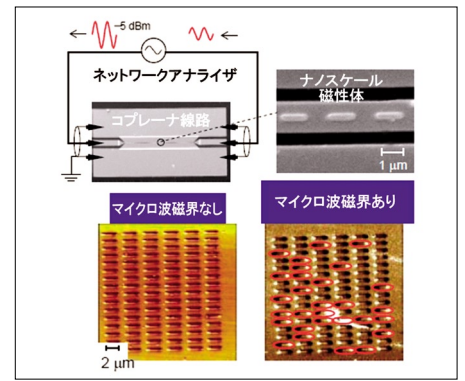


磁気メモリ、次世代ハードディスクの高性能化に道を拓く スイッチング磁界(注1)の大幅低減技術を開発。

強磁性体の磁化反転現象(注2)を利用した磁気メモリ(MRAM)は不揮発性と高速書き込み特性を併せ持つ万能メモリとして有望視されています。このたび開発された技術は、この磁化反転を従来の1/10の磁界で実現できる「マイクロ波アシスト磁化反転」技術であり、MRAMや垂直記録ハードディスクドライブの飛躍的な消費電力低減や高記録密度化に道を拓くものです。

- 記憶セルの微細化に伴って磁化反転が困難となる問題を強磁性共鳴(FMR)現象(注3)を用いて克服する技術を開発しました。
- 強磁性多層膜パターンの静磁気結合磁界を利用して記憶セルのFMR周波数を変調する新しい技術を確認し、機能周波数を書き換え可能なマイクロ波デバイスを開発しました。



▲NiFeドットのマイクロ波アシスト磁化反転の磁気力顕微鏡観察

競合技術への強み

	消費電力	素子の発熱	読み出しの信頼性	隣接セルへの干渉
直流電流磁界による磁化反転(従来技術①)	×	○	◎	×
スピン注入磁化反転(従来技術②)	◎	△	△	◎
本技術	○	◎	◎	○

▲磁気メモリの磁化反転方法に関する従来技術と本技術との比較表

①低消費電力

直流電流を用いる従来の方法に比べて1/10の磁界で磁化反転が可能となりました。

②素子の発熱が少ない

記憶セルの温度上昇は、熱揺らぎによる磁化の不安定化を引き起こします。記憶セルに直接電流を流す従来のスピン注入磁化反転方式では、記憶セルが小さくなるほど発熱が大きくなる問題がありました。これに対し本技術は、記憶セルと独立した配線に書き込み電流を流すため、書き込み時の記憶セルの発熱を抑えることができます。

③読み出しの信頼性を確保

スピン注入磁化反転方式では、書き込み配線と読み出し配線が共通するため、読み出し電流が記憶セルの磁化に影響を及ぼす可能性があります。これに対し本技術は、書き込み配線と読み出し配線が独立するため、十分な読み出しの信頼性を確保することができます。

④隣接セルへの干渉が少ない

本技術では、GHzオーダー(注4)のマイクロ波を用いて選択記憶セルのみを磁化反転可能な共鳴状態にできます。このため、直流電流による磁界印加方式に比べて隣接セルへの影響が少なく、記憶セルの高集積化に適していると考えられます。

ここがポイント

強磁性体は、不揮発性と高速書き込み特性を併せ持つ次世代メモリの記憶セル材料として注目されています。このような磁気記憶型の記録デバイスでは、記録密度の増大に伴い、記憶セルの微細化が必要です。ただし、セルを微細化すると磁化の熱揺らぎが顕在化するため、安定な記憶保持には強い磁気異方性が求められます。その結果、磁化反転には大きな磁界が必要となります。しかし、磁気記録ヘッドの書き込み磁界は

すでに材料限界に達しており、これを打破するためには熱やマイクロ波などによるエネルギーアシストを利用した磁化スイッチングが不可欠となります。本研究では、微弱なマイクロ波磁界により電子スピンを大きく回転できる強磁性共鳴(FMR)現象を用いてスイッチング磁界を飛躍的に低減させる『マイクロ波アシスト磁化反転』を実験的に検証しました。その結果、

- ① 記憶セル固有のFMR周波数よりも低いマイクロ波磁界でスイッチング磁界低減効果が最大となること
 - ② 記憶セルのFMRスペクトル線幅よりも広い周波数域でアシスト効果が見られること
 - ③ 磁化回転の均一性を増すことにより大きなアシスト効果が得られること
- を明らかにしました。

ブレイクスルーへの道のり

2002年：Gbit/in²級MRAMに必要な低電力磁化スイッチングに関する研究を開始。当初スピン注入磁化反転方式に興味をもつが、高度な微細加工・成膜技術が必要とするため断念。他のエネルギーを磁化反転のアシストに用いる方法を模索する。

2004年：計算機シミュレーションの結果、マイクロ波磁界印加により磁気記憶セルの書き込み電力を従来の100分の1以下に低減できる可能性があることを発見。これを検証するための予備実験を開始。

2005年：GHz領域のマイクロ波磁界を用いた実験に必要な機器を導入するため、平成17年第1回産業技術研究助成公募(締切日：3月18日)に応募。見事採択となり、7月よりマイクロ波アシスト磁化反転の実験的検証を本格的に開始。これと平行して、多層構造化により磁気記憶セルの強磁性共鳴周波数を変調する技術を開発し、「磁性多層膜ドットを用いた高周波デバイス」として特許出願(9月)。

2006年：うなり現象を利用すると1ナノ秒以内にマイクロ波アシスト磁化反転ができることを発見し、「磁気メモリ装置及びその書き込み方法」として特許出願(3月)。ここまで順調に研究が進んだが、九州大学のキャンパス移転事業(8月)により素子作製装置・デバイス評価システムを一時解体。装置の再立ち上げに1ヶ月を要し、この間まったく実験ができなくなってしまう。しかし、唯一実施できた計算機シミュレーションを精力的に行った結果、マイクロ波アシスト磁化反転の重要な条件を発見。これにより研究スピードが飛躍的に加速し、NiFe薄膜パターンのマイクロ波アシスト磁化反転の観察成功につながった。

2007年：サブミクロンスケールのNiFe薄膜パターン1個の微弱な強磁性共鳴スペクトルの検出に成功し、マイクロ波アシスト磁化反転に求められる条件(マイクロ波強度・周波数)に関する詳細が明らかになる。これらのマイクロ波アシスト磁化反転に関する研究成果をApplied Physics Lettersに投稿し、2件採録される。

2008年：多層構造化により磁気記憶セルの強磁性共鳴周波数を20%変調できることを実験的に明らかにし、これを利用した書き換え可能なバンドストップフィ

ルタを試作。この成果がApplied Physics Lettersに採録される。本研究成果に基づき立案した次世代ハードディスクドライブの低消費電力書き込みに関する研究提案を科学研究費補助金(若手研究A)に応募、採択決定。現在、複数の企業から共同研究の打診を受けており、マイクロ波アシスト磁化反転を用いた記録方式の実用化を目指している。

■サクセス・キー

九州大学で異分野(磁性体を使わない高周波デバイス)の研究やユビキタス環境におけるソフトウェア開発)を専門とする先生に研究内容を説明し、実用的観点からの助言を得ることができたこと。

Applied Physics Lettersなど注目度の高い論文誌に研究成果を投稿・採録されることにより、本研究の認知度を高めた。これが、研究助成金の獲得や複数企業からの共同研究打診に繋がりました。

■ネクスト・ストーリー

本研究では、『マイクロ波アシスト磁化反転』が内磁化膜パターンのスイッチング磁界低減に有効であることが明らかとなりました。今後はハードディスクドライブ(HDD)用記録媒体の主流となっている垂直磁化膜に対するマイクロ波アシスト磁化反転の研究を進めていきます。

HDDは、面密度が1Tb/in²以上(磁気ストレージ分野のロードマップによると2012年頃)に達すると、記録ヘッドが発生できる磁界強度の限界により、情報の書き込みが困難になることが懸念されています。マイクロ波アシスト磁化反転に関する研究は、我々のグループを含めても世界でも少数のグループしか行っており、垂直磁化膜に関する研究はまだ報告されていません。本研究により得られたマイクロ波アシスト磁化反転に対する知見を生かし、世界に先駆けてマイクロ波アシスト記録方式の垂直磁化HDDの研究を行っていきます。

- (注1) スwitching磁界とは、強磁性体の磁化反転に必要な磁界。
- (注2) 磁化反転現象とは、強磁性体の磁化が、外部磁界によって非可逆に向きを変える現象のこと。
- (注3) 強磁性共鳴現象(FMR)とは、固有振動数に等しいマイクロ波磁界を与えることにより、強磁性体の磁気モーメント(電子スピン)が大きく歳差運動(首振り運動)する現象。
- (注4) GHzオーダー：強磁性体中の電子スピンの固有振動周波数に相当。

プロジェクトID・研究テーマ・年度
05A12003d「強磁性共鳴を用いた磁気記憶セルのスピ制御に関する研究」(平成17年度第1回公募)

代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名
能崎 幸雄 九州大学大学院システム情報科学研究院 電子デバイス工学部門 准教授