

Si ウェハ上に作製した逆磁歪効果型薄膜歪センサの特性

横井 甫, 久保 結人, 栢 修一郎, 石山 和志
(東北大学 電気通信研究所)

Thin film strain sensor using inverse-magnetostriction effect on Si wafer

H. Yokoi, Y. Kubo, S. Hashi, K. Ishiyama
(RIEC, Tohoku Univ.)

はじめに

磁歪膜と導体層の積層構造からなる逆磁歪効果を利用した歪センサの検討を行ってきた¹⁾。このセンサは、センサ素子への歪印加時の磁化変化に伴う透磁率変化を、高周波通電時の素子のインピーダンス変化として検出する。また磁歪膜の異方性の誘導方法として、熱処理時の導体層、磁歪膜、基板の3者間の熱膨張係数差から生じる熱応力を利用している。我々はこの歪センサとMEMS技術を組み合わせ、超高感度振動センサを実現することを目的とし研究を進めている。これまでSiウェハ上に歪みセンサ素子を試作し、磁歪膜に所望の異方性が誘導できることを確認した²⁾。本報告では、本素子の諸特性の検討結果について報告する。

実験方法

素子の作製にはRFスパッタ、リフトオフ法を用いた。非磁性金属層にはMo、磁性層には $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ を用いた。Fig. 1に示すようにMo、 $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ ともに同一の1ターンミアンダ形状に製膜した。Siウェハの厚みは $200\mu\text{m}$ 、Moの膜厚は $2.0\mu\text{m}$ 、 $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ の膜厚は $0.7\mu\text{m}$ とした。成膜後に 360°C 、 240kA/m の回転磁場中のみで熱処理を行い、素子長手方向に異方性を誘導した。Fig. 2に歪印加の様子を示す。素子の電極側を固定し片もち梁状にして、他端にマイクロメータヘッドを押し当て上下させることで歪を印加した。インピーダンス測定はネットワークアナライザを使用した。

実験結果

周波数が 120MHz のキャリア電流を通電したときの歪み-インピーダンス特性をFig. 3に示す。歪は圧縮方向を正とした。約 $1,000\text{ppm}$ の圧縮歪印加時のインピーダンスは 7.3Ω であった。圧縮歪の減少に伴い 250ppm 付近からインピーダンスは急激に増大し、 40ppm 付近で最大値 9.9Ω となった。その後、引張歪に変化すると減少に転じ、緩やかに減少した。この歪印加範囲におけるインピーダンスの変化量は最大で 2.6Ω となり、変化率を算出したところ 36.8% となった。印加歪が $40\sim 160\text{ppm}$ の範囲で最も急峻な変化を示し、線形近似した傾きより歪感度を算出したところ、ゲージ率は $1,747$ となった。Kerr効果顕微鏡による歪印加時の磁歪膜の磁区構造変化の観察、および今回のインピーダンス測定結果との比較を行い、さらなる感度向上のための素子構造を検討する。

謝辞

本研究の一部はJST先端計測分析技術機器開発プログラム「磁気MEMSを利用した微小振動計測システムの開発」によるものである。

参考文献

- 1) Y. Suwa, et al. *IEEE Trans. Magn.* 46, 666 (2010).
- 2) Y. Miwa, et al. *IEEE Trans. Magn.* 51, 2000604 (2015).

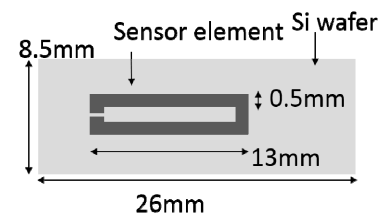


Fig. 1 Schematic diagram of the sensor element.

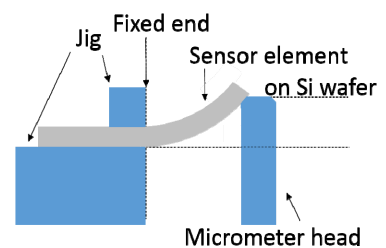


Fig. 2 Experimental setup of impedance measurement under stress.

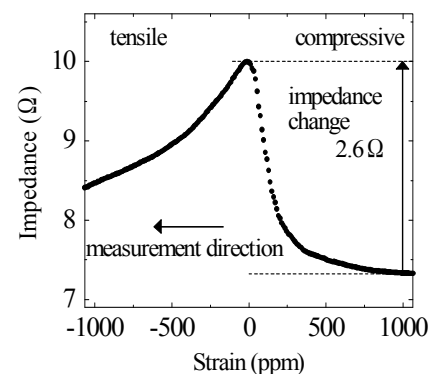


Fig. 3 Impedance change of strain sensor induced by applied strain.

磁性薄膜機能素子による電流の周波数解析

木佐貫 駿、辻本 浩章
(大阪市大)

Frequency analysis of the current by magnetic thin film functional sensors

S.Kisanuki, H.Tsujimoto
(Osaka City Univ.)

はじめに

現在、磁気センサは広く使われており、我々は磁気抵抗効果を利用した薄膜電力センサの研究を進めてきた。薄膜電力センサは従来手法による電力計に比べ飛躍的に小型化 (3mm 角程度) でき、且つ小型・軽量、安価である等の特徴を有し、交流電力、直流電力共に精度よく測定することができる。また我々は同時に本素子の持つ非接触での乗算機能を利用した新しいデバイス開発を進めている。今回、非接触で電流の周波数解析が可能であることを確認したので報告する。

実験方法

素子はパーマロイを使用し、印加磁界による抵抗変化から、印加磁界を発生させる電流と素子を通る電流の積に比例した出力電圧を取り出すことができ、乗算を非接触で実現する。Fig.1 に素子と電流の配置を示す。素子に近づけて解析対象である電流が流れる導線を配置する。素子には電流に比例した磁界が印加され、非接触で動作する。ここで解析対象の電流の成分と素子を通る電流が同周波数のとき、乗算機能によって出力電圧は直流成分と2倍周波数成分に分けられる。この直流成分はローパスフィルタによって簡単に取り出すことができる。よって素子を通る電流を周波数掃引することで、周波数解析が可能となる。また直交ミキサの技術を利用し、2つの素子に90[°]位相の異なる電流を流し、この2つの出力電圧を用いれば位相の影響を受けることなく周波数解析ができる。

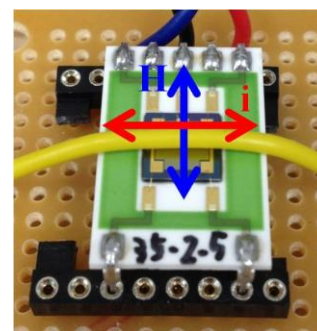


Fig.1 Magnetic thin film functional sensor

2つの素子の抵抗値は約32[kΩ]で、それぞれに0.03[A]の90[°]位相の異なる電流を信号発生器から流す。出力電圧を1000倍に増幅したのちにカットオフ周波数5[Hz]の7次ローパスフィルタによって直流成分をそれぞれ取り出す。このローパスフィルタの減衰特性がスペクトルの形状となる。

実験結果

Fig.2 に解析対象電流を(300[Hz],1[A])の矩形波電流として周波数解析を行った結果を示す。矩形波のフーリエ級数展開で表されるように、300[Hz]の基本周波数成分と奇数高調波のスペクトルを得ていることがわかる。ここで基本周波数成分を基準とすると3次高調波成分は1/3、5次高調波成分は1/5、7次高調波成分は1/7であり、正しく周波数解析が行えていることを示している。解析対象の電流の成分を直流に変換するこの方式は、高周波でも直流に変換して高い分解能で解析ができることが期待される。

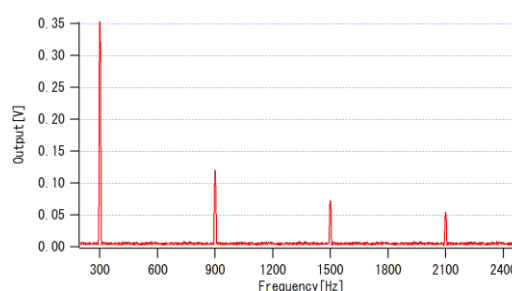


Fig.2 Frequency analysis of the square wave current (300[Hz],1[A])

参考文献

- 1) 辻本 浩章: 「磁性薄膜電力センサ」, 日本磁気学会 第197回研究会資料, p33-38 (2014年)
- 2) 松田 芳明: 「磁性薄膜電力センサによる電力計測とその温度補償に関する研究」, 修士論文, p63-88 (2014年)

電磁気的手法を利用した非接触塩分濃度計の試作と評価

Nguyen Van Toai, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎

(信州大)

Development and characterization of non-contact salinity sensor based on electromagnetic means

N. V. Toai, M. Sonehara, T. Sato

(Shinshu Univ.)

はじめに

人口の増加および生活レベルの向上に伴い、水の需要が更に高まっている。しかし我々が実際に利用できる淡水は限られているため、水不足の問題に直面している¹⁾。この問題を解決するために海水淡水化プラントの建設が加速している²⁾。現在では、淡水化処理された水の塩分濃度を測定するためには、測定部を水中に入れるのが専らであるが、メンテナンスや安全性から非接触で測定できる手法が望ましい。そこで、著者らは電磁気的手法を利用した非接触塩分濃度計を考案した。本稿では試作および評価について報告する。

実験方法

Fig. 1 に試作された非接触塩分濃度計 (以下、センサ) の写真を示す。外側のコイルは励磁コイル、内側のコイルは8字型検出コイルで構成されており、Fig.2 に実験回路を示す。励磁コイルには、振幅 0.5 A、周波数 1 MHz の正弦波交流を印加した。Coil 1 内のパイプには空気、Coil 2 内のパイプに食塩水を入れた。食塩水には、塩分濃度 0.05 ~ 2 [%] を用い、また比較のため蒸留水も用いた。シャント抵抗 R の両端電圧と検出コイルの誘導起電力を位相検波器 (AD8032) に入れ、出力電圧 V_o を測定した。本センサの詳細な測定原理は割愛するが、Coil 2 内の食塩水の導電率 σ に依って、食塩水に誘導電流が生じ、それによる磁界により Coil 2 と Coil 1 の各端子電圧では位相差が生じ、更に8字型コイルの特徴により位相差がエンハンスされる結果になる。僅かな導電率 σ の変化に対するセンサとして本手法は有効である。

実験結果

Fig. 3 に食塩水の導電率 σ に対する位相検波器の出力電圧 V_o 、位相差 θ_s の関係を示す。なお、 θ_s は AD8032 のデータシートを用いて換算した。食塩水の導電率 σ の増加に伴い出力電圧 V_o は高くなる事が分かる。特に V_o は $\sigma < 0.1$ [S/m] の範囲で大きく変化しており、淡水の塩分濃度をより感度良く測定できる結果が得られた。発表当日は、本センサの測定原理および実験結果を詳細に説明する。

参考文献

- 1) R. Clarke, J. King, T. Oki, "The Atlas of Water," Maruzen Co., Ltd., 2006.
- 2) R. Clayton, "A Review of Current Knowledge DESALINATION for WATER SUPPLY," Fondation for Water research 2011, 2011.

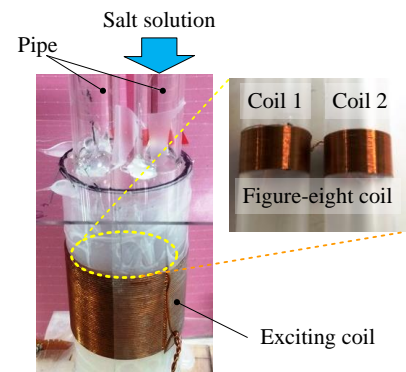


Fig. 1 Photograph of the novel non-contact water salinity sensor

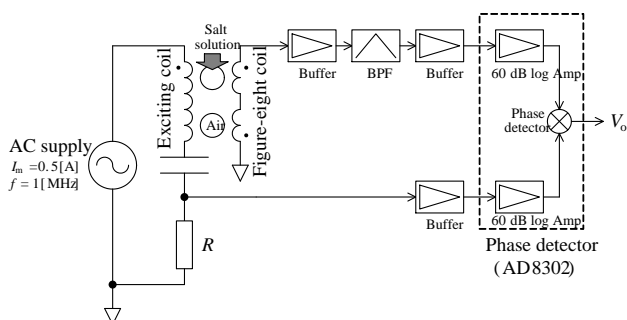


Fig. 2 Block diagram in the non-contact water salinity sensor system

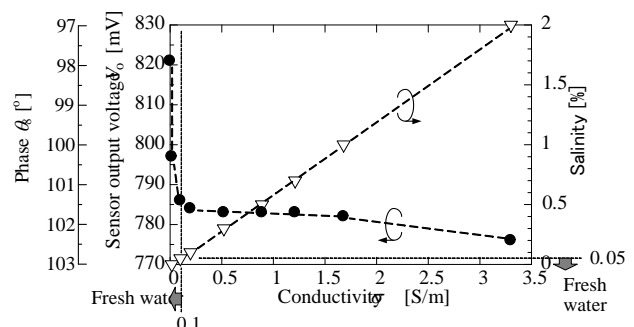


Fig. 3 Relation between sensor output voltage V_o , phase θ_s , salinity, and conductivity σ in the salt solutions

手作業時の手指運動計測を想定したモーショキャプチャシステム

大崎祐太郎, 栢修一郎, 藪上信*, 金高弘恭, 石山和志
(東北大学, *東北学院大学)

Motion capture system for tracking finger motion of hand work

Y. Osaki, S. Hashi, S. Yabukami*, H. Kanetaka, K. Ishiyama
(Tohoku Univ., *Tohoku-Gakuin Univ.)

1. はじめに

近年, 技能継承等の目的で手作業時の手指の正確な運動計測への要望が高まっている. そのような用途において, 我々が開発してきたワイヤレスの LC 共振型磁気マーカを用いるモーショキャプチャシステム⁽¹⁾は磁気式の特徴である測定対象に隠れが生じても検出が可能に加え, 小型軽量のワイヤレス磁気マーカを用いるにも関わらず, 数 mm 以下の精度を有することから有力な候補の 1 つであると考えられる. 手指の運動を計測するにあたり, 最低でも 300~400mm 四方の空間を確保する必要がある. 本研究では, 手指運動計測用のシステム開発のための検討を行っており, その経過を報告する.

2. 実験方法

Fig. 1 はモーショキャプチャシステムを模式的に表したものである. このシステムは励磁コイル, 検出コイルアレイ, LC 共振型磁気マーカから構成される. マーカは $\phi 3 \times 15\text{mm}$ の Ni-Zn フェライトに $\phi 0.1\text{mm}$ の銅線を 500 回巻いたコイルにチップコンデンサを直列に接続しており, 共振周波数は 116.7kHz である. マーカの質量は 1g 程度であり, 指に装着した際に運動に影響を及ぼすことは殆どないと考えられる. 上述した 300mm 四方程度の範囲の検出を行うため, 各検出コイルは 60mm 間隔で 6×6 の 36 個の配置とし, 検出コイルアレイと励磁コイルの間隔を 425mm とすることで検出空間を確保した. 励磁コイルには任意波形発生器で生成した励磁波形を増幅して印加し, 各検出コイルの誘起電圧は電圧分解能 20bit のデジタイザで測定した. マーカから発せられる磁界をダイポール磁界と近似し, 各検出コイルでの誘起電圧を用いて逆問題の計算を解くことでマーカの位置の算出を行った.

3. 実験結果

$-140 \leq x \leq 140$ (20mm 間隔), $50 \leq y \leq 200$ (10mm 間隔)の x-y 平面内で, 各マーカの設置位置で測定を 10 回行った. Fig. 2 に測定された位置の結果を示す. 測定した全ての位置において, 実際にマーカを設置した位置とのずれが 5mm 未満, 測定された 10 回の位置の標準偏差が 0.5mm 未満であった.

今回測定を行った範囲は手の動きを検出するのに最低限必要な空間であり, 今後, 更なる検出可能空間の拡張や検出精度の向上が必要である.

参考文献

- 1) 藪上, 栢, 徳永, 河野, 荒井, 岡崎, 日本応用磁気学会誌, **28**, 877 (2004)

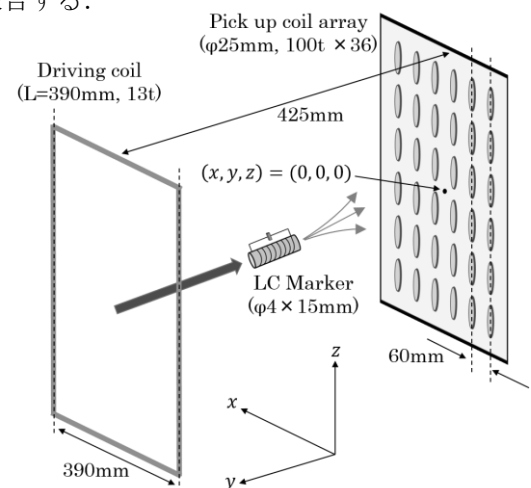


Fig. 1. A diagram of motion capture system

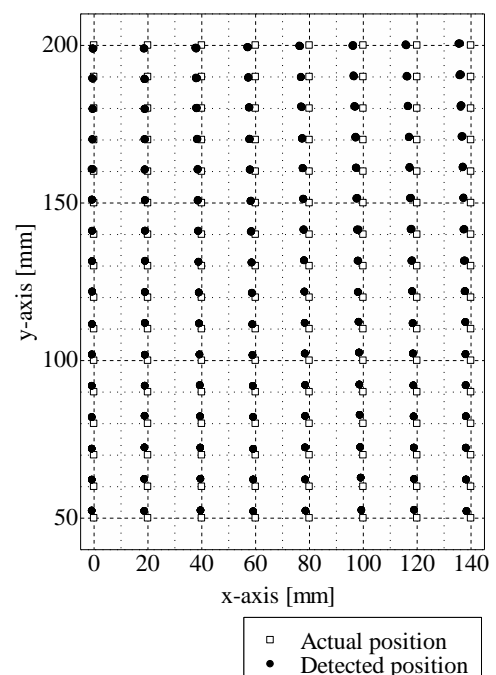


Fig. 2. Detected position in x-y plane

超低周波信号を利用した磁気式モーションキャプチャシステム

小山大介¹, 足立善昭¹, 川端茂徳², 樋口正法¹, 上原弦¹

(¹金沢工業大学, ²東京医科歯科大学)

Magnetic Motion Capture System using Super-Low-Frequency Signal

Daisuke Oyama¹, Yoshiaki Adachi¹, Shigenori Kawabata², Masanori Higuchi¹, and Gen Uehara¹

(¹Kanazawa Institute of Technology, ²Tokyo Medical Dental University)

はじめに モーションキャプチャシステムの方式として光学式, 機械式, 磁気式が広く知られている. この中でも光学式は, 高い時間分解能や位置測定精度が得られるという点から, 現在では主流の方式となっている. 一方, 磁気式では光学式の短所であるカメラの死角を気にすることは無いが, 周囲に金属が存在する環境では使用する事が難しい. これは, 磁気式システムでは数十 kHz から 100 kHz 程度の交流信号を利用しており^{1,2)}, 周囲に金属が存在すると渦電流の影響を受けて磁場分布が歪み, 位置推定の精度が低下することが原因である. そこで著者らは, 渦電流の影響が比較的小さい 100 Hz から 1 kHz 程度の超低周波磁気信号を利用した位置観測システムの試作を行い, その有効性を示した³⁾. 本研究では, 新たに 3 次元位置計測が可能なシステムを開発した.

装置構成 開発したシステムにおけるセンサアレイの構成を Fig. 1 に示す. 3 次元位置計測が可能となるよう, 3 方向の磁場を検出するセンサモジュールを, 外形 340×340 mm² の口字型基板上の 8 か所に配置した. センサモジュールは MI センサ (アイチ・マイクロ・インテリジェント社: MI-CB-1DH-M-A 及び-B) を使用して構成した. 観測領域はセンサアレイに囲まれた 200×200×200 mm³ の範囲と設定した.

位置計測対象となる磁気マーカーコイルの数を 4 個とし, それぞれに対して 260, 350, 438, 500 Hz の正弦波電流を印加した. 発生した磁気信号をセンサアレイで検出し, コイルを磁気ダイポールと仮定した逆問題を解くことによってその位置を推定した. また, 4 個のマーカーコイルは, ペン形状のプロープの中に配置した. 計測したコイルの位置を基にプロープ先端の位置を導出し, リアルタイムで表示する. 本システムでは約 10 Hz の周期で位置観測を行うよう設定した.

位置観測実験 開発したシステムによってプロープ位置を計測できることを確認するため, 周囲に金属製品がある状況での位置計測実験をおこなった. およそ $z = -70$ mm の高さに設置した板の上にチタン製のピンセットを置き, その横を直線状にプロービングした結果を Fig. 2 に示す. ピンセットが無い場合と同じ直線状をプロービングした結果と比べて, 良い一致を見た.

参考文献

- 1) E. Panerno and P. Keisar, *IEEE Trans. Magn.*, **40**, 1530-1536 (2004).
- 2) R. Sato, Y. Hayasaka, S. Yabukami, T. Ozawa, H. Kanetaka, and S. Hashi, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **35**, 67-71 (2011).
- 3) D. Oyama, Y. Adachi, M. Higuchi, and G. Uehara, *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 5101604 (2014).

謝辞 本研究は JSPS 科研費(25870850)の助成により行われた.

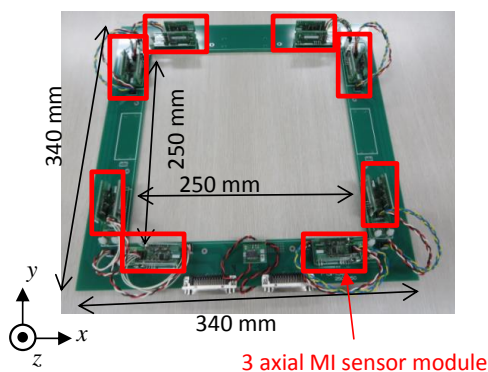


Fig. 1 Sensor array for the magnetic motion capture system.

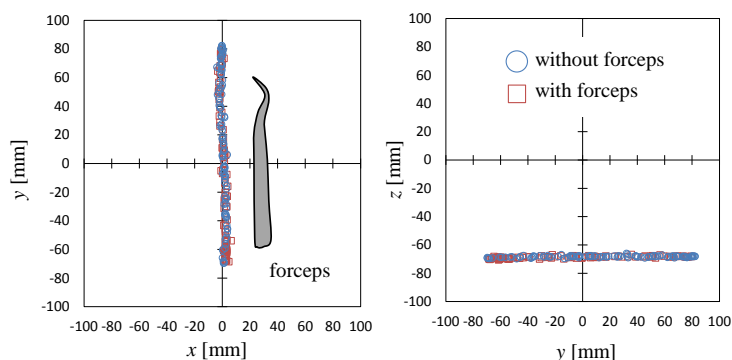


Fig.2 Results of the probing with and without a forceps made of titanium.