

# Technologie pour intégration hétérogène sur substrat souple dans le domaine millimétrique

Zhening Yang, Alexandru Takacs, Samuel Charlot, Alexandre Rumeau,  
Daniela Dragomirescu

► **To cite this version:**

Zhening Yang, Alexandru Takacs, Samuel Charlot, Alexandre Rumeau, Daniela Dragomirescu. Technologie pour intégration hétérogène sur substrat souple dans le domaine millimétrique. Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2015, Bordeaux, France. 4p. hal-02066189

**HAL Id: hal-02066189**

**<https://hal.laas.fr/hal-02066189>**

Submitted on 13 Mar 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.

# Technologie pour intégration hétérogène sur substrat souple dans le domaine millimétrique

Zhening Yang<sup>1,2</sup>, Alexandru Takacs<sup>1,3</sup>, Samuel Charlot,<sup>1</sup> Alexandre Rumeau<sup>1</sup>, Daniela Dragomirescu<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>CNRS, LAAS, 7 Avenue du Colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

<sup>2</sup>Univ de Toulouse, INSA, LAAS, F-31400 Toulouse, France

<sup>3</sup>Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31400 Toulouse, France

## Résumé

Cet article présente la technologie développée au LAAS-CNRS pour l'intégration hétérogène sur substrat souple dans le domaine millimétrique. L'application principale visée pour ce type de technologie, est la réalisation de réseaux d'objets communicants faciles à déployer même dans les endroits difficiles d'accès où une implantation conforme peut-être requise.

## 1. Introduction

Des nombreuses recherches ont été menées récemment dans le domaine « Internet des Objets » en Europe et dans le monde entier. Parmi les applications « Internet des Objets » les réseaux de capteurs sans fils présentent un intérêt croissant pour des applications diverses incluant l'aéronautique, le spatial, la sante, le bâtiment, etc. Les technologies d'intégration hétérogène sur substrat souple peuvent apporter un plus de flexibilité dans l'implantation à large échelle de ces réseaux de capteurs sans fils [1]. Les technologies les plus répandues de fabrication de circuits imprimés électroniques sont la photolithographie, la sérigraphie et l'impression jet d'encre. Ces deux dernières ont une résolution limitée (20  $\mu\text{m}$  ou plus) et les propriétés conductrices des pistes métalliques ainsi que les propriétés diélectriques du substrat se dégradent avec la montée en fréquence [2]. La photolithographie reste donc très compétitive dans cette bande de fréquence grâce à sa précision. Le Tableau 1 montre une comparaison entre les différents substrats souples utilisés pour la fabrication des circuits imprimés.

| Substrat | Propriété mécanique | Résistance thermique | Résistance chimique | Propriété électrique |
|----------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| PET      | Bon                 | Faible               | Bon                 | Bon                  |
| PEN      | Bon                 | Très Bon             | Bon                 | Bon                  |
| Kapton   | Excellent           | Excellent            | Bon                 | Bon                  |
| LCP      | Bon                 | Bon                  | Excellent           | Bon                  |
| Papier   | -                   | -                    | -                   | Bon                  |

Tableau 1. Caractérisation des substrats [3].

Notre choix s'est donc porté sur un film de Kapton (type HN fourni par Micel). Ce substrat présente une bonne flexibilité accompagnée par des très bonnes propriétés mécaniques et chimiques.

## 2. Conception et fabrication

### 2.a. Choix d'épaisseur du Kapton

Nous avons envisagé la conception et l'intégration hétérogène des structures complexe (e.g. capteurs communicants sans fil) en onde millimétrique. Plusieurs circuits passifs (e.g. antennes, réseaux d'adaptation d'impédance, filtres, etc.) doivent être réalisés dans ce cas sur le même substrat. Par exemple, les antennes patch, très utilisées pour des applications millimétriques, demandent la présence d'un plan de masse qui nécessitera une métallisation face arrière. Cela ajoute une contrainte supplémentaire sur le choix de substrat. Une épaisseur minimale doit être respectée pour éviter un effet capacitif pénalisant et destructeur du point de vue diagramme de rayonnement. La Figure 1 représente une étude (simulations HFSS) concernant l'influence de l'épaisseur du substrat et de la métallisation sur le gain de l'antenne. En s'appuyant sur les résultats représentés dans la Figure 1 et sur les épaisseurs disponibles auprès des fabricants du Kapton nous avons choisi une épaisseur de 127  $\mu\text{m}$  (Kapton 500HN).

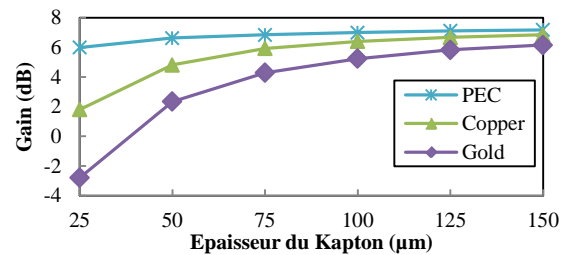


Figure 1. Influence de l'épaisseur du substrat sur le gain d'antenne.

### 2.b. Caractérisation du Kapton

Nous avons procédé d'abord à une caractérisation précise des paramètres diélectriques du substrat (permittivité électrique relative  $\epsilon_r$  et pertes diélectriques :  $\tan \delta$ ) basée sur la technique du résonateur en anneau [4]. La Figure 2 montre une comparaison entre le coefficient de transmission  $S_{21}$  simulé (ADS-Momentum) et mesuré. Les valeurs de  $\epsilon_r$  (3,2) et de  $\tan \delta$  (0,002) ont été utilisées pour la simulation et elles sont confirmées par les résultats expérimentaux. La fréquence de mesure est

limitée à 40 GHz à cause de connecteurs 'end-launch' utilisés (Southwest).

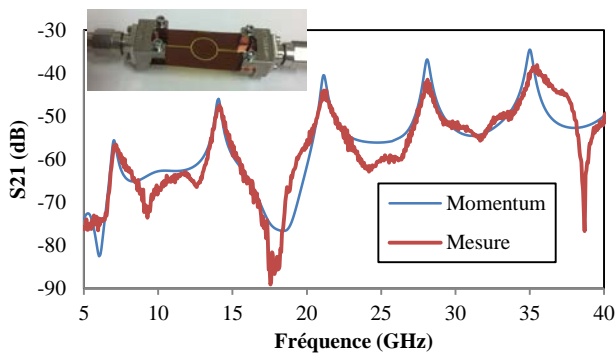


Figure 2. Coefficient de transmission pour le résonateur en anneau fabriqué

### 3. Antenne patch à 60 GHz

#### 3.a. Fabrication de l'antenne

Une de difficulté du process technologique réside dans la manipulation du Kapton et son utilisation dans les équipements de micro technologie. Pour ce faire, un wafer de silicium de 4 pouces a été utilisé comme support hôte, moyennant une fine couche de polymère pour faire adhérer le Kapton sur celui-ci. Le procédé de fabrication consiste en plusieurs étapes de métallisation par évaporation et de photolithographie pour la structuration des pistes métalliques en or.

#### 3.b. Mesure d'antenne

Une antenne patch à 60 GHz a été réalisée et mesurée (Figure 3).

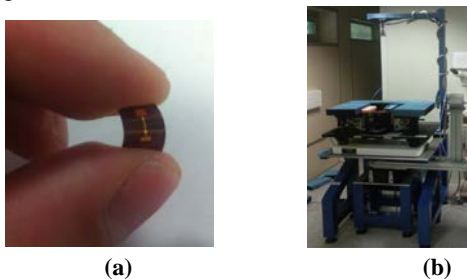


Figure 3. Antenne patch fabriqué (a) et banc de mesure pour le diagramme de rayonnement(b).

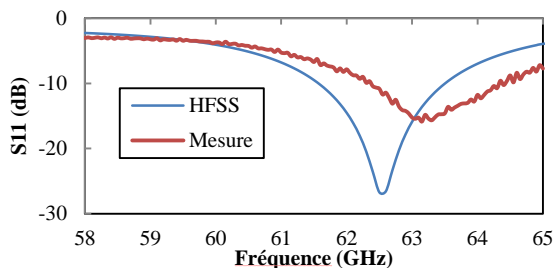


Figure 4. Coefficient de la réflexion de l'antenne patch

Une bonne corrélation entre la mesure et la simulation pour le coefficient de la réflexion S11 (Figure 4) dans la bande d'utilisation millimétrique peut être observée (1,4% de décalage en fréquence). Le diagramme de rayonnement (Figure 5) montre une bonne performance RF de cette antenne avec un gain de 6,37 dB à 63,2 GHz. Pour comparaison, l'état de l'art

concernant les antennes à 60 GHz sur les substrats souples est présenté dans le Tableau 2.

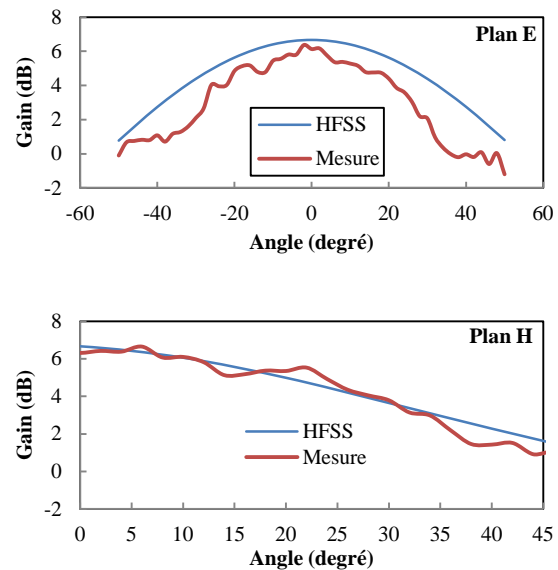


Figure 5. Diagramme de rayonnement de l'antenne patch

| Type de l'antenne | Monopole antenna [5] | Réseau de patch [6] | Patch placé sur métal [7] | Réseau de patch [8] | Cet article |
|-------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-------------|
| Substrat          | PEN                  | LCP                 | PEN                       | PDMS                | Kapton      |
| Gain (dBi)        | 1,8                  | 5,3                 | 7,18                      | 12,3                | 6,37        |

Tableau 2. Etat de l'art pour les antennes à 60 GHz sur les substrats souples

### 4. Conclusion

Des circuits sur Kapton ont été conçus, fabriqués et mesurés dans la bande 60 GHz permettant ainsi de valider le choix du substrat souple et de la technologie utilisée. Il est donc possible de prévoir l'intégration des systèmes complexes tels que les nœuds capteurs communicants.

### 5. Bibliographie

- [1] M.M.Jatlaoui, D.Dragomirescu, S.Charlot, P.Pons, H.Aubert, et al., « 3D heterogeneous integration of wireless communicating nano-sensors on flexible substrate », Proc. SPIE 7821, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies, 2010.
- [2] M.Singh, H.M.Haverinen, P.Dhagat and G.E.Jabbour, « Inkjet printing-Process and its applications », Adv. Mater., vol. 22, no. 6, pp.673-685 2010.
- [3] « Printing Technology for Flexible Substrates », Inc. Interlingua.com (InterLingua Publishing, 2006) ISBN: 1884730469.
- [4] D.C.Thompson, O.Tantot, H.Jallageas, G.E.Ponchak, M.M.Tentzeris and J.Papapolymerou, « Characterization of liquid crystal polymer (LCP) material and transmission lines on LCP substrates from 30–110 GHz », IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 52, no. 4, pp.1343-1352 2004.
- [5] A.Bisognin, J.Thielleux, Wei Wei; D.Titz, F.Ferrero, P.Brachet, G.Jacquemod, H.Happy, C.Luxey, « Inkjet Coplanar Square Monopole on Flexible Substrate for 60-GHz Applications », Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.13, no., pp.435-438, 2014.
- [6] F.Aryanfar and C.W.Werner, « Exploring liquid crystal polymer (LCP) substrates for mm-wave antennas in portable devices », Proc. IEEE APSURSI, pp. 1-4 2010.
- [7] V.Semkin, M.Kyro, A.V.Raisanen, A.Bisognin, F.Ferrero, C.Luxey, H.Happy, J.Thielleux, Wei Wei, « Characterization of inkjet patch antenna on different ground planes at millimeter-wave frequencies », in Proc. of LAPC'2013 Loughborough, vol., no., pp.286,288, 11-12 Nov. 2013.
- [8] S.Hage-Ali, N.Tiercelin, P.Coquet, R.Sauleau, H.Fujita, V.Preobrazhensky and P.Pernod, « Amillimeter-wave microstrip antenna array on ultra-flexible micromachined polydimethylsiloxaneaz (PDMS) polymer », IEEE Antennas Wireless Propag.Lett., vol. 8, pp.1306-1309 2009.