

レアメタルフリー磁性材料 $L1_0$ -FeNiの研究 Study of Rare-Metal-Free Ferromagnetic Material $L1_0$ -FeNi

H27助自48

代表研究者 小 嗣 真 人 東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 講師
Masato Kotsugi Junior associated professor, Faculty of Industrial Science and Technology,
Tokyo University of Science

Magnetic multilayer has been the source of wide spread applications such as magnetic random access memory and rare-metal-free permanent magnet. The surface and interface structure play a key role in the emergence of curious physical property. Pulse laser deposition (PLD) is a powerful technique to fabricate thinfilms and multilayers. It has ultrahigh instantaneous deposition rate by using laser ablation of target materials, and it show almost ideal layer-by-layer morphology with high nucleation density. Morphology of deposited surface is smoother than traditional molecular beam epitaxy. PLD provides great opportunities to design artificial multilayer structure that show promising physical properties.

Here, we report the construction of pulse laser deposition system for the fabrication of magnetic multilayer systems. We utilized Nd:YAG laser by LOTIS TII with the wave length of 266 nm. Deposition can be carried out in ultra high vacuum chamber. 6 target materials can be installed in the chamber and exchanged without breaking vacuum.

We evaluated deposition rate of various targets (Fe, Co, Cu, Ni) on Cu(001) surface. Clear RHEED pattern and oscillation was confirmed, and deposition rate was evaluated from the period of RHEED oscillation. Deposition rate was instable, even if pumping energy was fixed. Then, we evaluated the deposition rate as a function of laser power just before ablation. We could obtain standard curve of deposition rate of Fe, Co, Cu respect to laser power. This standard curve is helpful to suppresses laser power dependence and stabilize deposition rate with the accuracy of 8%. We analyzed its magnetic properties by SQUID and photoemission electron microscopy (PEEM). Maze-like magnetic domain structure was finally obtained.

研究目的

本研究では、「 $L1_0$ 型FeNi規則合金」の創成を目的に、パルスレーザー蒸着法(PLD)の技術的な課題を整備すると共に、 $L1_0$ -FeNiの磁気特性を解析したので、その結果について報告する。

近年、次世代自動車やスピントロニクスの発展を背景に、高機能な磁性材料への期待が高まっている。また昨今の希少資源枯渇の問題

を受けて、ありふれた元素で高性能磁性材料を開発することが重要となっている。我々の提案する $L1_0$ -FeNi相はレアメタルフリーで高い磁化と磁気異方性を有することから、基礎と応用の両面において高い注目を集めており、人工的な創成が活発に進められている。

PLDは高強度のYAGレーザーをターゲット元素に照射し、レーザーアブレーションによってプルームを発生させることで、基板表面に

ターゲット元素を蒸着する手法である。

PLDではほぼ理想的なlayer-by-layer成長が可能とされており、規則度の向上を通じて磁気異方性の向上が期待されている。本報告では、YAGレーザーの安定性や蒸着レートの安定性を電源システムの不安定性まで立ち返って検証すると共に対策を行った。その結果蒸着レートの安定性を±8%に向上することができた。また我々はPLD法を用いて $L1_0$ -FeNiを作成し、磁気特性の解析を行った。SQUIDを用いて磁化および磁気異方性の評価を行った。また光電子顕微鏡 (PEEM) を用いて磁区構造の解析を行った。その結果、迷路状磁区構造を観測することができた。

概 要

本研究では、高い磁気機能を有し、ありふれた元素で構成される新しい磁性材料「 $L1_0$ 型FeNi規則合金」の創成研究を行ったので、その結果について報告する。 $L1_0$ -FeNiは 1×10^7 erg/ccを超える高い磁気異方性と約1200 emuの高い磁化を持つことが期待されている。 $L1_0$ -FeNiはこのような高い磁気機能を示すことから、次世代磁気メモリやダイナモ用の永久磁石への用途が期待されている。

本相はc軸方向にFeとNiが単原子毎に交互積層したfct型の超格子構造として特徴付けられている。通常のFeNi相は磁気異方性の低い軟磁性体として知られていたが、このような構造の変化に伴って、磁気特性が大きく変化することは、応用のみならず基礎的観点でも重要な研究対象と考えられる。 $L1_0$ -FeNiは元来鉄隕石に含まれる希少なFeNi相であったが、このような高い磁気機能を示すことから、人工創成への高い注目が集まっている。これまで分子線エピタキシー法 (MBE) による単原子交互積層法により、 $L1_0$ -FeNiの人工創成が行われて

きた。その結果、磁気異方性は結晶構造の規則度に比例することが小嶋らによって見出された^[1]。このことから磁気異方性の向上には、蒸着技術の検討も含め、結晶規則度の向上が重要な役割を担っていることが示唆される。

そこで我々はパルスレーザー蒸着法 (PLD) に着目し、 $L1_0$ -FeNiの創成研究を行ったので、その結果について報告する。報告内容としては(1) PLD装置の高性能化、(2) $L1_0$ -FeNiの作成、(3) $L1_0$ -FeNiの物性解析の3項目について報告する。

PLDはターゲット元素に大強度のパルスレーザーを照射し、レーザーアブレーションによってターゲットをプラズマ化・蒸発させて、基板上に薄膜を堆積させる手法である。レーザーパルスがターゲット表面に吸収されると、レーザーのエネルギーはターゲット元素のプラズマ化や熱エネルギーに変換される。我々が整備したPLD装置では蒸着物質の運動エネルギーは数eVのオーダーであり、基板と原子の再スパッタリングが抑制されることから、ほぼ理想的なlayer-by-layer成長が可能とされている。本文では、PLD装置の励起光源であるYAGレーザーの安定化を試みたので、その結果について報告する。

また、我々は単原子交互積層法によって、Cu (001) 基板上にFeとNiを蒸着し、 $L1_0$ -FeNiを作成した。 $L1_0$ 型の超格子構造を精密に作成するには、蒸着レートの精密なコントロールが重要である。本研究では、 $L1_0$ -FeNiの作成を目的に、各ターゲット元素の蒸着レートの見積もりと、レーザーパワーに対する蒸着レートの依存性を実験的に見積もったので、その結果について報告する。実験はCu (001) 基板に各蒸着物質をPLD蒸着し、その際のRHEED振動を解析することにより見積もられた。実験では明瞭なRHEED振動とRHEEDパターンを観測

することができたことから、平坦な単結晶膜がエピタキシャル成長していることを確認できた。

我々はこれらの技術を土台に $L1_0$ -FeNi単結晶薄膜を作製し、物性評価を行った。巨視的な磁気特性の評価はSQUIDを用いて解析し、磁気異方性を算出することができた。また微視的な観点から放射光光電子顕微鏡を用いた磁区構造を解析した。その結果、迷路状の磁区構造を取得することができた。このことから $L1_0$ -FeNiでは垂直成分を有する磁区構造が形成されていることを確認することができた。また表面界面モフォロジーを解析しらところ、アイランドの大きさは概ね100nmであった。

このように我々はPLD蒸着の技術開発を実施すると共に、 $L1_0$ -FeNi単結晶薄膜の作成を行い、磁気特性の評価を行った。実験の結果は、結晶磁気異方性の向上を裏付けるものであり、今後応用に繋がる知見が得られたと考えられる。

－以下割愛－