HAL
open science

Conception et fabrication de microbobine RMN planaire rectangulaire sur substrat de Kapton

Meriam Khelifa

To cite this version:

Meriam Khelifa. Conception et fabrication de microbobine RMN planaire rectangulaire sur substrat de Kapton. 7ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2016, Saint-Nazaire, France. hal-01280186

HAL Id: hal-01280186

https://hal.science/hal-01280186v1

Submitted on 29 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception et fabrication d'une microbobine RMN planaire rectangulaire sur substrat de Kapton

M. Khelifa [1, 2,3], N. Ben Mansour [1, 2, 4], N. Yaakoubi [3], C. Dridi [1, 2], P. Picart [3], L. Fakri-Bouchet [4]

[1]CRMN, technopole de Sousse, Tunisie
[2] Université de Monastir, LIMA, FSM, Tunisie
[3] Université du Maine, LAUM, UMR CNRS 6613, France
[4]Institute of Analytical Sciences (ISA) – UMR CNRS 5280, INSA de Lyon, France

Meriam.khelifa.etu@univ-lemans.fr

Abstract

Design and fabrication of rectangular NMR microcoil on flexible substrate

In this paper, we describe the design fabrication of the flexible Radio frequency (RF) microcoils for Nuclear Magnetic Resonance (NMR), which have been constructed on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) technology and more particularly by using moulding process. This micro-sensor is a copper rectangular micro-coil (500 ×1000 µm²) on a flexible Kapton substrate. Three-dimensional numerical simulations of the electromagnetic proprieties of this coil were conducted using the commercial software COMSOL in order to link expected performances to the geometric parameters. Physical parameters of the equivalent electrical circuit were calculated.

1. Introduction

Aujourd'hui, l'intérêt de l'électronique miniaturisée n'est plus à démontrer, en particulier la technologie sur Silicium a montré sa faisabilité et sa performance [1]. Récemment, et avec l'essor de l'utilisation des polymères, on remarque un intérêt croissant pour l'électronique flexible [2]. Ce choix du substrat est justifié par les propriétés intrinsèques intéressantes (chimique, mécanique, bas coût, biocompatibilité…) des polymères développés pour cette nouvelle filière de l'électronique. Cela a permis d'innover dans le domaine de l'instrumentation pour le biomédical tels que la Résonnance Magnétique Nucléaire (RNM) pour l'imagerie ou la spectroscopie [3-4]. La sensibilité du signal RMN peut être améliorée grâce à l'optimisation du rapport signal sur bruit du micro-capteur. Pour augmenter le SNR en RMN, il existe essentiellement trois approches: soit par l'augmentation de l'intensité du champ magnétique statique, soit par le refroidissement des micro-bobines [5] soit par la diminution de la taille des capteurs RMN [6].

Dans ce papier, nous décrivons le procédé de fabrication d'une micro-bobine radio fréquence (RF) miniaturisée flexible dédiée pour la (RMN). Cette micro-bobine est de forme rectangulaire (500×1000 µm²) réalisée sur substrat de kapton. L'utilisation des substrats

flexibles dans cette application permet d'adapter le micro-capteur à la forme de l'échantillon d'étude et d'augmenter ainsi la sensibilité [3-4].

2. Modélisation de la micro-bobine

La micro-bobine a été simulée en utilisant l'approche quasi statique et en résolvant les équations de Maxwell par la méthode des éléments finis FEM. Le modèle utilisé [7] pour la simulation fournit des paramètres physiques relatifs à la micro-bobine tel que le champ magnétique pour une excitation donnée, l'inductance, la résistance interne. Pour une excitation de 1A et à une fréquence de 300MHz on obtient, pour la micro-bobine de géométrie rectangulaire optimisée (1000µmx500µm), un champ magnétique de 0,94 T (figure 1), une inductance de 12,7nH et une résistance interne de 0,18Ω avec un temps de résolution de l'ordre de la minute.

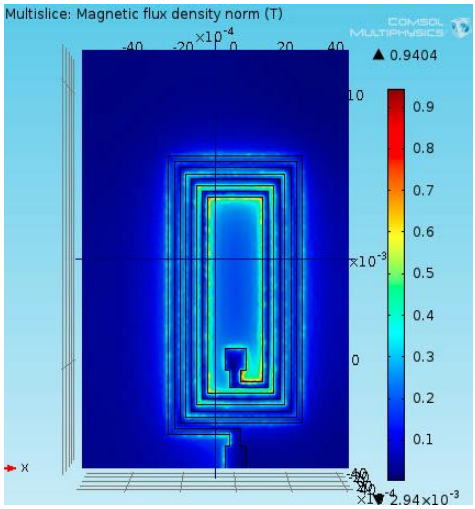


Figure 1 : Distribution de densité du flux magnétique le long de la micro-bobine

3. Procédé de fabrication de la micro-bobine

Le procédé utilisé pour la fabrication de la micro-bobine est le micromoulage. Cette technique consiste à concevoir par photolithographie, un moule épais en résine, qui sera un support pour faire croître une couche épaisse de cuivre électrodéposée de l'ordre de quelques micromètres.

La réalisation exige trois niveaux de masques. Le premier servira à réaliser les underpass, le second sera dédié à la mise en place des vias et le troisième permettra la génération de la structure de la micro-bobine (figure 2).

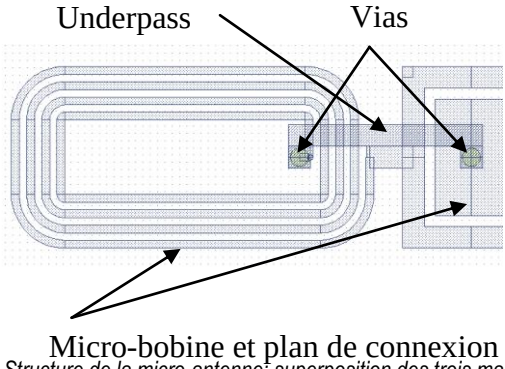


Figure 2 : Structure de la micro-antenne: superposition des trois masques

3.1 Description détaillée des étapes de fabrication des micro-bobines

Avant de commencer la manipulation, le substrat de Kapton nécessite un nettoyage, réalisé grâce à un bain d'acétone puis d'isopropanol. On effectue ensuite un traitement de surface qui a été optimisé en termes d'énergie de surface dans un travail ultérieur [8]. Ce traitement consiste à plonger pendant 20 minutes le substrat dans un bain d'éthanol soumis à des ultrasons.

Le procédé commence par la réalisation des underpass en or, servant à relier la structure de la micro-bobine au plan de masse. Le choix de l'or est motivé par sa faible résistivité.

La méthode utilisée pour ces underpass est le « lift-off ». Cette méthode nécessite tout d'abord le dépôt d'une couche de résine de type inversible AZ5214 de 1.2 µm d'épaisseur. Après enduction, la résine est soumise à un chauffage à 95°C pendant une minute. A l'aide du premier masque le substrat est ensuite insolé avec une énergie de 90 mJ/cm², puis soumis à un recuit de 115°C pendant 2 min. On insole tout le substrat une seconde fois avec une énergie de 300 mJ/cm² puis on développe la résine.

L'induction étant réalisée, on dépose par pulvérisation cathodique une première couche d'accroche de 50 nm de chrome et une seconde couche de 500 nm d'or sur toute la surface du Kapton. Pour finaliser, les empreintes des underpass, on immerge le substrat dans un bain d'acétone soumis à des ultrasons (figure 3).

a) Dépôt de résine et métallisation b) Obtention des « underpass »

Figure 3 : Réalisation des " underpass "

Après l'obtention des underpass, le substrat est recouvert d'une couche mince de l'ordre de 1µm de dioxyde de silicium obtenu par PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition). Cette couche permet l'isolation électrique entre l'underpass et le conducteur principal. Ensuite, on effectue une lithographie avec le second masque afin de réaliser la reprise des contacts (via) sur la couche métallique. L'ouverture des vias est ensuite faite par gravure de la couche isolante par Plasma (figure 4).

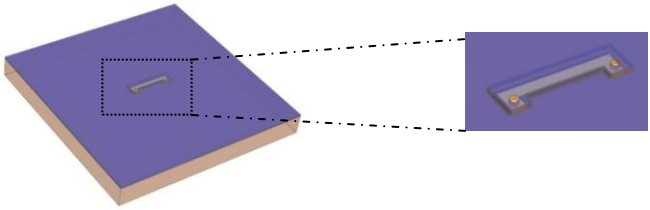


Figure 4 : Passivation et réalisation des Vias

Une fois les vias gravés, on dépose dans un premier temps une couche d'accroche composée de 10 nm de Chomre et de 100 nm de cuivre sur l'ensemble du substrat par pulvérisation cathodique. Une lithographie avec le troisième masque est ensuite réalisée. La résine utilisée ici est une résine négative épaisse commercialisée sous le nom de SU-8 2025. Le tableau ci-dessous résume les différentes étapes pour obtenir une résine uniforme d'épaisseur 60 µm.

Enduction	Pré-recuit	Insolation	Recuit final	Développement
1500 tr/min 30s	3 min à 65 °C 7 min à 95 °C	500 mJ/cm²	1 min à 65 °C 7 min à 95 °C	7 min

Tableau 1 : Paramètres d'enduction et de photolithographie.

La figure 5 présente une image MEB du moule obtenu montrant la forme de la micro-bobine.

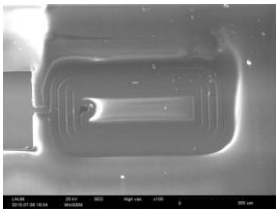
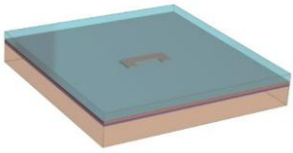


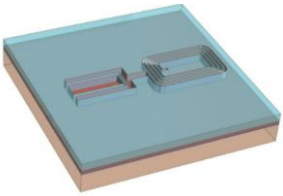
Figure 5 : Image MEB du moule en résine SU-8 2025

La micro-bobine qu'on vise à réaliser comporte 4 spires de 20 µm de large espacés de 22 µm, et d'épaisseur de 40µm. Le dépôt d'une couche de cuivre nécessite une électrodéposition. Ce type de dépôt se base sur le principe de l'électrolyse pour la croissance des couches métalliques sur des surfaces conductrices. Il s'agit d'un processus permettant, la transformation de l'énergie électrique en énergie chimique. Le dispositif utilisé comporte deux électrodes, l'anode (cuivre massif) et la cathode (le substrat), le tout est immergé dans un bain de sulfate de cuivre et relié à une source de courant. La vitesse de dépôt dépend essentiellement de la densité de courant. Une fois le moule électrodéposé, on pulvérise une couche d'or, servant à protéger le cuivre de l'oxydation. Le moule est enlevé par immersion du substrat dans un bain de « remover » spécifique pour la résine SU-8. Finalement, la sous-couche conductrice est gravée par voie humide afin d'isoler électriquement les pistes (figure 6).

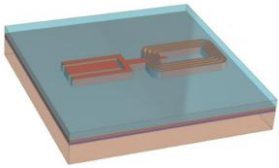
a) Dépôt de la couche d'accroche



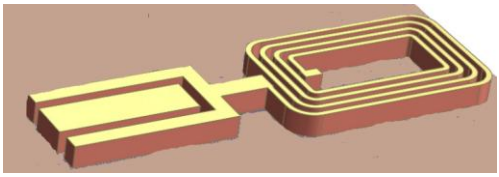
b) Dépôt de la résine Su-8



c) Photolithographie



d) Electrodéposition du cuivre



e) Gravure

Figure 6 : Procédé de micromoulage

La figure 7 montre un essai de réalisation de micro-bobine sur un substrat de Kapton de 125µm d'épaisseur.

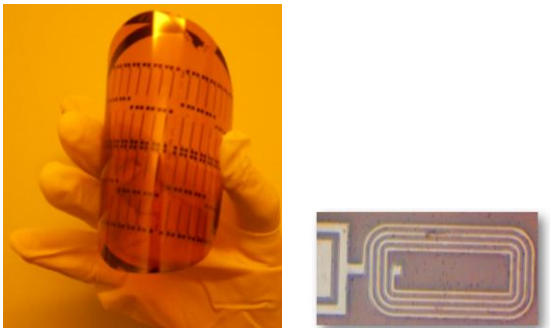


Figure 7 : Exemple de micro-bobine sur kapton de 125 µm

4. Conclusions et perspectives

Au cours de ce travail préliminaire, nous avons optimisé l'architecture de la micro-bobine par des modélisations sous COMSOL. Nous avons présenté par la suite une description de procédé de fabrication. Ceci nous permettra par la suite d'évaluer les caractéristiques électriques de la micro-antenne et son application dans des tests in situ ou encore in vivo pour le suivie des maladies neuro-dégénératives.

Remerciements

Ce travail est supporté par le Ministère de l'*Enseignement supérieur* et de la Recherche Scientifique ainsi par le projet de coopération Franco-Tunisien "µSESAME" 14G1109, PHC-UTIQUE 2014 (CMCU).

Bibliographie

[1] H. Fanet. Micro et nano-électronique : Bases, composants, circuits. Dunod, 2006.

[2] https://lejournal.cnrs.fr/articles/demain-lelectronique-flexible Site consulté en juin 2015.

[3] M. Couty, M. Woytasik, J.-C. Ginefri, A. Rubin, E. Martincic, M. Poirier-Quinot, L. Darrasse, F. Boumezbeur, F. Lethimonnier, M. Tatoulian and E. Dufour-Gergam : Fabrication and Packaging of Flexible Polymeric Microantennae for in Vivo Magnetic Resonance Imaging, Polymers (2012), 4, 656-673, doi : 10.3390/ polym4010656.

[4] M. Woytasik, J.-C. Ginefri, J.-S. Raynaud, M. Poirier-Quinot, E. Dufour-Gergam, J.-P.Grandchamp,

O. Girard, P. Robert, J.-P. Gilles, E. Martincic, L. Darrasse: Characterization of flexible RF microcoils dedicated to local MRI, Microsyst Technol (2007), issues 13, 1575-1580, doi 10.1007/s00542-006-0277-x.

[5] M. Poirier-Quinot, J.-C. Ginefri, O. Girard, P. Robert, L. Darrasse: Performance of a miniature high-temperature superconducting (HTS) surface coil for in vivo microimaging of the mouse in a standard 1.5 T clinical whole-body scanner. Magnetic Resonance in Medicine Vol. 60, issue 4, pp 917–927 (2008).

[6] N. Baxan, H. Rabeson, G. Pasquet, J.-F. Chateaux, A. Biriguet, P, Morin, D. Graveron-Demilly, L. Fakri-Bouchet: Limit of detection of cerebral metabolites by localised NMR spectroscopy using MicroCoils, C. R. Chimie, Vol. 11, issues 4-5, pp 448–456 (2008).

[7] N. Ben Mansour, C. Dridi, N. Yaakoubi, L. Fakri-Bouchet: Implantable NMR microcoil: Design, Numerical Simulation and Fabrication, Madica, 5-7 Novembre (2014), Mahdia,Tunisie.

[8] L. Guedri-Knani, M. Khelifa C. Dridi, N. Yaakoubi: Surface properties tuning of functionalized flexible materials for implantable microsystems development, E-MRS2014, 26-30 Mai (2014), Lille, France.