

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月16日現在

機関番号：32665
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22760304
 研究課題名（和文） 磁気表面プラズモン共鳴効果の導出とそれによる超高速ナノ空間磁気センシング
 研究課題名（英文） Magneto-surface-plasmon resonance effect and ultra fast magnetic sensing
 研究代表者
 芦澤 好人 (YOSHITO ASHIZAWA)
 日本大学・理工学部・助教
 研究者番号：10453911

研究成果の概要（和文）：

情報ストレージ分野では、磁気ディスクのさらなる高記録密度化・高速化の実現に向けた次世代磁気記録方式の研究について高記録密度化の記録・再生技術、高速化の記録技術の研究が活性化している。一方、高速再生技術すなわち高速磁気センシング技術においては、強磁性共鳴周波数を超える高速化に対し打開策がまったく見出されておらず、再生技術が高速化のボトルネックとなる。そこで本研究では、まったく新たな原理に基づいた磁気センシング技術の基礎を早期に確立するため外部磁界による表面プラズモン共鳴の制御手法を検討した。表面プラズモン励起層と磁気制御層とに機能分離した多層薄膜構造を考案・採択することにより、励起された表面プラズモンにおいて磁気応答性の確認を確認した。励起層としてCuを磁気制御層としてCo/Cu/Co積層膜を用いた。さらに異なる方向からの印加磁界において本磁気応答性を観測した。

研究成果の概要（英文）：

Higher recording density and higher speed recording are required for magnetic recording in information storage field, high density writing/reading and high speed writing techniques have been studied in the world. High speed reading technique will be a key issue for development of high speed recording techniques because of its physical limit of ferromagnetic resonance frequency. In this research, surface plasmon was investigated to be applied to magnetic sensing techniques for ultra-high reading sensor. Magnetic response of surface plasmon was observed in Co/Cu multilayer films, which films were composed by a surface plasmon generation layer and a controlling layer magnetically. Furthermore, Direction dependence of applied field on surface plasmon generation was observed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシングデバイス，表面プラズモン

1. 研究開始当初の背景

ストレージ分野では、高記録密度・高速記録の実現に向けた次世代磁気記録方式の研究が活発化している。高記録密度化の必要技術としては、パターン媒体と呼ばれる記録媒体及び光アシスト磁気記録方式などの記録方式について、企業や大学が競って検討を重ねている。

一方、高速記録の必要技術としては、光誘起磁化反転現象を活用する研究が活性化してきている。しかしながら、再生技術すなわち磁気センシング技術においては、スピンの角運動量を有するために強磁性体に存在する強磁性共鳴周波数が磁化の追従可能な最高周波数となるため、高速化の上限が決定してしまう。この強磁性共鳴限界に対する打開策がまったく見出されていないため、再生技術が高速化のボトルネックとなる。社会のニーズに合わせて磁気ディスクの再生周波数は高速化しており、強磁性共鳴周波数に近付いているため、早期に新たな高速再生の手法を確立することが極めて重要である。再生技術においては、高速再生法の原理開発の研究は手つかず状態であった。

2. 研究の目的

磁気ディスク (HDD) の高速再生技術は、現行のトンネル型磁気抵抗効果 (TMR) や試料垂直方向の巨大磁気抵抗効果 (CPP-GMR) 等の磁気抵抗型再生方式を用いた場合、センサ部の強磁性共鳴周波数の数 GHz が高速化の限界となる。その為、より高速化可能な物理現象に基づく新たな再生手法の開拓及びその確立が求められる。新規原理に基づいたナノ空間における磁気センシング技術の基礎を早期確立するため本研究では、近接場光を用いた局所磁化情報の超高速センシングを可能とするための外部磁界による表面プラズモン共鳴の制御手法の確立を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、超高速再生の原理実験として、外部印加磁界によって表面プラズモン共鳴周波数を制御するための手法の検討を行い、その結果を受けて超高速・超高密度化再生技術の検討に挑戦する。

金属中のプラズマ周波数 ω_p は、電子密度 N や有効質量 m^* などの材料物性値によって決定されており、一般に可視光領域において高効率にエヴァネセント型表面プラズモンが励起可能な金属材料は限定される。そこで本検討では、薄膜試料に容易に表面プラズモンを生成させる表面プラズモン励起層と励起されたプラズモンを磁氣的にコントロールする制御層とに機能を分離した薄膜構造にすることにより、表面プラズモン共鳴周

波数可変構造の実現を検討する。全反射減衰法 (Attenuated Total Reflection: ATR) を用いた表面プラズモン励起法の検討には、非磁性金属材料とその最適膜厚を検討する。

強磁性体/非磁性体/強磁性体人工格子構造により、ナノメートル領域で発現するスピン依存現象を活用して、表面プラズモンへの磁界応答性の付与を検討する。表面プラズモン励起効率及び磁界応答性を、光入射方向と直交する方向に磁界を印加して ATR 法を行い、評価する。

4. 研究成果

1. エヴァネセント型表面プラズモン励起層

波長 680 nm のレーザー光を用いて、可視光領域においてエヴァネセント型表面プラズモンの励起が容易な表面プラズモン励起層について、ガラス基板上にスパッタリング法により作製した Cu 薄膜の膜厚最適化を行った。図 1 に種々の膜厚における Cu 薄膜の全反射角での反射率の角度依存性の結果を示す。ATR 測定には Kretschman 配置を用いた。s 偏光入射時には反射率の減衰は観察されないのに対し、p 偏光入射時には反射率の減衰が観察されており、表面プラズモンが励起されたことを示している。Cu の膜厚を 20 ~ 50 nm で変化させた結果、30 nm において最も反射率が減少した。以上より、30 nm の Cu 薄膜を表面プラズモン励起層として用いることとした。

2. 表面プラズモン共鳴周波数制御層による表面プラズモンの磁気応答

強磁性体 / 非磁性体 / 強磁性体の人工格子構造により、ナノメートル領域で発現するスピン依存現象を活用した、表面プラズモンへの磁界応答性の付与を検討した。磁性材料としては Co 多結晶薄膜を用い、上記プラズモン励起層である 30 nm 厚の Cu 層との積層構造とする、表面プラズモン励起層/表面プラズモン磁気制御層構造とした。2 層の Co 層に挟まれた非磁性 Cu 層の膜厚を 1.5, 2.0,

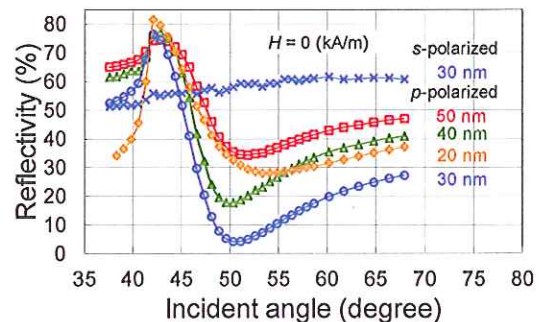


図 1 表面プラズモン励起層における反射率の入射角度依存性

2.5 nm と変化させた薄膜の反射率の角度変化を図 2 に示す。いずれの Cu 膜厚においても、明瞭なディップが 50° 周辺に観測されており、表面プラズモンが励起されていることがわかる。Cu 膜厚 2 nm のときに最も表面プラズモンが励起された。

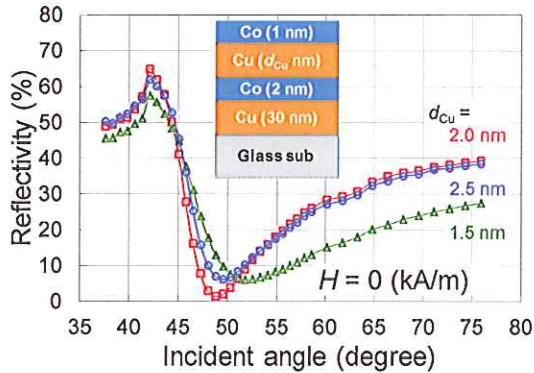


図 2 表面プラズモン励起層/表面プラズモン磁気制御層構造における反射率の入射角度依存性

3. 表面プラズモン励起層/表面プラズモン磁気制御層構造における表面プラズモンの磁気応答性

2 層の Co 層に挟まれた非磁性 Cu 層の膜厚が 2 nm の試料において、表面プラズモン共鳴の磁界応答性を検討した。磁界を光の入射面に直交する方向に +8 kA/m、および -8 kA/m を印加した結果を図 3 に示す。+8 kA/m の磁界印加により反射率が減少し、逆に -8 kA/m では反射率が増加した。反射率の変化が磁化の振舞いと対応していることから、本現象は磁気光学効果が原因の可能性の一つとして考えられる。

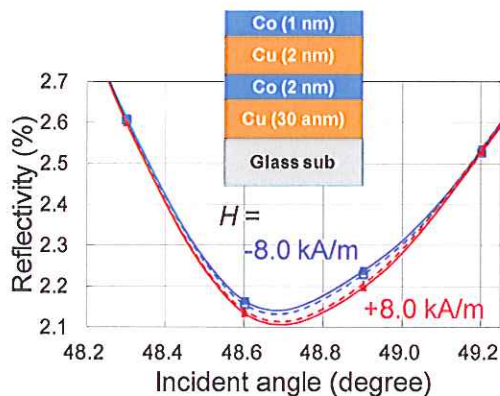


図 3 表面プラズモン励起層/表面プラズモン磁気制御層構造における反射率の磁気応答性

4. 表面プラズモンの磁気応答性の磁界印加方向依存性

磁化方向における誘電率成分に着目し印加磁界方向に対する表面プラズモン共鳴と誘電率との相関について検討するため表面プラズモンの磁気応答性について検討を行った。磁界に対する反射率変化量 ΔR_p の計算には以下の式を用いて規格化を行った。

$$\Delta R_p = (R_p(\pm H) - R_p(0)) / R_p(0)$$

ここで、 $R_p(\pm H)$: 正負方向の磁界印加時の反射率、 $R_p(0)$: $H = 0$ 時の反射率である。測定配置を図 4 に示す。磁界の印加方向は①入射面に垂直(従来)、②入射面に並行かつ薄膜試料面に並行、③入射面に並行かつ薄膜試料面に垂直の 3 方向を検討した。

図 5 には 3 方向の磁界印加方向における反射率変化量 ΔR_p の角度依存性を示す。①の入射面に垂直に磁界を印加した場合と③の入射面に並行かつ試料表面に垂直に磁界を印加した場合に反射率の変化が観測され、②の入射面に並行かつ試料表面に平行な磁界印加では反射率の変化は観察されなかった。これは外部磁界により磁化方向が変化することで、表面プラズモンに寄与する誘電率成分が変化するため、反射率の変化が得られたと考えられる。

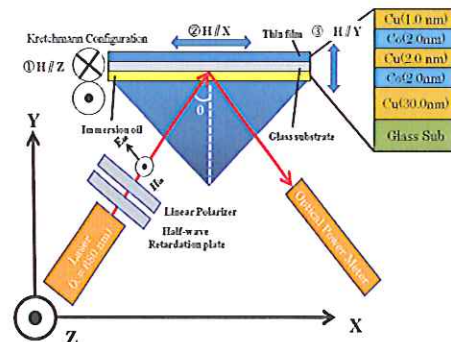


図 4 表面プラズモンの磁気応答性の入射方向依存性

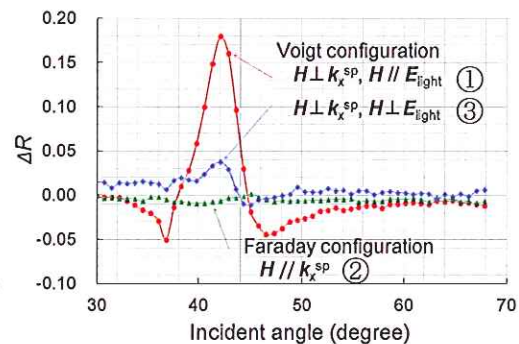


図 5 反射率変化の角度依存性

5. FDTD 法によるプラズモンアンテナシミュレーション

表面プラズモンを用いて局所磁化情報検出するためのアンテナ設計を、Finite-difference Time-domain (FDTD)法を用いた電磁界計算により行った。幅 100 nm の棒形状の局所プラズモン生成アンテナ構造において、長さを変化させて共鳴コンディションの検討を行った。本共鳴構造は、熱アシスト磁気記録の記録時に用いることが可能である。アンテナである Au を誘電体 Si_3N_4 に隣接させた場合と、空気に隣接させた場合の電力密度を図 6 に占めす。空気中では 200 nm で共鳴するが、誘電体 Si_3N_4 に隣接させることにより共鳴は 100 nm 以下もしくは 400 nm 以上へとシフトしている。このように、共鳴に適するアンテナ長が変化することが明らかになったことは、局所型プラズモンにおける共鳴が、寸法のみならず、周辺の誘電率に依存することを示しており、プラズモンアンテナ構造を用いた微小領域において、本検討で明らかにした磁気表面プラズモン効果を利用できることを示している。

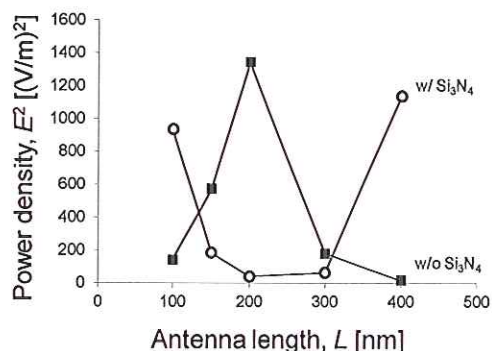


図 6 アンテナ周辺材料におけるプラズモン共鳴条件の変化

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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Y. Ashizawa, S. Shinohara, T. Nawata, and K. Nakagawa, "Dependence of Magnetic Response of Surface Plasmon Resonance on Applied Field Direction", Magnetics and Optics Research International Symposium 2011, Jun. 22, 2011, Nijmegen, The Netherlands.
- ② Yoshito Ashizawa, Takeshi Nawata, Shusaku Shinohara, and Katsuji Nakagawa, "Surface Plasmon Resonance in Co/Cu Sputtering films", International Symposium on Advanced

Magnetic Materials and Applications,
Jul. 14, 2010, Sendai, Japan.

[その他]

ホームページ等

<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/75/0007413/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芦澤 好人 (ASHIZAWA YOSHITO)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：10453911