

小型高感度磁気センサnTメータの開発

アジェンダ

- 1. 背景、目的
- 2. 実験方法
- 3. 実験結果
- 4. nTメータの応用
- 5. まとめ

株式会社マグネア 都筑 裕汰郎



1. 背景、目的 1-1. コイルピックアップ型高感度磁気センサ(nTセンサ)について

- 3種類のセンサがある...FGセンサ(1960年)、MIセンサ(1991年)、GSRセンサ(2015年) センサ構造は同じだが、励磁周波数帯域がkHz, MHz, GHzと異なる。 ⇒励磁周波数帯域の増加によって、小型高感度化が実現されてきた。
- GSRセンサの素子体積はFGセンサの百万分の一、励磁周波数帯域は百万倍

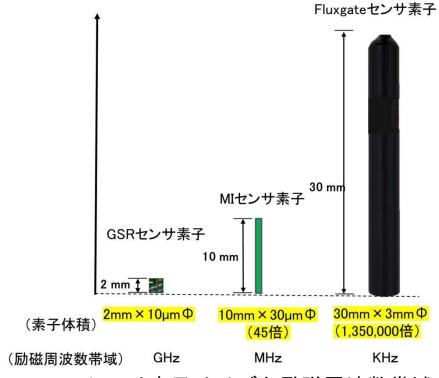


Fig.1-a:センサ素子サイズと励磁周波数帯域の比較

© 2023 Magnaire Co.,Ltd.



1. 背景、目的 1-2. GSRセンサについて

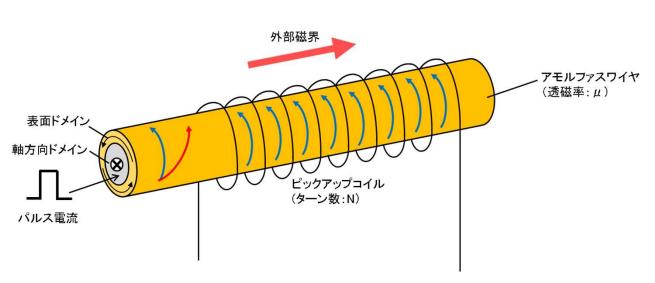


Fig.1-b: GSRセンサの検出原理

$$V_{coil} \propto N \, \mu \, \frac{d\Phi}{dt}$$

感度UP...dΦを大きくするか、dtを小さくする

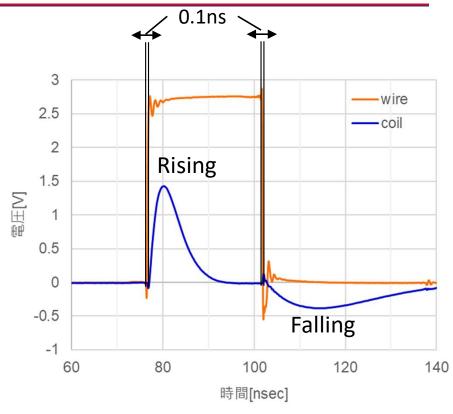


Fig.1-c: 励磁パルス電流とコイル電圧波形

- 0.1nsの変化速度を実現
- パルス電流変化に対応してコイル電圧発生
- Risingの方がFallingより大きい



1. 背景と目的 1-3.目的

本蔵Dr.らの報告…磁場感度は励磁周波数帯域3GHzまで増加傾向にあることが示されている。 しかし、ノイズとの関係性については報告されていない。

目的:信号処理回路を製作し、感度とノイズの研究を行っ

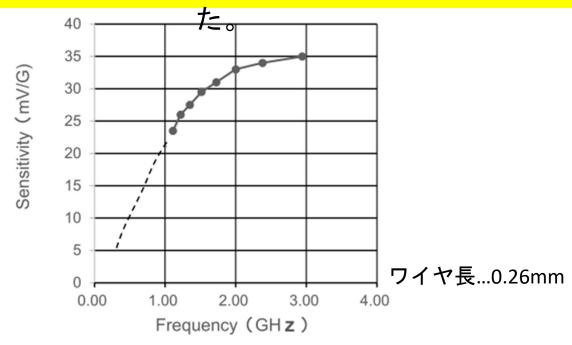


Fig.1-d:励磁周波数帯域とセンサ素子感度の関係

(出典:GHzパルス電流を基礎にした高感度マイクロ磁気センサ"GSRセンサ"の開発)



2. 実験方法 2-1. 実験用回路

- 回路製作の問題点…従来基板をベースにMHz→GHzに高周波化⇒リンギングが発生
- 対策…励磁パルス電流経路を20mm⇒5mmに変更し解決

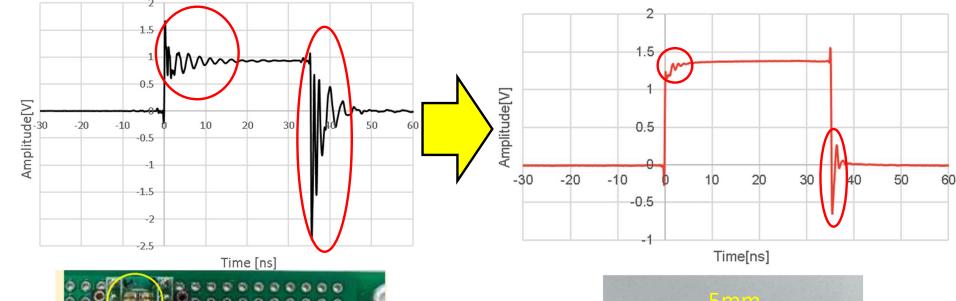


Fig.2-a: パルス電流波形と基板外観 (従来基板ベース)

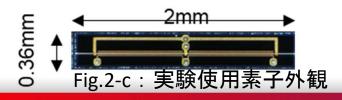


Fig.2-b:パルス電流波形と基板外観 (対策基板)



実験方法 2-2. 実験条件

- ▶ 供試材(アモルファス磁性ワイヤ):
 - ✓ ガラス径...2.0um
 - ✓ 金属径...9.7um
 - ✓ 長さ…2.0mm
 - ✓ 金属組成…CoFeSiB
- ➤ 供試材(GSR素子):
 - ✓ 素子タイプ...対向通電式
 - ✓ 全コイル巻き数...586回
 - ✓ コイルピッチ...3.0um
 - ✓ アモルファスワイヤ抵抗値...13.8Ω ➤ 測定系
 - ✓ 全コイル抵抗値...1270Ω
- > 回路駆動条件:
 - ✓ 繰り返し周波数…1.0MHz
 - ✓ 増幅率...6倍
 - ✓ 検波位置...Falling



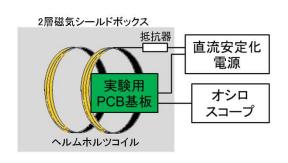
▶ 要因、水準

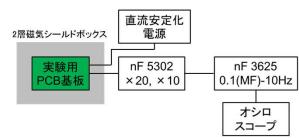
※励磁周波数帯域:=1/2t (t...立下り時間)

要因	水準			
励磁周波数帯域(狙い値) [GHz]	4.0	2.5	1.7	1.0
パルス幅[ns]	20	25	30	35
パルス電流振幅[mA]	50	70	100	

<磁界感度測定系>

<電圧ノイズ測定系>







3. 実験結果 3-1. 励磁周波数帯域 1~4GHzでの感度および電圧ノイズとの関係

感度

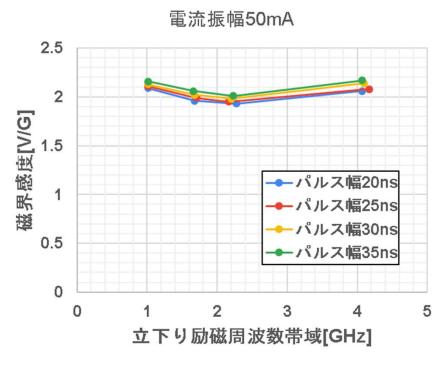


Fig.3-a:励磁周波数帯域と感度との関係



・ 電圧ノイズ

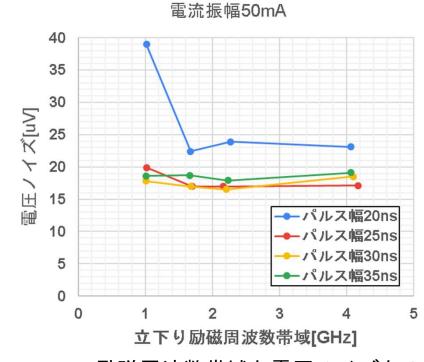


Fig.3-b:励磁周波数帯域と電圧ノイズとの関係



パルス幅25~35ns時において、 ノイズ18μV程度で安定した



3. 実験結果 3-1. 励磁周波数帯域 1~4GHzでの感度および電圧ノイズとの関係

感度

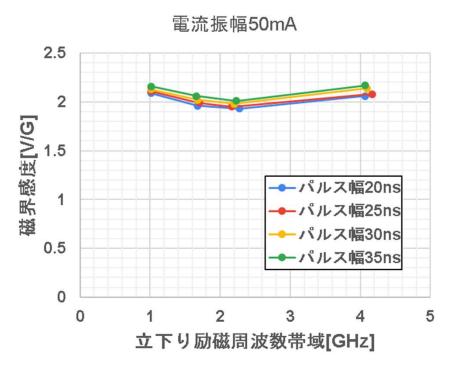


Fig.3-a:励磁周波数帯域と感度との関係

・ 電圧ノイズ

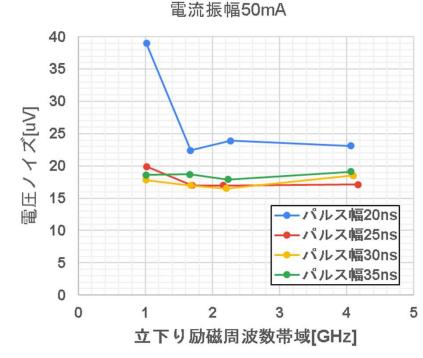


Fig.3-b:励磁周波数帯域と電圧ノイズとの関係



パルス幅25~35ns時において、SN比は同程度となった

© 2023 Magnaire Co.,Ltd.



3. 実験結果 3-2.電流振幅の影響

• 感度

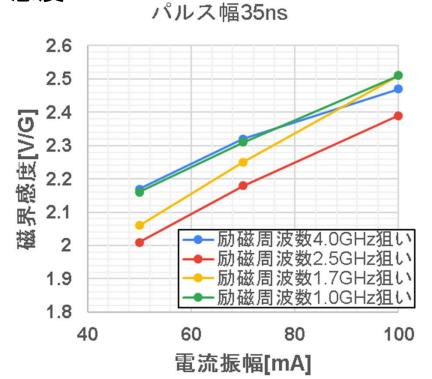


Fig.3-c:電流振幅と感度との関係



電流振幅増加で増加傾向が見られた

・ 電圧ノイズ

パルス幅35ns

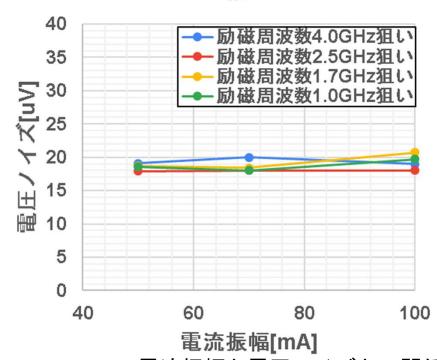


Fig.3-d:電流振幅と電圧ノイズとの関係



パルス幅25~35ns時にて、 電流振幅を増加してもノイズは変わらなかっ

T=



3. 実験結果 3-3. パルス幅の影響

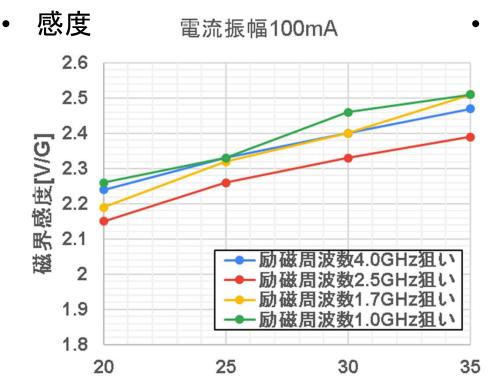


Fig.3-e: パルス幅と感度との関係

パルス幅[ns]



電流振幅100mAにて、 パルス幅増加で増加傾向となった

電圧ノイズ 電流振幅100mA

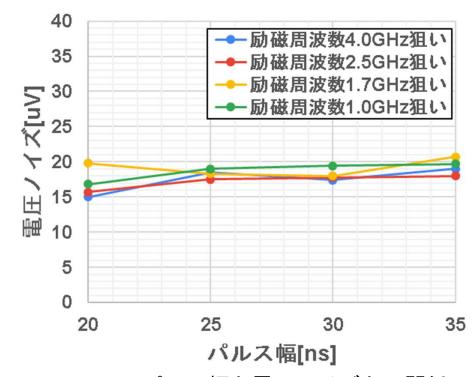


Fig.3-f:パルス幅と電圧ノイズとの関係



電流振幅100mAにて、 パルス幅20~35ns間では変化しなかっ

た



3. 実験結果 3-4. 最適励磁パラメータ

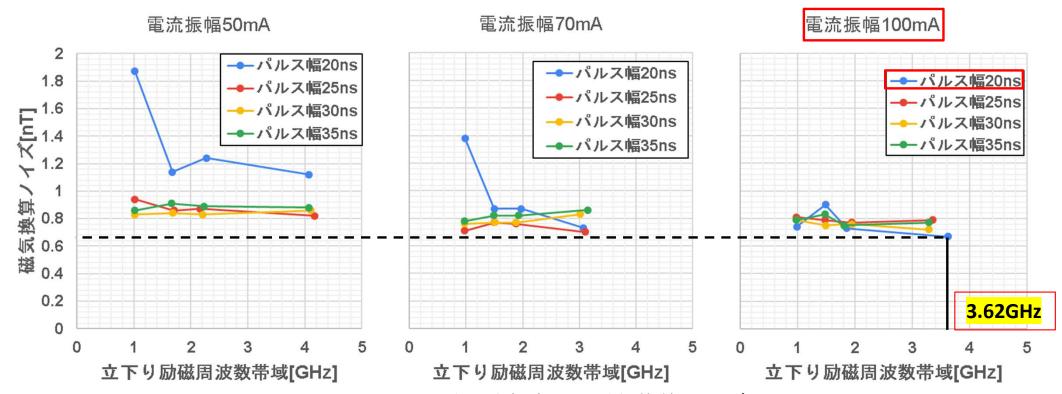


Fig.3-g:励磁周波数帯域と磁気換算ノイズとの関係



励磁周波数帯域3.62GHz, 電流振幅100mA, パルス幅20nsにて、 磁気換算ノイズ最小となった。

© 2023 Magnaire Co.,Ltd. 10/14



3. 実験結果 3-2. nTメータ基板設計

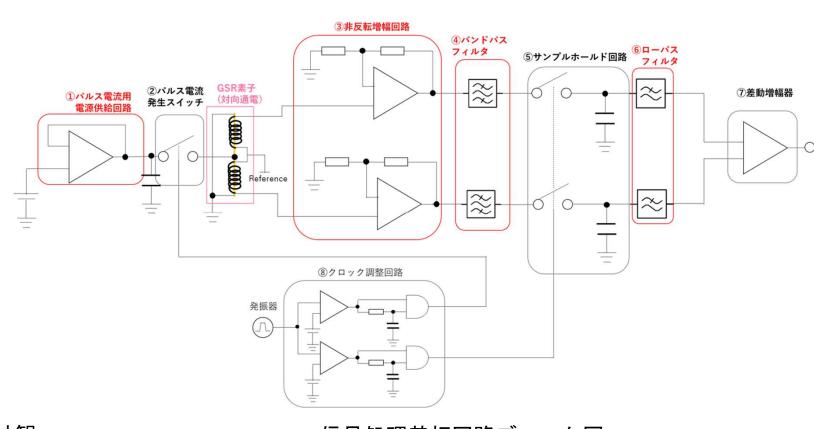
実験結果を基にnTメータ用回路基板を作製した。

<基板外観>

<信号処理基板 回路ブロック図>

信号処理基板





(ADC, USB通信)

通信基板

Fig.3-h: nTメータ基板外観

Fig.3-i: 信号処理基板回路ブロック図



3. 実験結果 3-3. nTメータ センサ性能評価結果

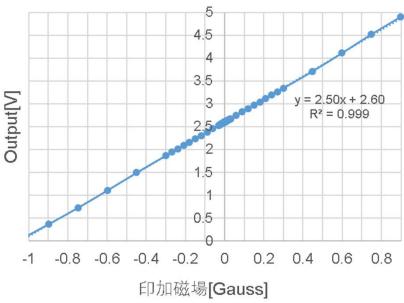


Fig.3-j:nTメータ磁場応答特性

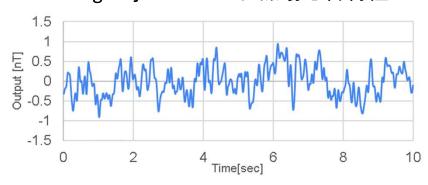


Fig.3-k:nTメータ 時系列ノイズ波形

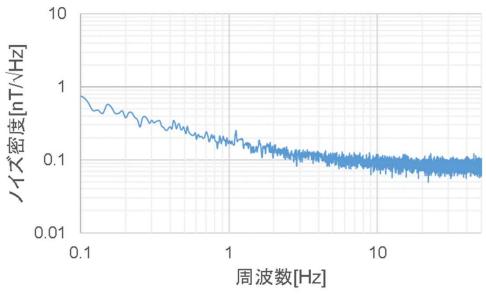


Fig.3-I: nTメータ 磁気換算ノイズ密度

- ➤ 感度...2.5V/G
- ▶ 測定レンジ...±1Gauss
- ➤ 直線性...0.10% F.S.(@F.S.=0.18Gauss)
- σノイズ…9.0uVrms, 0.36nTrms (@DC~10Hz)
- ▶ ノイズ密度...0.18nT/√Hz @1Hz
- ➤ PCとUSB接続 (電源とデータ通信)



4. nTメータの応用

磁性微粒子の検出 センサ素子が小型のため、直径5μmの微小磁性体検知が可能

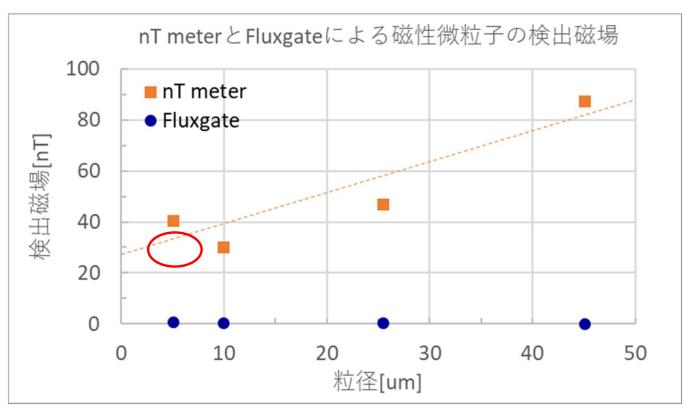


Fig.4-a:磁性微粒子粒径とセンサ検出磁場との関係

※詳細は「24pB-5」の報告内容参照



5. まとめ

▶ 感度とノイズの関係:

立下り励磁周波数帯域1~4GHzにおいて、

- 感度…増減は見られなかった
- 電圧ノイズ...パルス幅25~35ns時において、ノイズ18μV程度で安定した ⇒パルス幅25~35ns時、立下り励磁周波数帯域の増加に対し、 SNは同程度となった。

▶ nTメータ試作:

専用基板を作製し、性能評価を行ったところ、磁気換算ノイズ0.36nTrms(DC~10Hz)となった。

© 2023 Magnaire Co.,Ltd.