

Filtres SIW en technologie silicium pour applications THz.

Gaëtan Prigent, Anne-Laure Franc, M Wietstruck, M. Kaynak

▶ **To cite this version:**

Gaëtan Prigent, Anne-Laure Franc, M Wietstruck, M. Kaynak. Filtres SIW en technologie silicium pour applications THz.. Journées Nationales Microondes (JNM 2019), May 2019, Caen, France. hal-02309789

HAL Id: hal-02309789
https://laas.hal.science/hal-02309789

Submitted on 9 Oct 2019

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.

XXI[èmes] Journées Nationales Microondes
14-17 mai 2019 – Caen

Filtres SIW en technologie silicium pour applications THz.

Gaëtan Prigent[1], Anne-Laure Franc[2], M. Wietstruck[3], M. Kaynak[3]

[1]*LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France*
[2]*LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France*
[3]*IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder), Allemagne*
gaetan.prigent@laas.fr

Résumé *– Ces travaux présentent la mise en œuvre de filtres en guide d'onde intégré (SIW) pour des applications en bande D (140 GHz) et THz (280 GHz et 400 GHz). Les filtres sont développés sur interposer silicium haute résistivité en utilisant la technologie proposée par IHP. Les filtres présentent des bandes passantes relatives de 5% et 10% sont validés en mesures à 140 GHz et 280 GHz.*

1. Introduction

L'utilisation du spectre électromagnétique en deçà de 30 GHz a été fortement développée pour de nombreuses applications industrielles. Toutefois, l'épuisement des ressources radioélectriques progresse en raison de la prolifération de divers terminaux et de la diversification des besoins dans ces gammes de fréquence. De plus, nous entrons maintenant dans une nouvelle phase avec l'arrivée future des standards 5G et l'émergence de nouvelles applications telles que l'Internet des objets (IoT). Dans ce contexte, les communications hertziennes continueront à jouer un rôle de plus en plus important. Il est essentiel de mettre au point des technologies sans fil capables d'accroître leur capacité et la vitesse de communication et, par conséquent, l'augmentation des bandes passantes allouées. Ainsi, il est nécessaire d'envisager l'exploitation de nouvelles ressources radio. Des études récentes commencent à envisager des transmissions de données massives entre les stations fixes des réseaux (backhaul) en bande D à 120 GHz et 140 GHz.

Les ondes térahertz sont encore sous-utilisées, notamment en raison de l'absorption atmosphérique qui réduit fortement les distances de transmission. Il existe pourtant un domaine de fréquences comprises entre 182 et 325 GHz pour lesquelles l'absorption atmosphérique est faible [1] (Figure 1). La bande de fréquence au-dessus de 275 GHz n'a pas encore été attribuée [2] mais son utilisation est envisagée dans les organisations internationales de normalisation [3] notamment pour des communications haut débit (> 100 Gb/s) [4] (Figure 2).

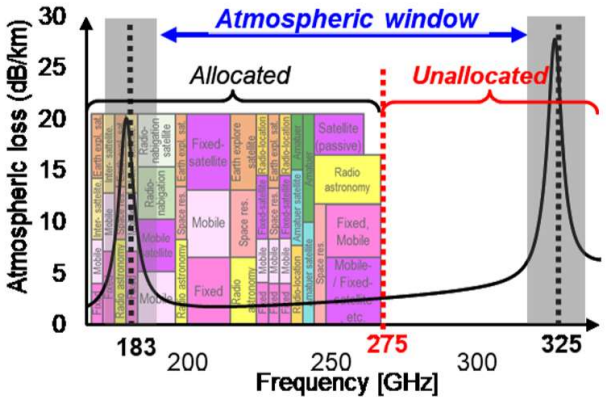


Figure 1. Allocation fréquentielle et absorption atmosphérique en sub-millimetrique [1]-[2].

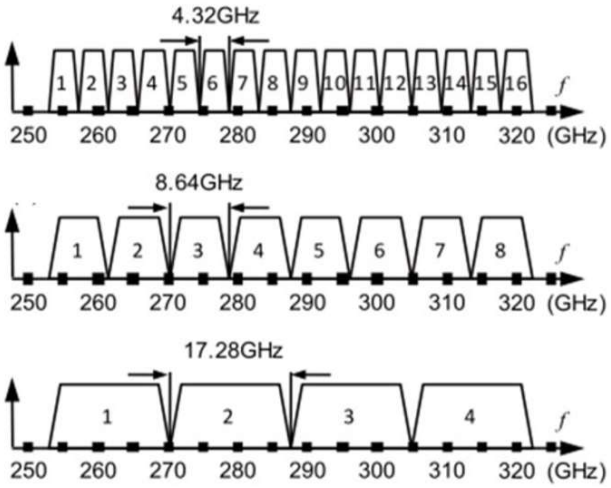


Figure 2. Allocation fréquentielle envisagée au-delà de la bande D [3].

Dans ce contexte télécommunication, l'aspect filtrage est primordial, nous proposons de développer des filtres en guide d'onde intégrés (SIW) dans les bandes d'intérêt 140 GHz et 280 GHz ainsi qu'une projection à plus haute fréquence à 400 GHz. Ces filtres seront réalisés en utilisant la technologie TSV (Through Silicon Vias) sur silicium haute résistivité fournie par IHP.

2. Conception de filtre SIW

2.a. Technologie

La mise en œuvre les filtres SIW passe par la réalisation de trous métallisés traversant nécessaires à la définition des murs électriques latéraux. Pour ce faire, nous utilisons la technologie d'IHP qui propose la possibilité de réaliser des TSVs dans un substrat de 70 µm de silicium haute résistivité (4 kΩ.cm). Les TSV ont une largeur de 3 µm pour une longueur de 50 µm, ces dimensions sont fixes et imposées par la technologie (Figure 3). La distance minimale entre TSVs est de 5 µm. La technologie permet d'adresser des motifs sur la couche supérieure d'oxyde de silicium. Dans les travaux présentés ici seule la couche TM1 a été réalisée.

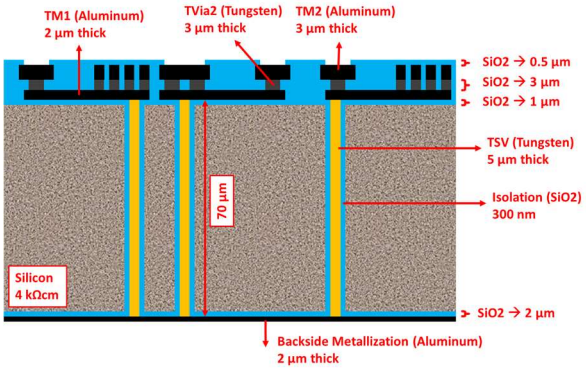


Figure 3. Description technologique du procédé TSV développé à IHP.

2.b. Topologies

Les filtres développés dans cette technologie sont des filtres SIW d'ordre 4 à couplages inductifs dont les valeurs ont été déterminées à partir de l'extraction de la matrice de couplage normalisée [5] en considérant un niveau d'adaptation de 20 dB dans la bande :

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 1.035 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.035 & 0 & 0.91 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.91 & 0 & 0.699 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.699 & 0 & 0.91 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.91 & 0 & 1.035 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.035 & 0 \end{bmatrix}$$

Les coefficients de couplage dénormalisés sont tels que

$$C_{ij} = M_{ij} \cdot \Delta$$

avec Δ la bande passante relative.

Les filtres ont été développés pour des bandes passantes de 10% et 5% pour des fréquences de fonctionnement en bande D à 140 GHz et en bande THz à 280 GHz et 400 GHz. Compte tenu de la taille importante du filtre à 140 GHz, seul le filtre à 10% de bande passante a été développé à cette fréquence. Les résultats de simulation montrent l'intérêt de cette technologie pour la mise en œuvre de fonctions THz. En effet, outre la réduction substantielle de taille des filtres, elle s'accompagne d'une forte augmentation du coefficient de qualité. Ainsi, pour une bande passante de 10%, les pertes d'insertion simulées sous HFSS sont de 3.5 dB, 2.7 dB et 2 dB respectivement pour des fréquences centrales de 140 GHz, 280 GHz et 400 GHz. Pour une bande passante de 5% les pertes passent de 4.5 dB à 2.5 dB respectivement pour des fréquences centrales de 280 GHz et 400 GHz (figures 4-6).

3. Résultats

Les filtres ont été réalisés sur les trois bandes visées, seules les mesures à 140 GHz et 280 GHz ont été réalisées. Les mesures à 400 GHz réclamant une procédure particulière de mesure, ces mesures n'ont pour le moment pas été effectuées. Néanmoins, les résultats obtenus (Figures 4-5) pour les autres bandes de fréquences sont en très bon accord avec les résultats de simulation. En effet, on observe un décalage en fréquence inférieur à 1% quelle que soit la fréquence de fonctionnement. Une simulation a postériori a été effectuée, ce décalage en fréquence peut être expliqué par une sous-évaluation de l'épaisseur de la couche Si+SiO2. Les niveaux de pertes sont globalement conservés. Ainsi, les pertes mesurées sont de 3.9 dB et 2.5 dB respectivement à 140 GHz et 280 GHz pour les filtres présentant 10 % de bande passante relative et de 4.5 dB pour le filtre à 280GHz et 5 % de bande.

4. Conclusion

Nous avons développé des filtres en bande D (140 GHz, 280 GHz) et THz (400 GHz) réalisés en technologie SIW sur substrat silicium haute résistivité à partir des techniques TSVs proposées par IHP. Les performances obtenues prouvent l'intérêt de ces topologies pour adresser des bandes THz notamment pour l'amélioration des pertes d'insertion. L'excellent accord obtenu avec les simulations atteste de la qualité de la filière technologique développée par IHP.

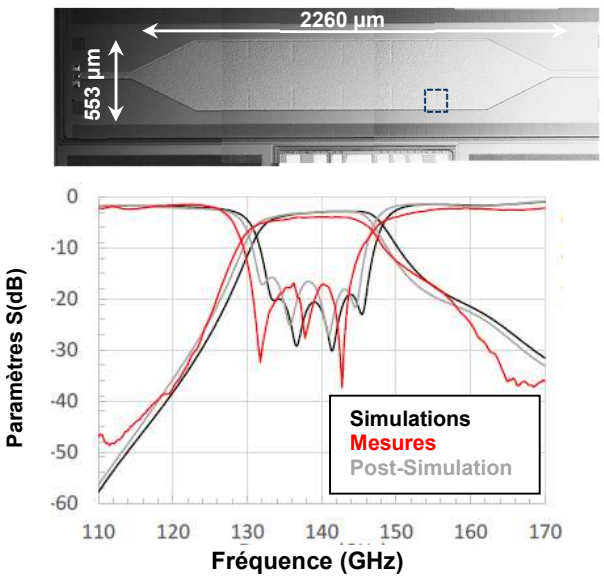


Figure 4. Photographie du filtre à 140 GHz BPr=10%. Comparaison mesure-simulation (HFSS), post-simulation (Si+SiO2 = 75 µm).

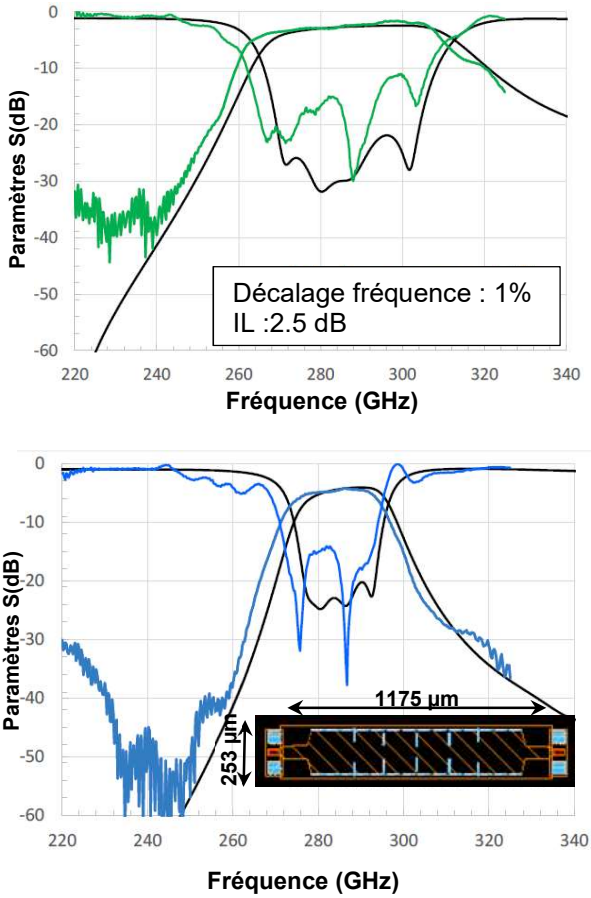


Figure 5. Comparaison mesures simulation pour les filtres à 280 GHz à 10% et 5% de bande passante relative.

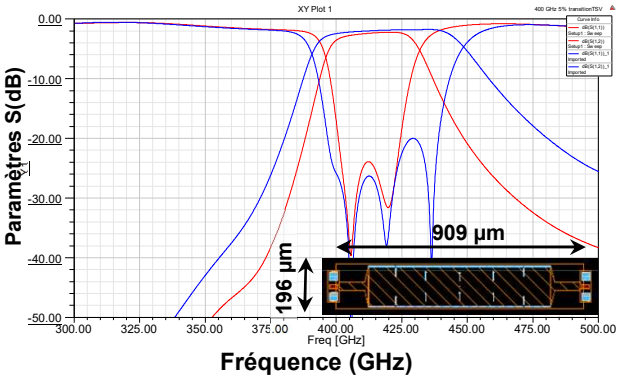


Figure 6. Résultats de simulation électromagnétiques (HFSS) pour les filtres SIW à 400 GHz à 10% et 5% de bande passante relative.

Références

[1] https://smiles-p6.nict.go.jp/thz/en/decay_e.html

[2] https://www.ntia.doc.gov/page/2011/united-states-frequency-allocation-chart

[3] M. Fujishima and S. Amakawa, "Integrated-circuit approaches to THz communications: Challenges, advances, and future prospects," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E100-A, no. 2, pp. 516–523, Feb. 2017.

[4] T. Kürner, IEEE 802.15-10-0320-02-0000-Tutorial_Igthz.

[5] Richard J. Cameron «General Coupling Matrix Synthesis Methods for Chebyshev Filtering Functions». IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 47, N°4, April 1999