

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300184

研究課題名(和文)非平面フォトファブ리케이션を用いた体内挿入型MRI/NMRプローブ

研究課題名(英文)Intra-corporeal MRI/NMR probe using non-planar photofabrication

研究代表者

芳賀 洋一 (HAGA, Yoichi)

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：00282096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：円筒面上へフォトレジストのパターニングと銅の電解めっきを用いてチューブ上へ作製した受信コイルを用いた体内挿入型プローブを用い核磁気共鳴イメージング(MRI)による高精細撮像などを体内局所において行うことを目指す。絶縁層を形成し同様の配線形成プロセスを繰り返すことでコイルを多層化して性能を向上している。コイル周辺の組織によって最適な共振周波数とインピーダンスが変動することに対応した可変容量集積回路を小型に設計、試作し、これを用いて開発したコイルと組み合わせ、NMR信号の受信、撮像の評価を行った。保護回路を入れることで可変容量集積回路の絶縁破壊を起こさずにNMR信号の受信、撮像を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is realization of high-resolution imaging of local area tissue in the human body using an intra-corporeal MRI/NMR probe fabricated using photoresist patterning and Cu electroplating on the cylindrical substrate. Performance of imaging is improved by multilayered coil pattern fabricated by repeating the process after coating of nonconductive layer. Small size integrated circuits of variable capacitor which can compensate frequency shift by tissues around the coil have been designed and fabricated. Signal receiving of NMR signal was confirmed and image estimation was performed using the mounted circuit on the probe. Receiving NMR signal and imaging without electric breakdown of the integrated circuit was realized using developed protecting circuit.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：MRI(核磁気共鳴イメージング) NMR(核磁気共鳴) MEMS(微小電機機械システム) 受信コイル

1. 研究開始当初の背景

体内に挿入して用いる MRI プローブとして直腸に挿入するプローブが商品化され臨床に用いられ前立腺などを高精細に描出できているが、欠点としてプローブが太く、硬性で曲がらないため他部位への応用ができない。胃や小腸などの上部消化管に挿入する軟性内視鏡先端に受信コイルを搭載して、本申請の共同研究者である黒田らが胃粘膜やその周囲臓器の描出に成功している。血管内に挿入したプローブ周方向の撮像によるプラークおよび血管壁の描出のほか、プローブ前方を描出による狭窄病変の評価なども試みられている。一般にこれら受信コイルの作製は絶縁被覆付き銅線を巻くことによって行われており、細径化と精密な作製が難しく可能なコイルデザインに限界がある。

2. 研究の目的

形状としてより望ましい立体的なソレノイド型や鞍型の形状の受信コイルを、非平面フォトファブリケーションを用いて作製し核磁気共鳴イメージング(MRI)による高精度で信頼性の高い臨床に役立つ診断技術を開発する。

3. 研究の方法

非平面へ直接 MEMS プロセスを適用し、直径 2 mm~3mm のチューブ形状基板上にレーザー照射を利用したマスクレスフォトリソグラフィを行い、レジストを型とした銅の電解めっきにより金属コイルパターンを作製した。これを用いて、直径 2mm の MRI(磁気共鳴イメージング)受信コイルをカテーテル先端付近に搭載した血管内 MRI プローブを開発した(図 1)。

コイル形状(サイズ、形状、線幅と厚さ、層数など)の最適化には磁場シミュレーション解析を活用している。

コイルは円筒面上へフォトレジストのパターニングと、レジストを型にした銅の電解めっきを用いてポリイミドチューブ上へ作製される。

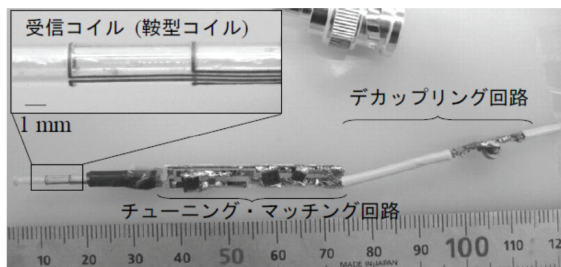


図 1 外径 2mm の 1 層サドルコイルと周辺回路

血管内に小型受信コイルを挿入し、撮像対象の近くで受信することで信号強度と S/N 比が向上し図 2 のように高解像度のイメージングができる。これにより動脈硬化や粥状硬

化、動脈瘤などの病変をより精密に観察、診断できると期待される。

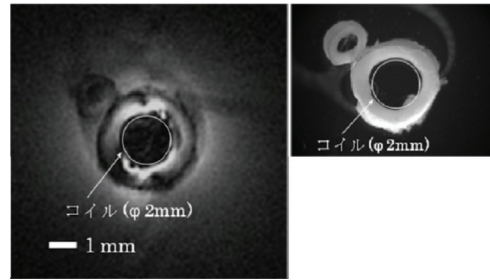


図 2 固定容量を用いた摘出血管(右)と撮像結果(左)(ブタ鎖骨下動脈)撮像結果

更に絶縁層を形成し同様の配線形成プロセスを繰り返すことでコイルを多層化でき性能を向上できる(図 3)。

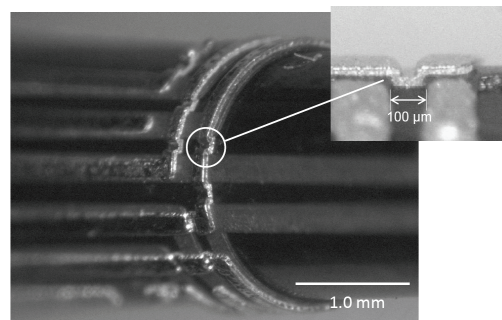


図 3 多層コイル

NMR 信号の受信と体外への伝送を効率よく行うためにコイル近くにチューニング回路及びマッチング回路を搭載するが(図 4)、コイル周辺の組織によって最適な共振周波数、インピーダンスが僅かに変動する問題を解決するため、外部からの電圧印加により容量を可変し微調整できるバラクタによる集積回路をカテーテルに搭載できるように小型に設計、試作した(図 5)。

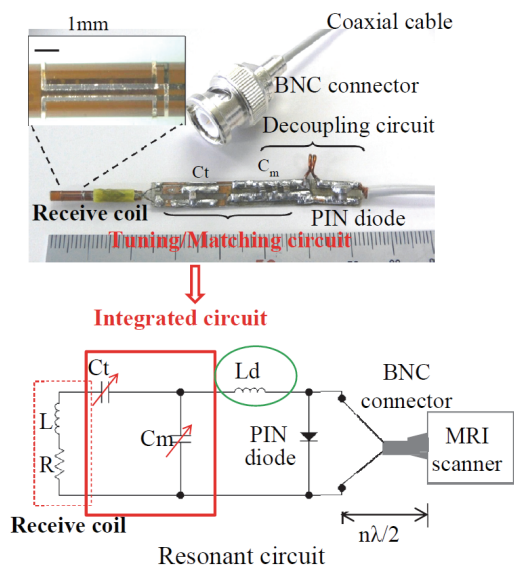


図 4 集積化の概念図

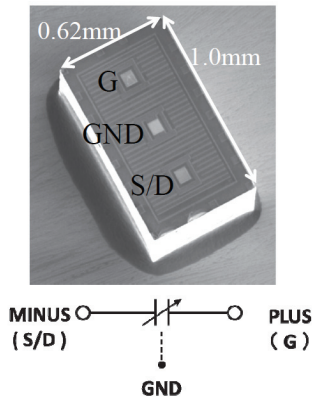


図5 試作した集積回路

励起状態において、MRIプローブの受信コイルに励起磁場(RFパルス)が印加され、誘導起電力が発生するが、これによるバラクタ集積回路の絶縁破壊を防止するための保護回路を試作し、保護効果の有効性を確認した。複数種の回路を検討、試作し、トランジスタをスイッチング素子として利用し、発生した起電力をGNDに落とすトランジスタ駆動型回路(図6)と、バラクタの容量値を変化させ、共振周波数を63.865MHzからずらす(デチューニング)ことで受信コイルから発生する誘導起電力を抑えるアクティブ型保護回路の2つを試作した。

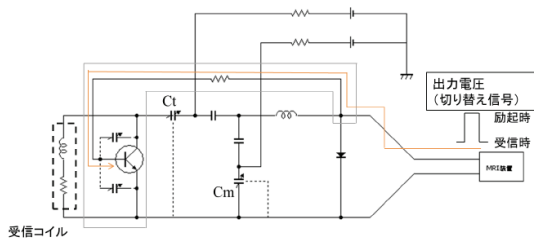


図6 トランジスタを用いた保護回路

#### 4. 研究成果

具体的な各用途に向け、要求されるプローブサイズや硬性部長さをもとに内部の構成を設計した。非平面微細加工技術とフリップチップボンディングを用い、開発した可変容量集積回路、およびディスクリート部品の実装プロセスを行ってプローブを組み立て、NMR信号の受信、撮像の評価を行った(図7)。

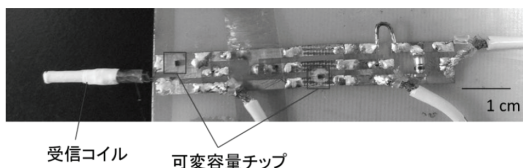


図7 集積回路を搭載したMRIプローブ

チューニング回路として用いるバラクタ

集積回路の特性を図8に、マッチング回路として用いるバラクタ集積回路の特性を図9に示す。いずれにおいても電圧コントロールによる所望の可変容量変化を実現している。

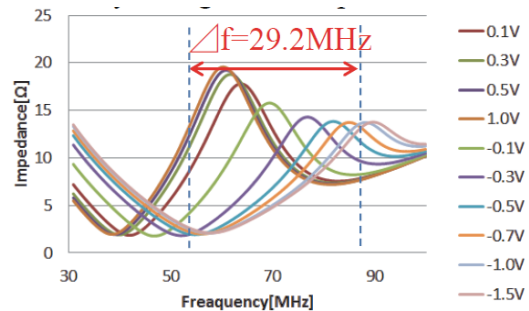


図8 集積回路のチューニング特性

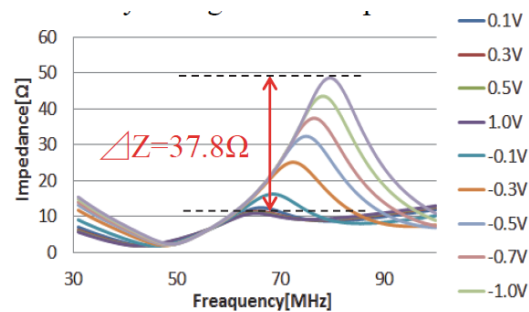


図9 集積回路のマッチング特性

バラクタ集積回路の絶縁破壊を防止するための保護回路について、どちらの回路においてもRFパルスの低い(TG=50)励起時にはバラクタの保護が可能であった(図10)。トランジスタを用いた回路を使用してバラクタ搭載のMRIプローブによる画像取得を行った(図11)。撮像対象として均質寒天ファントムを用いた。トランジスタのON抵抗を改善することで、より高い値の励起においてS/N比を向上した撮像が可能と考えている。

	保護回路 無	パッシブ 型	アクティブ 型	機械式 スイッチ	PIN 駆動型	トランジスタ 駆動型
TG=50	×	未	○	/	/	○
100	×		○			×
150	×		×			×

○ : 保護可能  
× : 保護不可

図10 各種保護回路と保護効果の有無

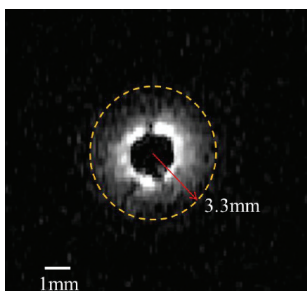


図 11 トランジスタ駆動型保護回路を用いた均質寒天ファントム撮像結果

今後、NMR スペクトロスコープに関しても可変容量による微調整による受信最適化の手段を用いた S/N 比向上により可能になると期待される。

5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

①S. Mihara, T. Matsunaga, Y. Matsuoka, K. Kuroda, Y. Haga, “Intraluminal MRI Probe Using Integrated Variable Capacitors and Receive Coil Fabricated Non-planar Photofabrication,” ESMRMB 2013, Toulouse, France (2013, Oct. 3rd), pp. 36-37

②Z. Kato, T. Matsunaga, Y. Matsuoka, K. Kuroda, M. Esashi and Y. Haga, “Optimization for resonant characteristic of intraluminal MRI probe using integrated circuit (IC) chip of variable capacitors,” Interventional MRI Symposium, Boston, USA (2012, Sep. 22nd), pp. 122

③加藤善太、松永忠雄、松岡雄一郎、黒田輝、江刺正喜、芳賀洋一、“可変容量コンデンサを搭載した管腔内 MRI プローブの開発” 第 51 回日本生体医工学会大会、福岡(2012 年 5 月 12 日)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mems.mech.tohoku.ac.jp/haga/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芳賀 洋一 (YOICHI, HAGA)

東北大学・大学院医工学研究科・教授

研究者番号：00282096

(2) 研究分担者

黒田 輝 (KAGAYAKI, KURODA)

東海大学・情報理工学部・専任教授

研究者番号：70205243

齋木 佳克 (YOSIKATSU, SAIKI)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号：50372298

松永 忠雄 (TADAO, MATSUNAGA)

東北大学・マイクロシステム融合研究開発センター・助教

研究者番号：00396540

(3) 連携研究者

松岡 雄一郎 (YUICHIRO, MATSUOKA)

独立行政法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター・主任研究員

研究者番号：80372150