

# 次世代 MRAM へ向けた反平行磁化配列層のスピントルク発振実証

研究代表者

湯浅裕美 九州大学大学院システム情報科学研究院 教授



## 1. 研究の背景と達成目標

これまで主役であった強磁性体にはない特性が期待されるため、反強磁性体のスピントロニクスが注目を集めている。その一つにスピントルク発振の高周波化があり、発振周波数は THz オーダーである。しかしながら、スピン間の交換相互作用が強いため、強磁性体のように明確で実用的な発振は未だ得られていない。そこで本研究では、これまででない人工的な反強磁性体を反平行磁化配列層で実現し、これの共鳴周波数を検証して制御を行う。反平行磁化配列層は隣り合う磁区のもつ磁化が互いに反平行で、総計では磁化を持たない。強磁性体と反強磁性体の中間に相当し、磁化の動的特性において共鳴周波数が強磁性体の GHz 領域と反強磁性体の THz 領域の間になると期待した。一方、強磁性体を数  $\mu\text{m}$  の円盤に微細加工することにより、発振周波数をサブ GHz まで 1 桁低減することが報告されている。反平行磁化配列層についても、微細加工を施すことで周波数を変化できる可能性がある。

本研究の目的は、実証の難しい反強磁性体のスピントルク解明への端緒とし、強磁性体と反強磁性体の中間である反平行磁化配列層のスピントルクを実証し、微細加工を取り入れて周波数をワイドレンジに制御することが目的である。

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・独自の 90 度磁気結合技術によって反平行磁化配列層を作成し、共鳴周波数を実験的に求めたところ、従来の強磁性体の 5GHz に比べて大きな約 10GHz へと増加することを実証した。反平行磁化配列層の実現とこれの動的磁気特性は、強磁性体と反強磁性体の間を繋ぐ新規物質の創製と意義づけられる。さらに、マイクロマグネティックシミュレーションによりスピントルク発振の周波数を見積もり、共鳴周波数と概ね一致することを確認した。これは、90 度磁気結合エネルギーを取り入れた系で、スピントルク周波数の設計が可能となったことを意味する。
- ・直径  $1\mu\text{m}$  のディスク状に微細素子化した 90 度磁気結合膜において、パルス磁場による磁化の運動を SEM with polarization analyzer (SEMPA) によりその場評価した。その結果、磁区を保持したまま磁化が運動し、その周波数は約 8MHz と、従来強磁性体に比べて大幅に小さいことが分かった。周波数は磁区構造に依存し、これはディスクサイズに依存する。スピントルク周波数を下げる方向での手段となり得ることが、示された。

## 3. 研究成果

図 1 に示す磁性積層膜において、特異な 90 度磁気結合を利用して反平行磁化配列層を実現し、隣接磁区の磁化が反平行となることを SEMPA で検証した。IrMn により Pinned layer の磁化が一方方向に固定され、これに対して Fe-O を介して Quasi AFM layer の磁化が  $\pm 90$  度に結合される。結果として、隣り合う磁区を持つ磁化が互いに反平行な、反平行磁化配列層が形成できる。

これらの磁性積層膜の磁気共鳴を測定した。図 2 に示すように、

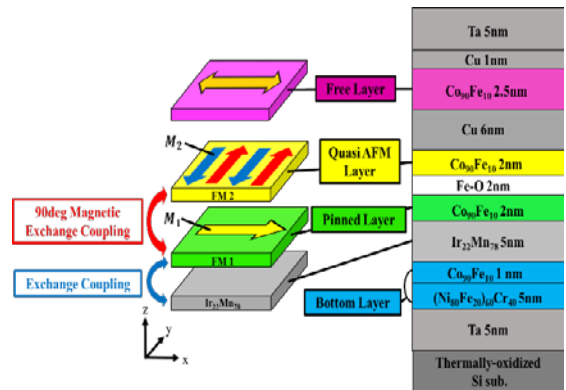


図 1 反平行磁化配列層の模式図

共鳴ピークが各磁場で2つ観測される。一つは従来の強磁性層である Free 層、もう一つは反平行磁化配列層である。反平行磁化配列層を持たない試料の結果と比較したところ、低周波側ピークが従来の Free 層、高周波側ピークが反平行磁化配列層の共鳴であることが分かった。反平行磁化配列層とすることで、強磁性体よりも周波数を上げることができると分かった。

さらに、90度磁気結合を取り入れたモデルでシミュレーションを行って、SEMPA で観測される磁区像を再現し、これに電流を流した場合のスピントルク発振の周波数を見積もった。シミュレーションでも反平行磁化配列層のスピントルク周波数は増加するという一致が得られたことから、要求される周波数に必要な条件をシミュレーションで設計することが出来ることがわかった。

次に、反平行磁化配列層を  $1\mu\text{m}$  のディスクに微細加工し、パルス電流磁場を与えた。図3のように磁化は振動し、その周波数は約 8MHz と予想以上に大幅に小さくなった。

これは試料の形状、磁区の形状に依存するが、その制御方法は今後シミュレーションとの比較により詰めていく。

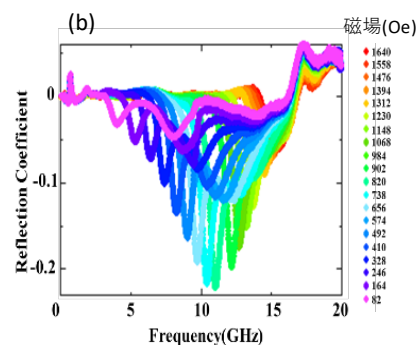


図2 膜の磁気共鳴

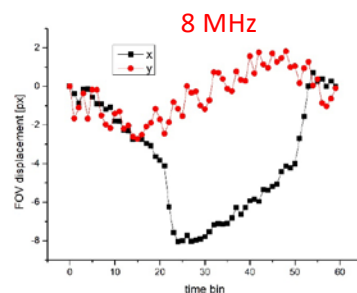


図3 ディスクの磁化振動

#### 4. 今後の展開

反平行磁化配列層の共鳴周波数は、単磁区である従来強磁性体より高くなり、期待通り磁区のサイズに依存することが実験とシミュレーションで示された。また、微細加工して作成した磁区では、予想通りにパルス磁場による数十 MHz の磁化変調を実現できた。現段階で得られる周波数は、数 MHz、数 GHz、数十 GHz と限られるが、さらなる磁区と試料形状の制御により、より広い周波数領域が実現する可能性が示された。

#### 5. 発表実績

- G. Nagashima, Y. Hirayama, and H. Yuasa, Magnetic and electric properties of the stacking film with quasi antiferromagnetic layer, SpinTECH IX, 2017/6/7 (福岡).
- Y. Hirayama, G. Nagashima, and H. Yuasa, Fabrication of quasi antiferromagnetic layer by 90-degree magnetic coupling through magnetic oxide layer, SpinTECH IX, 2017/6/7 (福岡).
- Y. Hirayama, G. Nagashima, Y. Kurokawa, H. Yuasa, Fabrication of quasi antiferromagnetic layer by 90° magnetic coupling through magnetic oxide layer, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 2017/9/7 (福岡).
- G. Nagashima, Y. Hirayama, R. Imai, Y. Kurokawa, H. Yuasa, Pinhole density in Fe-O film and 90 degree magnetic coupling, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 2018/3/17 (早稲田大学).
- 黒川雄一郎, 永島玄, 鍾永師, 堀池周, D. Schönke, P. Krautscheid, R. Reeve, M. Kläui, 田中輝光, 松山公秀, 湯浅裕美, 90度磁気結合における SEMPA による実観測とマイクロマグネティックシミュレーション, 日本物理学会 第 74 回年次大会 2019/3/14 (福岡).

ほか