

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360166

研究課題名(和文)室温動作の薄膜磁界センサアレイによる生体磁気計測およびイメージング

研究課題名(英文)Biomagnetic measurement using by thin film magnetic field sensor array

研究代表者

藪上 信(Yabukami, Shin)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：00302232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円、(間接経費) 4,290,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で提案する薄膜磁界センサは液体ヘリウム等による冷却を必要とせず、取り扱いが容易であり、SQUIDに匹敵する高い磁界検出分解能を有する。ここでは従来SQUIDと磁気シールドルームが不可欠であった生体磁気計測を室温動作の薄膜磁界センサにより磁気シールド無しで実現した。SrTiO等の強誘電体薄膜、磁性薄膜、導体薄膜を微細加工技術により作製し、波長短縮効果によりセンサの高感度化をはかり、100 degree/Oe以上の感度とgain>-40 dB以上を両立することを示した。また健常者の心臓近傍にセンサ素子を配置し、磁気シールドルーム外において多点計測を実施し、正しい分布が得られることを示した。

研究成果の概要(英文)：A very sensitive thin film sensor was developed using a coplanar line fabricated from SrTiO film, amorphous CoNbZr film and Cu/Cr film. This film enhanced the sensitivity of the magnetic field sensor, a phase change of more than 100 degrees/Oe and gain of over -40 dB being achieved simultaneously. The sensor with SrTiO film enhanced the sensitivity about 1.6 times greater than that with SiO2 film because of the high permittivity of the SrTiO film. A small phase change was detected using a Dual Mixer Time Difference (DMTD) method when a weak magnetic field was applied. The sensor was applied to magnetocardiogram (MCG) measurement without magnetic shielding. Measurement of the MCG signals at 16 points without magnetic shielding were successful, and these signals were found to roughly agree with MCG signals obtained with a SQUID.

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：計測システム

1. 研究開始当初の背景

心磁界、脳磁界、筋磁界等の生体磁気信号は心筋や筋肉の生体細胞の興奮、脳内の神経活動に起因する微弱磁界であり、その強度は地磁気の100万分の1~1億分の1程度である。従来この生体磁気信号は多チャンネルの超伝導量子干渉素子(SQUID)により計測され、生体内部の活動部位がイメージング(位置推定)される。この技術は心臓疾患、てんかんの診断、外科手術時の神経活動部位の把握、脳機能の解明等、基礎医学および臨床において、すでに重要な役割を担っている。しかしこれらの生体磁気信号は極めて微弱であるため、その計測は1台数千万円~数億円のSQUID磁束計と重厚な磁気シールドルームを用いなければ計測不可能であった。このため生体磁気信号の医療応用は大病院等のみに限定されていた。

2. 研究の目的

本研究で提案する薄膜磁界センサは液体ヘリウム等による冷却を必要とせず、取り扱いが容易であり、SQUIDに匹敵する高い磁界検出分解能を有する。従来SQUIDと磁気シールドルームが不可欠であった生体磁気計測を室温動作の薄膜磁界センサにより磁気シールド無しで実現することを目標とする。また健常者の心磁界を多点計測して正確な分布となっていることを示す。

3. 研究の方法

3-1 SrTiO₃等の強誘電体薄膜、磁性薄膜、導体薄膜を微細加工技術により作製し、波長短縮効果によりセンサの高感度化をはかる。

3-2 健常者の心臓近傍にセンサ素子を配置し、磁気シールドルーム外において多点計測を実施する。

4. 研究成果

4-1 SrTiO₃薄膜を用いた伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化

筆者らはこれまで伝送線路型のセンサ素子構造を有し、キャリアの位相差を計測することにより高感度な薄膜磁界センサを開発してきた。しかしこれまで報告したセンサはバルクのプリント基板やセラミック基板と磁性薄膜を伝送線路構造として組み合わせたもので集積化は困難であることから、センサ素子全体を集積化プロセスで作製することが必要であった。また生体磁気計測等の高感度磁界計測には環境磁界の影響を抑制するため差動構造(いわゆるグラジオメータ)にすることが必要であり、その観点からも同一特性の複数個のセンサ素子を薄膜プロセスにより再現性、かつ歩留まり良く作製することが必要である。

そこで筆者らは、伝送線路および磁性薄膜をすべて薄膜プロセスにより一体化したコプレーナ構造の集積化薄膜磁界センサを作製し、センサ素子の小型化と高空間分解能を

有する高感度磁界計測を目指した。誘電体薄膜材料として高い比誘電率を有するSrTiO₃薄膜をコプレーナ線路の誘電体として適用することでキャリア電流の波長短縮効果を利用して、磁界印加に伴うキャリア信号の位相変化を大きくすることを意図し、高感度化を目指した。その結果、SrTiO₃薄膜を用いたセンサ素子ではSiO₂薄膜を用いたセンサ素子と比較して、明瞭な波長短縮効果と磁界センサの感度向上が得られた。

図1は試作したセンサ素子の写真を示したものである。本センサは誘電体薄膜の波長短縮効果を利用して磁界に対する大きな位相変化を得ることを意図したものである。センサ素子は、Cu薄膜による直線コプレーナ線路、SrTiO₃薄膜、アモルファスCoNbZr薄膜から構成され、センサ素子はガラス基板上にリフトオフプロセスにより積層した。コプレーナ線路は特性インピーダンスが約50Ωとなるように、導体幅を300μm、隣接導体間隔を50μmとした。アモルファスCoNbZr薄膜(18.2mm×1.15mm)はRFスパッタ法によりパワー200W、Arガス圧20mtorrで膜厚5μm成膜し、磁界中熱処理(回転磁界中熱処理を400℃で2時間後、静磁界中熱処理200℃で1時間、磁界強度は0.3T)により1.0e~3.0eの弱い一軸磁気異方性をコプレーナ線路の幅方向へ付与した。絶縁層として強誘電体薄膜であるSrTiO₃薄膜を約6~8μm成膜した。これは誘電体を厚膜化することでコプレーナ線路の実効的誘電率を高めることを意図したためです。SrTiO₃薄膜はRFスパッタにより成膜した。スパッタ条件はArガス圧20mtorr、パワー180W、基板加熱機構の温度は130℃とした。終端開放のコプレーナ線路のインピーダンスを測定し、有限要素法による電界解析結果が対応されることで、SrTiO₃薄膜の比誘電率は100程度で得られていることを確認した。導体はCu薄膜(約4μm厚)をRFスパッタ法により成膜し、リフトオフでコプレーナ構造に加工した。Cu薄膜の下地層としてCr薄膜(約0.2μm厚)をSrTiO₃薄膜とCu薄膜の密着性を高めるために成膜した。誘電体の波長短縮効果を比較するために、SrTiO₃薄膜の代わりにSiO₂薄膜(厚み2μm)を用いたセンサ素子(長さは5mm)と、バルクのセラミック基板(厚み0.5mm)を用いた直線センサ素子(センサ長は25mm)とを作製した。

センサ素子はネットワークアナライザによる透過法測定により評価した。センサ素子をヘルムホルツコイルの中央に配置し、センサの電極にはウェハプローブ(ピコプローブ製40-GSG-150)を電氣的に接触させ、同軸ケーブルを介してネットワークアナライザ(HP8752A)と接続した。直流電源(アドバンテスト製R6243)を用いてセンサ素子磁性薄膜の磁化困難軸方向へ直流磁界を加えて、静的に変化させた。ネットワークアナライザの透過係数(S₂₁)の振幅および位相差を磁界変化に応じて測定した。ネットワークアナライザ

と直流電源はパソコンを介して GP-1B で制御した。ネットワークアナライザの周波数範囲は 0.3 MHz から 3 GHz まで変化させた。バンド幅は 3 kHz、平均化回数は 16 回、周波数点は 200 点とした。各バイアス磁界において 0.3 MHz~3 GHz までを周波数スキャンして、保存した。

図 2 は試作した図 1 の寸法のセンサ素子について印加磁界に対するセンサのキャリアの位相変化の測定結果の一例である。20e 付近において、キャリア周波数約 1.8 GHz 付近で位相変化が最大となり、その傾きは心磁界計測等への適用上の目安としている 100 degree/0e 以上になった。また振幅の減衰は -31 dB 程度となり、信号処理回路として接続する Dual Mixer Time Difference (DMTD) 法においてノイズ増大による SN 比の悪化が顕在化する -40 dB を上回った。健常者心磁界等を計測することを前提にすると、位相変化感度は 100 degree/0e 以上で、キャリアの減衰が -40 dB 以内であることが必要であり、ここではこの値をクリアすることを目安とした。

図 3 は位相変化感度と減衰量について異なる誘電体を用いた場合について比較したものである。誘電体は、それぞれ●が SrTiO 薄膜、○が SiO₂ 薄膜のみ、▼がセラミック基板を用いた場合である。SiO₂ 薄膜を用いたセンサ素子の長さは 5 mm、SrTiO 薄膜を用いたセンサ素子の長さは 18.2 mm、セラミック基板を用いたセンサの素子の長さは 25 mm であった。なおそれぞれセンサ素子の長さとは磁界検出部分である CoNbZr 薄膜の長さを表記した。セラミック基板を用いたセンサ素子はセンサに用いるアモルファス CoNbZr 薄膜が 25 mm × 25 mm、検出素子部分のコプレーナ線路長が 25 mm であり、薄膜プロセスで作製したセンサ素子に比較して寸法が大きい。図 3 よりサイズが大きいバルクのセラミック基板を用いたセンサは誘電体の体積が大きいことから、波長短縮率が大きく確保できたために、誘電体薄膜を用いたセンサに比較して大きな位相変化感度が得られたと考えられる。SrTiO 薄膜を用いた位相変化感度ではセラミック基板を用いたセンサに及ばないものの、-40 dB 以上のゲインをもち、位相変化感度が 100 degree/0e を超える素子が比較的歩留まり良く作製できた。これらの結果より、SrTiO 薄膜を用いたセンサ素子は減衰を大きくすることなく、高誘電率薄膜の波長短縮効果により位相変化感度が向上することが示された。また SrTiO 薄膜を用いたセンサの減衰が小さいことは Cu 膜厚を厚くした効果も効いていると考えられる。

4-2 磁気シールドルーム外における健常者心磁界の多点計測

図 4 は微弱磁界を計測するための信号処理回路として Dual Mixer Time Differential Method (DMTD 法) を示したものである。この回路はセンサへキャリアを印加すると同時に、別ルートにもレファレンスのキャリアを

分岐して、2 個のミキサで 5 kHz へ低周波化した後に、センサから出力とレファレンス信号との時間差をタイムインターバルアナライザ (TC890) で計測するものである。センサへ被測定磁界が印加されるとセンサから出力されるキャリアの位相が変化して、タイムインターバルアナライザでは時間差の変動として計測される。キャリアは約 2.3GHz、17dBm とした。ダウンコンバートした信号はタイムインターバルアナライザを使用し、5 kHz でサンプリングした。センサ素子へは直流磁界をバイアスとして加えて、微弱磁界を計測した。磁界センサはアルミテープおよびアルミ板 (厚さ 1mm) により囲い、静電的なシールドを施した。バイアスコイルは左右に約 700 ターン、直径 880mm の 2 つのコイルを約 800mm 離して対向させた。微弱磁界発生コイルは直径 50mm、20 ターンとして、センサから約 50mm 離して配置し、磁界強度等を校正した。

心磁界計測は磁気シールドルーム外 (東北学院大学工学部バイオリサーチコモン棟バイオ実験室 3) で非磁性ベットに被験者を仰向けにし、センサを胸部に接近させた様子を表している。センサ素子は体表面から 5mm 以内に近接させた。被験者は測定中胸部がセンサ素子と接触しないように浅く呼吸をした。被験者およびセンサは磁気シールドルーム外に置いた。DMTD 法の機器および処理回路は 50 Ω の同軸ケーブルで接続した。健常者の胸部を約 30mm 間隔で 16 点で心磁界を計測した。測定時にはセンサ位置は固定し、身体をセンサに対して相対的にずらして測定した。測定した磁界の方向は人体に対して左右方向成分である。心電信号はデジタル生体アンプシステム (5200 シリーズ、NF 回路設計ブロック) により、第 I 誘導および第 III 誘導を測定した。

図 5 は健常者 (男性 (21 才)) の加算平均した心磁界と心電波形を併記したものである。グラフ上部の波形が心磁界の波形を表し、下部は心電信号を表している。使用したフィルタは digital で 50Hz バンドストップフィルタ、0.8Hz のハイパスフィルタ、45Hz のローパスフィルタを通した。心磁界は心電信号の R 波を基準に約 800 回程度加算平均した。図 5 を見ると、心磁界の R 波の強度は最大で 150 pT に達し、SQUID 等で報告されている値よりも大きかった。これはセンサを体表面から 5mm 以内に近接配置したことによるためと考えられる。心磁界の QRS 波は心電信号の QRS 波とほぼ同一の立ち上がりで同期している。また心磁界の T 波も心電信号の T 波とほぼ同時の立ち上がりで観測されていると考えられる。QRS 波の強度は左心室近くで相対的に強く、体表面の中央ほど弱かった。また左心室に近接する部分 (右側のグラフ) では主として R 波は正方向に強く、体表面の中央に行くにしたがって S 波が強くなった。これらは複数の健常者に共通する傾向として観測さ

れた。これらの傾向は3次元 SQUID 磁束計を用いた先行研究と定性的にほぼ対応するものであり、合理的な結果と考えられる。なお本実験では単独の磁界センサを使用しており差動接続されていないことから、多くの加算処理回数を必要としている。同一特性のセンサ素子を差動接続し、タイムインターバルアナライザの時間分解能を向上できれば、少ない平均化回数で心磁界計測が可能になると考えられる。



図1 試作したセンサ素子

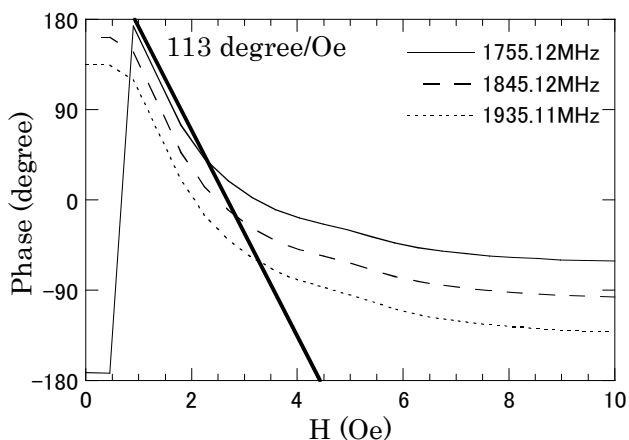


図2 センサの透過係数の磁界依存性

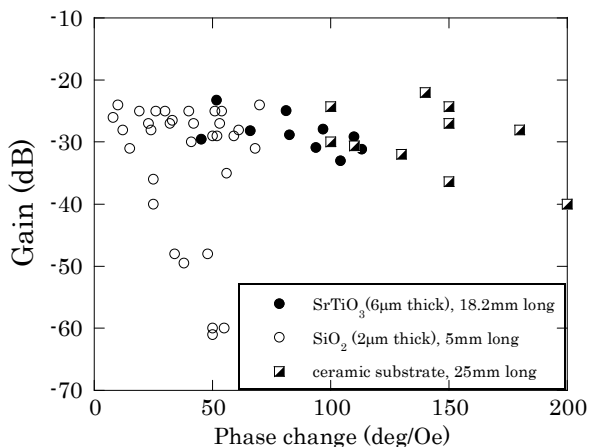


図3 誘電体に対する感度と減衰の関係

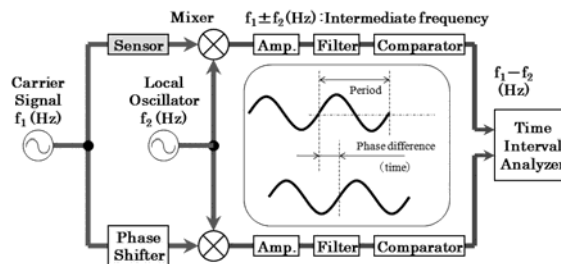


図4 DMTD回路

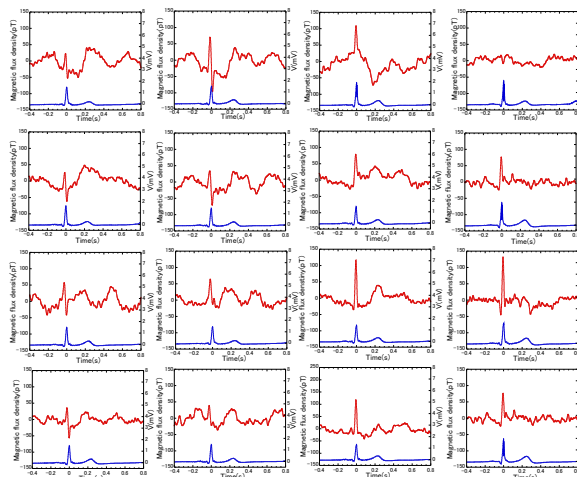


図5 心磁界計測結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ①H. Uetake, S. Yabukami, T. Chiba, T. Ozawa, H. Suzuki, N. Kobayashi, K. I. Arai, Highly Sensitive Thin Film Sensor Using Coplanar Line, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, Vol. 38, No. 3-1, 2014, 83-86
- ②S. Yabukami, K. Kato, T. Ozawa, N. Kobayashi, K. I. Arai, Coplanar Line Thin Film Sensor and Measurement of MCG without Magnetic Shielding, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, Vol. 38, No. 2-1, 2014, 25-28
- ③S. Hashi, S. Yabukami, K. Ishiyama, K. I. Arai, Downsizing of LC Markers for a Wireless Magnetic Position Detection System, Sensor Letters, 査読有, Vol. 11, No. 1, 2013, 98-101
- ④藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、伝送線路型薄膜センサによる心磁界の多点計測、電気学会論文誌 A, Vol. 133, No. 6, 2013, 372-375
- ⑤小澤哲也、山田洋、佐藤弘二、小島健、藪上信、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサによる磁気深傷試験装置、Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, Vol. 37, No. 1, 2013, 1-7
- ⑥小島 健、佐藤弘二、藪上 信、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、高誘電率基板を用いた

伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化、Journal of the Magnetics Society of Japan、査読有、Vol. 35、No. 3、2011、277-280

⑦佐藤弘二、小島健、藪上信、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、伝送線型薄膜磁界センサによる走査システムの試作、Journal of the Magnetics Society of Japan、査読有、Vol. 35、No. 2、2011、76-81

〔学会発表〕(計34件)

①H. Uetake, T. Kawakami, S. Yabukami, T. Ozawa, Highly sensitive coplanar line type integrated magnetic field sensor, IEEE International Magnetics Conference, INTERMAG Europe 2014, 2014.05.05、ドレスデン

②藪上 信、オンチップRF磁気デバイスの調査～センサ2(生体関係)～、電気学会マグネティクス研究会、2013.12.19、金沢市

③木村卓文、藪上信、小澤哲也、宮澤安範、劔重博幸、島田寛、直線マイクロストリップ型プローブによる薄膜透磁率計測、第37回日本磁気学会学術講演会、2013.09.06、札幌市

④植竹宏明、藪上信、万代裕章、千葉智章、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、誘電体薄膜によるコプレーナ型薄膜磁界センサの高感度化、第37回日本磁気学会学術講演会、2013.09.06、札幌市

⑤小澤哲也、細谷和史、藪上信、戸塚巡、小山恵史、直江正幸、小林伸聖、金田安司、荒井賢一、Nano-Granular In Gap Magnetic Sensorを使用した渦電流探傷、第37回日本磁気学会学術講演会、2013.09.05、札幌市

⑥藪上信、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、薄膜磁界センサによるシールドルーム外での心磁界計測、第37回日本磁気学会学術講演会、2013.09.03、札幌市

⑦藪上 信、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、伝送線路型薄膜磁界センサによるシールドルーム外での心磁界計測、電気学会マグネティクス リニアドライブ合同研究会、2013.06.21、長野市

⑧植竹宏明、藪上 信、齋藤芳則、千葉智章、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、誘電体薄膜を用いた伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化、電気学会マグネティクス研究会、2013.06.14、宮城県

⑨藪上 信、宮城亮太、有馬尚人、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、伝送線路型薄膜磁界センサによる心磁界の多点計測、電気学会マグネティクス 医用・生体工学合同研究会、2012.11.16、福岡市

⑩T. Ozawa, S. Yabukami, J. Totsuka, S. Nagata, M. Naoe, N. Kobayashi, Y. Kaneta, K. I. Arai, Non-Destructive Inspection Method Using GIGS Magnetic Field Sensor, The 2nd International Conference of AUMS The 36th Annual Conference on Magnetism in Japan, 2012.10.02、奈良市

⑪T. Kimura, H. Nakano, S. Yabukami, K. Ikeda, T. Ozawa, N. Kobayashi, K. I. Arai, Highly sensitive coplanar line type integrated magnetic field sensor, The 2nd International Conference of AUMS The 36th Annual Conference on Magnetism in Japan, 2012.10.02、奈良市

⑫小澤哲也、藪上 信、戸塚 巡、長田誠一、直江正幸、小林伸聖、金田安司、荒井賢一、磁界センサを用いた渦電流探傷、電気学会マグネティクス研究会、2012.09.24、仙台市

⑬S. Yabukami, H. Nakano, T. Ozawa, K. Kato, N. Kobayashi, K. I. Arai, Transmission line type thin film sensor and measurement of MCG, 9th European Magnetic Sensors & Actuators Conference, 2012.07.02、プラハ

⑭藪上 信、中野弘道、小島 健、佐藤弘二、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化と応用(招待講演)、電気学会全国大会、磁気センサおよび磁気利用センシングシステムの最新動向、2012.03.21、広島市

⑮藪上 信、位相検出による超高感度磁界センサの開発状況(招待講演)、超小型スピントロセンサの医療応用検討研究会、2012.03.06、仙台市

⑯内川義則、小林宏一郎、藪上 信、山田外史、笹田一郎、医療技術における磁気応用研究の動向(3) 生体計測用センサにおける磁気応用技術、マグネティクス リニアドライブ 合同研究会、2012.02.22、金沢市

⑰藪上 信、中野弘道、小島健、佐藤弘二、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、コプレーナ線路を用いた伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化、電気学会マグネティクス研究会、2011.11.24、仙台市

⑱藪上信、赤間史典、佐藤弘二、谷地館藍、山田洋、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、コプレーナ線路を用いた薄膜磁界センサの高感度化、第35回日本磁気学会学術講演会、2011.09.27、新潟市

⑲小澤哲也、谷地館藍、山田洋、佐藤弘二、小島健、藪上信、小林伸聖、中居倫夫、高周波キャリア型薄膜磁界センサによる磁気探傷試験装置の試み、第35回日本磁気学会学術講演会、2011.09.27、新潟市

⑳小澤哲也、谷地館藍、山田 洋、佐藤弘二、小島 健、藪上 信、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサを利用した磁気探傷の試み、電気関係学会東北支部連合大会、2011.08.25、多賀城市

㉑S. Yabukami, K. Kojima, T. Ozawa, K. Kato, N. Kobayashi, T. Nakai, and K. I. Arai, Transmission line type thin film sensor and its biomagnetic application, Moscow International Symposium on Magnetism (Invited), 2011.08.23、モスクワ

㉒谷地館藍、佐藤弘二、佐藤彰、藪上信、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、伝送線路型薄膜磁界センサの試作、電気学会

マグネティックス研究会、2010.12.17、熊本市

②③ 藪上 信、室温で動作する高感度薄膜磁界センサ (招待講演)、日本学術振興会 アモルファス・ナノ材料第 147 委員会 第 110 回研究会、2010.12.10、東京都

②④ 小島健、佐藤弘二、藪上信、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、高誘電率基板を用いた伝送線路型薄膜磁界センサの高感度化、電気学会 マグネティックス 医用・生体工学合同研究会、2010.11.26、福岡市

②⑤ 藪上 信、磁界センサ、モーションキャプチャ (招待講演)、第 2 回 産学連携推進サロン(大崎産学連携推進サロン)、2010.11.04、大崎市

②⑥ 藪上 信、Thin film magnetic field sensor and biomagnetic measurement (招待講演)、文部科学省 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 第 2 回公開シンポジウム、2010.09.09、多賀城市

②⑦ 佐藤弘二、藪上信、小島健、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、高周波キャリア型薄膜磁界センサによる走査システムの試作、第 34 回日本磁気学会講演会、2010.09.05、つくば市

②⑧ 小島健、佐藤弘二、藪上信、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、高誘電率基板を用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化、第 34 回日本磁気学会講演会、2010.09.05、つくば市

②⑨ 小島 健、藪上 信、佐藤弘二、加藤和夫、小澤哲也、小林伸聖、荒井賢一、セラミック基板を用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化、電気関係学会東北支部連合大会、2010.08.26、八戸市

②⑩ 佐藤弘二、藪上 信、小島 健、小澤哲也、小林伸聖、中居倫夫、荒井賢一、高周波キャリア薄膜磁界センサによる走査システムの評価、電気関係学会東北支部連合大会、2010.08.26、八戸市

③① S. Yabukami、K. Kojima、T. Ozawa、N. Kobayashi、T. Nakai、K. I. Arai、K. Kato、Scanning system using thin film sensor for measuring magnetic field distribution、ISAMMA (The 2nd international Symposium on Advanced Magnetic Materials and applications)2010、2010.07.14、仙台市

③② S. Yabukami、K. Kojima、T. Ozawa、N. Kobayashi、T. Nakai、K. I. Arai、K. Kato、Thin film magnetic field sensor and its application for non - destructive and biomagnetic measurement (plenary talk)、IWMW(International workshop on magnetic wires)、2010.07.09、トルコ

③③ S. Yabukami、K. Kojima、T. Ozawa、N. Kobayashi、T. Nakai、K. I. Arai、K. Kato、Scanning system using thin film sensor for measuring low magnetic field、EMSA (European Magnetic Sensors and Actuators)2010、2010.07.06、トルコ

③④ S. Yabukami、Y. Ohtomo、K. Kojima、K. Kato、T. Ozawa、and K. Arai、Transmission line type thin film sensor for magnetocardiogram measurement at room temperature、MMM/Intermag Conference 2010、2010.01.21、ワシントン

〔図書〕 (計 3 件)

① 藪上 信他 (共著)、株式会社テクノシステム、薄膜の評価技術ハンドブック、2013、261-262

② 藪上 信他 (共著)、電気学会、2012、15-19、31-32

③ 藪上 信他 (共著)、電気学会、2011、22-25、57

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：磁界センサとその製造方法

発明者：藪上信、植竹宏明

権利者：

種類：

番号：特願 2014-095429

出願年月日：2014.05.02

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.elec.tohoku-gakuin.ac.jp/yab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藪上 信 (YABUKAMI, Shin)

東北学院大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00302232