

生体磁場測定用 TMR 磁気センサの開発

Development of TMR sensor for bio-magnetic field measurement

スピンセンシングファクトリー(株)¹, 東北大学²

○藤原 耕輔¹, 大兼 幹彦², チャキル サブリ¹, 熊谷 静似¹, 安藤 康夫^{1,2}

¹Spin Sensing Factory Corp., ²Tohoku Univ.,

○K. Fujiwara¹, M. Oogane², S. Cakir¹, S. Kumagai¹ and Y. Ando^{1,2}

E-mail: oubutsu@jsap.or.jp

強磁性トンネル接合 (MTJ) 素子を利用したトンネル磁気抵抗 (TMR) センサは、室温で動作する高感度な磁気センサである。近年、TMR センサの高感度化を背景として、人体の活動を磁場で検知する、生体磁場測定への応用に大きな期待が集まっている。従来研究において、TMR センサにより、室温下において心臓の電氣的活動に起因する心磁図 (MCG), および、脳磁図 (MEG) の測定に成功している[1]。一方、TMR センサの特徴である、磁気シールドルーム外で、ウェアラブルな生体磁場センサを実現するためには、TMR センサ自身のノイズ低減と、環境磁場ノイズのキャンセリング技術の確立が必要である。本講演では、当社で開発した TMR センサモジュールを用いた生体信号測定の結果と、低ノイズ化のための要素技術開発の結果を報告する。

TMR センサモジュールに用いた MTJ 多層膜は、超高真空スパッタリング装置によって作製した。この MTJ 多層膜は、MgO バリア層を有し、フリー層に $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Ru}/\text{CoFeB}$ の 3 層構造を用いている。また、多数の MTJ 素子を集積することで 1/f ノイズを大幅に低減している。作製した TMR センサ素子を低ノイズの増幅、フィルタ回路と組み合わせて、Fig. 1 のような約 15mm 角の TMR 磁気センサモジュールを制作した。

制作した TMR 磁気センサモジュールの磁気分解能は約 $10 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @ 3.3 Hz であった。これを用いた MCG 測定では、心拍によって生じる R ピーク (数 10 pT 程度) が観測され、平均化処理により、明確な QRS 波を測定することに成功した。さらに TMR センサのノイズ低減のために、フリー層を非磁性層によって分断した、強磁性/非磁性/強磁性の多層膜フリー層構造の検討を行った。2 つの強磁性体の磁化が静磁的に結合することで、磁区の発生を抑制し、磁壁の熱揺らぎ起因の磁気ノイズを低減可能である。現在のところ、最適条件下において磁気ノイズを約半分に低減することに成功した。また、環境ノイズのキャンセリングのために、2 つの TMR センサを用いた、グラジオメータ回路の開発も行った。信号源に近いセンサと、信号源から遠いセンサの出力の差分を計測することで、環境ノイズの劇的な低減に成功した。これらの技術を組み合わせることで、シールドルーム外で動作可能な高感度磁気センサが実現できると考えられる。この研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の S-イノベーションプログラムの支援によって行われた。

[1] K. Fujiwara *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 023001 (2018).



Fig. 1 開発した TMR 磁気センサ