を有し、面内（XY方向）には周期アレイ構造を形成した磁性多層膜パタン周期アレイ構造を作製し、磁気・光・電気の融合特性にナノ構造の特殊性が及ぼす影響とアレイに流す電流によるそれらの応答特性について実験検証した。

研究成果の概要（英文）：By means of both techniques of Interference Lithography using UV laser and UHV deposition, we fabricated nano-scale structures which consist of magnetic multilayer in x and y directions, and in-plane periodic arrays in z-direction. We measured the effect of the nano-patterned structure on magnetic, optical, and electrical properties, and the response against a current flow in arrays.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：磁気工学、固体物理、薄膜工学

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：磁性半導体、希土類元素、スピントロニクス、磁性多層膜、交換相互作用

1. 研究開始当初の背景

2つ以上の磁性元素（希土類元素と遷移金属）を用いた面直方向の積層構造では、積層周期がナノレベルまで小さくなると磁性元素間交換相互作用により複雑なスピン配列が実現されることが報告されている。これは面直（Z方向）のみの1次元理論であり、さらに面内（XY方向）のナノ構造の形状付与による3次元的な磁気作用の検証が必要であった。紫外光を用いた干渉露光法では、短時間・広範囲（センチメートルオーダー）のナノパタン形成が有効であり、これによりナノパタンを表面のみでなく半導体内部に立体的に期待された。さらに、微量の磁性元素であれば半導体中に整合添加させることができるため、磁気スピンと電流・光との相互作用が大きくなることが予想され、干渉露光

によるナノ周期パタンを磁性体と半導体とを立体的（面直・面内）に組み合わせれば、スピン・電流・光の特性制御が可能になると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、紫外光を用いた干渉露光リソグラフィ法と分子線エピタキシー（MBE）蒸着法やスパッタ法などの薄膜蒸着技術を組み合わせることにより、広域エリアにパタニングした磁性多層膜（磁性金属もしくは磁性半導体）の繰り返し周期アレイ構造を作製し、作製された試料について、構造評価を電子顕微鏡（TEM、SEM）ならびにX線構造解析により行った後、マクロ磁化測定に加え、放射光X線を用いた原子レベルの元素選択的手法を活用し評価することで、磁気特性

や光特性の起源となる電子状態を取得すること、さらにアレイ構造に流す電流に対する応答特性について評価することである。

3. 研究の方法

まず、パタン周期アレイ構造のための最適条件を探索するために、紫外光を用いた干渉露光と薄膜蒸着法における周期形状や層厚み、基板温度・供給原料量などを調整し、いくつかの試料を作製する。主として、希土類元素である Gd と遷移金属である Fe を磁性元素とし、それらを周期化させた多層膜や、半導体 GaAs に微量添加した希薄磁性半導体などを用い試料作製を行った。特に結晶成長は分子線エピタキシー蒸着法を採用し、蒸着中の不純物の混入を押さえるために、液体窒素により装置冷却を行うことで不純ガスを除去した。形状確認は原子間力顕微鏡 (AFM) や電子顕微鏡 (SEM, TEM) にて行い、結晶性については高分解能 X 線回折で調べた。マクロ磁化測定を行うとともに、放射光 X 線を用いた磁気円二色性により元素選択的な磁気評価を行った。ライン・パターンの試料については磁区観察を行い、またラインに電流を流すことによる磁区の変化を調べた。

4. 研究成果

導入したイオンミリング装置によって、Fe 層、GaAs 層、Si 層等のエッチングレート算出し、磁性パタニングの作製準備が整えた後、作製したガドリニウム (Gd) と鉄 (Fe) を含む、磁性半導体試料と磁性薄膜ラインパターンについてその磁気特性、光学特性ならびに電子状態について実験検証した。磁気特性では、マクロ磁化と試料厚みとに非線形性が確認された。このことから、光磁気効果による表面磁化の測定を、イオンミリングにより膜厚制御した試料で行い、その表面応答が膜厚に依存することを確認した。特に磁気層が 18nm の以下の領域では、光磁気応答が層厚みに依存して単調減少し、18nm 以上では安定な一定値を示した (図 2)。

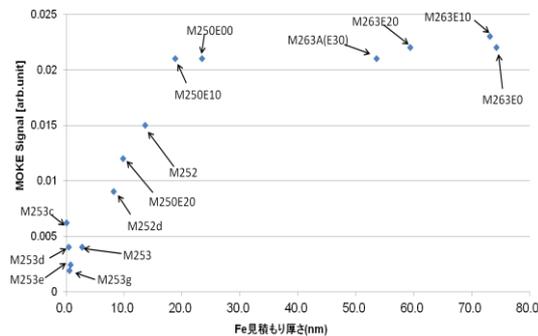


図 1 作製した磁性膜における磁気光学カー効果の膜厚み依存性

また光磁性半導体 GaGdAs について、Gd 濃

度を振った系統的な吸収測定を行ったところ、段階的なエネルギーバンド内吸収が確認された。これは、Gd ドープに起因するバンド間準位の形成を示唆している。発光スペクトルではバンド間準位の発光は見られず、それらのエネルギーがフォノンを媒介とする間接遷移を伴うものと予想された。さらに磁性半導体の磁化が主にその電子軌道から来ているかについて放射光 X 線を使用した元素選択的な X 線吸収実験を大型放射光施設 スプリング 8 の BL-39XU にて行った。Gd 吸収端におけるスペクトルに磁気吸収成分が確認され Gd 回りのスピンの偏極していることがわかった (図 2)。その大きさは Gd 3+ フリーイオンの大きさと比較したところ、おおよそ 10~100 分の 1 であることが判明し、マトリクスである Ga, As の磁気寄与も少ないことがわかった。

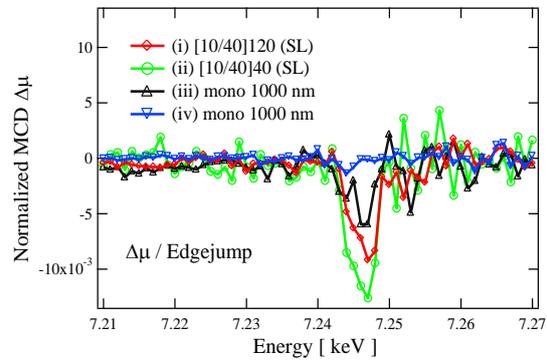


図 2 GaGdAs 半導体の超格子構造と単層の Gd L3 吸収端における磁気円二色性

また Fe と Gd との多層膜からなるライン周期パターン構造の磁気特性評価からは、各ラインが単一磁区となっていることが確認された (図 3)。

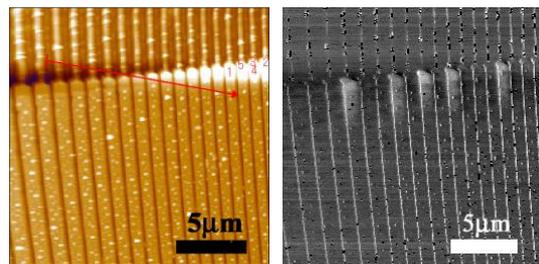


図 3 ライン周期パターンの形状 (AFM 像) とそれに対応する磁気像 (MFM 像)

しかし電流駆動によるスピン配列の変化は得られなかった。この原因は、ライン幅 1~10 μm が大きいと思われる。結果をまとめ、国内学会ならびに国際会議、学術論文にて発表報告した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

1, K. Niiyama, H. Miyagawa, Y. Yoshioka, S. Koshiba, T. Suzuki and C.A. Ross、Structure and magnetic hysteresis of Gd/Fe multilayers patterned into periodic line patterns、Transactions of the Materials Research Society of Japan、37 (2012) p.197-200

2, Kohei Arimoto, Masahiro Shiraga, Hideto Shirai, Shunsuke Takeda, Masato Ohmori, Hideofumi Akiyama, Toshimitu Mochizuki, Kenzo Yamaguchi, Hayato Miyagawa, Noriaki Tsurumachi, Shunsuke Nakanishi and Shyun Koshiba、Electrical and Optical Properties of GaNAs/GaAs MQW p-i-n Junctions、Transactions of the Materials Research Society of Japan、査読(有)、37 (2012) p.193-196

3, H. Xu, E. Girgis, J. Rudge, Th. Speliotis, C. A. Ross, H. Miyagawa, Y. K. Hong, and B. C. Choi、Magnetization Dynamics in Vortex-Imprinted Ni80Fe20/Ir20Mn80 Square Elements、IEEE Magnetic Letters、3 (2012) p. 3500204-3500207

[学会発表] (計7件)

1, Y. Uda; H. Miyagawa; S. Koshiba; N. Tsurumachi; S. Nakanishi; Y. Tanaka; H. Itoh; N. Takahashi、Structure and Magnetic Properties of Diluted Magnetic Semiconductor Superlattice GaGdAs/GaAs Grown by MBE、2011 International conference on solid state devices and materials (SSDM2011)、2011年9月29日、Nagoya, Aichi, Japan

2, K. Niiyama; H. Miyagawa; Y. Yoshioka; S. Koshiba; T. Suzuki; C. A. Ross、Structure and Magnetic Properties of Diluted Magnetic Semiconductor Superlattice GaGdAs/GaAs Grown by MBE Structure and magnetic hysteresis of Gd/Fe multilayers patterned into periodic line patterns、The 21st MRS-Japan Academic Symposium、2011年12月20日、Yokohama, Kanagawa, Japan

3, Hayato Miyagawa; Yuki Uda; Shoutaro Matsumoto; Nakaba Funaki; Naoshi

Takahashi; Shyun Koshiba、Magnetism and Optical properties of Diluted Magnetic Semiconductor Superlattice GaGdAs/GaAs with GaGdAs nanograins、The 19th International Conference on Magnetism with Strongly Correlated Electron Systems 2012、2012年7月8日、Busan, Korea

4, S. Matsumoto; Y. Uda; N. Funaki; H. Miyagawa; T. Mochizuki; H. Akiyama; S. Koshiba; N. Tsurumachi; S. Nakanishi、Electrical and Optical Properties of Diluted Magnetic Semiconductor GaGdAs/GaAs、The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy-MBE2012、2012年9月23日、Nara, Japan

5, N. Funaki; Y. Uda; S. Matsumoto; H. Miyagawa; N. Takahashi; Shyun Koshiba、Photoelectron spectroscopy of diluted magnetic semiconductor GaGdAs grown by MBE、The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy-MBE2012、2012年9月23日、Nara, Japan

6, 船城 央; 佐伯有三; 南 武志; 宇田雄気; 松本翔太郎; 宮川 勇人; 高橋尚志; 小柴俊、光電子分光法による希薄磁性半導体 GaGdAs の電子状態評価、第73回 応用物理学学会学術講演会、2012年9月11日、愛媛大学・松山大学、日本

7, N. FUNAKI; Y. UDA; S. MATSUMOTO; H. MIYAGAWA; N. TAKAHASHI; S. KOSHIBA、Photoelectron spectroscopy of diluted magnetic semiconductor GaGdAs grown by MBE、The 2nd Joint Workshop of Advanced Materials Science and Engineering between Kagawa University and Hanbat National University、2013年01月07日、香川大学、日本

[その他]

ホームページ:

<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~miyagawa/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮川 勇人 (MIYAGAWA HAYATO)

香川大学・工学部・講師

研究者番号: 00380197

(3)連携研究者

高橋 尚志 (TAKAHASHI NAOSHI)

香川大学・教育学部・准教授

研究者番号：80325307