

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630084

研究課題名(和文) センサ、流体制御機能を有した体内留置弾性チューブ

研究課題名(英文) Electrical and fluidic functionalized implantable elastic tube

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：体内で用いるチューブへの電気的および流体制御など機能付加を目指し、非平面フォトファブリケーション技術による微細加工を行った。複数の凹面部を形成したセラミック基板内壁へ凸形状を形成し、電解めっきにより金属層を形成し、内腔側に突出する金属構造とした。さらに凹面部へ流路構造の形成も行った。外径0.4mmの高分子チューブに電極構造および絶縁層を積層し電気的機能を付加しレーザーにより壁を貫通加工し内腔と外部をつなぐ構造とした。薄肉柔軟な構造を目指し、気相で成膜可能な高分子を材料として用い複数個の電極を内部に有したポリマー多層チューブを形成した。

研究成果の概要(英文)：Non-planar micromachining utilizing photofabrication techniques was developed for realizing electrical and fluidic functionalization of tube for use in the human body. Protrusion metal structures were fabricated on concave surfaces of a ceramic substrate by making protrusion on the concave surfaces and subsequent electroplating of metal layers. Fluidic channels have been also fabricated on the concave surfaces. Electrodes and non-conductive layers were fabricated on a polymer tube with a diameter of 0.4 mm and perforated windows were made using laser ablation for connecting inside of the tube and outside of the tube. Polymer multilayer tubes with pleural electrodes located inside the wall were fabricated using vapor deposited polymer as wall material for realizing thin-walled soft structure.

研究分野：ナノデバイス医工学

キーワード：チューブ形状 非平面プロセス フレキシブル基板 MEMS(微小電気機械システム)技術

1. 研究開始当初の背景

血管内や消化管など管腔臓器内に留置され、病的な狭窄を防ぐチューブであるステントが広く用いられてきている。これらステントにワイヤレス血圧センサや血流量センサを組み込み、診断や留置後の不具合を検出することが求められている。一方、チューブ形状のデバイスが留置される部位として外耳道や気管があり、使用者に負担の少ないウェアラブルなデバイスとしての経時的、間欠的な計測が可能となり、病気の診断、治療の参考、さらには健康人におけるスポーツトレーニング、日常生活における温度や湿度の最適化などに役立つと期待される。

アクチュエータを用いてチューブ内腔を可変にできると能動的な流量の調節が可能になり水頭症などにおける脳圧亢進の原因となる吸収障害された脳脊髄液を適切に排出するシャントチューブ、これを更に微小化することで失明の原因となる緑内障の眼圧亢進を適切に治療する眼房水排出チューブなどにつながる。

この実現のためには従来の平面基板の上で行われるフォトファブ리케이션および実装技術では不十分であり、非平面に適したフォトファブ리케이션技術を開発する。凹面に適応することでチューブ内腔側に機能を持たせることができる。

2. 研究の目的

非平面フォトファブ리케이션技術を用いて温度センサなど各種センサおよび体腔内留置デバイスの内腔への電気的な機能化、流体制御の機能化を細径な状態で目指す。手段として特に、チューブ形状の内面へ非平面フォトファブ리케이션技術を適用し、微細加工の開発を行い、各種デバイスの実現につなげる。このプロセスの際、凹面基板を並列に複数個並べて一括に加工することで量産性の向上、歩留まりの向上が期待される。

3. 研究の方法

凹面基板としてポリマーチューブを半円に分割し並列に複数個並べ、内壁に液体、気体を通す構造を形成する目的で内壁へフォトファブ리케이션により銅層を犠牲層として厚く形成し、更にポリマー層成膜後に銅層をエッチング除去することで、流路構造を形成した。

曲面内壁に立体構造をフォトファブ리케이션により一括で形成する目的で、複数の凹面部を形成したセラミック基板内壁へ形成する際に同時に凸形状構造を形成し、その表面にシードレイヤーとして銅薄膜をスパッタリングし、その後電解めっきにより内腔へ厚く金属層を形成し、内腔側に突出する金属構造とした。

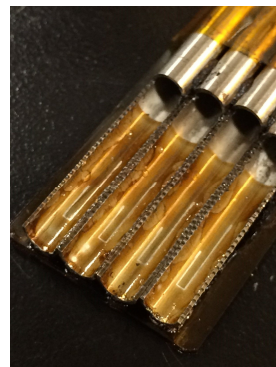
外径約 400 μm のポリイミドチューブに電極構造および絶縁層を積層し電気的機能を付加し電気的評価を行うとともに、レーザー

アブレーションによりチューブ壁を貫通加工し、内腔と外部をつなぐ構造とした。

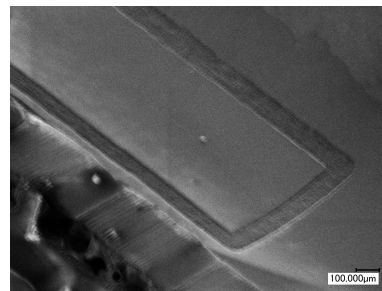
さらに、薄肉で柔軟な構造を目指し、気相で成膜可能な生体適合性のポリパラキシリレン樹脂(パリレン)をチューブ壁材料として用い、複数個(8個)の電極と独立した構造を内部に有したポリマー多層チューブを形成した。作成プロセスとして金属ロッド表面に犠牲層を形成し、その上にパリレンを成膜、さらに電極構造などの形成を行い、ポリマー犠牲層をエッチング除去し金属ロッドを除去しチューブを形成した。

4. 研究成果

複数の凹面部を形成したポリマー基板へフォトファブ리케이션により流路としての溝を形成した結果を図1に示す。



(a) 凹面基板に一括形成した犠牲層パターン(凹面部曲率半径約 2mm)



(b) 凹面基板に形成した配線パターン(SEM 写真)

図1 凹面への一括フォトファブ리케이션による流路形成

図2に曲面内壁に立体構造をフォトファブ리케이션により一括で形成する目的で、形成した金属層構造を示す。電気的な機能化を行うための土台として用いることができ、

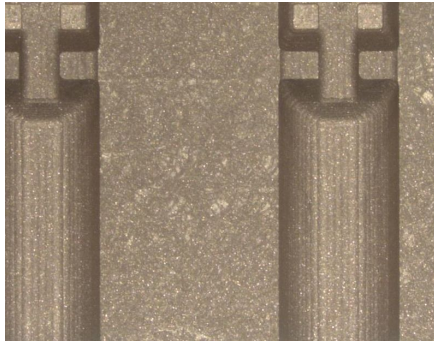


図2 流路形成のための立体形状の形成
(凹面部曲率半径約 1.2mm)

図3に示すような体内挿入型NMR(核磁気共鳴)受信プローブに可変容量コンデンサなどの集積回路を実装する際にも役立つ。

この目的のため、凹面部へ搭載する集積回路と、集積回路を凹面部突出部へ実装する際のセットアップを図4に示す。フリップチップボンダーを用いて集積回路をハンドリングおよび位置合わせし、金バンプを用いて所定の位置へ実装する。接合のために図4(b)のように形状、サイズに応じて加熱接合モジュールと超音波接合モジュールを使い分けた。

プローブを体内に挿入、留置することでNMR スペクトロスコピーを用いた体内におけるプローブ周囲組織内の特定の生体成分の分布、量のモニタリングが可能になると期待される。

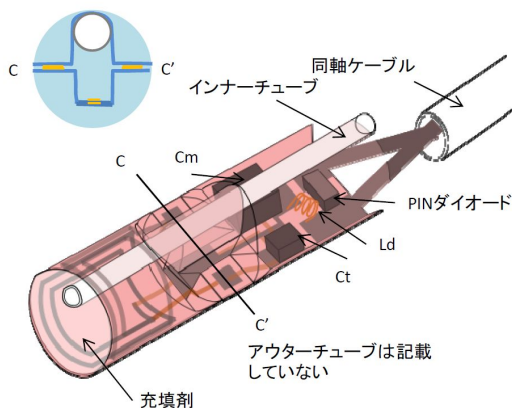
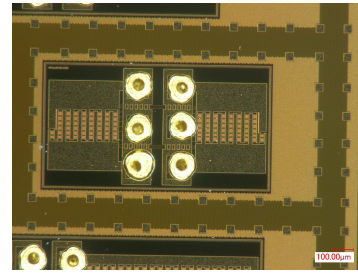
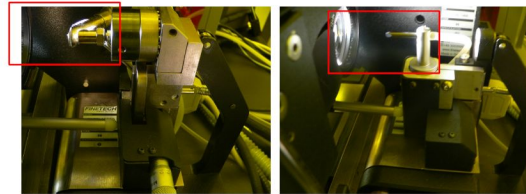


図3 集積化MRI プローブの構成



(a) 搭載する集積回路



加熱接合モジュール

超音波接合モジュール

(b) 集積回路実装のためのフリップチップボンダーと先端の接合モジュール

図4 集積回路の実装

外径約 360 μm 、肉厚 20 μm のポリイミドチューブに電極構造および絶縁層を積層し電気的機能を付加した結果を図5に示す。

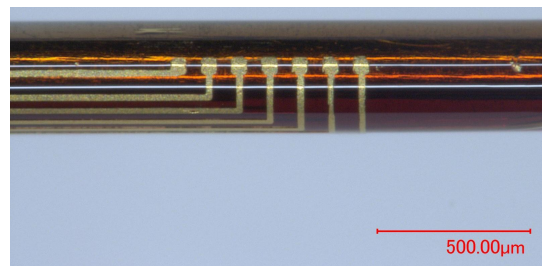


図5 電極構造を形成したポリイミドチューブ
(外径 360 μm)

さらにレーザーアブレーションによりチューブ壁を貫通加工し、内腔と外部をつなぐ構造としたものを図6に示す。

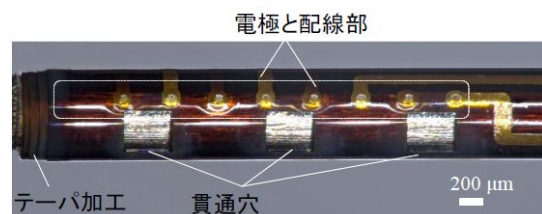


図6 レーザーアブレーションにより貫通穴を形成した結果

ポリパラキシリレン樹脂(パリレン)をチューブ壁材料として用い、複数個(8個)の電極構造を内部に有したポリマー多層チューブを図7に示す。

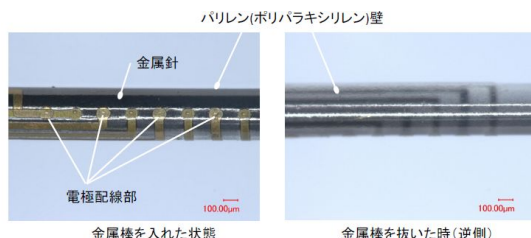


図7 パリレンをチューブ壁材料として用い、8個の電極を内部に形成した結果

これら新たに開発したプロセスを用いた非平面部品を用いることで、体内へ挿入、留置するチューブ形状デバイスの内面へ様々な機能化が可能になる。

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0件)

〔学会発表〕(計1件)

“Microsystems for Minimally Invasive Medicine and Healthcare,” Y. Haga, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 2014, Toyama, (2014, Apr. 24) Toyama International Convention Center,

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
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

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

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

なし()

研究者番号：