磁気光学ガーネット膜を用いた 能動Qスイッチレーザーの小型化

森本凌平\*,後藤太一\*\*\*\*, John Pritchard\*\*\*,高木宏幸\*,中村雄一\*, Pang Boey Lim\*, Mani Mina\*\*\*,平等拓範\*\*\*\*,井上光輝\* (\*豊橋技術科学大学,\*\*JST さきがけ,\*\*\*アイオワ州立大学,\*\*\*\*分子科学研究所)

Downsizing of Magneto-optical Q-switch Using Magnetic Garnet Films R. Morimoto\*, T. Goto\*.\*\*, J. Pritchard\*\*\*, H. Takagi\*, Y. Nakamura\*, P. B. Lim\*, M. Mina\*\*\*, T. Taira\*\*\*\*, M. Inoue\* (\*Toyohashi University of Technology, \*\*JST PRESTO, \*\*\*Iowa State University, \*\*\*\*Institute for Molecular Science)

### はじめに

マイクロチップ固体レーザーとは、従来の共振器長が1m級の固体レーザーを、薄片の媒質を用いること で超小型化したものを指す<sup>1)</sup>. これはレーザーダイオードとほぼ同サイズでありながら、狭線幅の単ーモー ド発振やQスイッチ、モードロック発振による短パルス化によって、高い時間分解能、高安定性、および高 尖頭値のレーザー光が望める.特に出力パルスの繰り返し周波数やパルスパターンを制御可能な能動Qスイ ッチとして、電気光学効果および音響光学効果を利用したものが報告されているが、原理的に素子サイズの 小型化に限界があることや、駆動装置が大型になるといった難点があった.我々は、原理的に薄膜化が可能 で<sup>2)</sup>、応答速度が極めて高速な磁気光学効果を利用した磁気光学能動Qスイッチを提案している<sup>3)</sup>.本研究 では、透過率が高く、単位膜厚あたりの磁気光学効果の大きな強磁性ガーネットを使用することにより、共 振器長の短い小型な能動Qスイッチレーザーの構築を行った.

### 実験方法

磁気光学能動 Q スイッチ素子として, 膜厚 190 µm の単結晶磁性ガーネット膜を直径 5.3 mm のコイルで挟み, 厚み 4 mm の Nd:GdVO4結晶と外部鏡の間に配置した.外部鏡の位置を変化することでキャビティ長を変化した. Fig. 1 に示すように, 共振器長を 130 mm から最小で 10 mm となるまで短縮し, Q スイッチ発振出力の尖頭値とパルス幅を測定した. このときの励起光強度は 27.4 W, 印加パルス信号は半値幅 2.3 µs, 振幅 56 A, 繰り返し周波数 100 Hz とした.

#### 実験結果

共振器長 130 mm では、得られたパルス光は半値幅 45 ns、尖頭値 30 W であった. 共振器長を 10 mm まで 小さくすることによって、半値幅 5.2 ns、尖頭値 255 W となり、一桁程度出力が増大した. この結果は、理論的な試算と良い一致を示した. 以上より、マイクロチップ固体レーザーの形成による出力向上が期待される. 講演会では、共振器構造等について詳細に報告する.

### 謝辞

本研究の一部は, JSPS 若手研究(A) No. 26706009, 科研費基盤研究(S) No. 26220902 の助成を受けて行われた.

#### 参考文献

- 1) T. Taira, et al., Opt. Lett., 16, 1955 (1991).
- 2) T. Goto, et al., J. Phys.: Conf. Ser., **36**, 197 (2011).
- 3) 森本凌平 他, 第 39 回日本磁気学会学術講演会, 8aD-9, (2015).

Fig. 1 Sketch of the cavity components of the MO Q-switched laser system. The cavity length was 10 mm at the shortest.

# MTJ 磁場センサの高感度・低ノイズ化に向けた 磁東コンセントレータを用いた磁場変調 <sup>吉田 一貴<sup>1</sup>, 大兼 幹彦<sup>1</sup>, 城野 純一<sup>2</sup>, 藤原 耕輔<sup>1</sup>, 土田 匡章<sup>2</sup>, 安藤 康夫<sup>1</sup></sup>

### Magnetic field modulation using Magnetic Flux Concentrator for improving performance of MTJ sensor K. Yoshida<sup>1</sup>, M. Oogane<sup>1</sup>, J. Jono<sup>2</sup>, K. Fujiwara<sup>1</sup>, M. Tsuchida<sup>2</sup> and Y. Ando<sup>1</sup> (Tohoku Univ.<sup>1</sup>, Konicaminolta<sup>2</sup>)

(東北大院工<sup>1</sup>. コニカミノルタ<sup>2</sup>)

### <u>はじめに</u>

微小な生体磁場(心磁場:10<sup>-6</sup>~10<sup>-8</sup> Oe、脳磁場:10<sup>-10</sup> Oe)を検出する素子として、強磁性トンネル接合(MTJ) を用いた磁場センサに注目が集まっている。現状、生体磁場の周波数領域である10 Hz 以下において、検出 可能磁場は10<sup>-6</sup> Oe となっているものの、脳磁場検出のためにはさらなる高性能化が必要である。低周波領域 では1/fノイズが支配的であり、これを低減または回避するための新しい手法が求められている。本研究では、 磁束コンセントレータ(MFC)<sup>1)</sup>を用いて、信号強度の増加と磁場変調によるノイズ低減を同時に実現可能な手 法の確立を目的とした。

#### <u>実験方法</u>

SiO<sub>2</sub>-sub./Buffer/NiFe(70)/Ru(1)/CoFeB(3)/MgO(1.5)/CoFeB(3)/Pin/Cap 構造の MTJ センサ素子を検証に用いた。 センサ素子と MFC の距離を変化させて磁気抵抗効果を測定することで、磁場増幅効果を調べた。併せて、有 限要素法磁場解析ソフトを用いて磁場増幅効果のシミュレーションを行った。MFC をピエゾステージにより 410 Hz で振動させることで、外部印加磁場を変調し、そのセンサ出力をオシロスコープとロックインアンプ を用いて測定した。

### <u>実験結果</u>

Fig. 1 に磁気抵抗曲線から算出された、センサ-MFC 間距離と磁場増幅の関係を示す。実験およびシミュレーション結果から、磁場増幅は距離に反比例することが確認できた。Fig. 2 に MFC を振動させた場合のセンサ出力の周波数特性を示す。5 Hz で印加した外部磁場が変調され、405 Hz と 415 Hz において信号が観測された。これらの結果より、MFC によってセンサの信号強度が増幅され、信号周波数が高周波に変調されることで 1/f ノイズの影響を低減できると考えられる。





Fig.1 Magnetic gains as a function of distance between sensor and MFC. ( $B_0$ : magnetic flux density without MFC.)



### 謝辞

本研究は、JST 戦略イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)の支援により行われた。

#### 参考文献

1) A. S. Edelstein et al., Appl. Phys. Lett. 105, 07E720 (2009).

## 交流変調を用いた TMR 磁気センサの駆動

### 馬島 八世,八杉 拓也,堺 健司,紀和 利彦,塚田 啓二 (岡山大学)

### AC modulation method of a TMR magnetic sensor Y. Majima, T. Yasugi, K. Sakai, T. Kiwa, K. Tsukada (Okayama Univ.)

### 背景

磁気センサは、生体磁気や地磁気の測定、非破壊検査まで幅広く用いられている。中でも磁気抵抗効 果を用いた MR センサは印加された磁場によって抵抗値が変化する材料を用いるが、その薄膜構造の違 いから、異方性磁気抵抗効果(AMR)や巨大磁気抵抗効果(GMR)、トンネル磁気抵抗効果(TMR)があり、 それぞれ異なる特性を持っている。これらの MR センサをアナログ計測用として用いる場合、磁気とセ ンサ出力の間での線形性が重要となる。この線形性を得る方法の一つとして、永久磁石をセンサ近傍に 設置し、直流磁場により動作点を線形領域に移動させる方法がある。本研究では、偶関数特性を持つ TMR<sup>1)</sup>を駆動させる方法として、交流磁場を変調磁場として加え、磁場を測定する手法を開発した。

### 検波システム

本研究で開発した駆動方法を説明する.Fig.1に検出信 号として交流信号を振幅変調したときの出力特性を示す. また,Fig.2に検出方法のフローチャートを示す.検出磁 場に変調磁場を足した波形をTMR センサに入力すると, 出力波形は入力波形を折り返した波形が得られる.センサ 出力をアンプで増幅した後に搬送波の周波数,位相で同期 検波することで信号の復調を行う.最後にローパスフィル タで変調周波数を除去し,検出磁場を検波する.以上の行 程により検出信号のみを取得することができる.また,検 出磁場は交流磁場だけでなく直流磁場であっても取得す ることができた.ただし,変調磁場の周波数は,印加する 信号の周波数より十分大きい必要がある.

### 結果・まとめ

MR センサの駆動法として,交流変調法を検討した.交流磁場を搬送波として印加し,検出磁場を搬送波で変調 させた.変調後に本システムを用いて復調し検波するこ とにより検出信号を取得することが可能となった.また, 本手法により直流から交流磁場まで測定が可能となった.



Fig.1 Input-output characteristic of a TMR magnetic sensor



Fig. 2 Flowchart of a signal processing

### 参考文献

1) N. Kobayashi, et al., J. Appl. Phys. Vol. 90, pp. 4159-41 3 62 (2001)

#### 6pB - 4

## 磁気バイアスによるセキュリティマーカに対する磁気検出力の向上

南谷保,山田外史(金沢大学)

### Improvement of marker detection by magnetic bias for security application Tamotsu Minamitani,Sotoshi Yamada (Kanazawa University)

### はじめに

筆者らは、うず電流検査法(ECT)の応用として磁気・導電性インクで印刷された紙幣や証券のセキュリティの検出を研究している.ECT プローブの検出素子として、GMR(Giant Magneto-Resistance)素子を適用し、導電性と磁性マーカを同時に読み取り、位相情報により磁気・導電性マーカの種別が可能になることを報告した1),2). 今回,直流磁気バイアスによるマーカに対する検出力の向上について検討した結果を報告する.

### うず電流検査法によるマーカ検出方法

図1に示すECT プローブは,GMR 素子と励磁コイルで構成され,GMR 素子はx方向の磁界の検出,励磁コイルはz方向に高周波交流磁界を発生する.x方向のマーカ移動で,導電性マーカはうず電流による磁界のx成分,磁性マーカは磁束の収束による磁界のx成分をGMR 素子で検出する.

図2は高出力化を目指した ECT プローブの構成と GMR の 磁東密度に対する抵抗特性である.検出力向上のため,磁石に より GMR に検出方向の磁東密度  $Bx & e^{2-3}$ m T,垂直方向の 磁東密度  $Bz & e^{2-3}$ m T,垂直方向の になると,,磁東密度に対する抵抗の傾きが大きくなり,GMR の検出力は向上する.また,垂直方向の磁東密度が大きくなる と,磁性マーカの通過による磁束の変化が大きくなるので磁 性マーカに対する検出力が向上できる.

### <u>導電性・磁性マーカーの測定結果</u>

図3は磁石がない場合の出力に対して、磁束密度 Bz を印加したときの出力比である.マーカの材料は Cu 箔,導電性インク,磁気インクの3種類である.磁石により GMR の Bx を-2.5mT とし,Bz を変化させた.φ10mm,高さ 2.5mm,N=10 のソレノイドコイルを周波数 0.5MHz,電流 30mA で励磁し, GMR素子とマーカの間隔は 0.2mm とした.GMR の動作点を①から②の位置にすることで,出力は 2.5 倍に向上する.また,Bz が大きくなると,非磁性マーカの出力は変化しないが,磁性マーカは出力が向上する.これより,磁石の印加は検出力を向上する効果があることが確認できた.

研究の一部は、科学研究補助金基盤研究(C)(課題番号 26420384)により行われた.

#### 参考文献

- 1) T.Minamitani, S.Yamada, Digest of 015 JIEE Annual Conference, 2-120, 2016
- 2) T.Minamitani, S.Yamada , J. Magn. Soc. Jpn., Vol40,3, pp.56-60, 2016











## 低周波渦電流探傷法を用いた金属内部欠陥検出法の開発

宋 楠楠 馬島 八世 八杉 拓也 堺 健司 紀和 利彦 塚田 啓二 (岡山大学)

Development of detection method of metal internal defects by a low-frequency eddy current test Nannan Song Yatsuse Majima Takuya Yasugi Kenji Sakai Toshihiko Kiwa Keiji Tsukada (Okayama University)

### <u>はじめに</u>

非破壊検査とは素材や構造物を傷つけることなく傷や劣化の状況を検出する技術である.非破壊検査法は 数多くあるが,渦電流探傷法は非接触で安全に検査できるという特徴がある.従来の渦電流探傷法では高周 波磁場を用いて対象物の表面にある傷を検出していたが,本研究では高感度磁気センサを用いた低周波渦電 流探傷検査法を開発して,金属内部のスリット傷の非破壊検出を行った.

### <u>実験方法</u>

図1に測定装置の構成を示す.発振器,交流電流源, 磁場印加コイル,AMR センサ,X-Y 自動走査ステージ, ロックインアンプ,PC で構成している.印加コイルは 長方形 24.55 mm × 13.80mm の5層プリント基板楕円 コイル,巻き数は 30 回であり,周波数 100 Hz,振幅 0.1 Aの交流電流を流した.検出部には異方性磁気抵抗素子 (AMR)を用いた.測定試料として,厚さ 10 mmのアルミ ニウム,厚板の中心に裏面から幅 1 mm,長さ 15 mmの スリット欠陥が深さ 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm,となるよう に配置したものを用いた.

### 実験結果の考査

用いた印加コイル形状による渦電流分布を解析した。電磁解析ツールとして市販シミュレーションソフト JMAG を用いた. 貫通欠陥ではエッジ部分で渦電流分布が集中している. 傷の深さの違いにより,渦電流分布のずれが違い,渦電流が作る磁場の位相のずれも違うと推定された.

スリット傷深さ10mm,8mm,6mmと4mmの測定試料 の実測結果を図3に示す. この図は測定試料をxy方向 にスキャンニングして測定し,得られた磁場の位相をマ ッピングしたものである.結果から,スリット傷の形状 の推定ができることが分かった.



## 磁気ワイヤを用いた振動型発電素子におけるストローク幅の低減

竹渕哲聡、山田努、竹村泰司 (横浜国立大学)

### Reduction of amplitude in vibration-type electric generating element using magnetic wire Akitoshi Takebuchi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura (Yokohama National University)

### <u>はじめに</u>

FeCoV 複合磁気ワイヤは熱ひねり加工を施すと、ワイヤ外周部の保磁力が内周部より低くなり、一定の磁場強度を印加することで大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる急峻な磁化反転を生じる。検出コイルを用いることでこの磁化反転からパルス出力を得ることができ<sup>1-4)</sup>、この出力は印加磁場の時間変化に依存しないといった特徴を持つ。我々はエネルギー・ハーベスティング素子、特に振動型発電素子への応用に着目し、励磁用磁石が 1.5 mm の往復動作(以下、ストローク)をすることで発電可能であることをすでに報告した<sup>5)</sup>。本稿では、ストローク幅の低減を目的とし、磁石のサイズ変化に伴う出力のストローク依存性を測定した。

### <u>実験方法</u>

長さ20 mm、線形 0.25 mm の FeCoV 複合磁気ワイヤ に巻き数 1000 turn の検出コイルを直接巻き、その上を 励磁用磁石がワイヤと垂直方向にストロークするよう に配置した(Fig. 1)。磁石はワイヤの端部でストロークさ せ、ストローク量の変化に対する出力の依存性を測定し た。同様な実験を、ワイヤと磁石間の距離 d [mm]や磁 石のサイズを変えて行った。

### <u>実験結果</u>

出力結果を Fig. 3 に示す。4×4×2 mm<sup>3</sup>の NeFeB 磁石 の場合、d=2.8 mm のとき正方向への半ストローク量が 1 mm から出力が観測され、出力される位置は-0.5 mm であった。d=2.3 mm にすると、半ストローク 0.5 mm から出力が観測され、出力されるのは-0.5 mm より小さ い位置となり、ストローク量の低減化に成功した。一方 で、ストローク量が大きくなると出力を得ることができ なかった。4×4×1 mm<sup>3</sup>の NeFeB 磁石を用いると、d=2.3 mm のとき正方向への半ストロークが 1 mm から出力が 観測され、出力される位置は-0.5 mm となった。磁石の ストロークに対する磁場強度のシミュレーション結果 を Fig. 2 に示す。計算位置は Fig. 1 に示す 3 点である。 着磁長さが 2 mm から 1 mm になると、磁場強度が弱く なるためストローク量が低減せず、磁石のサイズの最適 化に知見を得た。

謝辞: FeCoV 磁性線は、ニッコーシ株式会社様のご好 意により、提供いただいたものです

#### 参考文献

- 1) J. R. Wiegand, et al., U.S. Patent 3,820,090, 1974.
- 2) S. Abe, et al., IEEE Trans Magn., 33, 3916, 1997.
- 3) R.Malmhall, et al., IEEE Trans. Magn., 23(5), 3242, 1987.
- 4) M. Vazquez, et al., IEEE Trans. Magn., 30(2), 907, 1994.
- 5) A. Takebuchi, et al. 2016 Joint MMM-Intermag Conference, DJ-02, San Diego, Jan, 2016.



Fig. 1 Configuration of magnetic wire, magnet and detection coil and simulation point.



Fig. 2 magnetic field intensity for the amplitude from the simulation (d = 2.3 mm).



Fig. 3 The output voltage measured by detection coil.

## パターン化した磁性薄膜による集積化デジタルノイズ抑制体

### 山口正洋<sup>1</sup>、遠藤 恭<sup>1</sup>、樊 鵬<sup>1</sup>、馬 静言<sup>1</sup>、田中 聡<sup>1</sup>、永田 真<sup>2</sup> (<sup>1</sup>東北大、<sup>2</sup>神戸大)

Integrated Digital Noise Suppressor by Means of Patterned Magnetic Thin-film Masahiro Yamguchi<sup>1</sup>, Yasushi Endo<sup>1</sup>, Pen Fan<sup>1</sup>, Jingyan Ma<sup>1</sup>, Satoshi Tanaka<sup>1</sup> and Makoto Nagarta<sup>2</sup> <sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Kobe Univ

研究背景 第4世代 LTE-Advanced 携帯電話システム(1 Gbps, downlink) が急速に普及し、第5世代 の社会実 装が 2020 年に想定されている。10 年間で 1000 倍の通信容量増大を目指す無線通信システムではデジタルノ イズによる受信回路の感度劣化を防ぐことが重要である[1]。このため我々は RF IC チップのパッシベーショ ン上に磁性薄膜を集積化実装し、FMR 損失によってデジタルノイズを低減するような新しいマイクロ磁気デ バイスを提案し、次のような性能を実証してきた[2]。Fig. 1 の上部に示すように、完全に LTE コンパチブル な受信回路 (Band1,下り 2110-2170 MHz)を 5x5 mm<sup>2</sup>の 65nm Si-CMOS 技術で実装し[2]、同図下部に示すよ うに Co<sub>85</sub>Zr<sub>3</sub>Nb<sub>12</sub> 直交磁化膜を集積化実装した。これにより、デジタルノイズを低減し、無線通信のスルー プットを 8dB も向上できた。電磁界解析により、磁性薄膜は、各種雑音のうち、伝導雑音の低減に寄与した と推測された[2].。このため本研究では、まずノイズ伝導にかかわる配線を特定し、その配線上のみに磁性薄 膜を実装した試料を作成し、ノイズ低減効果を調べた。

結果と考察 まず電磁界解析 (HFSS Ver. 15) によりノイズ伝導にかかわる配線を特定し、Co<sub>79.6</sub>Zr<sub>4.7</sub>Nb<sub>15.7</sub> film (4 $\pi$ M<sub>s</sub>=0.63 T, 異方性磁界  $H_k$ =640 A/m、FMR 周波数  $f_r$ =0.8 GHz) [3] を主にその配線上のみに集積化実装した。 その形状パターンは図の右下のようなものである。スパッタ法による積層膜構造の詳細は SiO<sub>2</sub> (100 nm) / [Co-Zr-Nb (250 nm)/ SiO<sub>2</sub> (5 nm)]×4 / SiO<sub>2</sub> (100 nm) / [Co-Zr-Nb (250 nm)/ SiO<sub>2</sub> (5 nm)]×4 / SiO<sub>2</sub> (50 nm) (/ Glass substrate) であり、リフトオフ法

によりパターン化した。2つの [Co-Zr-Nb/SiO<sub>2</sub>] ×4 積層膜は直 交磁化膜の構成とし、面内方向 の一様な磁界に対して等方性を 示す[3]。主に配線上のみに磁性 膜を実装することにより、図下 中央に示した従来パターンに比 べて11 dB もの帯域内スプリア スを低減できた。以上により、 ノイズ伝搬にかかる配線を適切 に推測できたこと、ならびにノ イズ結合メカニズムが伝導性で あることを実証できた。

RF receiver LNA Power spurious Frequency Vdd port3 mport2 m -0 Vout1 Vout2 Load Inductor O Magneti film Analogue Source Inductor Digital . Vin2 ᠳ᠓ port4 port5 port6 ¢ Test RF IC with original Divided magnetic film magnetic film pattern pattern LNA circuit with inductors

ご助言頂いた島田寛名誉教授 (東北大)およびご協力頂いた

Fig. 1: Test RF IC chip, circuit diagram and magnetic film pattern.

室賀翔講師(豊田高専)および伊藤哲夫博士(NECトーキン)に深謝します。本研究は、総務省電波資源拡大のための研究開発の補助を受けた。.

### 参考文献

- 1) L. Lavagno, et al (Ed.), EDA for IC Implementation, Circuit Design,-, CRC Press, Boca Raton, 2006.
- 2) M. Yamaguchi, et al, Proc. 2015 Asia-Pacific EMC Symposium (APEMC2015), 536, 2015.
- 3) Y. Endo, et al, J. Appl. Phys., 117(17), 17A330-, 2015.

