

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420384

研究課題名(和文) 導電性パターン読み取りが可能なマイクロGMRを利用した磁気センサの開発

研究課題名(英文) Development of magnetic sensor using micro-GMR capable of reading conductive pattern

研究代表者

南谷 保 (Minamitani, Tamotsu)

金沢大学・電子情報学系・研究員

研究者番号：90722356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では磁性と導電性インクで作成するパターンを検出可能な識別センサの設計製作と微細パターン読み込みの可能性を検討した。その結果、次の成果を得た。磁性と導電性パターンの検出に加え、センサ出力信号の位相情報を処理することで、両方のパターンが識別可能なことを見出した。導電性インクのモデル化を行い、実験によりモデルの妥当性を確認できた。磁石を利用した磁気回路の改善で、センサ検出力が向上することを示せた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we designed and fabricated an identification sensor capable of detecting patterns made of magnetic and conductive inks and examined the possibility of reading fine patterns. As a result, the following results were obtained. It was found that conductive and magnetic pattern can be detected and distinguished by recognizing both amplitude and phase of ECT signal. We modeled the conductive ink and confirmed the agreement between the output predicted by simulation and the experiment result. We showed that improving the magnetic circuit by using the magnet improves the sensitivity.

研究分野：電気工学

キーワード：磁気センサ 導電性インク 磁性インク 磁気抵抗素子 うず電流検査法 位相検出

1. 研究開始当初の背景

紙幣にはセキュリティとして磁性パターンが印刷されている。この磁性パターンの読取センサは、半導体磁気抵抗素子 (SMR), ピックアップコイルなどを利用したセンサがメインである。近年、海外紙幣では磁性 (インク) と導電性パターン (スレッド) を混同した紙幣があり、磁性と導電性パターン双方の読み取り可能なセンサが必要となってきている。しかし、既存のセンサは磁性パターンの読み取りに特化したセンサであり、導電性パターンの読み取りは困難である。1つのセンサで磁性と導電性パターン双方の検出が可能となれば、有価証券やカードの情報量が増してセキュリティ向上に貢献できると予想される。

そこで、基板の導電性パターンを読み込む巨大磁気抵抗素子 (GMR) を利用したマイクロウズ電流探傷技術 (μ -ECT 技術) に注目した。GMR 素子は磁気を読み取りは可能であり、 μ -ECT 技術を識別センサに適用することで、磁性と導電性パターン双方を読み込むセンサの開発は可能と判断した。

2. 研究の目的

μ -ECT 技術を識別センサに適用することで磁性と導電性パターン双方が検出可能な識別センサを開発し、磁性と導電性パターン読み込みが可能であることを実証し、さらに微細パターン読み込みの可能性を検討することを目的とする。これによって、磁性、導電性パターン双方読み取り可能なセンサを産業界へ提案する。

3. 研究の方法

(1)磁性、導電性パターン読み取り用の μ -ECT センサの開発

GMR を利用した μ -ECT センサの励磁電流用のパターンおよび磁気回路の最適化について検討を行った。

(2)磁性と導電性のパターン読み取りの機能性の把握

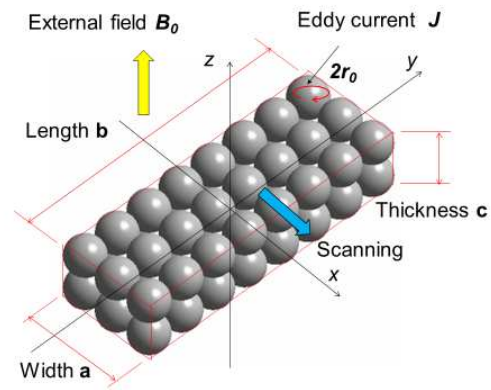
導電性インクのモデル化を行い、実測との比較を実施した。

三種類の材料 (銅箔、導電性インク、磁性インク) のパターンの読み取りを行い、波形の解析を実施した。

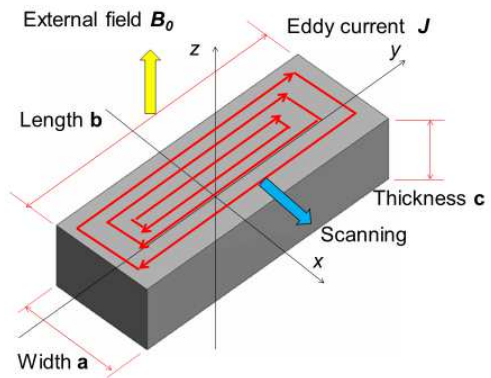
4. 研究成果

(1)導電性インクの理論化と実証

導電性インクを図 1(a) のビーズモデルと図 1(b) の導体モデルを考えた。ビーズモデルは互いに導電ビーズが接触すると想定し、ビーズ間の接触抵抗はビーズ内の抵抗に対して無限とみなし、渦電流がビーズ内のみ流れると仮定した。導体モデルは導電性インクを導体と考え、その導電率が金属単体より低くなると仮定した。



(a) ビーズモデル



(b) 導体モデル

図 1 導電性インクのモデル

図 2 は銅箔と導電インクの実出力波形である。図中には 2 種類の導電率に対する導体モデルのシミュレーション波形を図示してある。導電率 $1.26 \times 10^6 \text{S/m}$ は測定した導電インクの実測値であり、 $3.15 \times 10^5 \text{S/m}$ は実測の出力値に対応した導電率である。これより、実測波形は導体モデルの導電率を実測値の 1/4 としたシミュレーション波形と一致した。なお、ビーズモデルの出力値は実測値の 1/100 と小さい値を示した。

以上の結果より、導電性インクは導電率が実測の 1/4 の導体モデルで近似できることを明らかにできた。

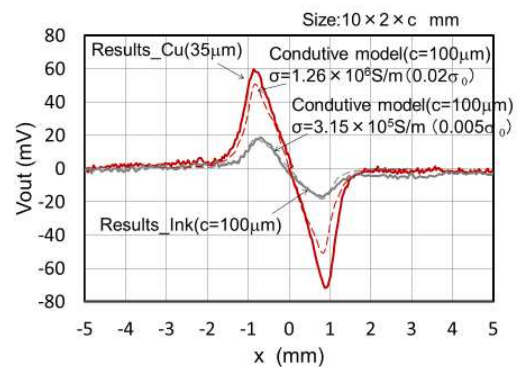


図 2 導電性インクの実出力波形

(2) 出力信号の波形処理方法

磁界シミュレーションにより、パターン材料により出力信号の位相が異なることが予測できた。そこで、銅箔、導電性インク、磁性インクの出力波形と位相を実測した。図 3 は出力波形、図 4 は位相波形である。図 3 より、銅箔、導電性インクの導電性パターンの出力波形は媒体接近時となる x がマイナスの位置に正のピークがあり、磁性パターンでは媒体が離れる x がプラスの位置に正のピークがあり、波形形状が異なること確認できた。図 4 の位相波形より、導電性パターンでも導電率の大きさにより、位相波形が異なることがわかる。

これより、当初目的としていた導電性と磁性材料の読取だけでなく、材料の識別が可能であることを示すことができた。

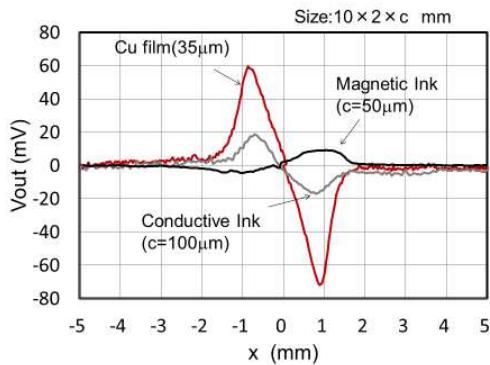


図 3 パターン材料による出力波形

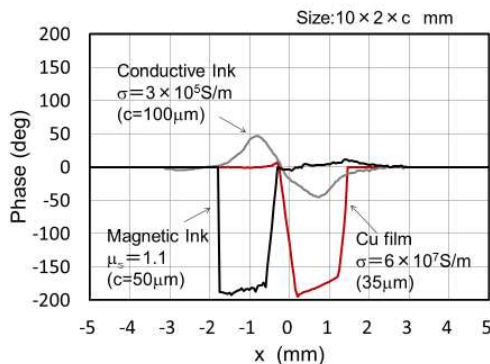


図 4 パターン材料による位相波形

(3) 磁気バイアスの効果

GMR に直流バイアスを加えることで、GMR の動作点の最適化と磁性インクパターンの出力向上を狙った。

図 5 は GMR に磁気バイアスを印加したときの磁気バイアスがない場合に対する出力比である。磁気バイアスは GMR の検出方向と垂直方向の 2 種類がある。検出方向の磁気バイアスは GMR の感度向上、垂直方向の磁気バイアスは磁性媒体の検出力が目的である。検出方向の磁気バイアスにより出力は 2.5 倍に向

上する。垂直方向の磁気バイアスにより磁性マーカの出力は 4 倍に向上する。これより、磁石による磁気バイアスは検出力を向上する効果があることが確認できた。

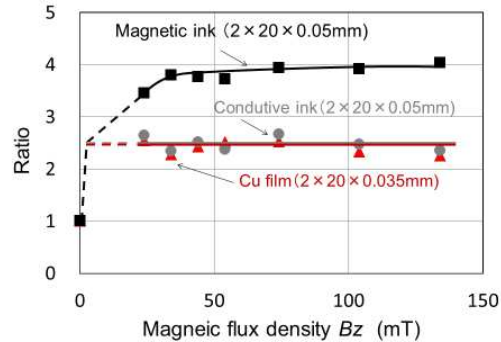


図 5 磁気バイアスによる出力

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 南谷保, 山田外史, "Detection and Distinction of Conductive and Magnetic Security Markers Using Eddy-Current Inspection", 日本磁気学会誌, Vol40, 3, pp. 56-60, (2016), 査読有
- ② 南谷保, 浦岡将吾, 池畑芳雄, 山田外史, "うず電流検査法を用いた導電性インクマーカの検出に関する研究", 電気学会マグネティクス研究会, MAG14-139, pp. 1-4 (2014), 査読無

[学会発表] (計 7 件)

- ① 南谷保, 山田外史, "磁気バイアスによるセキュリティマーカの磁気検出力の向上", 平成 28 年度日本磁気学会学術講演会 [2016/9/6, 金沢大学(石川県・金沢市)]
- ② 南谷保, 山田外史, "うず電流検査法による導電性セキュリティマーカの検出特性", 平成 28 年度電気学会全国大会 [2016/3/18, 東北大学(宮城県・仙台市)]
- ③ 山田外史, 南谷保, "バーコードセキュリティのうず電流検査法の応用", 平成 27 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会 [2015/9/17, 金沢大学(石川県・金沢市)]
- ④ 南谷保, 山田外史, "うず電流検査法による導電性・磁性マーカの計測に関する研究", 平成 27 年度日本磁気学会学術講演会 [2015/9/9, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)]
- ⑤ 南谷保, 浦岡将吾, 池畑芳雄, 山田外史, "うず電流検査法による導電性インクの形状に関する研究", 平成 27 年度電気学会全国大会 [2015/3/26, 東京都市大学(東京都・世田谷区)]

- ⑥ 南谷保,浦岡将吾,池畑芳雄,山田外史,”うず電流検査法を用いた導電性インクマーカの検出に関する研究”,電気学会マグネティクス研究会[2014/11/21, 金沢大学(石川県・金沢市)]
- ⑦ 南谷保,浦岡将吾,山田外史,”うず電流探傷技術を用いた導電性インクパターンの検出に関する研究”,平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会[2014/9/11, 富山高等専門学校(富山県・富山市)]

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：識別センサ装置
発明者：南谷保, 山田外史
権利者：金沢大学
種類：特許
番号：特願 2015-139901
出願年月日：平成 27 年 7 月 13 日
国内外の別： 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南谷 保 (Minamitani Tamotsu)
金沢大学・理工研究域電子情報学系・研究員
研究者番号：90722356

(2) 研究分担者

山田 外史 (Yamada Sotoshi)
金沢大学・環日本海域環境研究センター・連携研究員
研究者番号：80019786