



HAL
open science

Nouvelle transition d'une ligne suspendue intégrée au substrat vers du SIW creux pour une intégration multicouche en bande millimétrique

Frédéric Parment, Anthony Ghiotto, Tan-Phu Vuong, Ludovic Carpentier, Ke Wu

► **To cite this version:**

Frédéric Parment, Anthony Ghiotto, Tan-Phu Vuong, Ludovic Carpentier, Ke Wu. Nouvelle transition d'une ligne suspendue intégrée au substrat vers du SIW creux pour une intégration multicouche en bande millimétrique. XXèmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01525534

HAL Id: hal-01525534

<https://hal.science/hal-01525534>

Submitted on 21 May 2017

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.

Nouvelle transition d'une ligne suspendue intégrée au substrat vers du SIW creux pour une intégration multicouche en bande millimétrique

Frédéric Parment^{1,2}, Anthony Ghiotto², Tan-Phu Vuong³, Ludovic Carpentier¹, Ke Wu⁴

¹ Centre National d'Etudes Spatiales, 18 Avenue Edouard Belin, 31400, Toulouse, France

² Univ. Bordeaux, Bordeaux INP, CNRS, IMS, UMR 5218, F-33400, Talence, France

³ Univ. Grenoble-Alpes, IMEP-LAHC, UMR 5130 INPG-UJF-CNRS, Grenoble, France

⁴ Centre de recherche Poly-Grames, École Polytechnique de Montréal, QC, Canada, H3T 1J4

Résumé – Les technologies de Guide d'onde Intégré au Substrat creux (SIW creux ou AFSIW) et de Ligne Suspendue Intégré au Substrat (SISL) ont été récemment reportées. Ceux sont deux types de ligne de transmission avec un fort potentiel pour la conception de système intégré haute performance millimétrique basé sur les processus de fabrication faible coût des circuits imprimés multicouches (PCB). Pour prendre avantage des deux technologies ainsi que de leur structure respective, une transition large bande SISL vers AFSIW a été conçue. Afin de démontrer son potentiel, une transition a été fabriquée et mesurée. Elle atteint une adaptation inférieure à -15 dB et des pertes d'insertion de $0,11 \pm 0,06$ dB sur toute la bande Ka.

1. Introduction

Les applications émergentes en bande millimétrique, comme les pico- et nanosatellites [1], la 5G, l'Internet-des-Objets, les radars automobiles et les scanners pour la sécurité [2] requièrent le développement de technologies à haute performance pour un faible coût de fabrication. Parmi celles qui ont été récemment proposées, le Guide d'onde Intégré au Substrat (SIW) a reçu une attention particulière ces dernières années. Il permet l'intégration de circuit léger, compact, à faible coût, blindé. C'est aussi un bon candidat pour être une alternative aux guides d'onde métallique et aux technologies planaires existantes [3]. Cependant, les pertes pour ce genre de technologie sont encore trop importantes pour certaines applications qui nécessitent de hautes performances.

Basé sur le processus multicouche des PCBs, et en utilisant de l'air comme diélectrique, une nouvelle topologie de SIW a été reportée en [4]-[8]. Cette structure, appelée SIW creux (AFSIW), est capable de réduire les pertes comparées à celles d'un SIW standard. De plus, une autre structure à faibles pertes, appelé Ligne Suspendue Intégré au Substrat (SISL), a été présentée en [9]. Elle consiste en une stripline sur un substrat très fin enfermé dans une cavité remplie d'air. Pour interconnecter ces 2 technologies, une transition large bande est proposée. Ceci permettra une meilleure intégration de ces 2 technologies pour des systèmes plus complexes.

2. Structure de l'AFSIW et de la SISL

2.a. AFSIW (SIW Creux)

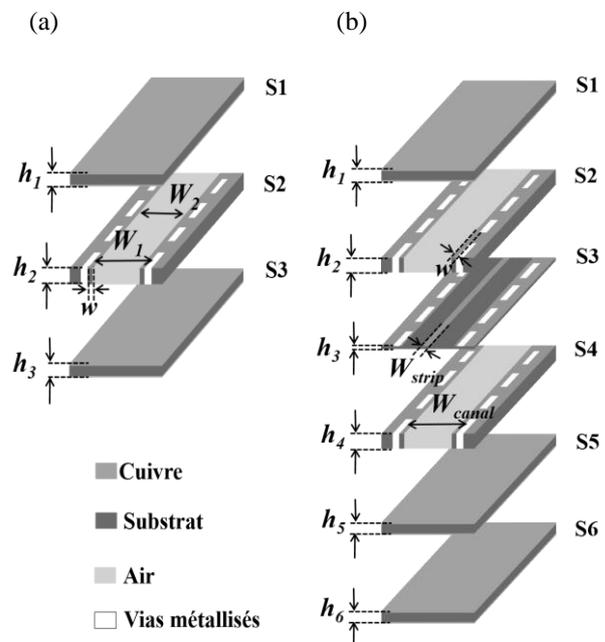


Figure 1. Structures de l'AFSIW (a) et de la SISL (b).

La structure d'une ligne AFSIW est basée sur le processus de fabrication des circuits PCB multicouches comme pour la ligne SISL. Elle est illustrée à la Figure 1(a) et se compose de 3 couches. Les couches S1 et S3 permettent d'enfermer la couche S2 qui contient le diélectrique en air et les rangés de vias. De part et d'autre de la partie évidée, des parois diélectriques sont maintenues pour des raisons de propriété mécanique et aussi pour permettre la métallisation des vias. L'influence de ces parois diélectriques est négligeable, car le mode fondamental TE_{10} est principalement contenu au centre de la structure en AFSIW.

La fréquence de coupure f_{cn0} des modes TE_{n0} est déterminée en résolvant l'équation (1) par une méthode de Newton-Raphson [6]. Elle prend en compte la largeur w des parois diélectriques. Pour opérer sur toute la bande Ka et éviter la région de dispersion, la fréquence de

coupure du mode TE₁₀ du AFSIW doit être fixée à $f_{c10} = 21,2$ GHz. En résolvant (1), pour $w = 0,508$ mm, $W_1 = 7,04$ mm est obtenu. La fréquence de coupure du second mode TE₂₀ est ainsi fixée à $f_{c20} = 42,4$ GHz.

$$\tan\left(\frac{\sqrt{\epsilon_r} * (W_1 - W_2) * \pi f_c}{c}\right) = \sqrt{\epsilon_r} \cot\left(\frac{W_2 * \pi f_c}{c}\right) \quad (1)$$

où W_1 et W_2 sont les largeurs totales de l'AFSIW et de la région en air respectivement, c est la vitesse de la lumière et ϵ_r est la permittivité du substrat S2.

2.b. SISL

La structure du SISL [9] est illustrée à la Figure 1(b). Elle se compose de 5 substrats (S1 jusqu'à S5). Le mode fondamental de propagation dans cette ligne est un mode quasi-TEM. Les substrats S1 et S5 ferment la structure. Les couches 2 et 4 contiennent des cavités d'air afin de réduire les pertes diélectriques. La ligne conductrice centrale est soutenue par la couche S3 qui doit être la plus fine possible afin de minimiser les pertes diélectriques. De part et d'autre des cavités d'air, une rangée de vias métallisés vient fermer la structure sur les côtés afin d'éviter la propagation de modes parasites.

Largeur de la cavité est déterminée de façon à éviter la propagation de modes parasites. Si elle est inférieure à une demi-longueur d'onde, les modes de surface ne peuvent plus se propager. Qui plus est, la géométrie de la ligne SISL ne doit pas excéder la limite au-delà de laquelle le mode TE₁₀ de la cavité d'air est excité. Ainsi, pour éviter la propagation du mode TE₁₀, l'équation (2) permet de fixer la largeur [10]. L'impédance de la stripline est fixée à 57 Ω, correspondant à une largeur du conducteur de $W_{strip} = 1,1$ mm. Pour opérer en bande Ka, la fréquence de coupure du mode TE₁₀ de la cavité en air doit être plus grande que 40 GHz. Une largeur de canal $W_{canal} = 3,016$ mm est choisie afin d'obtenir $f_{cTE10} = 47$ GHz.

$$f_{c_{TE10}} = \frac{c}{2W_{canal}} \sqrt{1 - \frac{h_3}{H} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \right)} \quad (2)$$

où W_{canal} est la largeur du canal, H est la hauteur du canal ($H = h_2 + h_3 + h_4$), est la permittivité du substrat S3, et c est la vitesse de la lumière.

L'impédance de la ligne est fixée à 57 Ω ce qui correspond à un conducteur central de largeur $W_{strip} = 1,1$ mm. Pour un fonctionnement en bande Ka, la fréquence de coupure du mode guide d'onde TE₁₀ doit être supérieure à 40 GHz. Une largeur de canal de $W_{canal} = 3,016$ mm, correspondant à une fréquence de $f_{cTE10} = 47$ GHz, est choisie.

2.c. Comparaison des pertes de transmission

Une comparaison des pertes en transmission simulées et mesurées en bande Ka entre une ligne SISL, AFSIW, CB-CPW et SIW utilisant du substrat Rogers 6002 est montrée à la Figure 2. Un tableau résume les performances pour chaque ligne de transmission.

Il peut être observé que les lignes AFSIW et SISL ont des pertes comparables et surpassent les deux lignes plus conventionnelles que sont le SIW et le CB-CPW.

Comparé à ces deux dernières lignes, les pertes ont été réduites d'environ d'un facteur 2,5 à 3. Les deux lignes AFSIW et SISL prouvent leur intérêt pour la conception de systèmes à bas coût et faibles pertes en bande Ka.

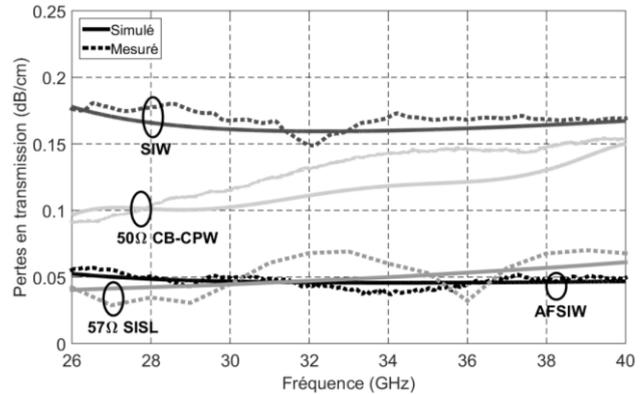


Figure 2. Pertes en transmission des lignes CP-CPW, SIW, AFSIW et SISL en bande Ka.

* At 30 GHz.	CB-CPW	SIW	AFSIW	SISL
Largeur totale (mm)	1.92	4.11	7.04	3.016
Nombre de couches	1	1	3	5
*Pertes en transmission (dB/cm)	0.116	0.168	0.049	0.045

Tableau 1. Comparaison des performances entre les lignes CB-CPW, SIW, AFSIW et SISL.

3. SISL vers AFSIW transition

3.a. Bande passante de la transition

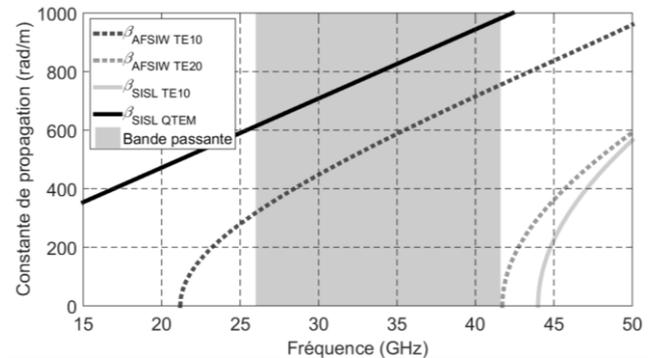


Figure 3. Diagramme dispersion des lignes AFSIW et SISL.

Le premier mode de propagation de chaque ligne est différent. Le principal mode de fonctionnement de la ligne SISL est quasi-TEM tandis que celui du AFSIW est le mode fondamental TE₁₀. D'une certaine façon, une transition du SISL vers l'AFSIW aurait un comportement de passe-haut qui doit être contrôlé par la fréquence de coupure du mode fondamental de l'AFSIW. Les diagrammes de dispersion du SISL et du AFSIW pour les deux premiers modes de chaque ligne sont montrés à la Figure 3, incluant la bande d'opération de la transition. Il est intéressant de remarquer que la fréquence la plus basse de fonctionnement de la transition est de 26,5 GHz, ce qui correspond à $1,2 * f_{c10}$ pour éviter la région de dispersion du mode TE₁₀ de l'AFSIW. La limitation la

plus haute est liée à la fréquence de coupure du mode TE_{20} de l'AFSIW à $f_{c20} = 42,4$ GHz. En effet, la ligne SISL a été conçue de telle façon que son mode TE_{10} ne puisse se propager à l'intérieur de la bande de fonctionnement du mode fondamental TE_{10} de la ligne AFSIW.

3.b. Géométrie de la transition

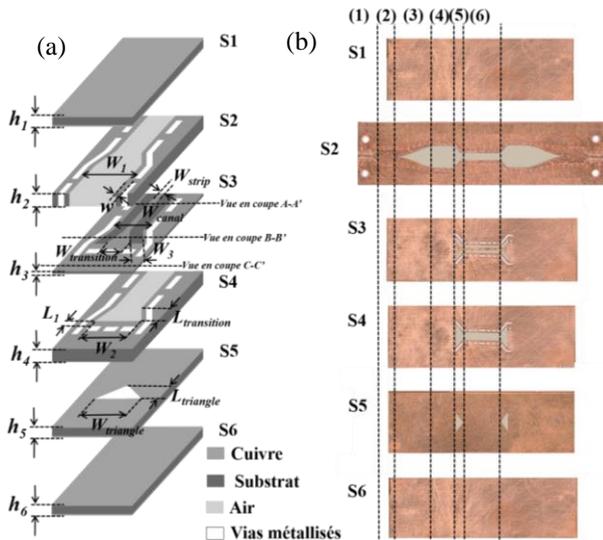


Figure 4. (a) Vue éclatée de la transition et (b) photo avant assemblage : (1) transition CBCPW vers SIW, (2) SIW, (3) transition SIW vers AFSIW, (4) AFSIW, (5) transition AFSIW vers SISL et (6) SISL ($W_2 = 6,122$ mm, $W_3 = 0,48$ mm, $W_{triangle} = 6,022$ mm, $W_{lapered} = 5,16$ mm, $L_1 = 0,4$ mm, $L_{triangle} = 6,022$ mm).

La structure de la transition SISL vers AFSIW est montrée à la Figure 4(a). La stripline est sur le substrat S3 et la ligne AFSIW est insérée dans S2. Cette transition a été notamment inspirée par une autre transition [10] d'une stripline suspendue vers une ligne microruban blindée.

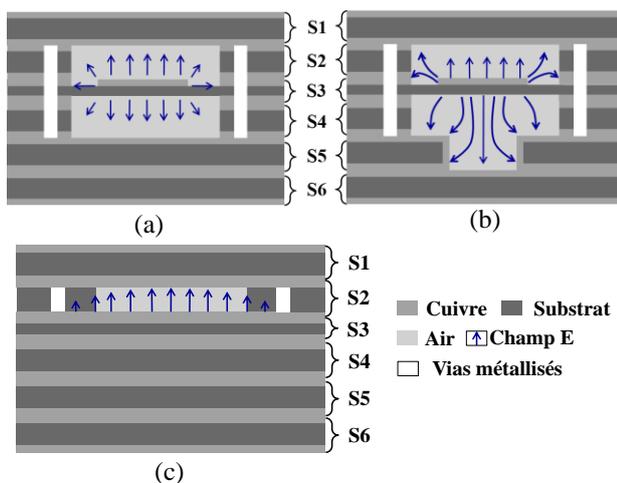


Figure 5. Champ électromagnétique le long de la transition : (a) A-A' Section en coupe de la ligne SISL, (b) B-B' Section en coupe de la transition, et (c) C-C' Section en coupe de l'AFSIW.

La transition proposée est basée sur une forme trapézoïdale linéaire avec une longueur optimale inférieure à un quart de la longueur d'onde à la fréquence centrale (32,5 GHz pour la bande Ka). A cette fréquence, la longueur d'onde du SISL est de 8,2 mm ce qui permet d'en déduire une longueur de 2 mm. La transition fabriquée est montrée à la Figure 4(a) sur le substrat S3.

Une ouverture triangulaire est dessinée sur la couche S5 sous la transition pour permettre le confinement progressif du champ électromagnétique sur la couche au-dessus de la transition. Le mode AFSIW TE_{10} peut ainsi être excité. Des rangés de via sont ajoutés en fin de transition et en fin de la cavité en air sur S4 de façon à éviter la propagation de modes parasites. C'est pour les mêmes raisons que le triangle dans S5 a été métallisé. La Figure 5 montre l'évolution du champ électromagnétique le long de la transition.

4. Fabrication et résultats de mesure

A des fins de démonstration, une transition mise dos-à-dos en bande Ka a été conçue et fabriquée (voir Fig. 4(b)) utilisant du substrat Rogers 6002 avec une épaisseur de 0,508 mm pour les couches S1, S2, S4 et S5, et 0,128 mm pour les couches S3 et S6. Les dimensions finales $W_1 = 7,14$ mm et $L_{transition} = 1,88$ mm ont été obtenues après optimisation avec le simulateur CST Microwave Studio. Les paramètres-S mesurés et simulés sont illustrés à la Figure 6. Un kit TRL de calibration a été utilisé afin de débiter les connecteurs et les différentes transitions nécessaires pour effectuer la mesure. Sur toute la bande Ka, les pertes d'insertion mesurées ($|S_{21}|$) sont de $0,27 \pm 0,22$ dB avec une adaptation ($|S_{11}|$) meilleure de -15 dB. On peut en déduire, en considérant les pertes de la transition SISL, qu'une transition a $0,11 \pm 0,06$ dB de pertes en transmission (confirmées en simulation).

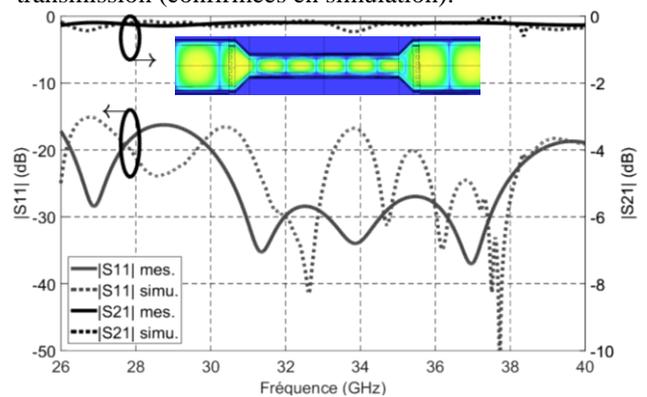


Figure 6. $|S_{11}|$ et $|S_{21}|$ simulés et mesurés la transition avec l'amplitude du champ E simulée à 33 GHz.

5. Conclusion

Une transition large bande entre une ligne SISL et une ligne AFSIW a été étudiée et présentée. Elle est compacte et à faibles pertes d'insertion. Elle est très intéressante pour la conception de systèmes à hautes performances millimétriques, compacts, à faibles pertes,

et entièrement blindés qui peuvent prendre les avantages des deux technologies multicouches SISL et AFSIW.

Références

- [1] P. Christopher, "Millimeter wave advantages for satellite communications," *IEEE Military Communications Conference*, Washington, DC, USA, pp. 555-562, Oct. 1983.
- [2] D. R. Vizard, "Millimeter-wave applications: from satellite communications to security systems," *Microwave Journal, Euro-Global Edition*, vol. 49, no. 7, pp. 22-36, Jul. 2006.
- [3] D. Deslandes and K. Wu, "Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 51, no. 2, pp. 593-596, Feb. 2003.
- [4] F. Parment et al., "Air-Filled Substrate Integrated Waveguide for Low-Loss and High Power-Handling Millimeter-Wave Substrate Integrated Circuits," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 4, pp. 1228-1238, April 2015.
- [5] F. Parment et al., "Low-loss air-filled Substrate Integrated Waveguide (SIW) band-pass filter with inductive posts," 2015 European Microwave Conference (EuMC), Paris, 2015, pp. 761-764.
- [6] F. Parment et al., "Double dielectric slab-loaded air-filled SIW phase shifters for high-performance millimeter-wave integration," *IEEE Tran. Micr. Th. Te.*, vol. 64, no. 9, pp. 2833-2842, Sep. 2016.
- [7] A. Ghiotto, F. Parment, T.P. Vuong, K. Wu, "Millimeter-Wave Air-Filled SIW Antipodal Linearly Tapered Slot Antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, Aug. 2016.
- [8] I. S. S. Lima, F. Parment, A. Ghiotto, T. P. Vuong and K. Wu, "Broadband Dielectric-to-Half-Mode Air-Filled Substrate Integrated Waveguide Transition," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 26, no. 6, pp. 383-385, Jun. 2016.
- [9] L. Li, et al., "A novel transition from substrate integrated suspended line to conductor backed CPW," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 26, no. 6, pp. 389-391, Jun. 2016.
- [10] L. G. Maloratsky, *Passive RF & Microwave Integrated Circuits*, 1st ed., Elsevier, Burlington, MA, 2004, ch. 2, pp. 5-34.
- [11] S. Lin and M. Eron, "Development of an ultra-wideband suspended stripline to shielded microstrip transition," *IEEE Microw. Wir. Comp. Lett.*, vol. 21, no. 9, pp. 474-476, Sept. 2011.