



**HAL**  
open science

# Modélisation du contact résistif de micro-commutateurs MEMS RF

Fabienne Pennec, David Peyrou, Patrick Pons

► **To cite this version:**

Fabienne Pennec, David Peyrou, Patrick Pons. Modélisation du contact résistif de micro-commutateurs MEMS RF. 11ème Journées Nationales du Réseau Doctoral en Microélectronique (JN-RDM 2008), May 2008, Bordeaux, France. hal-00431029

**HAL Id: hal-00431029**

**<https://hal.science/hal-00431029>**

Submitted on 10 Nov 2009

**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.

# Modélisation du contact résistif de micro-commutateurs MEMS RF

Fabienne PENNEC  
Université Toulouse Paul Sabatier  
Laboratoire LAAS –CNRS  
7, av. du Colonel Roche  
31077 TOULOUSE cedex 4

David PEYROU  
Patrick PONS  
LAAS-CNRS

**Email :** fpennec@laas.fr

## Résumé

*Les principales limitations des micro-commutateurs MEMS RF à contact ohmique sont liées à la qualité, à la répétitivité du contact et à sa fiabilité. Afin de proposer de nouvelles générations de structures MEMS RF, il est important d'acquérir de meilleures connaissances de la physique du contact pour pouvoir choisir des matériaux, une topologie et une architecture les mieux appropriés. Dans ce contexte l'outil de simulation en éléments finis est utilisé pour mesurer l'impact des matériaux constituant le contact et de chaque paramètre de design sur les caractéristiques mécaniques et électriques du contact. Dans ce papier nous présentons notamment une nouvelle approche qui combine la caractérisation de surface avec l'analyse en éléments finis pour simuler le contact entre des profils réels de surface. Cette méthode d'ingénierie inverse nous permet de mesurer l'impact de la rugosité sur la résistance de contact du micro-commutateur.*

## 1. Introduction

L'apparition des micro systèmes électro- mécaniques radio fréquences au cours des années 1990 a bouleversé le monde de la microélectronique, en permettant l'intégration (hybride ou monolithique) de fonctions électromécaniques miniatures avec les circuits microélectroniques [1]. Cette nouvelle technologie laisse entrevoir des possibilités vertigineuses : exceptionnelles performances hyperfréquences, grande linéarité et faible consommation.

Toutefois il a été identifié que les principales limitations des structures MEMS RF à contact ohmique sont dues à la qualité, à la répétitivité et à la fiabilité du contact. Le microcontact métallique constitue un verrou technologique puisqu'il introduit une résistance de contact et ainsi des pertes d'insertion à l'état bas. Par ailleurs, il est source d'importants mécanismes de défaillances tels que le durcissement de la zone de contact, des phénomènes de stiction due à la micro-fusion, de transport de matériaux, de dépôts organiques autour de la surface de contact. Afin de proposer de nouvelles générations de structures MEMS RF, il est important d'avoir une meilleure vision de la physique du contact pour pouvoir choisir des matériaux, des

topologies et des architectures appropriées. Il doit être souligné par ailleurs que l'insertion des MEMS dans des architectures réelles nécessite de nos jours une tension d'actionnement et des dimensions réduites, un meilleur contrôle du comportement électrique et électromécanique ce qui confère plus d'importances aux effets de surface, à leur compréhension et à leur modélisation.

Dans ce contexte, on se propose de modéliser le microcontact et d'utiliser l'analyse en éléments finis pour optimiser les paramètres structuraux du contact. Après simulation du contact entre surfaces lisses pour analyser l'effet de paramètres de design ainsi que des matériaux constituant le contact, nous prenons en compte les effets de surface et décrivons ainsi une nouvelle approche utilisant la méthode d'ingénierie inverse pour générer le profil de la surface réelle et simuler le contact entre surfaces rugueuses. La méthodologie employée peut se révéler comme un outil TCAD (technology computer-aided design) très efficace pour l'analyse de l'impact des matériaux, de la rugosité, du procédé technologique, de la topologie sur la qualité et la répétitivité du contact de MEMS RF.

## 2. Choix de l'outil de simulation pour l'analyse du micro-contact résistif

### 2.1 Intérêt de l'analyse en éléments finis

L'étude du contact de micro-commutateurs MEMS RF peut être réalisée par des mesures expérimentales sur des structures tests utilisant un banc d'essai. Cependant, il n'est pas toujours évident d'intégrer de nouveaux matériaux de contact et les tests expérimentaux sont souvent éloignés des conditions réelles sous lesquelles opèrent les micro-commutateurs. En particulier, les tests peuvent difficilement reproduire la géométrie de la structure, la géométrie du contact ou encore la force de contact. L'outil de simulation peut alors se révéler comme précieux et efficace pour l'étude du comportement du contact. La modélisation numérique permet de nous donner des lignes conductrices dans le choix des paramètres de design et des matériaux utilisés et devra être complété par des tests expérimentaux. Mais sachant qu'en technologie silicium nous sommes limités dans le

choix de matériaux, que le procédé de fabrication doit être optimisé pour chaque matériaux, pour chaque topologie, cela peut prendre plusieurs mois pour mettre au point un seul matériau, ou encore une seule forme de contact, alors qu'avec l'amélioration des outils de calcul, il est possible d'obtenir les premiers résultats en quelques heures. La simulation permet alors d'améliorer la technologie existante, et de réduire simultanément le temps de recherche et de développement.

## 2.2 Sélection du logiciel de simulation

Pour simuler des problèmes de contact mécanique, nous avons besoin d'un logiciel bien développé, permettant de mener une analyse en éléments finis pour modéliser des structures qui viennent en contact rapidement et efficacement sollicitant un minimum d'effort de notre part. ANSYS, outil très utilisé dans l'industrie, se révèle être un excellent candidat pour simuler ce genre de problème fortement non linéaire et présente l'originalité de pouvoir simuler des problèmes de contact qui abordent plusieurs physiques, telle que la conduction thermique ou la conduction de courant électrique à travers l'aire de contact.

## 3. Modélisation du microcontact lisse

La plupart des micro-commutateurs MEMS RF rencontrés dans la littérature utilise le matériau or pour réaliser le contact résistif. L'or pur a en effet l'avantage d'atteindre de faible résistance de contact en raison de sa faible dureté et de sa faible résistivité [2, 3, 4]. Par ailleurs sa température de fusion est relativement élevée pour un matériau mou et ce matériau présente peu d'oxydation ou de contamination en surface. Cependant la faible dureté de l'or est aussi à l'origine d'une augmentation importante de la résistance de contact au cours des cycles et entraîne des problèmes de stiction due à la micro-fusion du contact. Il peut être alors intéressant de tester de nouveaux matériaux, plus durs, afin d'augmenter la fiabilité de nos micro-commutateurs.

On peut également étudier l'impact de la géométrie du plot de contact et de l'indenteur, ainsi que l'empilement des couches sur l'aire de contact, la distribution de la pression de contact et des contraintes à l'interface de contact.

Nous présentons la méthodologie de modélisation et simulation dans la figure 1. Un exemple de modèle axisymétrique modélisé sous ANSYS est ensuite illustré en figure 2.

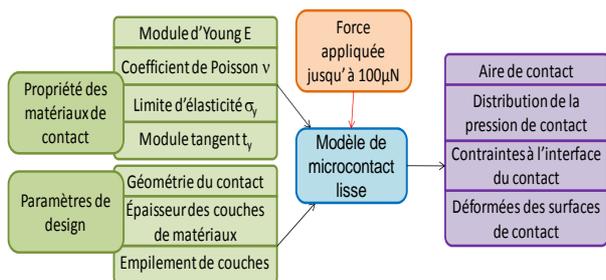


Figure 1. Méthodologie de modélisation et simulation du contact lisse

Ces modèles de contact, simples à mettre en place, nous offrent quelques grandes lignes conductrices dans le choix des matériaux et de la géométrie du contact. Cependant, les faibles forces de contact engendrées lors de l'actionnement des structures mobiles confèrent plus d'importances aux effets de surfaces. Jusqu'ici ces effets étaient ignorés de l'analyse à cause de la difficulté à générer un modèle de surface rugueuse et à simplifier le modèle pour réduire le temps de calcul. Avec l'amélioration des méthodes de modélisation et de calculs, il devient possible d'intégrer le profil réel de la surface dans la simulation du contact.

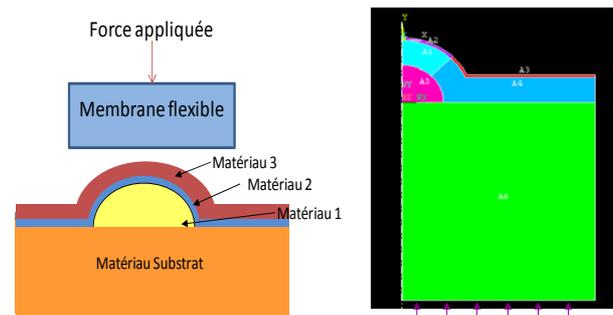
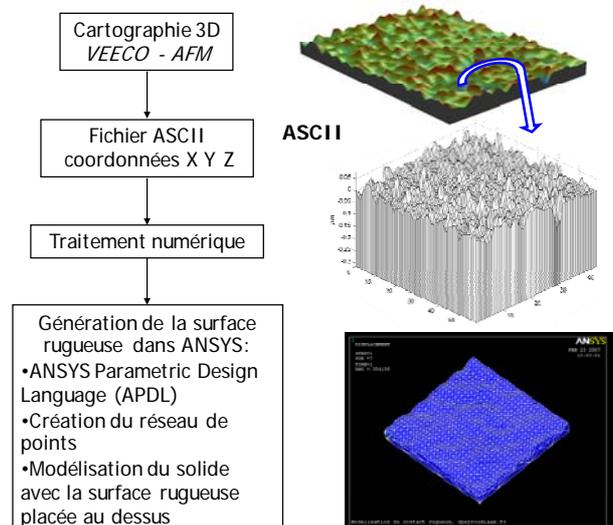


Figure 2. Exemple de modèle de contact et modèle axisymétrique réalisé sous ANSYS.

## 4. Modélisation du microcontact rugueux

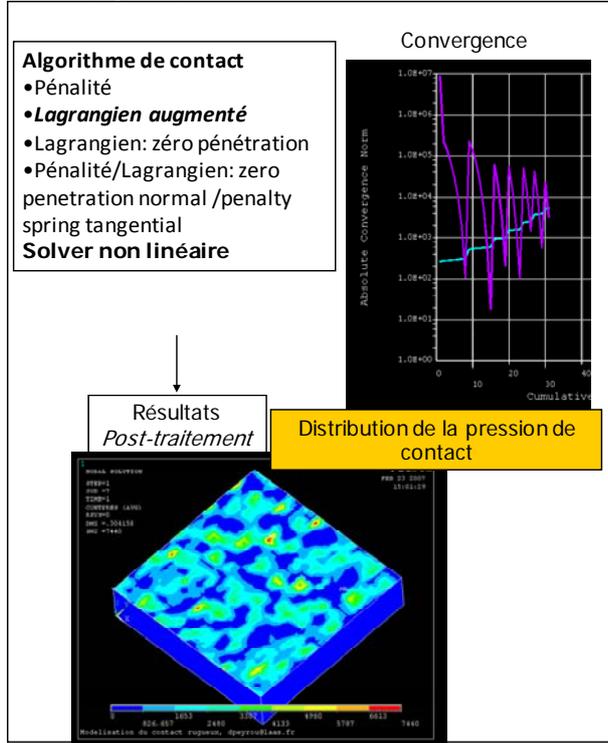
### 4.1 Méthodologie

L'originalité de ce travail repose sur une nouvelle approche utilisant la méthode d'ingénierie inverse pour générer la forme réelle de la surface. Ainsi, on utilise un profilomètre optique ou un microscope à force atomique pour enregistrer les données 3D de la surface du matériau de contact. Puis, utilisant les fonctions Matlab, on convertit le fichier de points en un fichier ASCII compatible avec le langage de design paramétré d'ANSYS (APDL). L'étape finale consiste à créer la surface rugueuse à partir des points issus du fichier importé. Puisque les points ne sont pas coplanaires, ANSYS utilise les patches de Coon pour générer la surface. La méthode est décrite entièrement dans la figure 3.



**Figure 3. Description de la méthode d'ingénierie inverse**

Pour réaliser l'analyse en éléments finis du contact, nous choisissons une méthode combinant les méthodes de pénalité et des multiplicateurs de Lagrange appelé la méthode du Lagrangien augmenté. Il s'agit d'une série d'itérations de méthode de pénalité avec contrôle de la pénétration. Le post traitement d'ANSYS génère ensuite la distribution de pression de contact sur la surface de contact (figure 4).



**Figure.4 Algorithme de contact et post-traitement dans ANSYS**

A partir de la distribution de pression et de la taille de chaque spot de contact, il est ensuite possible de déduire la résistance de contact électrique à partir de formules analytiques (Résistance de Maxwell en constriction ohmique, résistance de Sharvin en modèle balistique [5]).

Le modèle que nous utilisons a été publié par J. A. Greenwood en 1966 [6, 7 8]. On considère que les spots de contact sont de forme circulaire et localisés à l'intérieur d'une surface de contact apparente. La formule simplifiée est la suivante :

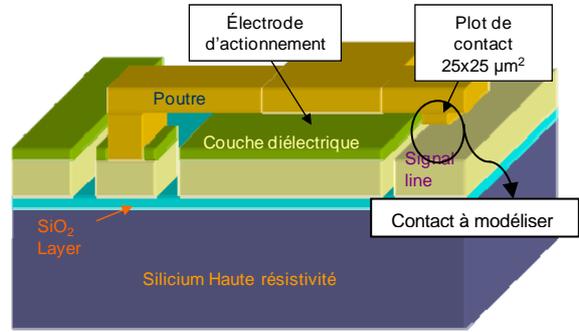
$$R_c = \frac{\rho}{2 \sum a_i} + \frac{\rho}{\Pi n^2} \sum_{i \neq j} \sum \frac{1}{d_{ij}}$$

Où  $\rho$  est la résistivité,  $a_i$  le rayon du spot  $i$ ,  $d_{ij}$  la distance entre les centres des spots  $i$  et  $j$  et  $n$  le nombre de spots.

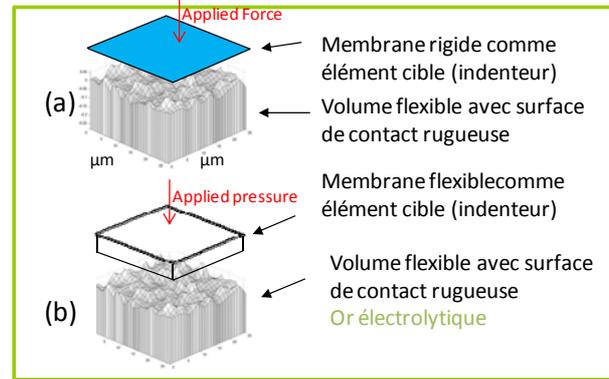
#### 4.2 Exemple d'analyse de microcontact résistif

On considère une structure mobile poutre à actionnement électrostatique, représentée sur la figure 5. Le contact métal-métal est réalisé par l'intermédiaire d'un plot de contact recouvert d'or évaporé de dimension  $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ . Un relevé de la topographie de l'or électrolytique de la ligne de signal en regard avec le plot de contact est réalisé au profilomètre optique. La rugosité de la surface de contact peut ainsi être générée sous

ANSYS. La membrane du plot est considérée comme lisse puisque l'or est évaporé sur de la photo-résine sacrificielle. Deux modèles sont réalisés avec le logiciel ANSYS et présentés sur la figure 6. Dans le premier modèle la membrane du plot qui indente la ligne de signal est considérée rigide. Dans le deuxième modèle, cette même membrane est considérée flexible et ayant les propriétés matérielles de l'or évaporé.

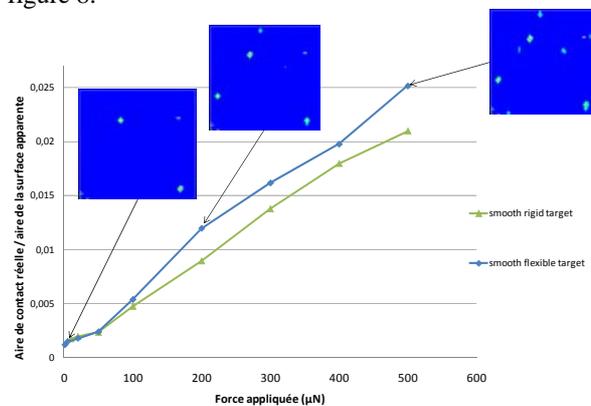


**Figure.5 définition du modèle de la microstructure**



**Figure.6 modèles du contact implémentés sous ANSYS**

Le rapport entre l'aire de contact réelle mécanique et l'aire de contact apparente pour une force appliquée allant de 10 à 500  $\mu\text{N}$  est illustré sur la figure 7. Les résultats sont présentés pour des membranes rigide et déformable. La résistance de tous les spots de contact isolés en parallèle est ensuite calculée. Puis on ajoute la résistance due à leur interaction pour obtenir la résistance de contact de la microstructure. Les résultats sont illustrés sur la figure 8.



**Figure.7 Rapport entre aire de contact mécanique et aire de contact apparente versus la force appliquée**

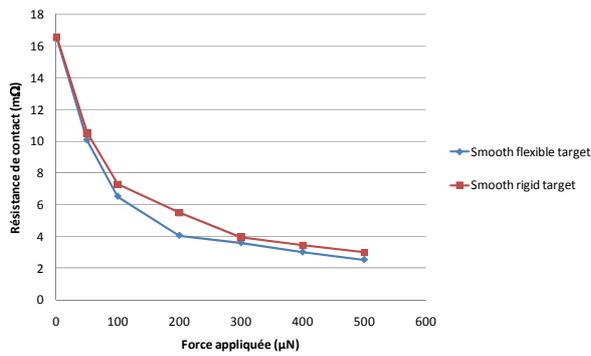


Figure.8 Résistance de contact versus la force appliquée

## 5. Conclusion

La course constante à la miniaturisation et à la minimisation de la consommation électrique des micro-commutateurs MEMS RF donne toujours plus d'importance aux effets de surface, à leur compréhension et à leur modélisation. L'outil de simulation peut se révéler alors comme un outil très précieux pour apporter de nouvelles connaissances sur le microcontact résistif de ces structures

Nous avons présenté ici une méthode originale qui intègre la topographie de la surface dans le calcul en éléments finis. Cette nouvelle méthode est un outil TCAD très efficace pour analyser l'impact des matériaux, de la rugosité, du procédé technologique et de la topologie sur la qualité et la répétabilité du contact des micro-commutateurs. Elle peut également se révéler comme un outil novateur pour étudier les mécanismes physiques de détérioration des surfaces de contact.

## Références

- [1] Tilmans H A C, De Raedt W and Beyne E 2003 MEMS for wireless communications *Journal of Micromechanics and Microengineering* 139-163
- [2] Schimkat J 1998 Contact materials for microrelays *Proc. IEEE MEMS '98 Heidelberg Germany* 190-193
- [3] Hyman D and Mehregany M 1999 Contact physics of gold microcontacts for MEMS switches *IEEE Trans. On components and packaging technology* **22** No3 357-364
- [4] Rebeiz G 2003 RF MEMS Theory, Design and Technology New Jersey: Wiley
- [5] B. Nikolic and P.B. Allen, Electron transport through a circular constriction, *Phys. Rev. B*, vol. 60, no. 6, pp. 3963-3969, 1999.
- [6] L. Boyer, Contact resistance calculations: generalizations of Greenwood's formula including interface films, *IEEE Transactions on components and packaging technologies*, vol. 24, NO. 1, March 2001
- [7] J. A. Greenwood, Constriction resistance and the real contact area of contact, *Brit. J. Appl. Phys.*, vol. 17, pp. 1621-1632, 1966.