

TRIPLEURS DE FREQUENCES DELIVRANT 5mW à 290 GHZ

T. DAVID⁺, M. GUILLON⁺⁺, T. AKALIN⁺, A. MAESTRINI⁺⁺, S. ARSCOTT⁺, B. LECOMTE⁺⁺,
P. MOUNAIX⁺, G. BEAUDIN⁺⁺, M. CHAUBET⁺⁺⁺ et D. LIPPENS⁺

⁺Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord,
Av. Poincaré, BP 69, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

⁺⁺Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

⁺⁺⁺Centre National d'Etudes Spatiales, 18 Avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex, France

Résumé

Une puissance de sortie de 5 mW est démontrée à 290 GHz en triplant un signal primaire en bande W (75-110GHz). Nous utilisons pour la génération d'harmonique un nouveau type de composant, à non linéarité capacitive, référencé sous la dénomination Heterostructure Barrier Varactor (HBV), fabriqué à l'IEMN, puis monté en technologie « flip chip » sur substrat quartz. Le rendement de conversion, entre les brides d'entrée et de sortie, est de l'ordre de 5 %, pour une bande passante d'environ 30 GHz. A notre connaissance, ces performances sont les plus élevées, obtenues à ce jour avec ce type de composant.

I. Introduction

Les diodes HBV's sont constituées d'une barrière de potentiel cristallin encadrée par deux zones semi-conductrices, où se produit une modulation de zone désertée (effet varactor). Les avantages liés à cette nouvelle structure sont à présent bien identifiés avec (i) l'absence de polarisation continue, (ii) la génération d'harmoniques impairs et (iii) la possibilité d'empiler des composants élémentaires. De technologie récente, les tripleurs de fréquences utilisant des HBV's présentent actuellement des performances comparables, voire supérieures aux doubleurs de fréquences à base de diodes Schottky Varactor. Nous étudions ici la possibilité d'améliorer leurs performances fréquentielles en considérant les aspects composants et circuits successivement.

II. Conception et fabrication des composants

La structure épitaxiale élémentaire est donnée sur la figure 1. Il s'agit ici d'une technologie InP, la barrière de potentiel étant réalisée à partir de l'alternance InAlAs/AlAs/InAlAs. La croissance de la couche intermédiaire se fait dans des conditions de pseudomorphisme. Les couches où se produit la modulation sont en InGaAs modérément dopé. Nous insérons également des zones très fortement dopées, pour la réalisation de contacts ohmiques à très faibles résistances de contact. Cette séquence élémentaire est reproduite deux fois. Cet empilement, possible grâce à l'absence de contacts rectifiants, correspond à la mise en série de deux composants élémentaires.

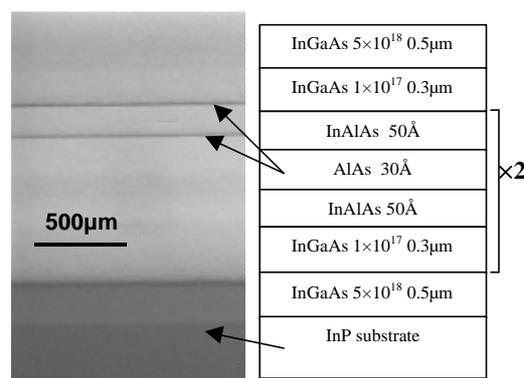


Figure 1: Séquence épitaxiale des structures HBV et SEM

Comparativement aux structures précédentes, qui avaient déjà donné de très bons résultats à 250 GHz [1], nous avons cette fois augmenté les valeurs de dopage, avec réduction des zones de désertion afin de pallier les effets connus sous le terme de saturation en courant. La figure 2 illustre les technologies d'intégration monolithique des composants qui sont fabriqués en technologie multi-mesa. Le contact avec le circuit extérieur se fait par pont à air.



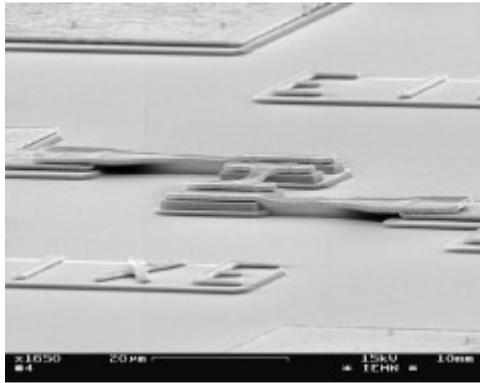


Figure 2: Illustration des technologies de fabrication

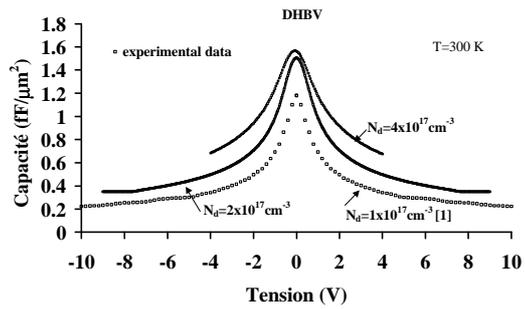


Figure 3: Caractéristiques C-V expérimentales

De plus amples informations sur les technologies d'intégration sont reportées dans l'article 2D2.

III. Caractérisation petit signal

Les facteurs de mérite pour les composants sont avant tout le contraste en capacité et la capacité à zéro Volt. Vient ensuite au niveau de la caractéristique de conduction, la plage de tension pour laquelle le courant de fuite est négligeable et qui fixe en pratique, la tension crête à crête de pompe. La figure 3 montre les variations de capacité mesurées expérimentalement en fonction de la tension lorsque l'on varie le niveau de dopage entre 1.10^{17} et $4.10^{17} \text{ cm}^{-3}$. L'augmentation globale du niveau de capacité est conforme à la diminution des longueurs d'écrantage et de désertion à dopage constant. Le rapport de capacité C_0/C_{sat} est préservé avec des valeurs comprises entre 6 et 3. Les tensions de claquage par effet avalanche sont de l'ordre de quelques Volt (5 à 6 Volt pour $1.10^{17} \text{ cm}^{-3}$) par barrière élémentaire.

IV. Conception et fabrication du circuit de multiplication

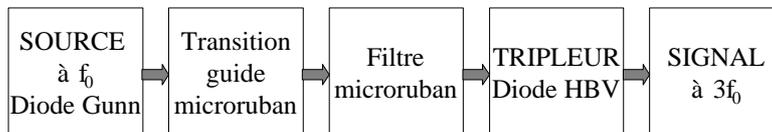


Figure 4 : Schéma bloc de la cellule de multiplication

La figure 4 donne le schéma par bloc de la cellule de multiplication combinant des approches de type guide d'onde et microruban pour les éléments passifs qui peuvent être étudiés par analyse électromagnétique [4]. Il nous faut également traduire les circuits non-linéaires comportant des courants et tensions de fréquences fondamentales et harmoniques modélisables à l'aide de logiciels d'équilibrage harmonique. Les aspects filtrage sont illustrés sur la figure 5.

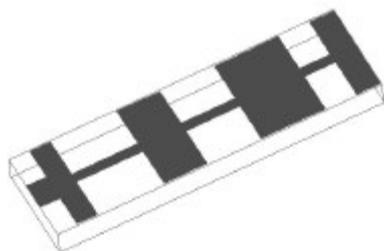
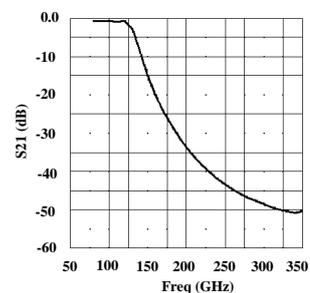


Figure 5 : Filtre microruban (a) Topologie



(b) Transmission

Il s'agit d'un filtre passe bas constitué par une succession de 7 sections à haute et basse impédances. L'ondulation est de 0.8 dB pour une fréquence de coupure de 130 GHz. La simulation globale du bloc de multiplication est illustrée sur les figures 6 et 7. La photo correspondante est donnée figure 8. Deux pistons de court-circuit permettent l'adaptation d'impédance en entrée comme en sortie. Pour les simulations en équilibrage harmonique, nous avons 'fitté' les caractéristiques C-V expérimentales de diodes fabriquées au laboratoire.



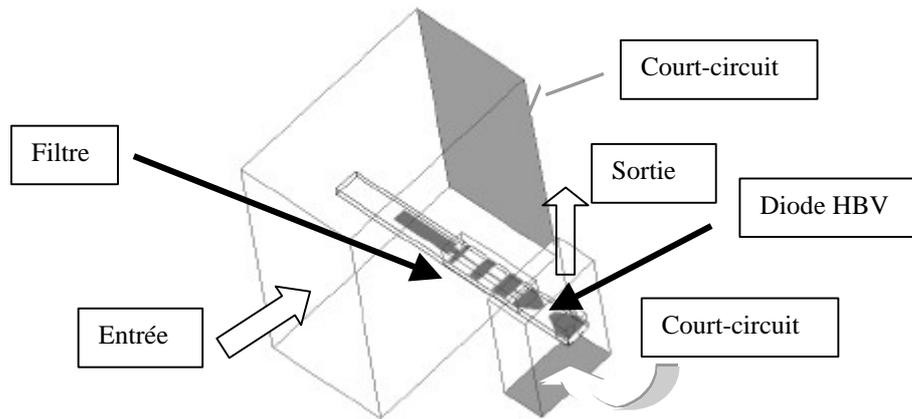


Figure 6 :Structure du bloc de multiplication en guides croisés

La conception de la cellule de multiplication a été effectuée par simulation électromagnétique des circuits passifs par le logiciel HFSS de Hewlett Packard. Schématiquement, la cellule est constituée de deux guides croisés, l'un de standard WR 10 (75-110GHz) et l'autre de standard WR3 (220-325 GHz), reliés par un circuit de filtrage en technologie microstrip sur quartz.

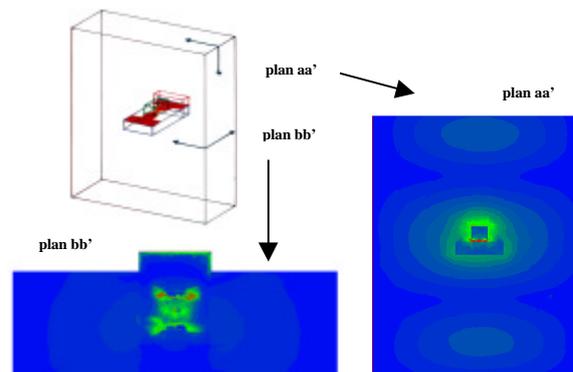


Figure 7: Illustration des méthodes de simulation électromagnétique

Une des difficultés majeures rencontrées est de coupler efficacement le composant actif à la section de sortie. Ce souci explique le choix d'insérer la diode dans le guide de sortie. Ici encore, les simulations électromagnétiques peuvent nous aider à optimiser l'insertion du composant comme l'illustre la figure 7, qui donne la répartition du champ électrique dans deux plans de section droite aa' et bb'. Ce n'est pas la seule possibilité d'implantation et nous étudions actuellement la possibilité de coupler le signal au guide de sortie par l'intermédiaire d'une sonde.

L'adaptation se fait à l'aide de deux pistons de court-circuit mobiles en entrée comme en sortie. Par ailleurs, nous insérons un élément d'adaptation localisé au plus près de la diode. Pour le montage des composants, ceux-ci sont amincis à des dimensions de l'ordre de 30 à 50 μm , leurs dimensions latérales se situant entre 80 et 200 μm .

La cellule de multiplication a été réalisée par la société SAP [2] (figure 8) tandis que les filtres sur quartz ont été fabriqués par la société Micronic [3].

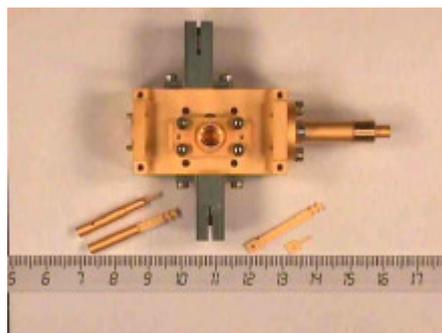


Figure 8: Photo de la cellule réalisée dans le cadre du contrat CNES

V. Mesures grand signal

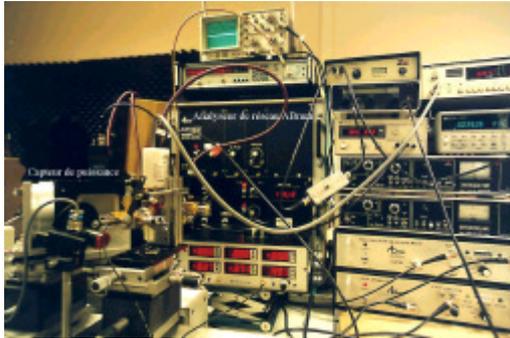


Figure 9: Banc de mesure

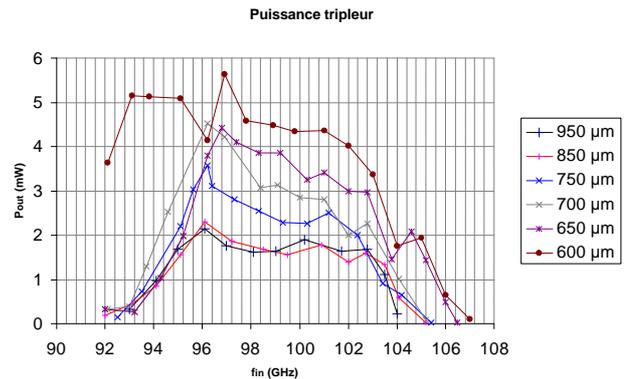


Figure 10: Performances fréquentielles

Le banc de mesure est illustré sur la figure 9. La source primaire est obtenue à l'aide d'un Carcinotron dont la fréquence peut être ajustée en bande W. Les mesures de puissance sont faites à l'aide de détecteurs Anritsu et Hewlett Packard avec référence absolue sur un mesureur de puissance de type Thomas Keating. Un analyseur de réseau AB millimetre [4] complète ces équipements. La figure 10 montre les variations de la puissance de sortie en fonction de la fréquence d'entrée pour différentes conditions d'adaptation. Ces mesures étant effectuées à l'Observatoire de Paris. Nous constatons que le maximum de puissance (~ 5.8 mW) est obtenu à 97×3 GHz. En prenant comme référence 5 mW, la bande passante à 3 dB est de l'ordre de 30 GHz pour la fréquence de sortie. Dans ces conditions, le rendement global est de l'ordre de 5 %.

VI. Perspectives et Conclusion

A notre connaissance, il s'agit de performances inégalées aux fréquences considérées [5]. De façon indépendante, des résultats comparables viennent d'être obtenus au Rutherford Appleton Laboratory sur la même série de composants fabriqués à l'IEMN. L'amélioration de ces résultats tant au plan fréquentiel [6-7], qu'en puissance [8], passe (i) par une meilleure description globale, non seulement, des propriétés électriques, électromagnétiques mais également thermiques (ii) par des avancées technologiques. Pour le premier volet, il semble que les dernières versions d'analyse de réseau et d'électromagnétisme permettent de considérer en même temps l'équilibrage harmonique et les effets de propagation. Pour les aspects de fabrication, nous travaillons actuellement sur un prototype réalisé d'un seul bloc [9] en utilisant la technologie BML [10] et sur les filtres à gap de photons [11]. Enfin, les avancées en microtechnologie notamment par la structuration de la résine SU8 permettent d'envisager à court terme le micro-usinage de la cellule de multiplication.

Références

- [1] X. Mélique et al, IEEE Trans. on MTT, vol. 48, pp.1000-1006, juin 2000
- [2] Société Audoise de Précision, Ambre
- [3] Micronic, Paris
- [4] AB millimetre, Paris
- [5] T. David et al, IMS 2001, à paraître dans Proc. MTT-Symp, Phoenix, AZ, USA, 20-25 mai 2001
- [6] N. Erickson, G. Narayan, S. Martin, R. Smith, I. Mehdi, M. Coulomb, G De Martinez, "Monolithic Frequency Doublers and Triplers for THz Frequencies", 12th Int. Symp. on Space Terahertz Tech., Phoenix, février 2001
- [7] J. Bruston, A. Maestrini, D. Pukala, S. Martin, B. Nakamura and I. Medhi, "A 1.2 THz planar tripler using GaAs membrane based chips", 12th Int. Symp. on Space Terahertz Tech., Phoenix, février 2001
- [8] L. Dillner, W. Strupenski, S. Hollung, C. Mann, J. Stake, M. Beardsley and E. Kollberg, "Frequency multiplier measurements on heterostructure barrier varactor on a copper substrate", IEEE EDL, vol 21, n° 5, may 2000
- [9] R. Meola J. Freyer and M. Claassen, "Improved frequency tripler with integrated single barrier varactor", Electronics Lett., vol.36, n° 9. April 2000
- [10] S. Arscott, T. David, X. Mélique, P. Mounaix, O. Vanbésien and D. Lippens, "Transferred-Substrate InP-Based Heterostructure Barrier Varactor Diodes on Quartz", IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 10, n° 11, nov. 2000
- [11] T. Akalin, M.A.G. Laso, T. Lopetegi, O. Vanbésien, M. Sorolla and D. Lippens, "PBG-like microstrip filters with one and two side patterns", Microwave and Optical Tech. Lett., à paraître en juillet 2001

