



HAL
open science

Antenne reconfigurable en polarisation dans la bande millimétrique en utilisant l'activation optique des matériaux à changement de phase

Jehison Leon Valdes, Laure Huitema, Eric Arnaud, Damien Passerieux,
Aurelian Crunteanu

► To cite this version:

Jehison Leon Valdes, Laure Huitema, Eric Arnaud, Damien Passerieux, Aurelian Crunteanu. Antenne reconfigurable en polarisation dans la bande millimétrique en utilisant l'activation optique des matériaux à changement de phase. XXIèmes Journées Nationales Microondes, May 2019, Caen, France. hal-02267527

HAL Id: hal-02267527

<https://hal.science/hal-02267527>

Submitted on 19 Aug 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.

Antenne reconfigurable en polarisation dans la bande millimétrique en utilisant l'activation optique des matériaux à changement de phase

J. Leon Valdes, L. Huitema, E. Arnaud, D. Passerieux, A. Crunteanu

Laboratoire Xlim UMR 7552
CNRS/Université de Limoges
jehison.leon@xlim.fr

Résumé – Nous présentons l'intégration de matériaux à changement de phase (PCM) de type GeTe au sein d'une antenne opérant dans le domaine des ondes millimétriques (~30 GHz) pour la rendre reconfigurable en polarisation. La conception du dispositif est basée sur une antenne patch conventionnelle excitée par une ligne microruban et le matériau GeTe est intégré aux quatre coins du patch métallique. Le changement de phase entre les états isolants (OFF) et métallique (ON) de ce matériau (contrôlé en utilisant des impulsions laser UV), permet ainsi la reconfigurabilité de cette antenne entre une polarisation linéaire (LP), une polarisation circulaire gauche (LHCP) et circulaire droite (RHCP).

1. Introduction

Au cours des dernières années, l'augmentation du trafic de données, le développement et l'évolution rapide des technologies de communication sans fil ont accru l'intérêt pour la conception de systèmes antennaires plus compacts et avec des fonctions de reconfigurabilités (fréquence, rayonnement et/ou polarisation). La plupart des systèmes de communication utilise une polarisation linéaire (verticale ou horizontale) ou circulaire (gauche ou droite). L'intensité maximale du signal entre deux systèmes est obtenue lorsque leurs antennes utilisent des polarisations identiques. Beaucoup d'applications militaires et spatiales requièrent une polarisation circulaire qui peut être aussi une solution intéressante dans le domaine civil afin de contourner les défauts d'alignement entre l'émetteur et le récepteur et pour atténuer les pertes de polarisation occasionnées par les trajets multiples [1]. La polarisation circulaire peut également permettre de surmonter les effets des déviations, de propagation et des réflexions au sol pour des applications satellitaires. D'autre part, les antennes reconfigurables en polarisation (changement entre les polarisations circulaires et linéaires) permettent aux dispositifs de s'adapter à des environnements variables et d'améliorer la qualité de la liaison en modifiant ses caractéristiques. De plus, la reconfigurabilité en polarisation dans un dispositif permet une réutilisation des fréquences, ce qui étend les capacités du système, et devient utile lorsque la bande de fréquence de fonctionnement est limitée [2] ; pour des applications dans les réseaux 5G des systèmes mobile, par exemple.

Une méthode pour obtenir une polarisation circulaire dans une antenne consiste à utiliser une technique d'alimentation (simple ou multiple) pour exciter deux modes orthogonaux linéairement polarisés avec une différence de phase de 90° [4-6]. Il est aussi possible d'obtenir une polarisation circulaire en intégrant des zones de perturbation sur l'antenne [1-3] ou en utilisant des matériaux magnétiques [7].

La reconfigurabilité de polarisation a été étudiée dans la littérature [1-2,4] et propose des solutions à base de diodes PIN ou de MEMS. Dans ce travail, nous proposons une antenne reconfigurable en polarisation de manière optique. Le dispositif consiste en un patch métallique carré excité par une ligne microruban et intégrant un matériau à changement de phase (GeTe) sur chaque coin. Le changement de phase de ces motifs de GeTe, entre ses états isolants (OFF) et métalliques (ON), réalisé par irradiation laser, [8], vont modifier la géométrie globale du patch et permettre de faire fonctionner l'antenne, de manière répétitive, dans des états avec une polarisation circulaire gauche (LHCP), une polarisation circulaire droite (RHCP) ou encore une polarisation linéaire (LP). Nous présentons dans la suite les résultats de simulations ainsi que la fabrication et la démonstration expérimentale du dispositif réalisé.

2. Antenne reconfigurables en polarisation

2.a. Contrôle optique des PCM

L'intégration de matériaux à changement de phase de type GeTe dans des fonctions hyperfréquences est basée sur leur capacité à évoluer d'un état amorphe, OFF (matériau en phase isolante) à un état cristallin, ON (matériau en phase conductrice) suite à l'application d'un stimulus thermique, électrique ou optique. Ces matériaux présentent une bonne tenue de puissance, une faible consommation d'énergie, une forte isolation à l'état OFF, des faibles pertes d'insertion à l'état ON et un facteur de mérite supérieur ou égal aux technologies de commutation à base de semi-conducteurs, sur des domaines fréquentiels allant jusqu'à 70 GHz [8]. L'avantage majeur de cette technologie est la bi-stabilité des dispositifs, c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas une polarisation permanente pour être maintenus dans un état spécifiquement préparé (ON ou OFF). Pour des applications de type antennaire, la

commande optique des PCM avec des impulsions laser courtes diminue drastiquement le temps de commutation (quelques nanosecondes), évitant aussi les procédés de fabrication complexe et l'intégration de lignes de polarisation liées à l'activation électrique, pouvant introduire des rayonnements parasites et détériorer le diagramme de rayonnement du dispositif antennaire.

Des essais préalables de commutation optique du matériau GeTe ont été réalisés en irradiant directement des couches déposées sur des substrats de saphir et d'alumine. Les passages de l'état isolant à l'état cristallin et vice-versa ont été accomplis, de manière répétitive et reproductible en utilisant des impulsions laser KrF (Compex Pro110) avec $\lambda=248$ nm et durée d'impulsion ~ 30 ns [8]. La cristallisation du GeTe nécessite une impulsion unique (LP1) avec une fluence (énergie de l'impulsion divisée par la surface du spot laser) entre 85 et 90 mJ/cm². L'amorphisation du matériau est réalisée avec une seconde impulsion laser (LP2) possédant une fluence beaucoup plus élevée entre 185 et 190 mJ/cm². Ce faisceau laser avec une dimension de 15x5 mm² permet la commutation successive et répétitive entre les deux phases du PCM sur de grandes surfaces ou de façon plus localisée en utilisant des masques de proximité [8].

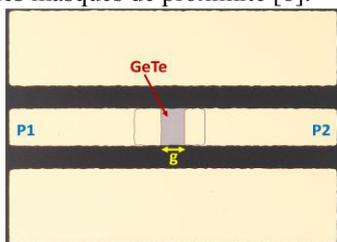


Figure 1. Commutateur RF-PCM intégrant un motif de GeTe de longueur g .

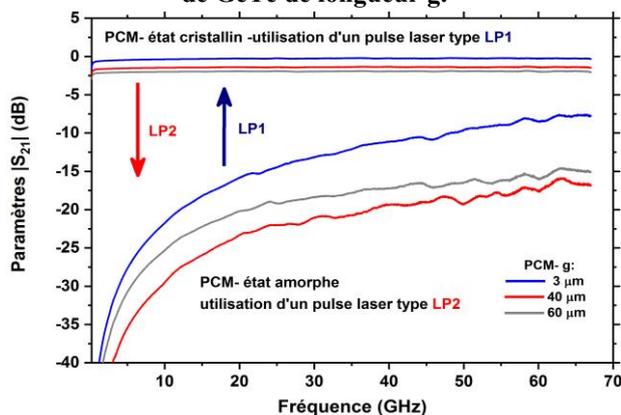


Figure 2. Mesure des paramètres $|S_{21}|$ des commutateurs PCM à l'état cristallin et amorphe pour différentes valeurs de séparation g .

Les propriétés électriques du GeTe dans le domaine des ondes millimétriques ont été évaluées en l'intégrant dans des structures de type guides d'ondes coplanaires. Les deux parties de la ligne de signal des commutateurs RF-PCM (Figure 1), sont reliées par un motif de GeTe de dimensions g comprises entre 3 et 60 μm . Les performances RF (paramètres $|S_{21}|$ mesurés dans le domaine 100 MHz- 67 GHz) des commutateurs avec des motifs de GeTe sont présentées sur la Figure 2, pour plusieurs valeurs de g (3, 40 et 60 μm , respectivement), suite à l'application directe des impulsions laser LP1 (pour

la cristallisation) et LP2 (pour l'amorphisation) sur les motifs de GeTe. A partir de ces résultats de mesures et des simulations électromagnétiques 3D de ces dispositifs, les caractéristiques de couches de GeTe dans la gamme de fréquences 20-60 GHz ont été extraites. Ainsi, les films de GeTe obtenus à l'état amorphe ont des valeurs de conductivité de $\sim 1,1$ S/m. Lors de la cristallisation, les valeurs de conductivité sont autour de 3×10^5 S/m. Ces performances du GeTe ont été utilisées pour concevoir et démontrer une antenne patch accordable en polarisation dans le domaine des ondes millimétriques.

2.b. Conception et résultats de simulations et de mesures de l'antenne

La topologie de l'antenne proposée est un patch métallique carré (de section égale à 2,6x2,6 mm²) imprimé sur un substrat de type RO4003C (de dimensions 12,5x12,5 mm², d'épaisseur 0,305 mm, de permittivité diélectrique $\epsilon_r=3.38$ et de tangente de pertes $\tan\delta=0.0027$). Les coins tronqués (de longueur s égale à 0,45 mm) sont remplacés par des motifs de GeTe (Figure 3). La polarisation de cette antenne est linéaire quand les quatre coins en GeTe sont tous dans le même état (isolants ou métalliques). La fréquence de fonctionnement du dispositif est autour de 29 GHz quand les quatre coins en GeTe sont amorphes et autour de 28 GHz lorsqu'ils sont cristallins. La modification de la symétrie de l'antenne (par exemple en activant à l'état métallique deux coins en GeTe opposés tout en gardant les deux autres à l'état isolant) va permettre l'installation de deux modes orthogonaux (TM_{01} et TM_{10}) dégénérés à la même fréquence de résonance et, par conséquent, une polarisation circulaire. Une fente croisée est gravée sur le patch afin d'élargir la bande passante d'adaptation de l'antenne et du taux d'ellipticité de la polarisation circulaire. Un transformateur quart d'onde est utilisé pour adapter l'impédance d'entrée de l'antenne au 50 Ω de la ligne alimentation.

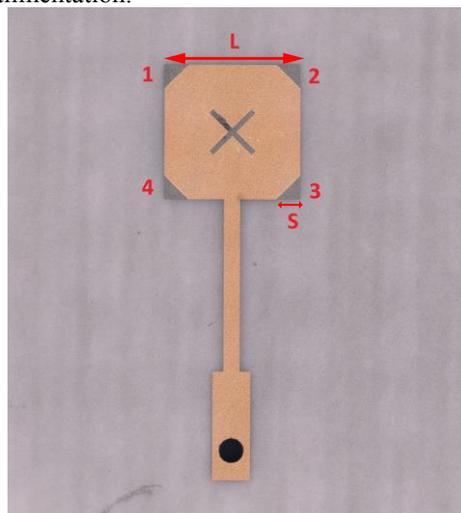


Figure 3. Antenne fabriquée en salle blanche avec les motifs de GeTe dans les coins tronqués du patch métallique carré.

La topologie globale de la structure peut être modifiée optiquement, en choisissant les différents états (ON/OFF)

des motifs du matériau PCM utilisé, ayant comme conséquence une commutation de la polarisation du dispositif, comme présenté dans le tableau 1. Ainsi, dans le cas où les motifs de GeTe des coins 1 et 3 sont à l'état cristallin et les coins 2 et 4 à l'état amorphe, une polarisation circulaire droite (RHCP) est installée (cas 1 sur Figure 4 et Tableau 1). Inversement, quand les coins 2 et 4 sont à l'état cristallin et les coins 1 et 3 à l'état amorphe, une polarisation circulaire gauche (LHCP) est obtenue (Cas 2). Les changements de couleur des motifs de GeTe soumis à une transformation isolant-métal prouvent la transformation de l'état du matériau (quatre états différents de l'antenne illustrés sur la Figure 4).



Figure 4. Antenne fabriquée en salle blanche avec les motifs de GeTe dans les différents états (cristallins et amorphes).

	Coin 1	Coin 2	Coin 3	Coin 4	Polarisation
Cas 1	ON	OFF	ON	OFF	RHCP
Cas 2	OFF	ON	OFF	ON	LHCP
Cas 3	OFF	OFF	OFF	OFF	LP
Cas 4	ON	ON	ON	ON	LP

Tableau 1. Polarisation de l'antenne pour les différents états du GeTe.

D'autres facteurs, notamment la constante diélectrique et l'épaisseur du substrat, la dimension des zones perturbées du patch (longueur s des coins et dimensions de la fente croisée), ainsi que la dimension de l'antenne, ont également des effets sur les performances du dispositif en polarisation circulaire. Le coefficient de réflexion ($|S_{11}|$), le gain, le diagramme de rayonnement et le taux d'ellipticité (AR) des différentes configurations de cette antenne ont été simulés (en utilisant le logiciel CST Microwave studio) et mesurés.

Étant donné que les configurations de l'antenne dans le cas 1 et dans le cas 2 ont exactement la même symétrie géométrique, les polarisations RHCP et la LHCP ont des performances très similaires concernant la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion, le gain et l'AR, ce qui représente une fonctionnalité idéale pour des applications en reconfigurabilité de polarisation. En raison de cette symétrie, seuls les paramètres $|S_{11}|$ et l'AR simulés et mesurés pour les configurations 2 (LHCP) et 3 (LP) sont présentés sur les Figure 5 et Figure 6. Les résultats de mesures montrent une bonne concordance avec les résultats de simulation. En effet, ces résultats

montrent une bonne adaptation de l'antenne autour les 29 GHz. La largeur de bande d'adaptation mesurée ($|S_{11}| < -10$ dB) pour les configurations LHCP et RHCP est de 1,4 GHz et un taux d'ellipticité inférieur à 3 dB sur une bande fréquentielle de 350 MHz. Dans le cas de la polarisation linéaire, la largeur de la bande passante d'adaptation mesurée est de 700 MHz. Les écarts de fréquences entre les résultats de mesures et simulation pourraient principalement être dus aux tolérances de fabrication, à de légères surestimations de la conductivité du GeTe à l'état cristallin ou une sous-estimation des valeurs de résistances à l'état amorphe.

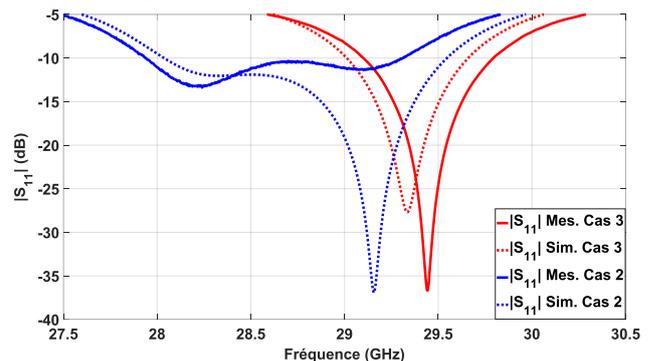


Figure 5. Résultats des mesures et simulations des $|S_{11}|$ des configurations 2 (LHCP) et 3 (LP).

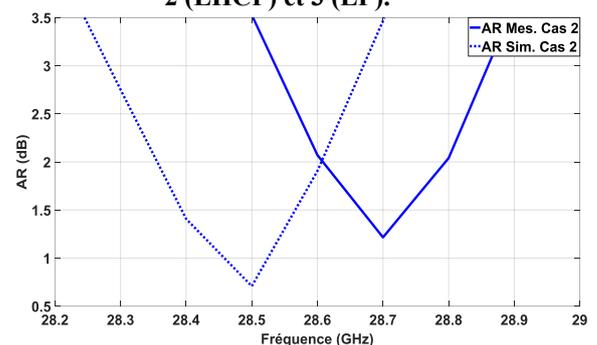


Figure 6. Résultats des mesures et simulations des taux d'ellipticité de la configurations 2 (LHCP).

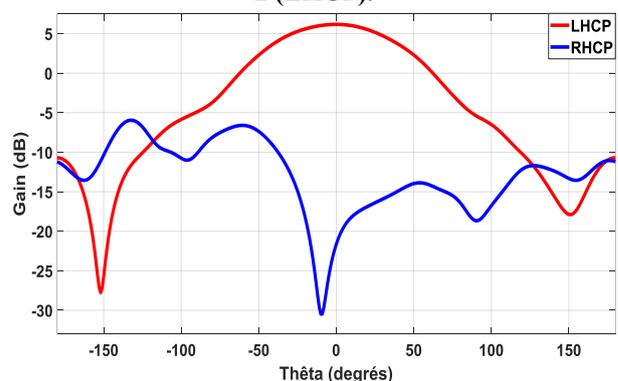


Figure 7. Polarisation principale (LHCP) et polarisation croisée (RHCP) du cas 2 à 28,5 GHz dans le plan $\varphi=0^\circ$ en simulation.

La Figure 7 montre la polarisation principale et la polarisation croisée de polarisation gauche (cas 2 sur la Figure 4 et dans le Tableau 1) à 28,5 GHz (où un minimum de 0,7 dB pour le taux d'ellipticité est obtenu en simulation) dans le plan $\varphi=0^\circ$. Le niveau du gain RHCP

est inférieur d'environ 20 dB à celui de la LHCP entre -30° et 30° , ce qui témoigne de bonnes performances de la polarisation circulaire. Dans ce cas, le gain réalisé dans l'axe est de 6,5 dB. Également, la Figure 8 montre le diagramme de rayonnement correspondant à la polarisation linéaire (cas 3 sur la Figure 4 et dans le Tableau 1) à 29,3 GHz, la fréquence pour laquelle le minimum du $|S_{11}|$ est obtenu, dans le plan $\varphi=0^\circ$. Le niveau de la polarisation croisée est inférieur de 20 dB entre -50° et 50° par rapport à la polarisation principale. Le gain dans ce cas est de 8,3 dB à cette fréquence. Le tableau 2 résume les performances obtenues en termes de bande passante, de gain, de directivité et d'efficacité totale de ces deux configurations, à 28,5 GHz pour la LHCP (cas 2) et à 29,3 GHz pour la LP (cas 3). La Figure 9 montre la courbe avec les valeurs de gain mesurées et simulées pour le cas 2 (LHCP) et le cas 3 (LP). Les diagrammes de rayonnement correspondants aux mesures pour cette antenne seront montrés lors de la conférence.

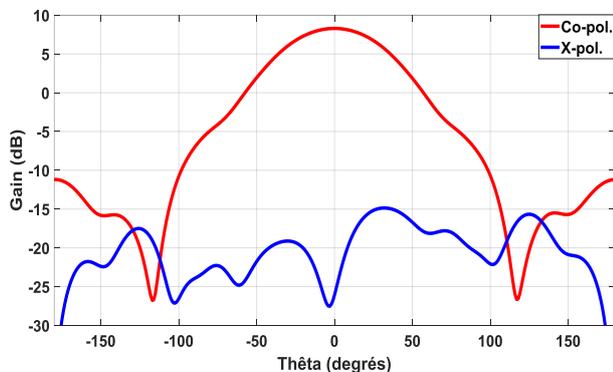


Figure 8. Polarisation principale (Verticale) et polarisation croisée (Horizontale) du cas 3 à 29,3 GHz dans le plan $\varphi=0^\circ$ en simulation.

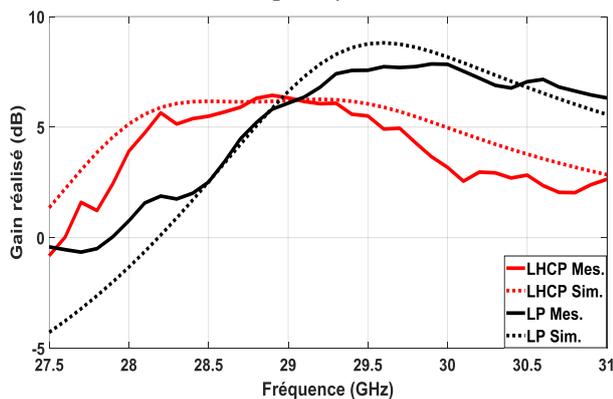


Figure 9. Gain réalisé maximum pour la polarisation circulaire et pour la polarisation linéaire en mesure et en simulation.

	BW ($ S_{11} < -10$ dB)	BW (AR<3 dB)	Direct. (dBi)	Gain Max. (dB)	Eff. Tot. (%)
Cas 2 (LHCP)	5,2 %	1,4 %	7,4	6,2	75
Cas 3 (LP)	2,2 %	---	10,3	8,3	63

Tableau 2. Résumé des performances des configurations 2 (LHCP à 28,5 GHz) et 3 (LP à 29,3 GHz)

3. Conclusion

Nous avons conçu et réalisé une antenne patch hybride métal- GeTe fonctionnant autour de 29 GHz. L'antenne peut fonctionner autour de 29 GHz sur une polarisation linéaire, circulaire gauche ou droite, selon les différents états du matériau GeTe intégré au patch métallique principal. Les phases spécifiques des motifs de GeTe (isolantes ou métalliques) sont contrôlées optiquement. Une configuration simple et facile à mettre en œuvre est proposée pour les antennes à polarisation variable, validée par des résultats de simulations et de mesures, ce qui pourrait fournir des systèmes communicants plus efficaces, avec un coût diminué. L'optimisation de la topologie globale du dispositif permettra le fonctionnement de l'antenne sur des fréquences identiques en LP, LHCP et RHCP, ainsi que l'intégration d'une reconfigurabilité aussi bien fréquentielle qu'en rayonnement, au sein du même dispositif.

4. Remerciements

Les auteurs remercient le soutien financier des projets MASTERS (H2020 M.Era-Net) et AROME (PEPS INSIS-DGA).

Références

- [1] W.-S. Yoon, J.W. Baik, H.-S. Lee, S. Pyo, S.-M. Hanand Y. S. Kimm, "A reconfigurable circularly polarized microstrip antenna with a slotted ground plane," IEEE Antenna and wireless propagation letters, Vol. 9, pp. 1161-1164, 2010.
- [2] Y. J. Sung, T. U. Jang and Y.-S. Kim, "A reconfigurable microstrip antenna for switchable polarization," IEEE Microwave and wireless components letters, Vol. 14, No. 11, pp. 534-536, November 2004.
- [3] H. Wong, K. K. So, K. B. Ng, K. M. Luk, C. H. Chan and Q. Xue, "Virtually shorted patch antenna for circular polarization," IEEE Antennas and wireless propagation letters, Vol. 9, pp. 1213-1216, 2010.
- [4] K. Ming-jiang Ho and G. M. Rebeiz, "A 0.9-1.5 GHz microstrip antenna with full polarization diversity and frequency agility," IEEE Transaction on antenna and propagation, vol. 62, No. 5, pp. 2398-2406, May 2014.
- [5] E. Aloni and R. Kastner, "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed by crossed slots," IEEE Transactions on antennas and propagation, vol.42, No. 8, pp. 1053-1058, August 1994.
- [6] E. Herth, N. Rolland and T. Lasri, "Circularly polarized millimeter-wave antenna using 0-level packaging," IEEE Antennas and wireless propagation letters, vol. 9, pp. 934-937, 2010.
- [7] E. Arnaud, L. Huitema, R. Chantalat, A. Bellion, T. Monédière, "Miniaturization of a Circular Polarized Antenna using Ferrite Materials", 12th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Apr 2018, London, United Kingdom.
- [8] A. Crunteanu, L. Huitema, H. Wong, J.-C. Orlianges, C. Guines, D. Passerieux, "Optical switching of GeTe phase change materials for high-frequency applications," IEEE MTT-S International microwave workshopseries on advanced materials and processes, Pavia, Italy, 20-22 september, 2017.