

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	スピントランスファートルクによる磁壁駆動を用いた磁性細線メモリの記録・再生制御に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	奥田光伸
Author(English)	Mitsunobu Okuda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10477号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中川 茂樹,岩本 光正,山田 明,間中 孝彰,PHAM NAM HAI
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10477号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電子物理工学	専攻	申請学位（専攻分野）： 博士 Academic Degree Requested	（ 工学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	奥田 光伸		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	中川 茂樹 教授
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文では映像の高精細化に伴う高速記録再生実現のため、磁気記録装置の機械的な動作部分を無くしたスピントランスファートルク (STT) による磁壁駆動を用いた磁性細線メモリの記録・再生制御に関する研究を行った。磁性細線への磁区の記録・駆動・再生を実証するためにハードディスクドライブ用の磁気ヘッドを利用して、垂直磁化磁性細線と組み合わせることで仮想的な磁性細線記録素子を構成することとし、磁区形成、磁区駆動、磁区検出それぞれの要素について実現する条件を検討した。さらに磁性細線メモリ実現に向けて、磁区の駆動距離制御法に関する検討、高速磁区駆動を目指した細線材料の開発、より確実に磁区形成を行うためのヘッド近接技術の検証を行った。

磁性細線を用いた磁気記録デバイスの検証を行うために、まず [Co/Pd] 人工格子多層膜を用いて磁性細線を作製することとした。21 周期以下の膜構造において良好な垂直磁気特性が得られたことを示したため、この構造の多層膜を用いて磁性細線を作製した。線幅 250 nm 以下の構造において細線幅方向に単一の磁区構造をとることが確認できたため、幅 150 nm の磁性細線を用いて磁区駆動実験を行うこととした。この細線における磁区駆動を評価するために磁気ヘッドを用いた駆動磁区観察装置を構築し、磁性細線に接触させた再生ヘッドの抵抗値の変化により、磁性細線中を電流駆動する磁区をリアルタイムに検出することとした。まず、電流密度  $6.3 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 、パルス幅 50 ns のパルス電流を複数回印加し、磁区が電子の流れる方向へ移動することを確認した。このことから STT による電流磁壁駆動により磁区が移動したと考えられる。続いて駆動した磁区の周辺に再生ヘッドを固定し、電子の流れる方向に移動する磁壁を検出することで、再生ヘッドを用いた駆動磁区の検出を実証した。

次に、磁気ヘッドにより磁性細線に磁区形成ができる条件を検証するため、記録ヘッドに電流を印加しながら磁性細線を走査し、磁区を導入できる記録条件を評価した。このとき、電極構造を 2 層とすることで細線周辺の電極の高さを低くし、記録ヘッドを細線に 10 nm 以下の距離まで近接させることで、記録ヘッドからの磁界により磁性細線へ磁区を形成することを可能とした。

磁気ヘッドによる磁区形成と磁区検出を実証できたので、磁気ヘッドを用いて仮想的に磁性細線記録素子を構成し、磁性細線への磁区の形成（記録）、電流駆動、検出（再生）が一連の動作で可能となることを実証することとした。あらかじめ、磁化方向をすべて下向きに揃えた磁性細線に対して、細線長さ方向に磁区駆動電流密度  $1.1 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ 、1 ms に 1 回 4.5 ns のパルス電流を印加し、記録ヘッドに電流を印加して上向き磁区を形成した。再生ヘッド出力の変化から、形成した磁区が再生ヘッド直下を通過する様子をリアルタイムに検出することができた。このことから、1 本の細線において磁気ヘッドを用いて磁区を形成し、電流駆動して検出できることを示した。ただし、再生ヘッドによる信号が欠落している部分が見られたため、軟磁性下地層を磁性細線に付与することにより磁区を確実に形成できる磁性細線を作製した。その結果、磁区形成した間隔とほぼ同じ間隔で再生ヘッド直下を通過する磁区を検出することに成功し、磁区の形成、駆動、検出の一連の動作の実証に成功した。

最後に磁性細線メモリを実現するための磁区駆動距離の制御手法と磁区の高速駆動材料、ヒーターを利用した記録ヘッドの細線への近接手法について検証した。駆動距離制御については、基板上に溝構造を導入することで周期的に磁壁トラップサイトを磁性細線へ導入可能であることを示した。また、この段差が 4 nm のときに 100 nm 単位での磁区のシフト駆動を実証し、駆動距離制御が可能であることを明らかにした。磁区の高速駆動材料については細線の磁化の低減を目指し、Ru 層を中間層とすることで上下の磁性層が反強磁性的に結合する薄膜を形成する条件を見出した。ヒーターを利用した記録ヘッドの細線への近接手法については 10 nm 程度磁気ヘッドを近接できることを確認できたため、記録電流の低減が期待できる。

以上の結果から、本研究の課題であった磁性細線への磁区の記録・駆動・再生を実証するとともに電流磁区駆動距離の制御についても微小な段差構造を構成することにより可能になることを示すことができた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	電子物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	奥田 光伸		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	中川 茂樹 教授	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

A magnetic nanowire memory using current-driven domain-wall motion by spin transfer torque without mechanical moving parts is proposed to achieve an ultra-high data-transfer rate of more than 144 Gb/s, which is required for future 8K ultra-high definition and 3-D videos. To demonstrate the operational principle of this nanowire memory, a write/shift/read experimental system using a magnetic head with a writer and reader for a commercial hard disk drive was constructed. In this system, forming, driving, and detecting magnetic domains along the magnetic nanowire with a perpendicular magnetic anisotropy were evaluated.

A specimen [Co/Pd] magnetic nanowire 150 nm wide and 20  $\mu$ m long was fabricated by ion-beam sputtering and electron beam lithography process.

First, 50-ns-wide current pulses were applied along this nanowire. The magnetic domains were moved in the direction of the electron flow by spin transfer torque from the applied current.

Next, by fixing the reader of the magnetic head on the nanowire, current-driven magnetic domains passing under the reader were detected as the magneto-resistive signal.

Then, magnetic domains were formed by the writer of the magnetic head. By reducing the distance between the writer and nanowire due to adopting bilayer electrodes, the writer could form magnetic domains in a nanowire.

Finally, the change in the magnetization direction beneath the reader was observed in accordance with applying drive- and write-current pulses simultaneously. Since the magnetic domains formed by the writer were detected in real time, the operational principle of nanowire memory to record, drive, and detect magnetic domains was demonstrated in the specimen [Co/Pd] nanowire. In addition, to precisely control the current-driven distance of magnetic domains, periodic domain-wall trap sites were introduced along the nanowire by forming grooves into a substrate. The 4-nm-high steps formed by the grooves resulted in the shift drive of the magnetic domains along the nanowire.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).