HAL open science

Conception d'Antenne Spirale intégrée sur SOI à 60 GHz

Moussa Barakat, Christophe Delaveaud, Laurent Dussopt, Fabien Ndagijimana

To cite this version:

Moussa Barakat, Christophe Delaveaud, Laurent Dussopt, Fabien Ndagijimana. Conception d'Antenne Spirale intégrée sur SOI à 60 GHz. 16èmes Journées Nationales Microondes, May 2009, Grenoble, France. hal-00451815

HAL Id: hal-00451815

https://hal.science/hal-00451815

Submitted on 31 Jan 2010

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.

16èmes Journées Nationales Microondes
27-28-29 Mai 2009 Grenoble

Conception d'Antenne Spirale intégrée sur SOI à 60 GHz

Moussa Barakat[1, 2], Christophe Delaveaud[1], Laurent Dussopt[1], Fabien Ndagijimana[2]
CEA/ LETI[1], Minatec, 38054 Grenoble Cedex 9, France
IMEP-LAHC[2], Minatec - INPG ,3 Parvis Louis Néel, BP 257 F - 38016 Grenoble Cedex 1
Moussa.barakat@gmail.com

Résumé

La conception d'une antenne spirale intégrée sur SOI est décrite. L'impact de la structure d'alimentation de l'antenne spirale à double brin sur le coefficient de réflexion et le rapport axial est analysé. Un bon coefficient de réflexion avec une bande passante de 35 GHz à -10 dB et une bonne polarisation circulaire couvrant une intervalle d'angle élévation de 120° indépendamment de l'angle d'azimut sont obtenus. L'efficacité de rayonnement simulée est de 80 % avec un gain simulé de 4.3 dBi.

1. Introduction

La nécessité de réaliser des dispositifs miniatures qui communiquent avec des orientations variables nous amène à optimiser les structures rayonnantes afin de conserver un bilan de transmission aussi constante que possible. Une des simplifications de ces antennes dites « isotropes » est l'antenne spirale[1]. Sa large bande passante combinée avec son profil bas font d'elle une candidate idéale pour les applications de réseaux de capteurs aux fréquences millimétriques. Récemment, la technologie silicium sur isolant (SOI) a été développée pour répondre au besoin de rendement élevé associé à une faible consommation [1]. Les antennes imprimées intégrées sur des substrats CMOS traditionnels présentent une efficacité de rayonnement réduite qui peut être considérablement améliorée en employant un substrat fortement résistif comme le CMOS SOI [2]. La conception des antennes intégrées fonctionnant à 60 GHz est une question critique lorsqu'un rendement élevé est exigé. Dans cet article, nous présentons une implémentation d'une antenne spirale archimédienne intégrée sur SOI. Premièrement, nous décrivons la théorie de l'antenne spirale nécessaire pour avoir des bonnes propriétés de rayonnement. Ensuite. L'effet des paramètres géométriques est étudié dans le cas d'une intégration en technologie 0. 13 µm SOI de STMicroelectronics. Après, la structure spécifique d'alimentation est optimisée. Finalement, les résultats de coefficient de réflexion, du rapport axial et de diagramme de gain sont proposés.

2. Antenne spirale sur SOI

L'antenne double spirale archimédienne présente des meilleures caractéristiques que l'antenne simple [2]. En augmentant la fréquence, la taille physique de l'antenne duale diminue sans compromettre les performances globales de l'antenne. Une fois que ces antennes sont excitées par des lignes de transmissions équilibrées, ces configurations (double où simple) présentent des caractéristiques de large bande en termes d'impédance d'entrée, de diagramme de rayonnement et de la polarisation circulaire de champ rayonné. La bande de fréquence d'une antenne spirale est liée à la longueur des brins rayonnants. Si ces derniers sont courts par rapport à la longueur d'onde, le courant à l'extrémité n'aura pas été assez atténué. Cet effet entraînera la formation d'un courant réfléchi donnant des interférences avec le courant incident. Le courant réfléchi donne lieu à un rayonnement à polarisation circulaire de sens inverse à celui qui correspond au courant incident. Le sens de la polarisation du champ rayonné par l'antenne correspond au sens d'enroulement des brins, donc au sens de parcours de l'onde le long des brins.

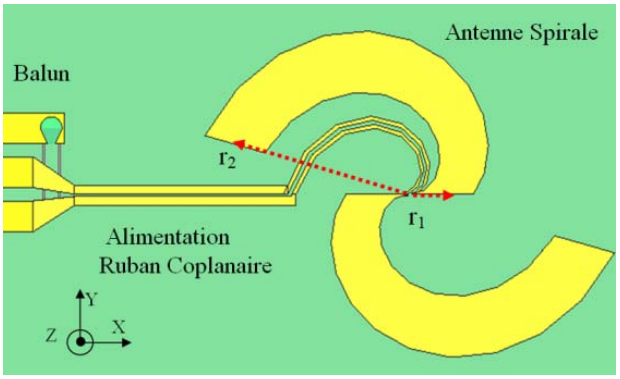

Figure 1 : Schéma de l'antenne spirale archimédienne double avec sa structure d'alimentation

La bande de fréquence de l'antenne spirale est déterminée théoriquement par les rayons externe r_2 et interne r_1 respectivement (*Figure 1*) et est donné par[1].

$$f_{Low} = \frac{c}{2\pi r_2 \sqrt{\varepsilon_{reff}}}, \; f_{High} = \frac{c}{2\pi r_1 \sqrt{\varepsilon_{reff}}}$$

Où *c est la vitesse de lumière*

ε_{reff} *est la permittivité effective de substrat SOI*

L'impédance d'entrée de l'antenne spirale est affaiblie à cause du substrat SOI. Pour surmonter ce problème, l'antenne est imprimée sur les six couches de cuivre de la technologie SOI, connectés par des vias métalliques, ainsi que sur la couche d'Alucap. L'objectif est d'optimiser les paramètres de l'antenne spirale pour

assurer une bonne adaptation à une entrée de 50 Ohms. L'effet de la largeur de brin de spirale W est étudié par rapport au coefficient de réflexion et au rapport axial. La largeur des brins est optimisée pour avoir une quasi adaptation à -10 dB. La *Figure 2* montre le coefficient de réflexion simulé de l'antenne spirale archimédien. Même si nous utilisons les six couches de cuivre (M1-M6) et la couche d'Alucap pour l'intégration de l'antenne sur SOI (épaisseur totale de ~6µm), l'impédance d'entrée est faible, et par conséquent le cœfficient de réflexion supérieur à 7 dB dans la bande passante de spirale avec 50 µm de largeur de brins. En augmentant la largeur des bras de 50 µm à 150µm, nous avons réussi à optimiser le coefficient de réflexion et améliorer l'adaptation.

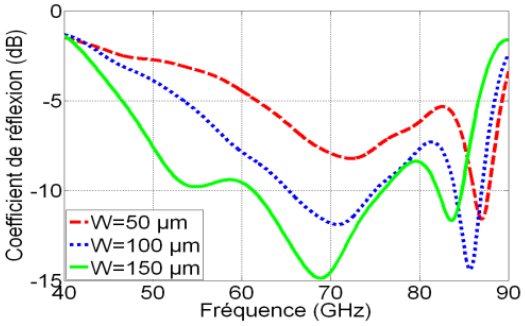

Figure 2 : Effet de Changement de largeur de brins sur S11

Le deuxième paramètre critique, étudié soigneusement pendant la conception de l'antenne spirale, est le rapport axial. Celui-ci caractérise la pureté polarisation circulaire de rayonnement. Un rapport axial égale à 0 est parfait ; un rapport axial de -5 dB est acceptable selon les applications.

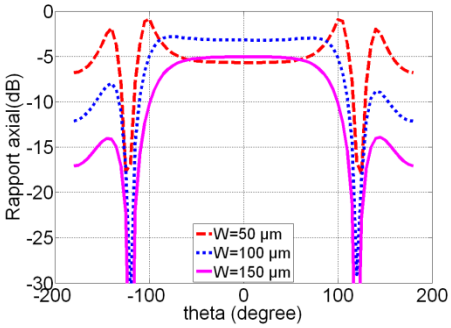

Figure 3 : Effet de Changement de largeur de brins sur S11

L'effet du changement de largeur de brin sur le rapport axial est étudié. La *Figure 3* présente le rapport axial à 60 GHz attribué à différentes largeurs de brins de l'antenne spirale, le même balayage de largeurs est utilisé lors de l'étude de cœfficient de réflexion exposé dans la *Figure 2*. Nous observons que le rapport axial est : inférieur à -5 dB pour les trois différentes largeurs, quasi constant pour une intervalle d'angle d'élévation de 120°.

3. Alimentation de l'antenne spirale

Le dispositif d'alimentation est un des problèmes essentiels que rencontre le concepteur des antennes spirales. Le fonctionnement de l'antenne spirale, dans son mode fondamental, est optimisé sur la base d'une structure idéale et équilibrée de deux fils d'alimentation. Plusieurs structures d'alimentation sont proposées dans la littérature, Gschwendtner E. [4] a utilisé une alimentation externe avec un Balun micro ruban intégré pour surmonter le problème d'alimentation centrale ; Gschwendtner E. [5] a utilisé un circuit du balun intégré sur un substrat perpendiculaire à la spirale pour assurer l'alimentation au centre de spirale ; [6] a utilisé une cavité arrière avec une alimentation coaxiale positionné verticalement sous le plan de la spirale pour réaliser une alimentation équilibrée ; Finalement Thaysen J. [7] a utilisé un Balun radiofréquence, intégrée sur une autre substrat qui est placé au dessus de l'antenne spirale. Notons que la structure d'alimentation (Figure 1) est parfois aussi encombrante que l'antenne elle même.

Les 50 Dans notre cas, nous prenons avantage du balun conçu par Thaysen J. [7], pour implémenter le balun intégrée sur le même substrat SOI. Il constitue le premier bloc de notre circuit d'alimentation.

Le circuit d'alimentation est composé de :

- Un plot radiofréquence, utilisé comme une interface entre la sonde de mesure sous pointes et l'antenne.
- Une Transition de ligne coplanaire CPW à ruban coplanaire CPS, contenant un balun qui a pour but d'optimiser l'alimentation et la rendre équilibrée.
- Un ruban coplanaire qui joue l'interface entre le balun et le ruban coplanaire spirale
- Un ruban coplanaire spiral forme l'alimentation déphasée de l'antenne double spirale archimédienne

Le principe du balun, composé de la ligne coplanaire et du ruban coplanaire séparés par une fente radiale et de liaisons métalliques enterrées (underpath), est expliqué dans la première partie de ce chapitre.

La structure de ruban planaire est conçue attentivement pour garantir une alimentation équilibrée pour l'antenne, en termes d'adaptation d'impédance et en termes de géométrie. En fait, si nous utilisons le même ruban coplanaire avec les même paramètres (largeur des rubans et espacement), mais avec une configuration transverse (le ruban CPS est choisi pour être perpendiculaire au ruban CPS proposé et illustré sur la *Figure 1*, c'est à dire dans la direction Y), le cœfficient de réflexion est changé, et le rapport axial est fortement perturbé. Cette position est choisie suite à une série d'optimisation. Nous avons essayé d'intégrer le ruban CPS d'alimentation sous les brins de spiral, incorporé sur la première couche de la technologie SOI. Le résultat est la présence de différentes résonances, une modification de coefficient de réflexion et une forte dégradation du rapport axial de diagramme de rayonnement

En se basant sur cette étude, nous avons choisi d'alimenter l'antenne par un ruban coplanaire spirale, placé à l'intérieur des brins de l'antenne double. Cette configuration est choisie pour limiter les modifications

de rayonnement. En Effet, pour que L'antenne rayonne correctement, son diamètre doit être plus grand que λ_g / π. Le diamètre de ruban coplanaire est choisi plus petit que λ_g / π, ainsi nous n'obtenons pas de rayonnement parasite qui s'oppose au premier mode de rayonnement de l'antenne spirale.

La deuxième étape d'évaluation de l'antenne spirale est l'étude de l'effet du système d'alimentation incorporé à l'entrée de l'antenne. La *Figure 4* présente le coefficient de réflexion de l'antenne spirale avec un système d'alimentation pour des différentes largeurs. Une bonne adaptation est trouvé pour l'antenne spirale avec des largeurs de 50µm et de 100µm. l'antenne spirale avec une larguer de 150µm propose un meilleur cœfficient de réflexion avec -15 dB à 60 GHz.

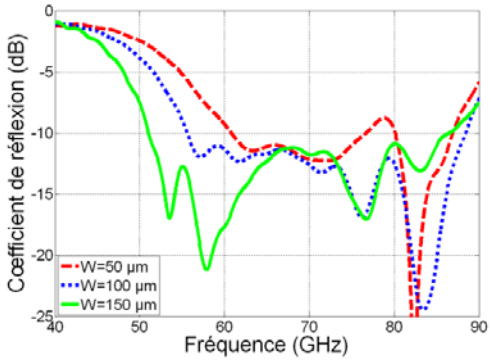

Figure 4 : Effet de Changement de largeur de brins sur S11

Pour les antennes à polarisation circulaire, le rapport axial est souvent pris comment étant un critère d'évaluation de la qualité de l'antenne. La *Figure 5 a)* montre la détérioration de rapport axial à 60 GHz. Celui-ci est amélioré avec une largeur de 150µm, le rapport axial est presque à -3dB dans un intervalle d'angle élévation de -120°. Nous avons choisi la largeur de brins de 150µm pour la conception finale de l'antenne. En plus, la performance de rapport axial de spirale de largeur de brins de spirale de 150 µm est constante indépendamment de la fréquence pour la bande de 55 à 65 GHz. La *Figure 5 b)* montre que nous obtenons un rapport axial de l'ordre de -5 dB pour des différentes fréquences.

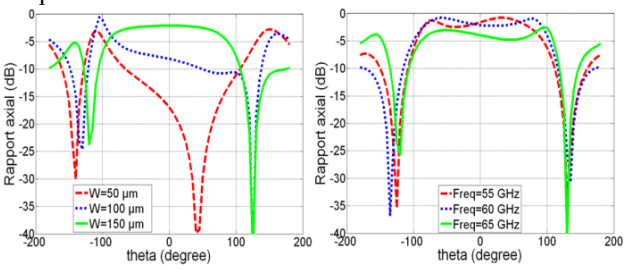

Figure 5 : Rapport Axial de l'antenne spirale
a) Balayage de largeur, f=60 GHz b) Balayage de Fréquence, w= 150 µm

4. Technologie utilisée pour l'intégration

Le substrat « SOI » est constitué de six couches métalliques, d'une couche d'oxyde enterré et finalement une couche de passivation. Lorsque ses couches métalliques ne sont pas utilisées, elles sont remplacées par de la silice. En utilisant la technologie SOI, des règles de conception sont imposées pour respecter les règles de design (Design Rules Check, DRC). Parmi ces règles, nous mentionnons les suivantes :

- Dans la technologie SOI, une couche active de silicium à faible résistivité est utilisée pour assurer le bon fonctionnement de transistors. Dans le cas de non utilisation de cette couche, elle est remplacée par des îlots actifs de silicium.
- La deuxième règle est que nous devons respecter un maximum de largeur pour des structures métalliques. Pour respecter cette condition, des trous sont crées dans les brins de spirale. Ces trous sont remplacés par de la silice.
- La troisième règle de conception est la limite de densité de métaux. La technologie « SOI » impose que la densité de métaux dans un niveau de couche doit être entre 20% et 80% par rapport à la surface globale de substrat. La conception des îlots passifs (métalliques) devient donc nécessaire.
- Les courbures ne sont pas tolérées par les règles de dessins. Pour cela, ces courbures sont remplacées par des petites lignes ayant des angles de valeurs de 45° et de 90°.

Dans [8], l'effet des dummies en utilisant un modèle dérivé du modèle de Tretyakov pour des surfaces capacitives a été étudié. Cette étude théorique a montré que les dimensions technologiques des dummies ne doivent pas perturber le fonctionnement de l'antenne spirale à 60 GHz. Précisons que cette étude est une prédiction théorique et seulement la mesure peut valider nos estimations.

Le layout de l'antenne spirale avec les dummies est présenté dans la figure 6. L'antenne est conçue en utilisant le logiciel Cadence qui est compatible avec les règles de conception. Pour le dessin de spirales, nous étions obligés de respecter les conditions d'angle, spécialement avec une antenne basée sur les angles. Les dummies sont illustrés en vert dans la *Figure 6*.

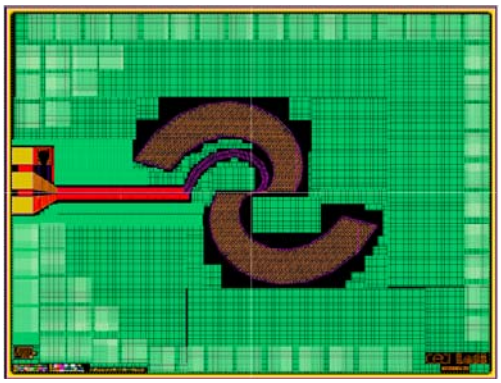

Figure 6 : Schématique de l'antenne double spirale avec dummies après cadence ®

5. Validation expérimentale

La *Figure 7* montre les valeurs simulées du coefficient de réflexion de l'antenne (|S11| dB) et les valeurs mesurées de l'antenne faites par l'analyseur de réseau HP 8510 XF avec un système de mesure sous pointes Cascade Microtech. Un coefficient de réflexion de plus de -10 dB avec une bande passante mesurée de 15 GHz est obtenu. Les mesures sont limitées jusqu'à 65 GHz à cause de l'analyseur de réseau. Ces résultats montrent une bonne concordance entre les mesures et les simulations.

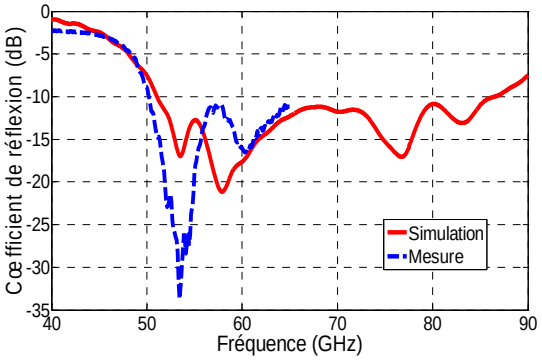

Figure 7 : Effet de structure d'alimentation sur S11

6. Diagramme de Rayonnement

Les antennes planaires spirales classiques, rayonnent selon deux larges lobes, dont leurs directions sont perpendiculaires au plan de l'antenne. Cependant, pour notre application nous préférons un diagramme unidirectionnel. Une cavité arrière est parfois utilisée pour rediriger le rayonnement. Nous avons préféré utiliser une face arrière métallisée qui peut être utilisée comme un réflecteur pour le rayonnement. Dans le même temps, cette face arrière métallisée réduit le couplage intra ruban et élimines le mode guide d'onde parasite TE0. L'efficacité de rayonnement simulé est augmentée (82%) avec un gain de 4.2 dBi par rapport à une antenne spirale sans la face arrière métallisée (*Figure 8* et *Figure 9*).

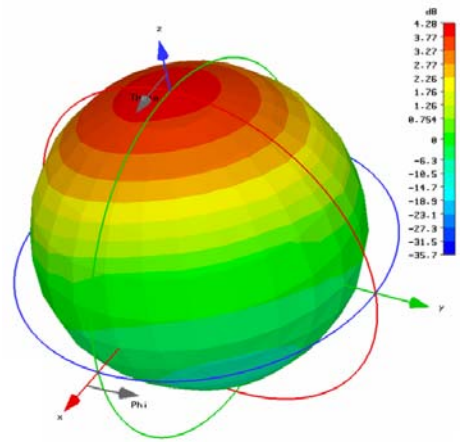

Figure 8 : Diagramme de rayonnement simulé de l'antenne spirale

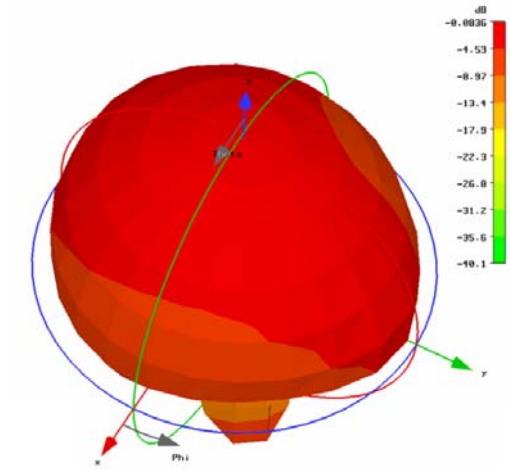

Figure 9 : Diagramme 3D simulé du rapport axial de l'antenne spirale largeur de brin w=150 µm

7. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les différentes phases de conception de l'antenne archimédien double spirale intégrée sur SOI dans la bande de 60 GHz. A 60 GHz, l'antenne propose un cœfficient de réflexion de 15 B avec une bande passante à -10dB de 35 GHz. Une bonne polarisation circulaire avec un rapport axial inférieur à 5 dB est trouvée. Ce rapport est optimisé et prend en compte l'effet de circuit d'alimentation. Cette antenne est une partie de la conception monolithique de la technologie SOI qui va aboutir à la conception de cette antenne avec un amplificateur de faible bruit à 60 GHz.

8. Bibliographie

[1] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design", p. 453, second edition, John Wiley and Sons, Inc, 1997.

[2] M. H. Barakat et al, "Performance of a 0.13 µm SOI integrated 60 GHz dipole antenna", 2007 IEEE Antenna & Propagation Symposium, Hawaii CD-ROM June 2007.

[3] R. Bawer et al., "The spiral Antenna ", IRE International Convention Record, PI. T, pp. 84-95, May, 1960

[4] Gschwendtner E. et al., "Spiral antenna with external feeding for planar applications", The 1999 IEEE AFRICON, Volume 2, and 28 Sept.-1 Oct. 1999 Page: 1011 - 1014 vol.2

[5] Gschwendtner E. et al. "Low-cost spiral antenna with dual-mode radiation pattern for integrated radio services", Millennium Conference on Antennas & Propagation AP2000, Davos, Switzerland, April, 9- 14, 2000, CD-ROM

[6] Afsar M.N. et al., "A new wideband cavity- backed spiral antenna", 2001 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Volume: 4, On page(s): 124-127 vol.4, July 2001.

[7] Thaysen J. et al., "Characterization and Optimization of a Coplanar Waveguide Fed Logarithmic Spiral Antenna" IEEE AP-S Conference on Antennas and Propagation for Wireless Communications, pp 25-28 Nov. 2000.

[8] M. H. Barakat, "Dispositif Radiofréquence Millimétrique pour Objets Communicants de type Smart Dust", PHD Thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, January 2008.