HAL
open science

Compensation par conception de la dilatation thermique de micro-interrupteurs RF

Quynh Huong Duong, Xavier Lafontan, Dominique Collard, Lionel Buchaillot, Petra Schmitt, Patrick Pons, F. Pressecq

To cite this version:

Quynh Huong Duong, Xavier Lafontan, Dominique Collard, Lionel Buchaillot, Petra Schmitt, et al.. Compensation par conception de la dilatation thermique de micro-interrupteurs RF. 17e Congrès Français de Mécanique, 2005, Troyes, France. hal-04270490

HAL Id: hal-04270490

https://hal.science/hal-04270490

Submitted on 4 Nov 2023

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.

Compensation par conception de la dilatation thermique de micro-interrupteurs RF

Q.-H. Duong [1, 2], X. Lafontan [3], D. Collard [1], L. Buchaillot [1], P. Schmitt [3], P. Pons [4], F. Pressecq [2]

[1] *IEMN CNRS UMR 8520, Département ISEN, Cité Scientifique, Av. H. Poincaré, 59652 VILLENEUVE d'ASQ*

[2] *Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), 18 av. E. Belin, 31401 TOULOUSE*

[3] *NOVAMEMS, 14 quai du 19 mars 1962, 09700 SAVERDUN*

[4] *LAAS, 7 av. Col. Roche, 31077 TOULOUSE*

Résumé :

Cet article étudie les effets de la température sur le comportement de différentes géométries de micro-interrupteurs RF métalliques. Il présente une approche pour compenser la dilatation thermique des micro-interrupteurs par l'optimisation de la conception. A partir d'une géométrie initiale, nous cherchons des optimisations de la conception pour pouvoir réduire la sensibilité en température.

Abstract :

Nous examinons les effets de la température sur le comportement de différentes géométries de micro-interrupteurs RF métalliques. Une approche pour compenser la dilatation thermique des micro-interrupteurs RF MEMS par l'optimisation de la conception est présentée. En effet, à partir d'une géométrie initiale montrant une grande sensibilité en température, nous cherchons des optimisations de la conception pour pouvoir réduire cette sensibilité critique en température. Des simulations par éléments finis ont permis d'extraire des géométries optimisées. Et des structures de test de ces interrupteurs ont été conçues et évaluées. Avec des essais en température, nous avons pu extraire une géométrie particulière qui offre une faible dilatation thermique de la structure. Des essais complémentaires de fluage ont permis d'évaluer la fatigue thermique due à de nombreux cycles thermiques de ces interrupteurs

Mots clefs :

Relaxation de contrainte, analyse de défaillance, étude thermique, micro-interrupteurs RF

1 Introduction

Les micro-interrupteurs RF MEMS suscitent un fort intérêt parmi la communauté scientifique, et beaucoup de travaux ont été effectués pour limiter leurs mécanismes de défaillance tels que la fatigue, la stiction, le claquage du diélectrique etc… Cependant très peu d'études ont été faites sur la fiabilité de ces interrupteurs sous différentes conditions environnementales [1]. Parmi ces conditions, la température constitue un vecteur important de défaillance car elle dilate le pont des interrupteurs et accroît ainsi leur tension d'actionnement.

2 Technologie et méthodologie

2.1 Description de la technologie

Les micro-interrupteurs et structures de test étudiés sont conçus et fabriqués au LAAS [2]. Ils sont basés sur le modèle de l'interrupteur de Rockwell [3]: un pont en or est ancré sur les lignes de masse d'une ligne coplanaire et enjambe la ligne de signal (cf. Figure 1a&1b). Une couche de 0.5µm de SiO_2 et de 0.6µm de Si_xN_y permettent d'isoler électriquement le substrat en silicium. Les lignes sont composées de 2µm d'or déposé par pulvérisation cathodique qui est le matériau utilisé pour réduire la rugosité et optimiser le C_{on}. Le pont est fait de 1.1µm d'or obtenu là encore par pulvérisation. Une résine polymère est utilisée pour former la couche sacrificielle et est gravée ensuite par plasma O_2.

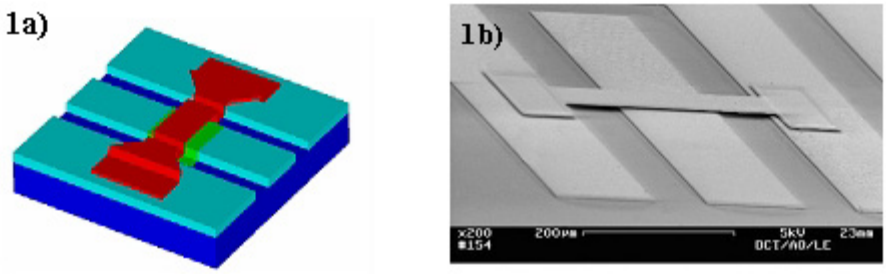

FIG. 1 –Topologie générale des ponts.
a) image schématique de l'interrupteur. b) image de l'interrupteur provenant d'un microscope électronique à balayage (MEB)

2.2 Dispositif de mesure

Les mesures de déformation des structures de test sont menées avec le microscope interférométrique, le ZoomSurf 3D de Fogale. Des pointes et un thermocouple sont adaptés sur le microscope afin d'obtenir les profils et les mesures à différentes températures et différentes étapes de fonctionnement de l'interrupteur. L'échelle des températures appliquées va de 22°C (Température ambiante) à 120°C. L'échantillon est chauffé grâce à un échangeur thermique à module Peltier. Chaque mesure de profil prend environ 2 minutes.

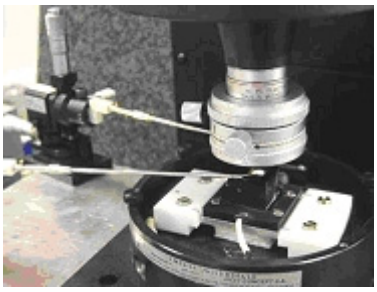

FIG. 2 –Dispositif de mesure en température.

3 Résultats expérimentaux

3.1 Topologie initiale

La géométrie initiale des interrupteurs est un pont encastré à chaque extrémité (Figure 3) et ne possède pas théoriquement de structure de relaxation. Lorsque la température est élevée, l'or du pont se dilate jusqu'à induire une contrainte supérieure à la contrainte critique de flambement. Si le pont se bombe vers le bas, une isolation non souhaitée du signal risque de se produire. Au

contraire, si le pont est bombé vers le haut, alors l'interrupteur ne pourra plus être commandé avec la tension d'actionnement initiale.

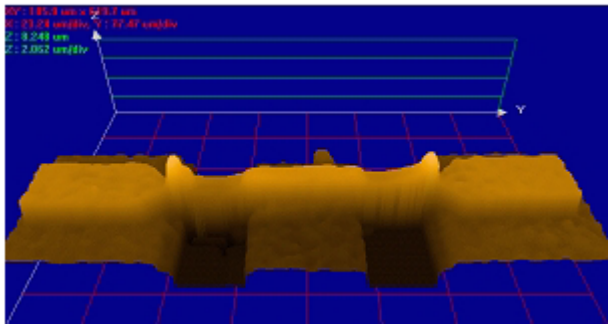

FIG. 3 –Profil 3D de l'interrupteur initial

La Figure 4 montre les profils obtenus à partir de mesures faites au microscope interférométrique. La Figure 4a) montre le profil d'un pont à différentes températures. Le gap augmente de manière significative à 80°C, atteignant presque le triple de sa valeur à température ambiante. Avec cette topologie l'interrupteur risque fortement d'être défaillant dès 50°C, car la tension d'actionnement double dès cette température (Figure 4b).

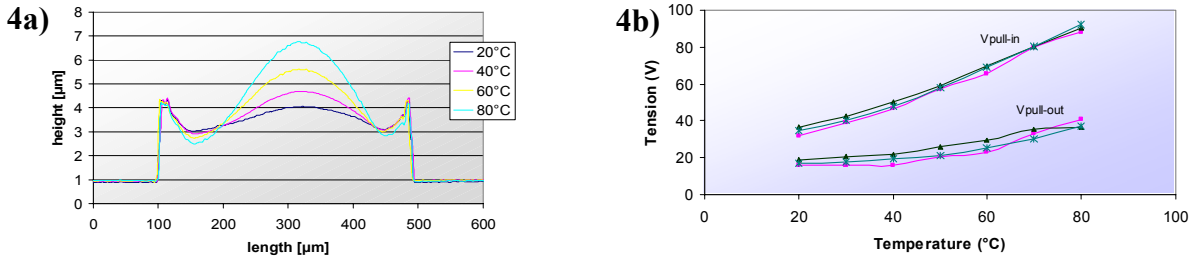

FIG. 4 – La géométrie initiale est très sensible à la température
a) Profil en fonction de la température. b) Influence de la température sur la tension de pull-in et pull-out

3.2 Optimisation de la conception

Des optimisations de la géométrie ont été effectuées afin de réduire cette sensibilité critique à la température. Le but de ces optimisations est d'inclure des zones de relaxation de contraintes qui puissent absorber la dilatation thermique. Grâce à des simulations par éléments finis (Figure 5), nous avons obtenu des géométries optimisées. Des prototypes de ces interrupteurs ont été fabriqués et évalués (cf. Figure 6).

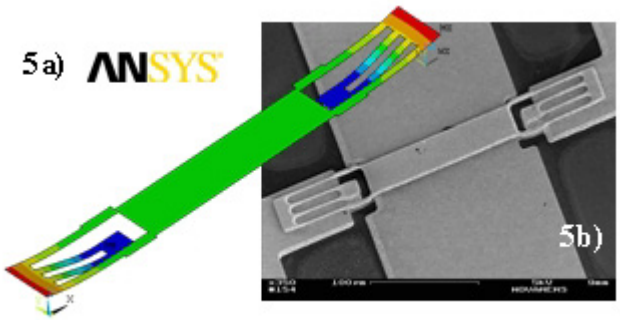

FIG. 5 –Simulation et réalisation de l'interrupteur optimisé
a) Vue 3D de la structure simulée. b) Photo MEB

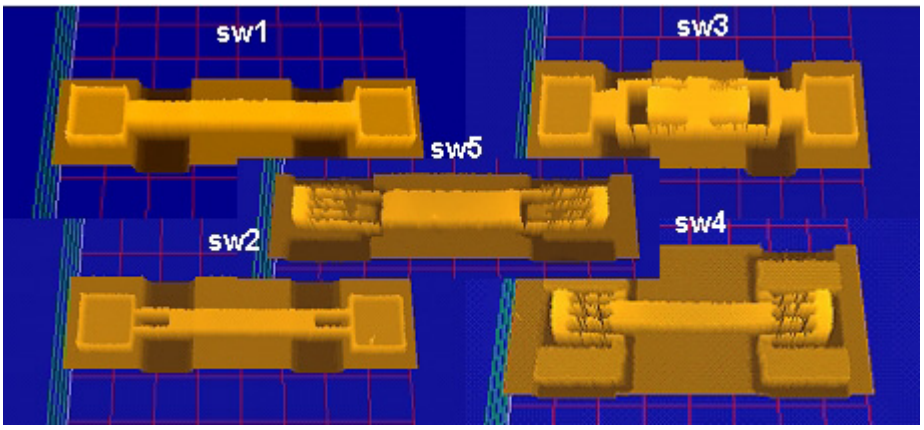

FIG. 6 – Topologie des structures optimisées

Les tests thermiques ont permis de mettre en avant une géométrie particulière, l'interrupteur sw5 qui offre une faible dilatation thermique de la structure. Les ponts ont été chauffés de la température ambiante jusqu'à 100°C. Le gap des ponts a été mesuré par pas de 25°C. Nous observons à la Figure 7 des déflexions positives (vers le haut) et négatives (vers le bas) de ces structures. Comme on peut le constater, les interrupteurs basés sur des géométries proches de l'initiale présentent toujours de fortes déflexions.

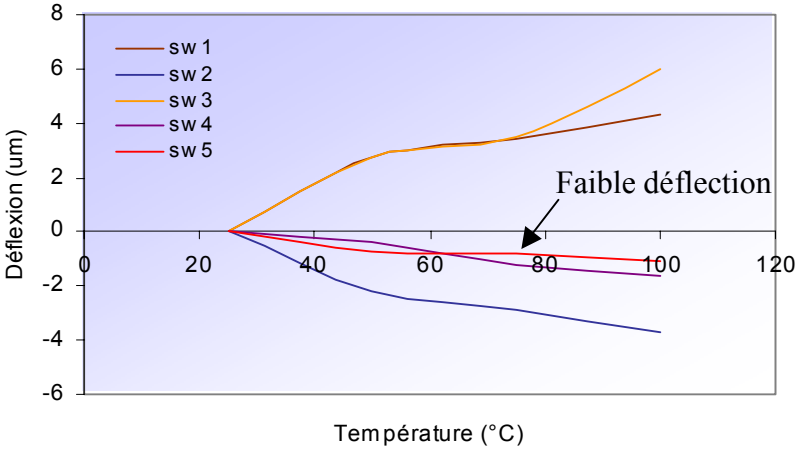

FIG. 7 – Influence de la température en fonction de la déflexion

Ces structures de tests ont également subi des essais en fluage. Le but de cette étude complémentaire est d'évaluer la fatigue thermique des membranes en or. Nous avons chauffé ces structures pendant 50 heures à 50°C température pour laquelle avec la topologie initiale, l'interrupteur est défaillant. La Figure 8 montre que la déflexion reste quasi constante en fonction du temps pour la plupart des topologies. Pour la géométrie optimisée, nous avons aussi observé au MEB la taille des grains avant les essais en fluage et après les essais, nous n'avons pas remarqué de différence apparente de celle-ci à cette température, qui est encore inférieur à 0,3 Tf (où Tf est la température de fusion de l'or).

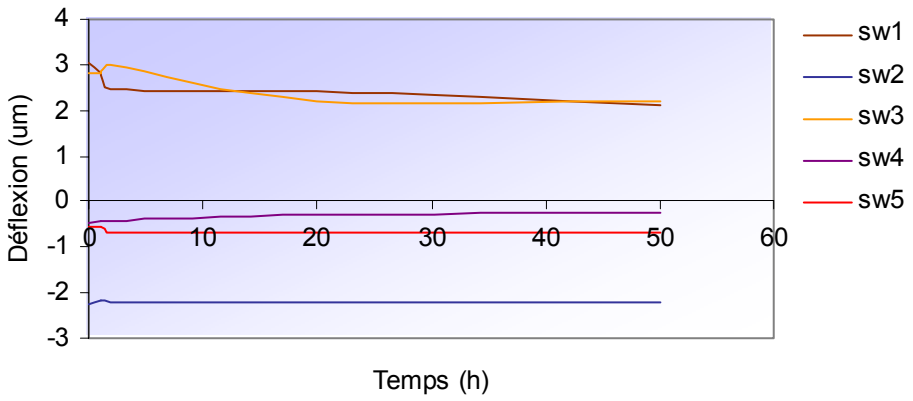

FIG. 8 – Déflexion en fonction du temps

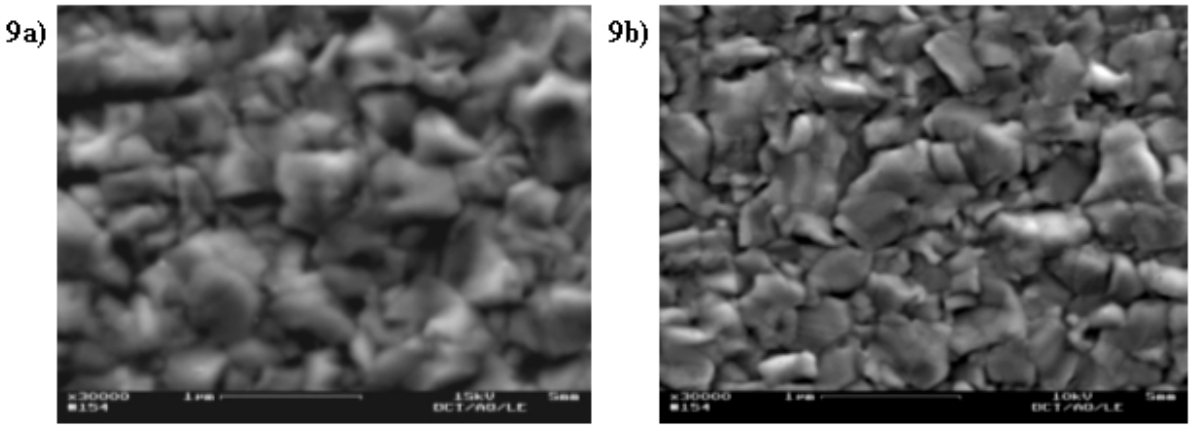

FIG. 9 – images MEB de la surface de l'or 9a) avant et 9b) après les essais en fluage

4 Conclusion

Les interrupteurs RF montrent une forte sensibilité à la température, mécanisme de défaillance catastrophique. Nous avons effectué plusieurs optimisations de géométrie afin d'amoindrir les effets de la dilatation. Les tests thermiques prouvent que ces optimisations nous permettent d'augmenter la plage de température de fonctionnement. D'autres essais de fluage sont en cours, notamment à des températures plus élevées et des durées d'essai plus longues, et nous allons aussi réaliser l'actionnement cyclique de ces interrupteurs à différentes températures.

References

[1] X. Lafontan, P. Schmitt, F. Pressecq, Q.H. Duong, D. Veyrié, P. Pons, J. Kuchenbecker ; Sensitivity of RF MEMS to environmental stresses ; 4th Workshop on MEMS for Millimeterwave Communications, MEMSWAVE, 2-4 July 2003, Toulouse, France

[2] K. Grenier ; Conception, Réalisation et caractérisation de structures micro-usinées sur Silicium: applications aux microsystèmes millimétriques ; Rapport de Thèse, LAAS, Toulouse, Novembre 2000

[3] E. R. Brown ; RF MEMS switches for reconfigurable integrated circuit ; IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. 46, No 11, Nov. 1998