The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Amplification Properties of MgO-Based Magnetic Tunneling Junctions
Author(s)	Konishi, Katsunori
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27504
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【58】

氏　　名	小　西　克　典（こ　にし　かつ　のり）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２６０８９　号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学　位　論　文　名	Amplification Properties of MgO-Based Magnetic Tunneling Junctions （MgO トンネル障壁磁気トンネル接合における増幅特性）
論文審査委員	（主査） 教　授　鈴木　義茂 （副査） 教　授　夛田　博一　　教　授　木村　　剛

論 文 内 容 の 要 旨

MgOトンネル障壁を用いた強磁性トンネル接合（MTJ）素子において巨大な磁気抵抗効果が発見されたのをきっかけに、MTJ素子を用いた新たなデバイスの研究が盛んに行われている。その範囲は固体磁気メモリのような受動素子ばかりではなく、マイクロ波発振器などの能動素子にも及んでいる。これらに加え、不揮発性論理回路実現の為に、論理演算機能とスピンの持つ記憶機能を併せ持ったスピントランジスタと呼ばれる三端子デバイスに期待が寄せられている。これまでのスピントランジスタに関する実験では室温において増幅作用は実現されておらず、本研究においては、新たな構造・原理を持ったスピントランジスタを提案・作製し、増幅特性を中心に評価をおこなった。

提案する新たなスピントランジスタは低面積抵抗のMTJ素子とそれとは電気的に絶縁された金属線から構成されており、金属線に流した電流により発生する磁界を利用し、MTJ素子のフリー層の磁化反転を誘起する。これによりMTJ素子の出力が変化し、金属線に入力した電力よりも、磁化反転による出力の変化分が大きければ、このデバイスは増幅作用を持ったデバイスであるといえる。

MgO障壁を有するMTJ素子に微細加工を施し上記構造を作製し、室温における増幅作用の評価を行ったところ、電力増幅率5.6を得ることに成功した。さらに、実験で得られた値と理論値を比較することで、デバイスの設計方針を示した。次に、外部からアシスト交流磁界を印加し有効的な保磁力を下げた状態での評価を行い、電力増幅率130及び5.7のファンアウトを得た。同時に不揮発性についても言及し、提案したデバイスが不揮発性論理回路の基本素子となる可能性を示した。

一般的な強磁性体の共鳴周波数がGHz帯にある性質を利用して、上記スピントランジスタにおける高周波の増幅作用についても評価を行った。外部磁場を変えながら増幅率を系統的に測定した結果はマクロスピンシミュレーションと定性的に一致した。得られた増幅率は１未満ではあったものの、１を超える増幅率を得る為のMTJ素子の設計方針を示した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

提出された論文は電子の持つ電荷とスピンの双方を巧みに利用することを目的とした新しい技術・学問分野であるスピントロニクスに関するものである。当該研究は、その中でも中心的な役割を果たしている強磁性トンネル磁気抵抗素子の物理的な性質をうまく引き出すことによりスピントロニクスの分野にかけていた能動素子を実現したものである。論文では以下の2つの結果が述べられている。(1)磁気抵抗率と磁場感度とが高く、低抵抗であるトンネル磁気抵抗素子とコプレーナー型マイクロ波伝送路を組み合わせたトランジスタ構造(磁界駆動型スピントルクトランジスタ)を提案し、その電力・電流増幅特性を理論的に予想した。そして、実際に素子を作成して直流電力増幅・直流電流増幅を実証するとともに、論理素子として1以上のファンアウトを得ることが可能であることを示した。(2)同様な素子に高周波電流を印加することにより交流の電力増幅についての検討を行った。その結果、交流信号として数GHz程度の周波数を用いて素子の磁気共鳴を誘起することにより電力増幅率が増大し最大で電力増幅率0.07を得た。

以下、これらの内容について詳説する。

(1) 磁界駆動型スピントルクトランジスタの作製と直流増幅駆動特性の研究

トンネル磁気抵抗素子の材料としては、既にハード磁気ディスク用の読み出しセンサーとして実用化されているCoFeB/MgO/CoFeBトンネル磁気抵抗膜を利用した。この膜は低抵抗でありかつ高い磁気抵抗比を示すため本研究に適している。磁化フリー層の保持力を下げるために、磁気フリー層をFeNi/Ru/CoFeB多層構造とする工夫も行った。この膜を0.5×2 μm^2の矩形断面を持つピラー状に加工したのちに上部に幅 2 μmのコプレーナー型マイクロ波伝送路を作製した。コプレーナー型マイクロ波伝送路に直流電流を印加して磁化を反転するために必要な電力(電流)と磁化反転によるトンネル磁気抵抗素子の出力電力(電流)の変化の比から電力(電流)増幅率として、5.6(0.8)という値を得た。さらに交流バイアス磁界の印加により保持力を実質的に減少させて電力(電流)増幅率として、130(4.9)という値を得た。このことにより本素子を論理回路として用いた場合のファンアウトとして5.7という実用的な値を得ることに成功した。

(2) 磁界駆動型スピントルクトランジスタによる高周波電力の増幅特性の研究

前述の素子に高周波電流を印加した。周波数を磁気共鳴周波数(2-6GHz)とすることにより出力が増大することを確認した。さらに、磁界の印加方向などを工夫することにより最大で0.07という電力増幅率を得た。マイクロマグネティクスシミュレーションとの比較から、シミュレーション上の最適条件は実現していないことが分かった。これは、素子内部の磁区の形成などによるものと考えられた。

以上の成果は、既に国際的な英文論文誌5本の論文として掲載された(そのうち主著は2編)。それ以外にも国内外の会議において多数の発表を行うとともに1編の解説論文(日本語・共著)を執筆するなど高い評価を得ている。候補者が高度な技術を要する実験とその物理モデルの構築を同時に行い新しい分野を拓いたことは特に高く評価できる。発表も明解であり質問への受け答えは的確であった。以上より本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。