



HAL
open science

Reflecting Luneburg Lens : une nouvelle lentille à gradient d'Indice

C. Bilitos, J. Ruiz-Garcia, Ronan Sauleau, Enrica Martini, Stefano Maci, D. Gonzalez-Ovejero

► **To cite this version:**

C. Bilitos, J. Ruiz-Garcia, Ronan Sauleau, Enrica Martini, Stefano Maci, et al.. Reflecting Luneburg Lens : une nouvelle lentille à gradient d'Indice. 22èmes Journées Nationales Microondes (JNM 2022), Jun 2022, Limoges, France. <hal-03873236>

HAL Id: hal-03873236

<https://hal.science/hal-03873236v1>

Submitted on 26 Nov 2022

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.



HAL Authorization

Reflecting Luneburg Lens : Une Nouvelle Lentille À Gradient d'Indice

C. Bilitos¹, J. Ruiz-García¹, R. Sauleau¹, E. Martini², S. Maci² and D. González-Ovejero¹

¹Univ. Rennes, CNRS, IETR (Institut d'Electronique et des Technologies du numéRique) - UMR 6164, F-35000, Rennes, France

²University of Siena, Department of Information Engineering and Mathematics, 53100, Siena, Italy
christos.bilitos@univ-rennes1.fr

Résumé — Nous introduisons la lentille de Luneburg réflexive (Reflecting Luneburg lens, RLL), un formateur de faisceau innovant conçu pour surmonter les contraintes plus significatives des lentilles de Luneburg planaires conventionnelles et des autres formateurs, comme le coupleur pillbox. Les RLL offrent de nombreux avantages : balayage total en azimut, possibilité de générer des faisceaux pincés et faible profil. Elles sont également applicables pour une vaste variété de dispositifs fonctionnant en micro-onde, en gamme THz et en optique.

1. Introduction

Les lentilles à gradient d'indice (GRIN) de Luneburg [1] ont été largement utilisées dans la gamme des micro-ondes [2, 3] ainsi qu'aux fréquences optiques [4]. Par exemple, elles constituent le seul type d'antenne capable de diriger un faisceau dans n'importe quelle direction sans pertes de balayage. D'autre part, les lentilles planaires de Luneburg dans des guides d'ondes à plaques parallèles (PPW) fournissent un balayage azimutal complet avec des faisceaux en éventail [5]. Dans cet article, nous introduisons une nouvelle lentille plate qui est également capable de réaliser un balayage azimutal, tout en ouvrant de nouvelles possibilités comme permettre la conception d'antennes à balayage compactes avec une plage de balayage étendue par rapport aux solutions basées sur des systèmes pillbox [6]. Nous l'avons dénommé « Reflecting Luneburg Lens » (RLL, en français Lentille de Luneburg Réflexive).

La structure proposée consiste en deux guides d'onde circulaires à plaques parallèles empilées. La propagation des rayons générés par une source ponctuelle placée sur le périmètre du guide inférieur ou sur la région focale interne est étudiée en considérant un indice de réfraction variable de symétrie azimutale. Après réflexion, ces rayons – tous parallèles – se propagent dans le guide supérieure uniforme. Le comportement de cette lentille s'apparente à celui d'une lentille planaire de Luneburg, avec la différence fondamentale qu'elle fonctionne en réflexion. Le concept est représenté sur la Figure 1. L'indice de réfraction exact est obtenu en résolvant l'équation intégrale non-linéaire de congruence du rayon à travers de la transformé d'Abel tronquée [7].

Dans la Section 2., nous montrons la validation numérique du concept proposé avec la réalisation en bande Ka

de l'indice de réfraction effectif en utilisant une métasurface (MTS) composée de plots métalliques dans le guide d'onde. Les conclusions sont données dans la Section 3..

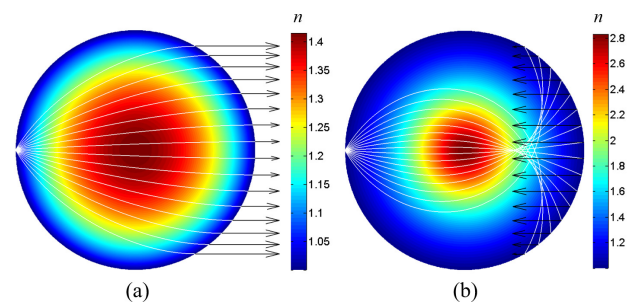


FIGURE 1. Comparaison entre (a) lentille de Luneburg et (b) Reflecting Luneburg Lens (RLL). Dans le RLL, les rayons émergent d'un point à la périphérie subissent des trajets plus longs et, après réflexion à la frontière, ils sont couplés à une couche supérieure uniforme de guidage, où ils forment une onde plane.

2. Implémentation d'une RLL à métasurface en métal

L'expression directe de l'indice de réfraction équivalent d'une RLL est [7]

$$n_{eq} = n_0 \left(\frac{-1 + \sqrt{1 + 8(\rho/R)^2}}{2(\rho/R)^2} \right)^{3/2}, \quad (1)$$

où n_0 est l'indice de réfraction à la frontière de la lentille. Dans ce sens, l'indice dans la couche supérieure est dénommée n_1 . L'évolution de n_{eq} avec la variable radiale ρ dans un système de référence cylindrique est représentée dans la Figure 2a. Aussi, la comparaison avec la lentille de Luneburg conventionnelle est ajoutée comme référence. À travers des principes de tracé de rayons dans un milieu d'indice de réfraction de dépendance seulement radiale, il est possible d'obtenir les trajectoires correspondantes montrées sur la Figure 2b.

Notre objectif est essentiellement d'utiliser la RLL comme formateur de faisceau intégré dans une architecture antennaire. En effet, l'onde plane générée peut être

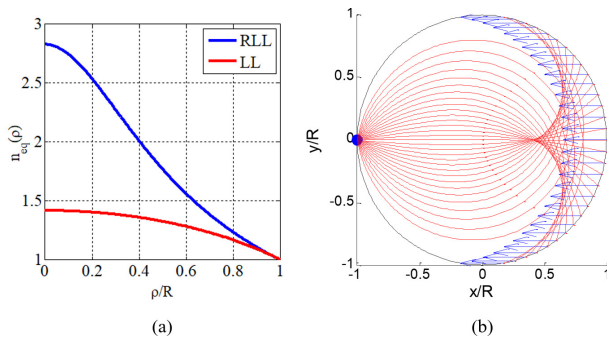


FIGURE 2. (a) Profil radial de l'indice de réfraction du RLL (ligne bleue) et de la lentille de Luneburg équivalente (ligne rouge) pour $n_0 = n_1 = 1$. (b) Trajectoires des rayons du RLL (lignes rouges) et direction des rayons réfléchis dans le PPW supérieur (flèches bleues).

rayonnée progressivement à l'aide d'un réseau à fentes [6] ou d'une MTS modulée [7]. À cette fin, au lieu de placer l'alimentation primaire à la circonférence focale, on peut la placer dans la région focale mise en évidence sur la Figure 2b. La Figure 3 représente le PPW inférieur de la structure proposée, avec un rayon $R = 7\lambda_0$ (λ_0 étant la longueur d'onde en espace libre) et une hauteur de PPW $d = 3.75$ mm. Il est à noter que l'indice de réfraction dans (1) a été réalisé par des plots métalliques avec une hauteur variable. La correspondance entre la hauteur des plots et l'indice de réfraction équivalent est indiquée dans l'encart de gauche sur la Figure 3.

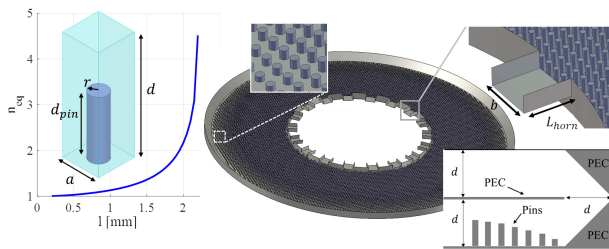


FIGURE 3. Gauche : Mappage entre la hauteur d'une broche métallique et l'indice de réfraction équivalent. À droite : PPW inférieur pour le formateur de faisceaux RLL multifaisceaux mis en œuvre par un lit de clous (l'encart inférieur est une vue en coupe des deux couches).

La Figure 4 montre les résultats de simulation des champs dans la lentille à MTS en utilisant CST. On peut observer qu'une onde plane est soigneusement formée dans le PPW supérieur, obtenant ainsi le comportement souhaité. Compte tenu de la symétrie azimutale du profil GRIN, il est clair que l'on évite les erreurs de phase lors du déplacement de la source autour de la circonférence focale, contrairement aux systèmes pillbox basés sur des réflecteurs paraboliques.

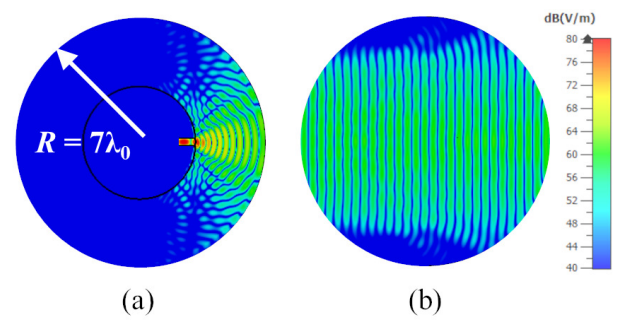


FIGURE 4. Partie réelle de la composante verticale du champ électrique en échelle logarithmique pour le PPW (a) inférieur et (b) supérieur.

3. Conclusion

Nous avons présenté un nouveau type de lentille à gradient d'indice (GRIN) : la lentille de Luneburg réfléchive (Reflecting Luneburg lens, RLL). Ces structures sont de faible profil et peuvent être facilement exploitées comme formateurs de faisceau pour antennes multifaisceaux. En effet, en disposant une pluralité de sources primaires sur la région focale interne, il est possible de générer de multiples faisceaux simultanément en azimut ou bien commuter la direction du faisceau en choisissant le port d'excitation. Cela est démontré par l'implémentation d'une RLL à métasurface totalement métallique. Soulignons enfin que la RLL complète la liste des lentilles GRIN (Luneburg, Maxwell fish-eye, Gutman) qui possèdent une expression directe de l'indice de réfraction.

Références

- [1] R. K. Luneburg, *Mathematical Theory of Optics*. CA, Berkeley : Univ. California Press, 1964.
- [2] L. C. Gunderson and G. T. Holmes, "Microwave Luneburg lens," *Appl. Opt.*, vol. 7, no. 5, pp. 801–804, May 1968.
- [3] B. Fuchs *et al.*, "Design optimization of multishell Luneburg lenses," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 2, pp. 283–289, Feb. 2007.
- [4] Y.-Y. Zhao *et al.*, "Three-dimensional Luneburg lens at optical frequencies," *Laser & Photonics Reviews*, vol. 10, no. 4, pp. 665–672, Jun. 2016.
- [5] Young-Jin Park *et al.*, "A photonic bandgap (PBG) structure for guiding and suppressing surface waves in millimeter-wave antennas," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 49, no. 10, pp. 1854–1859, Oct. 2001.
- [6] M. Ettore *et al.*, "Multi-beam multi-layer leaky-wave SIW pillbox antenna for millimeter-wave applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 4, pp. 1093–1100, Apr. 2011.
- [7] J. Ruiz-García *et al.*, "Reflecting luneburg lenses," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 7, pp. 3924–3935, Jul. 2021.