



## Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of some Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/24145>

### To cite this version :

Grzeskowiak, Marjorie and Achrait-Furlan, Latifa and Vestiel, Eric and Vindevoghel, Jean Antennes intégrées multicouches. Caractérisation diélectriques et applications. (2001) In: TELECOM'2001 & 2ème JFMMA, 17 October 2001 - 19 October 2001 (Casablanca, Morocco).

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:

[tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr](mailto:tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr)

## **Antennes intégrées multicouches Caractérisation diélectrique et applications**

Marjorie Grzeskowiak (\*), Latifa Achrait-Furlan (\*\*), Eric Vestiel (\*\*), Jean Vindevoghel (\*\*)

(\*) Laboratoire Systèmes de Communication – Université de Marne la Vallée - 5 Bd Descartes – Champs-sur Marne – F-77454 Marne-la-Vallée Cedex2 - ☎ : +33 (0)1 60 95 77 11 – email : grezkow@tango.univ-mlv.fr

(\*\*) IEMN UMR CNRS 8520, USTL-Cité Scientifique, Avenue Poincaré BP69, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex ☎ : +33 (0)3 20 19 79 32 - email : jean.vindevoghel@iemn.univ-lille1.fr

**Résumé :** Des procédés de réalisation d'antennes micro-ondes en technologie micro-rubans multicouches sont décrits. La gamme de fonctionnement des antennes s'étend jusqu'à 24 GHz. Une méthode originale de caractérisation à 24 GHz des propriétés diélectriques de la couche émissive de l'antenne est exposée. Un procédé innovant de réalisation de films diélectriques destinés à la conception d'antennes actives est exposé, ainsi que sa caractérisation de 2.45 à 24 GHz.

### **Introduction.**

L'essor des télécommunications mobiles est à la base d'une demande croissante de composants, circuits et systèmes autonomes présentant de hautes performances en termes de bruit, de gain et de miniaturisation.

Nous présentons ici un procédé de réalisation d'antennes actives miniatures. Les domaines d'applications visés concernent les communications mobiles à courte distance (quelques cm à environ un mètre) telles que les badges mains libres (contrôles d'accès sélectifs, applications de gestion de stocks, échange rapide de données entre les badges (mobiles) et une borne d'interrogation fixe), les télépéages, les systèmes sécuritaires et d'aides à la conduite intervenant dans l'automobile « intelligente » (ABS sans contact, suspensions actives, mesures de vitesses, de distances parcourues...).

Une production en masse étant envisagée, des techniques à faible coût de revient doivent être retenues. Par ailleurs, la miniaturisation extrême que nous recherchons justifie l'emploi d'une fréquence de travail relativement élevée. Ces considérations nous font opter pour des systèmes travaillant à des fréquences comprises entre 2 et 24 GHz.

Dans une première partie, nous présentons une méthode de mesure directe de la permittivité relative complexe du substrat de l'antenne à 24 GHz.

Une deuxième partie traite de la réalisation et de la caractérisation de films diélectriques destinés aux antennes multicouches.

### **I/ Antennes sur polymères en bande K**

La technologie multicouches permet d'optimiser des antennes actives miniatures intégrées sur AsGa à la fois du point de vue de leur rayonnement et du point de vue de leur alimentation : en effet, le rayonnement des patchs est favorisé par l'utilisation d'un substrat diélectrique de faible permittivité, alors que les circuits d'alimentation (feeders) de l'antenne nécessitent d'utiliser un substrat de forte permittivité pour canaliser les signaux micro-ondes sans perte de rayonnement et sans rayonnement parasite.

Plusieurs méthodes sont envisageables : la première [1] consiste simplement à associer deux substrats diélectriques de permittivités différentes, par collage. Le problème réside dans la qualité de l'assemblage (alignement, poches d'air...). Une seconde méthode consiste à déposer un film de polyimide à la tournette : l'inconvénient principal est que les épaisseurs de dépôts sont limitées à environ 30  $\mu\text{m}$  [2].

La structure de test est une antenne micro-ruban bicouche ; la couche émissive dont les caractéristiques diélectriques sont inconnues est déposée sur un substrat (AsGa) de caractéristiques connues. Le protocole est le suivant : mesure et simulation [3]

- du paramètre de réflexion ( $S_{11}$ ) d'une antenne en fonction de la fréquence
- du gain à la fréquence de résonance.

Deux antennes de géométries différentes ont été testées : une antenne à 1 élément et une antenne à 3 éléments, dont deux sont alimentés par couplage parasite (figures 1 et 2) dans la bande 22 à 26.5 GHz.

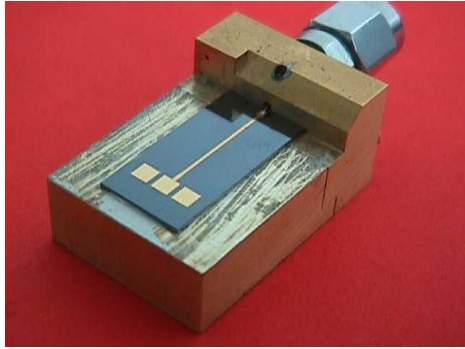


Figure 1 : Antenne à 3 éléments dans une cellule K

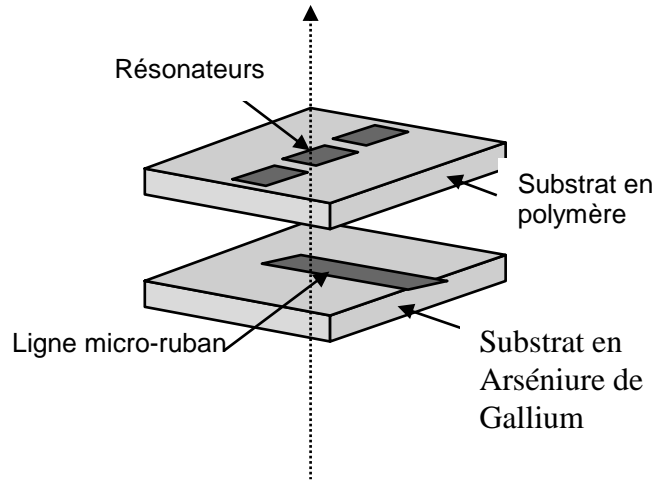


Figure 2 : Antenne à 3 éléments alimentée par couplage de proximité

Les caractéristiques du substrat AsGa sont les suivantes : l'épaisseur est de  $400\ \mu\text{m}$ , la permittivité relative de 12.8, et les pertes de 0.08.

La couche émissive de l'antenne est un polymère [4], déposé sur le substrat AsGa.

Pour l'antenne à 1 élément, nous modifions la permittivité relative et les pertes du polymère de façon à superposer les courbes  $S_{11}(f)$  traduisant les résultats des mesures et de la simulation (figure 3). Une variation de la permittivité  $\epsilon'$  modifie la fréquence de résonance, alors qu'une variation des pertes  $\epsilon''$  modifie l'adaptation. Le meilleur accord est obtenu pour une permittivité relative de 2 et des pertes de 0.1.

Pour l'antenne à 3 éléments (figure 4), si nous prenons pour notre simulation les valeurs trouvées pour l'antenne à 1 élément, nous obtenons un décalage fréquentiel de 0.5 GHz (25.7 GHz mesuré au lieu de 25.2 GHz simulé avec une permittivité relative de 2) et pour l'adaptation une différence de 3 dB (-15 dB au lieu de -18 dB). Une fréquence de résonance de 25.7 GHz correspond à une permittivité relative de 1.8.

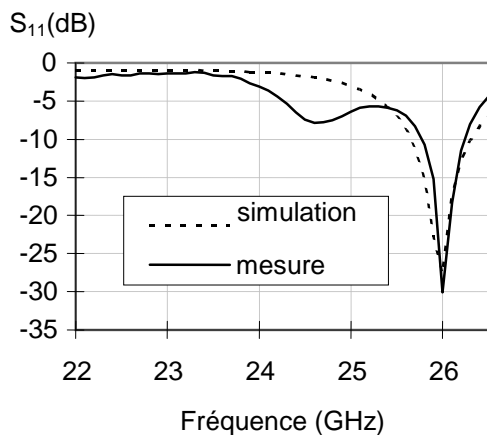


Figure 3 : Résultats mesurés et simulés pour l'antenne à 1 élément

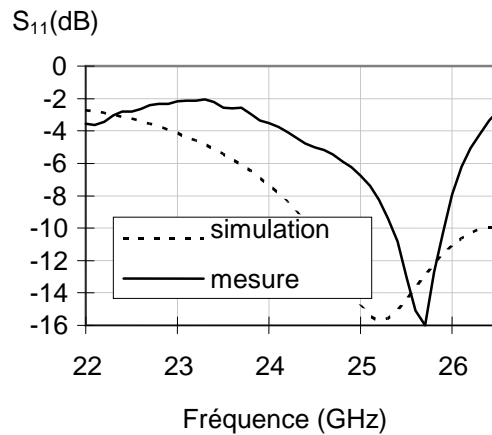


Figure 4 : Résultats mesurés et simulés pour l'antenne à 3 éléments

La mesure du gain à la fréquence de résonance de l'antenne permet de valider ces différentes caractéristiques. Nous obtenons par mesure et par simulation 1 dB pour l'antenne à 1 élément et 3 dB pour l'antenne à 3 éléments avec des pertes de 0.1.

Une limitation de cette méthode réside dans les pertes trop importantes d'un polymère : dans ce cas, il n'est pas possible de déterminer avec précision la permittivité relative et les pertes du polymère [5].

La réalisation de substrats en polymères permet de réaliser des antennes multicouches miniatures intégrées [4] [6] à l'aide des procédés de photolithographie classiques. Le dépôt du diélectrique se fait sur un substrat d'Arséniure de Gallium et nous contrôlons l'épaisseur de ce dépôt à l'aide de la vitesse de la tournette [5]. Les deux inconvénients majeurs présentés par cette technique sont :

- une permittivité fixe et une plage de variation de l'épaisseur relativement faible (5 à 30  $\mu\text{m}$ ). Pour augmenter l'épaisseur, on peut superposer plusieurs couches de polymères, mais on perd en planéité.
- le dépôt s'effectue sur une surface plane

Pour pallier à ces inconvénients, le dépôt par PECVD décrit en deuxième partie [7] est une bonne solution. La permittivité et l'épaisseur du diélectrique, variables et contrôlables par réglages des flux d'oxygène et de monomère, nous permettent d'obtenir des substrats avec des caractéristiques modulables, de superposer tous ces dépôts dans le but d'optimiser les caractéristiques de l'antenne. De plus, le dépôt de diélectrique par PECVD peut être fait sur des surfaces non planes, on peut donc envisager de réaliser des antennes miniatures conformées [8], dont les applications sont multiples, par exemple, les têtes de missiles.

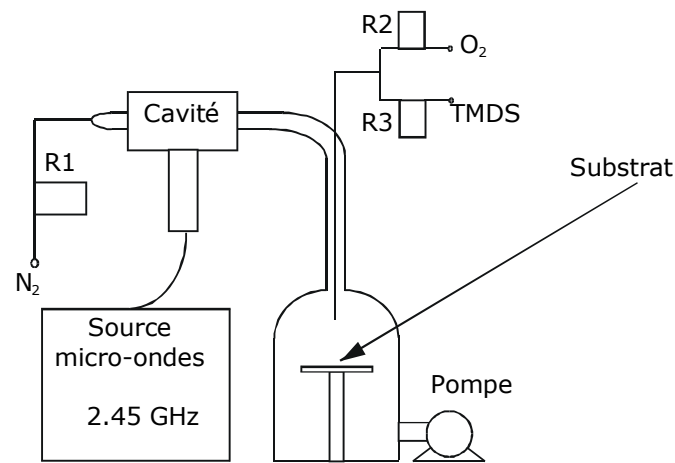
## **II/ Procédé technologique de réalisation des substrats diélectriques par dépôt plasma**

On peut faire appel aux processus CVD (Chemical Vapor Deposition) ou PECVD (Plasma Enhanced CVD) : dans ce cas les substrats peuvent être endommagés par le bombardement des particules d'énergie élevée du plasma. La méthode Remote PECVD [7] permet de résoudre en partie ces problèmes.

Nous avons étudié les conditions d'obtention de films à faible permittivité relative, à partir de la polymérisation de TetraMethylDiSiloxane (TMDS) [7]. Ce processus de dépôt permet d'obtenir des films diélectriques d'épaisseur comprise entre moins de 1  $\mu\text{m}$  et environ 400  $\mu\text{m}$  ; des dépôts avec gradients de permittivité sont également possibles. L'influence de l'addition d'oxygène sur l'épaisseur du film diélectrique et sur ses propriétés est également discutée.

### II.1/ Dispositif expérimental

La figure 5 représente le dispositif expérimental.



**R** : Régulateurs

Figure 5 : \_dispositif expérimental

L'azote est introduit sous une pression de 4hPa, avec un débit de 1.8 slpm dans un tube à décharge. L'excitation est obtenue par l'intermédiaire d'un système de couplage à 2.45 GHz. Le gaz contenant les espèces excitées est extrait de la zone de décharge par une pompe primaire. Le monomère est du TMDS qui se trouve vaporisé puis injecté dans la chambre de réaction à une distance de 1.5 m en aval de la décharge. L'oxygène (dont le débit est variable) est mélangé au TMDS (débit fixe de 15 sccm, dans le cas présent). La puissance micro-ondes est constante et égale à 600 W.

Afin d'obtenir un dépôt homogène, la distance entre le porte-échantillon et l'injecteur coaxial est de 10 cm. Les épaisseurs des films ont été mesurées avec un profilomètre Alphastep.

On utilise des substrats d'Aluminium (Al) et d'Arséniure de Gallium (AsGa).

### II.2/ Résultats

Ils figurent dans le tableau 1.

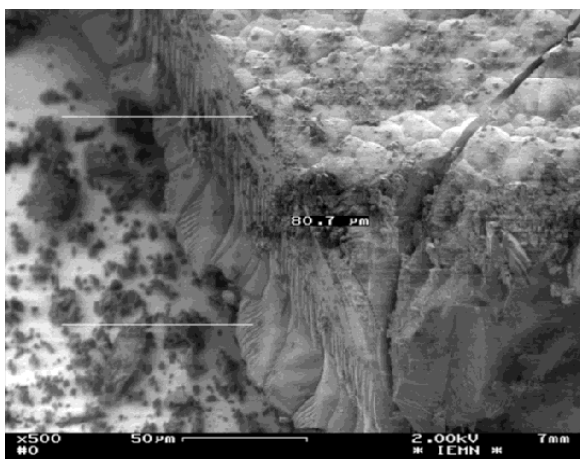
$\Phi(\text{O}_2)$ (sccm)	Temps de dépôt	Epaisseur (mm)	Taux de Dépôt (Dr) ( $\text{\AA}/\text{s}$ )

		AsGa	Al	AsGa	Al
0	7h15mn	72		28	
3	80mn	71	75	148	157
7	43mn48s	61	66	232	253
15	31mn18s	58	62	311	330
45	24mn30s	58	62	395	422
105	23mn20s	57	64	407	457
150	22mn24s		48		361
195	21mn36s	31	31	239	243

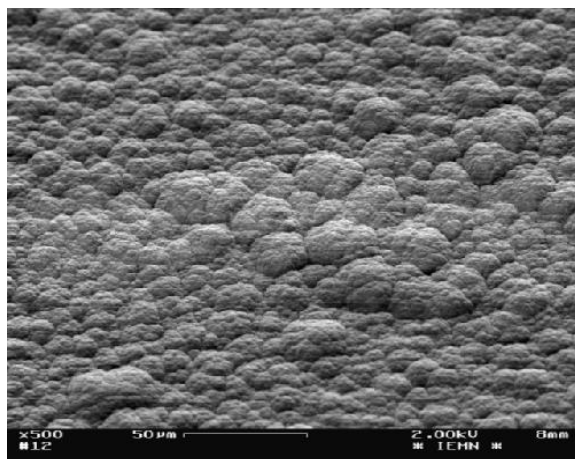
Tableau 1

On voit que l'addition d'O<sub>2</sub> au TMDS a une grande influence sur le taux de dépôt (Dr). Sur un substrat AsGa il augmente de 28 Å/s à 407 Å/s lorsque le flux d'O<sub>2</sub>  $\Phi(O_2)$  varie de 0 à 105 sccm. Les résultats sont sensiblement les mêmes pour le substrat Al. Pour des valeurs plus élevées de  $\Phi(O_2)$ , Dr décroît. Un phénomène de gravure provoqué par l'addition d'O<sub>2</sub> peut expliquer ce phénomène.

La figure 6 a,b,c représente quelques photos de films obtenus pour différents débits d'oxygène : le diélectrique est dense et rugueux .



a)  $\Phi(O_2) = 0$  sccm



b)  $\Phi(O_2) = 195$  sccm

c)  $\Phi(O_2) = 3$  sccm

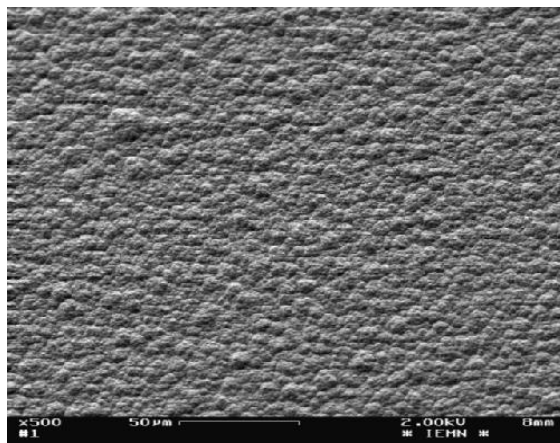


Figure 6 : état de surface des dépôts

La rugosité dépend du flux d'O<sub>2</sub> ; elle est d'environ 1 μm pour un film de 50 μm.

L'addition d'O<sub>2</sub> peut provoquer une fragmentation du TMDS, cause de l'obtention d'un film plus rugueux, ce qui peut expliquer l'accroissement de Dr.

Les films obtenus seront par la suite polis.

Ce procédé permet d'obtenir de façon reproductible des films diélectriques de caractéristiques données et ceci sur des substrats de formes quelconques. Ce procédé convient particulièrement bien à la réalisation d'antennes micro-ondes miniatures actives.

### II.3 Caractérisations diélectriques.

Elles sont effectuées à 2.45 GHz et 10 GHz.

#### II.3.1/ Caractérisation à 2.45 GHz

Le film diélectrique (épaisseur 80 µm) est déposé sur un substrat Al de diamètre 25 mm. La détermination de la permittivité complexe du film diélectrique à 2.45 GHz repose sur la mesure de son coefficient de réflexion à cette fréquence. Cette méthode a été mise au point par L. Achrait [9][10]. Les résultats expérimentaux sont comparés aux valeurs simulées à l'aide de HFSS (High Frequency Structure Simulator).

Les valeurs obtenues à 2.45 GHz sont de l'ordre de :  $\epsilon' = 3.3$  et  $\epsilon'' = 1$ .

#### II.3.2 Caractérisation à 10 GHz

Deux méthodes sont utilisées à 10 GHz :

- Une méthode coaxiale [11] si on utilise des substrats d'Aluminium
- Une méthode guide d'ondes [12] si on utilise des substrats d'AsGa

Le tableau 2 présente les caractéristiques diélectriques en fonction du flux d'O<sub>2</sub> ajouté au TMDS, à 10 GHz.

$\Phi(O_2)$ (sccm)	$\epsilon'$		$\epsilon''$	
	AsGa	Al	AsGa	Al
0	8.0		2	
3	3.0	3.89	1	0.09
7	3.3	4.25	1	0.13
15	3.8	4.59	1	0.20
45	5.0	4.69	1	0.23
105	6.0	4.89	1	0.22
150		5.42		0.27
195	7.7	7.07	3	0.43

Tableau 2 : caractérisation diélectrique à 10 GHz

$\epsilon'$  est la permittivité relative et  $\epsilon''$  traduit les pertes diélectriques. La valeur maximum de  $\epsilon'$  est obtenue pour  $\Phi(O_2) = 0$ . Une décroissance brutale est observée après addition de 3 sccm d'O<sub>2</sub> au TMDS :  $\epsilon'$  décroît de 8 à 3. Par ailleurs,  $\epsilon'$  augmente de 3 à 7.7 sur de l'AsGa et de 3.89 à 7.07 sur de l'Al quand  $\Phi(O_2)$  varie de 3 à 195 sccm.  $\epsilon''$  augmente de 0.09 à 0.43 sur l'Al dans les mêmes conditions, alors qu'il est sensiblement constant (pour  $\Phi(O_2)$  variant de 3 à 105 sccm).

Les deux méthodes de caractérisation donnent des résultats identiques en ce qui concerne  $\epsilon'$ , alors que des différences existent en ce qui concerne  $\epsilon''$ . Cette différence est attribuée au fait que la méthode guide d'ondes est insuffisamment précise lors de la mesure des pertes ; ce fait a été mis en évidence lors de la mesure de matériaux types [13].

### III/ Conclusion

Des méthodes de réalisation et de caractérisation d'antennes patch micro-ondes multicouches ont été décrites. La méthode de détermination in situ des caractéristiques diélectriques d'un dépôt de polymère sur un substrat AsGa peut être étendue au cas où d'un dépôt plasma ; ces mesures sont en cours actuellement.

Une méthode de réalisation de films diélectriques d'épaisseur ajustable entre moins de 1 µm et environ 400 µm et dont la permittivité peut varier de 3 à 8 a été mise au point. Elle repose sur un procédé de dépôt plasma d'un mélange TMDS – O<sub>2</sub>.

Ces films - qui ont été caractérisés diélectriquement dans une gamme de fréquences s'étendant de 2.45 GHz à 10 GHz - présentent de faibles pertes.

Il est ainsi possible de réaliser aisément des antennes micro-ondes miniatures en technologie micro-rubans, que l'on peut ainsi optimiser des deux points de vue rayonnement et alimentation. De nombreuses applications sont

envisageables à des fréquences variées, dans les domaines des télécommunications (GSM, GPRS, UMTS, BLUETOOTH...), des mesures (GPS), des équipements sécuritaires (automobile, badges mains libres,....).

## Bibliographie

- [1] F. Carrez, R. Stolle and J. Vindevoghel, Proc. 16<sup>th</sup> Biennial IEEE/Cornell Conference on Advanced concepts in high speed semiconductor devices and circuits, Ithaca, USA, 1-5 August 1997
- [2] M. Grzeskowiak, P. Descamps, J. Vindevoghel, 2<sup>nd</sup> Int. Workshop on commercial Radio Sensor and Communication Techniques, Munich, Germany, 18 September 1998
- [3] Ensemble software, Boulder Microwave, Boulder, CO, 80302, USA
- [4] M.Grzeskowiak, J.Vindevoghel, 30<sup>th</sup> European Microwave Conference, Paris, France, 2-6 October 2000
- [5] M.Grzeskowiak, Thèse d'Université, Lille, France, 1999
- [6] M.Grzeskowiak, P.Descamps, J.Vindevoghel, Electronics Letters, Vol36, N°1, pp5-7, 6<sup>th</sup> January 2000
- [7] E. Vestiel, J. Vindevoghel, D. Glay, C. Jama, O. Dessaux, P. Goudmand, J-L. Miane, 30<sup>th</sup> European Microwave Conference, Paris, France, 2-6 October 2000
- [8] H.Aissat, Stage de Maîtrise EEA, Université de Marne-la-Vallée, France, 1999
- [9] L. Achrait, T. Lasri, A. Mamouni, 12<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes, Poitiers, France, 16-18 Juin 2001
- [10] L. Achrait-Furlan, D. Glay, T. Lasri, A. Mamouni, Télécom'2001 & 2<sup>èmes</sup> JFMMA, Casablanca, Maroc, 17-19 Octobre 2001
- [11] A. Mouhsen, Thèse d'Université, Bordeaux, France, 1995
- [12] T. Lasri, D. Glay, A. Mamouni, Y. Leroy, Journal of microwave power and electromagnetic energy, Vol 31, N°2, pp. 122-126, 1996.
- [13] D. Glay, Thèse d'Université, Lille, France, 1999