

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：31302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656215

研究課題名(和文)超低消費電力型無発熱信号伝送システムの創製に向けたスピン波伝搬配線の探索研究

研究課題名(英文) Fabrication of spin wave conducting wire for heatless ultra-low power consumption signal transmission system

研究代表者

土井 正晶 (Doi, Masaaki)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：10237167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究開発は簡易な磁性体素子にて電気信号をスピン波の伝播に変換することで、発熱を全く伴わない超低消費電力型の新規な無発熱超高速有線伝送技術を提案するものである。超小型スピントルクスピン波ジェネレータとディテクタおよび強磁性酸化物絶縁体配線を組み合わせることで簡素かつ発熱フリーの革新的な無発熱有線伝送技術を構築することを目的としている。本プログラムではコプレーナ線路上の強磁性酸化物絶縁体を開発することを目的として研究を行い、極薄酸化物反強磁性体Fe₂O₃薄膜試料において内部転換電子メスbauer効果(CEMS)の測定と解析を行った。

研究成果の概要(英文)：Due to the progress of the electronic engineering device, the demand for effective energy conservation technic is intensively increasing. In sight of this background, the purpose of this project is to develop a breakthrough technique of heatless ultra-low power consumption signal transmission system for next generation electronic devices. In this research project, fabrication of oxide insulator spin wave conducting wire for heatless ultra-low power consumption signal transmission system have been challenged. The hyperfine magnetic structure of Fe-oxide thin films prepared by sputtering method for spin wave conducting wire was investigated by using Mossbauer spectroscopy.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：伝送技術 無発熱 スピン波 強磁性酸化物 スピントルク 微細加工

1. 研究開始当初の背景

21世紀に入り、環境エネルギー問題、資源問題が大きくクローズアップされている。しかしながら、その中心は太陽電池、蓄電池など、主に電力を供給側に注目が集まっており、電力消費側のゲームチェンジ、イノベーションには、まだ注目が集まっていないのが現状である。環境エネルギー分野への新展開など、情報化社会の要であるIT技術のさらなる進化のためには低消費電力化が不可欠である。高集積化による中央演算処理装置(CPU)の最大発熱量(TDP)は増加し続けており、TDPの低減化のためのブレークスルー技術が要求されている。本提案は、コンピュータ、モータなどの電力消費の大きい情報機器およびパワー機器に多用されている半導体の高集積チップにおけるチップ内に、近年新しい物理領域として著しい発展を見せているスピントロニクスを使ったこれまでにないスピン波を信号情報の伝達媒体とする斬新かつチャレンジングな無発熱信号伝送技術を提案するものである。

2. 研究の目的

本研究開発は簡易な磁性体素子にて電気信号をスピン波の伝播に変換することで、従来の伝送方式のような電荷の移動を伴わない、すなわち発熱を全く伴わない超低消費電力型の新規な無発熱超高速有線伝送技術を提案するものである。超小型スピントルクスピン波ジェネレータとディテクタおよび強磁性酸化物絶縁体配線を組み合わせることで簡素かつ発熱フリーの革新的な無発熱有線伝送技術を構築することを目的としている。本技術を中央演算処理装置(CPU)等の各種超高集積化デバイスチップ内の信号伝送技術として応用することによって、各種集積化デバイスの発熱量、消費電力を大幅に低減することが可能となり、コンピュータやモータなどの大幅な低消費電力駆動の実現により省エネルギー化とCO₂削減に多大に貢献する。本低消費電力・無発熱スピン波伝送システム(図1概念図)は強磁性ナノコンタクト型の超小型スピントルクスピン波ジェネレータ・ディテクタおよび強磁性酸化物絶縁体配線で構成されており、電気信号スピン波の変換の要であるスピントルクスピン波ジェネレータ・ディテクタは自己組織化の手法を用いて磁性薄膜中に作りこまれたナノメートルサイズのナノ接点から成る独自の簡素で超小型の素子である。強磁性ナノコンタクト型の超小型スピントルクスピン波ジェネレータ・ディテクタの特徴は強磁性ナノコンタクトに閉じ込められたナノ狭窄磁壁へ直流電流を印加するだけで数十GHz~100GHz(ミリ波帯域)のスピン波が励起されることにある。現在、約20GHzのスピン波励起は確認しているが、強磁性材料および素子設計の改善によるさらなる高周

波数化が高速伝送の課題となる。また、強磁性酸化物絶縁体配線ではフェリ磁性体イットリウム鉄ガーネット(YIG) Y₃Fe₅O₁₂を用いたスピン波の伝播は<10GHz帯域においてセンチメートルにおよぶことが報告されている(A.V. Chumakら, Appl. Phys. Lett. 93, 022508 (2008))。さらに高周波帯域(ミリ波帯域)において効率的にスピン波を伝播させ、チップ内に実装可能な強磁性絶縁体配線の材料開発および3次元配線の設計が必要であると考えられる。本低消費電力・無発熱スピン波伝送システムを創製するためのスピン波伝搬配線の探索研究として、本プログラムではコプレーナ線路上の強磁性酸化物絶縁体を開発することおよび最適な微細加工プロセスを確立することを目的として研究を行う。本研究はナノスケールの構造化によるミリ波帯のスピン波励起の新機能発現とスピン波伝播のための新物質材料(強磁性絶縁体)の開発を駆使して低炭素化を目指すものである。

低消費電力・無発熱スピン波伝送システムの概念図

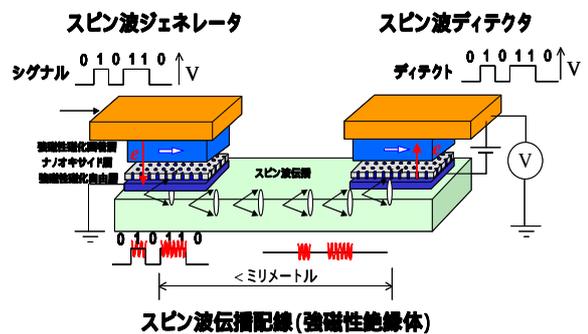


Fig.1 低消費電力・無発熱スピン波伝送システム(概念図)

3. 研究の方法

コプレーナ線路上の半導体との整合性の良いFe基酸化物フェリ磁性体を開発すること念頭に、酸化物伝送線路の磁気構造を明らかにするためにスパッタ法を用いてFe系酸化物薄膜を作製し、⁵⁷Co線源を用いたメスbauer効果計の測および超微細磁気構造を解析する。メスbauer効果による磁気構造解析は微細加工プロセス後の伝送線路についても非常に有効な方法であると考えられる。

4. 研究成果

Cr₂O₃(-Fe₂O₃)薄膜中のFeの電子状態(磁気構造)を明らかにすることを目的として、まず、スパッタ法で作製した膜厚140nm、基板温度700の条件で作製されたFe₂O₃薄膜(東北大学工学研究科佐橋政司研究室)の⁵⁷Co線源を用いたメスbauer効果の測定を行った。低温クライオスタット中に試料を装着し、室温における透過型測定を行った。薄膜の透過型計測はカウント効率が落ちるため通常

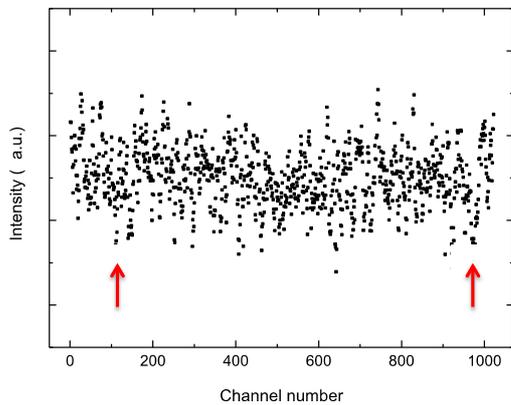


Fig. 2 Fe_2O_3 薄膜の ^{57}Co 透過型メスバウアースペクトル

ではほとんど行われていない計測方法であるが、計測効率を上げるために基板の厚さを薄くすることで、計測が可能であることを当グループによりすでに確認している。今回の計測では試料は 0.41mm の基板を使用し、2 枚の試料を重ね合わせて計測を行った。Fig. 1 に約 3 ヶ月間の計測を連続して行い、カウントを積算したメスバウアースペクトルの計測結果を示す。Fig. 1 に示すように S/N 比が不十分なスペクトルが得られ、不鮮明であるが図中の赤矢印で示した Fe_2O_3 層によると考えられる共鳴吸収ピークが確認できた。しかし、超微細パラメータ(内部磁場、アイソマーシフト、四重極分裂、強度比)を解析するに至ってはいない。超微細パラメータの解析を行うためには S/N 比を向上、すなわちカウント効率を 8 倍以上上昇させる必要があり、 ^{57}Co 線源の強化 (2 倍) と基板の厚さを 1/2 程度薄くする (カウント 4 倍) が必要であることが明らかになった。

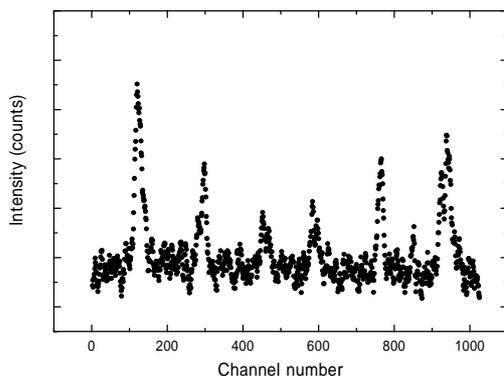


Fig. 3 Fe_2O_3 薄膜の ^{57}Co 反射型内部転換電子メスバウアー (CEMS) スペクトル

そこで、極薄酸化物反強磁性体 Fe_2O_3 薄膜試料において内部転換電子メスバウアー効果(CEMS)の測定と解析を行った。検出効率を上げるために強度の強い ^{57}Co 線源を用いて室温の測定を行った。Fig. 3 に Fe_2O_3 薄膜の CEMS によるメスバウアースペクトルを示す。透過型では不明瞭であったスペクトルに対

して、Fe の価数に依存したサイト別の明瞭な 6 本の反射スペクトルが観察でき、超微細磁気構造の解析可能なスペクトルを得る事ができた。

今後は、低温における計測は透過型の測定系を用い、さらに ^{57}Fe をエンリッチした試料の作製についても検討を行う。得られたメスバウアースペクトルは Fe 多成分非線形の最小自乗法収束計算によるフィットングにより解析する。この解析結果より得た各成分(サイト)の超微細パラメータ(内部磁場、アイソマーシフト、四重極分裂、強度比)から Cr_2O_3 (- Fe_2O_3)薄膜中の Fe の電子状態(磁気構造)を明らかにする。特にスペクトルの強度比を解析することで、磁気配向性について評価を行う。さらに、微細加工プロセス後の伝送線路についても磁気構造の解析を行い、伝送線路の作製プロセスの確立にフィードバックする。さらに強磁性絶縁体配線のパターンニングプロセスを開発し、低消費電力・無発熱スピン波伝送システムへと展開する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

1. “Challenge to the Synthesis of α - Fe_{16}N_2 Compound Nanoparticle with High Saturation Magnetization for Rare Earth Free New Permanent Magnetic Material”, Tomoyuki Ogawa, Yasunobu Ogata, Ruwan Gallage, Naoya Kobayashi, Naoaki Hayashi, Yoshihiro Kusano, Shinpei Yamamoto, Kaori Kohara, Masaaki Doi, Mikio Takano, and Migaku Takahashi, Appl. Phys. Express, 査読有, 6 (2013) 073007.
2. “Demonstration of magnetoelectric effect in ultrathin $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ nano-oxide layer by training effect”, Naoki Shimomura, Kazuya Sawada, Tomohiro Nozaki, Masaaki Doi, Masashi Sahashi, APPLIED PHYSICS LETTERS, 査読有, 101, 012403 (2012).
3. “Modification of Magnetic Nanocontact Structure by a Bias-Voltage-Induced Stress and Its Influence on Magnetoresistance Effect in TaOx Nano-Oxide Layer Spin Valve”, Kousaku Miyake, Yosinobu Saki, Ayako Suzuki, Shohei Kawasaki, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 51 (2012).

[学会発表](計 6 件)

1. “Magnetism and Structural characterization of Nano-Oxide Layer containing Cr_2O_3 and

- Fe₂O₃”, N. Shimomura, K. Sawada, T. Nozaki, M. Doi, and M. Sahashi, ICAUMS 2012/36th Conference on Magnetism in Japan, Oct. 4, Nara, Japan (2012).
2. “Magnetization reversal behavior of FePt/MgO/FePt thin film”, Hiroki Iwama, Shinji Matsumoto, Katsuya Sugawara, Kotaro Sato, Masaaki Doi and Toshiyuki Shima, ICM, 2012 July. 13, Busan, Korea.
 3. “Effect of non-magnetic layer on the magnetization process for Nd-Fe-B thin films and circular dots”, H. Iwama, Y. Nikaido, S. Suzuki, T. Sato, H. Makuta, M. Doi, T. Shima, The 3rd International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications (ISAMMA 2013, Windsor Hotels, Taichung, Taiwan), SB-03, July 24 (2013).
 4. “FePt 薄膜の微細加工と磁気特性”, 幕田裕和、岩間 弘樹、高橋 一法、佐々木 歩、土井 正晶、嶋 敏之、2013 年秋季講演大会, P62, 9月17日(2013)金沢大学.
 5. “多層構造を有する FePt 薄膜の微細加工と磁気特性”, 幕田裕和、岩間弘樹、土井正晶、嶋敏之、日本金属学会 2014 年春季(第 154 回)大会、東京工業大学、2014 年 3 月 23 日
 6. “低温還元熱処理による L1₀型 FeNi 規則合金微粒子の作製”, 藤枝俊、篠田弘造、鈴木茂, B. Jeyadevan, 土井正晶, 鹿又武, 越後屋淳一, 日本金属学会 2014 年春季(第 154 回)大会、東京工業大学、2014 年 3 月 23 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井 正晶 (DOI MASAAKI)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号：10237167

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し