

修士学位論文要約（令和 2 年 9 月）

光を用いた局所強磁性共鳴計測による 磁気異方性の不均一性評価

齊藤 悠一

指導教員：石山 和志

Evaluation of inhomogeneous magnetic anisotropy by Local Ferromagnetic Resonance with Laser

Yuichi SAITO

Supervisor: Kazushi ISHIYAMA

Magnetic materials respond to a high-frequency magnetic field, which is called Ferromagnetic resonance (FMR). Recently, Local FMR using short-pulsed laser has been suggested and used for the observation of spin wave. In this research, the inhomogeneity of magnetic anisotropy in soft magnetic materials was evaluated by local FMR spectrum. At first, an efficient method was developed and enables us to get measurement time shorter less than one-tenth in comparison with the previous one. Next, using the method, FMR spectrums were observed in 2-D region of the Fe-Ni thin film and a little difference of the FMR frequency was detected. Moreover, the inhomogeneity of FMR frequency was converted into that of the anisotropic field. These results show the local FMR measurement with laser is important and useful as not only an evaluation method for soft magnetic material but also an observation method of magnetic moment on real devices.

1. はじめに

近年、短パルスレーザーのパルス幅はフェムト秒やアト秒へ達し、この最先端の技術を利用したあらゆる高速現象の観測が広い分野で行われている。これは磁性材料の強磁性共鳴現象(FMR)においても例外ではなく、磁性体内部の磁気モーメントの歳差運動を時間分解で観測することが可能になった。本研究では RF 信号によって励起された金属磁性薄膜の磁化ダイナミクスを磁気光学効果 Kerr 効果によって観測する手法¹⁾を応用することで、FMR スペクトルから磁気異方性の不均一性を評価することを目指した。

2. 測定系の構築

従来の研究²⁾では、励起源である RF 信号発生器とパルスレーザー光源のクロックを互いに同期し、発振周波数に対して整数倍の高周波信号で測定を行っていた。この手法では、1 回の測定(1 サンプルング)が RF 信号の特定の位相に該当するため、歳差運動の振幅を測定するためには位相掃引を行ったうえで信号の最大値を求めることになる。よって、スペクトルの測定だけで位相掃引と周波数掃引の 2 つのプロセスが必要となり、大量の点で FMR スペクトルを測定する二次元マッピングの取得は現実的ではなかった。そこで本研究では、RF 信号の周波数をレーザーの発振周波数の整数倍にオフセットを加えることで、位相掃引を省略可能な手法を開発した。これにより、測定時間を大幅

に短縮することが可能となり、FMR スペクトルの 2 次元的な取得が現実的なものとなった。

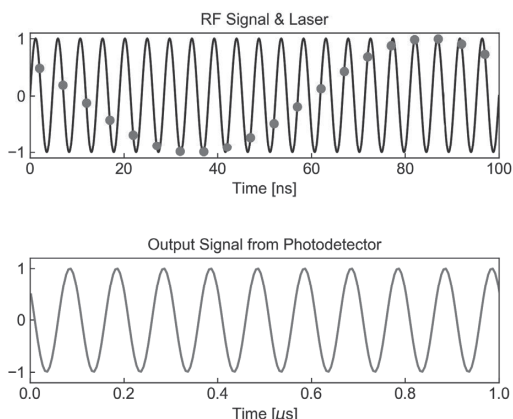


Fig. 1 新規手法の概念図

また本研究で磁気モーメントの大きさを観測する際に利用する磁気光学 Kerr 効果は、反射光の偏光軸が磁化の大きさに比例して回転する現象であるが、この回転角はミリ度のオーダーである(これに対して透過光の場合の Faraday 効果は回転角が膜厚にも比例するため、厚膜化により信号強度の増大を図れる)。そこで、FMR スペクトルの S/N 向上についての検討を行った。この結果によれば、本研究において使用したレーザーの相対的強度ノイズ(RIN)を 100

dB/Hz, バランス検出器の CMRR を 50 dB/Hz とすれば, レーザー出力 $10 \mu\text{W}$ のもとで, ショットノイズ限界に達していることが分った. これは, さらなるノイズレベルの低減は物理的に不可能で, S/N の向上は Signal 強度の増大, すなわちレーザーの高出力化のみで可能となることを意味する.

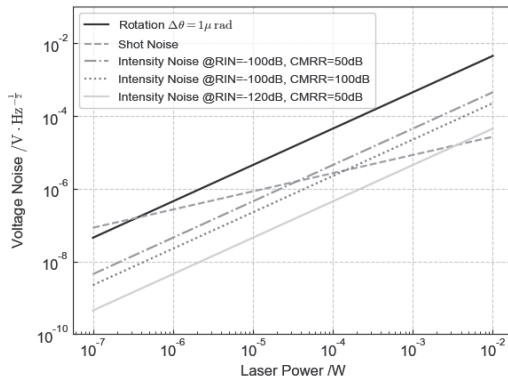


Fig. 2 理論的なノイズレベルの評価

3. 金属磁性膜の局所 FMR の観測

本研究では 3 種類の磁性薄膜 (FeNi, CoZrNb, CoFeB) における FMR スペクトルを高周波励起かつ磁気光学効果による検出で取得した. Fig.1 に示したようにいずれの薄膜においても明瞭なスペクトルを取得できた. 一方, スペクトルの形状は CoFeB では低周波側で 0 になるのに対して, 残りの 2 種では低周波数で有限の値を持っているといった違いがみられた. これはプローブ光が斜め入射であるため, 極 Kerr 効果と縦 Kerr 効果が重畳している中で, どちらが支配的であるかに依存してスペクトルの形状が異なると考えられる.

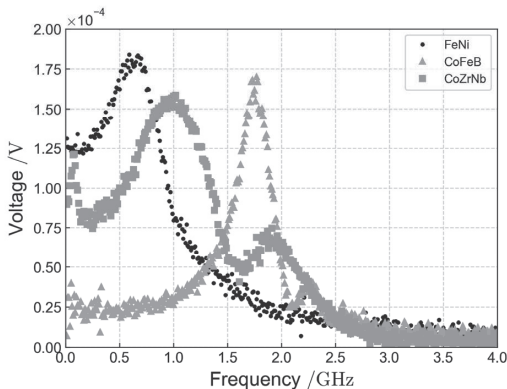


Fig. 3 各種材料の FMR スペクトルの光測定

4. 金属磁性薄膜の異方性の不均一性評価

本研究で使用した FeNi 薄膜は磁場中成膜に由来する誘導磁気異方性の不均一性が存在していると期待される. ここでは, 異方性の不均一性を FMR スペクトルにより可視化を試みた. 薄膜材料の FMR ピーク周波数は Kittel の式から, g 因子を除けば飽和磁化と異方性磁場の 2 つの定数で決定する. よって, 飽和磁化が膜面内で一定であると仮定すれば, FMR 周波数の不均一性は異方性磁場の不均一性と等価であると考えることができる. 実際に Fig.3 のような局所的な FMR スペクトルを 0.05 mm 分解能, 4 mm 四方の領域で測定したところ, FMR スペクトルは 0.6~0.8 GHz の間に分布していることが明らかとなった. これは異方性磁場に換算すると 0.35~0.62 kA/m に相当する. また, FMR 周波数の分布は磁場の不均一性に対して妥当なものであった.

5. まとめ

本研究によって, 局所 FMR スペクトルを効率的に測定する手法を提案し, 従来の測定に対して測定時間を 1/10 にまで短縮することに成功した. また, この測定手法を用いて磁場中成膜の際の磁場不均一に由来する Fe-Ni 薄膜内での FMR 周波数が不均一に分布していることを明らかにした. さらに, FMR 周波数分布を異方性磁場へ換算を行い, その妥当性を検討した. これらの成果は, 光を用いた局所 FMR 測定が軟磁性材料の材料評価手法としてだけでなく, デバイス上での軟磁性材料の磁気モーメントの挙動を観測する技術としても重要かつ活用可能であることを示すものとなった.

文献

- 1) S. Tamaru, et al. Journal of Applied Physics 91.10 (2002): 8034-8036.
- 2) H. Nasuno, S. Hashi, and K. Ishiyama, IEEE transactions on magnetics 47.10 (2011): 4011-4013.