

Métasurfaces à faible densité d'éléments : Application aux antennes *Sparse metasurfaces: Application to antennas*

Vladislav Popov¹, Fabrice Boust², B. Ratni³, Shah Nawaz Burokur³

¹SONDRA, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, F-91190, Gif-sur-Yvette, France, uladzislau.papou@centralesupelec.fr

²DEMR, ONERA, Université Paris-Saclay, F-91123, Palaiseau, France, fabrice.boust@onera.fr

³LEME, UPL, Univ Paris Nanterre, F92410 Ville d'Avray, France, sburokur@parisnanterre.fr

*Mots clés : métasurface éparsée, antenne.
Keywords: sparse metasurface, antenna.*

Résumé/Abstract

Dans ce travail, nous présentons une approche de métasurface à faible densité d'éléments pour des applications aux antennes reconfigurables électroniquement. Contrairement aux métasurfaces classiques très denses en éléments, les métasurfaces éparées présentent moins de pertes. De plus, elles ont un comportement 'non-local', qui les rend plus intéressantes pour des antennes en termes d'efficacité de rayonnement et de niveau de lobes secondaires. Une métasurface éparsée reconfigurable est proposée et mesurée pour valider l'approche théorique.

1 Introduction

Les avancées dans les études des interactions onde-matière nous permettent aujourd'hui d'envisager la conception de nouveaux types de dispositifs antennaires basés sur les métasurfaces. Les métasurfaces sont considérées comme une version 2D des métamatériaux. Leurs propriétés ont été décrites via des impédances de surface qui sont des fonctions continues des coordonnées spatiales [1]. Dans ce contexte, le nombre d'éléments constituant la métasurface est assez élevé (typiquement 64 par λ^2), ce qui les rend assez dense. Cette approche a permis des réalisations telles que la réflexion anormale [2], la conversion de polarisation [3], la conversion d'une onde plane en onde de surface [4] pour n'en citer que quelques unes. Ces métasurfaces peuvent être rendues reconfigurables en introduisant des éléments accordables comme des diodes PIN ou varactor [5]. Toutefois, les performances des métasurfaces reconfigurables restent le plus souvent très modestes notamment au niveau de l'efficacité. Pour pallier ces inconvénients, nous proposons une nouvelle approche pour développer des métasurfaces à faible densité d'éléments (typiquement 10 par λ^2) et une conception autorisant de fortes dispersions spatiales.

2 Conception de métasurfaces éparées

Nous considérons une géométrie 2D ; le cas d'une polarisation TE et la configuration de la Fig. 1(a). Il s'agit d'un ensemble de N fils chargés (à une échelle très sub-longueur d'onde) placés sur un substrat métallisé sur la face arrière et éclairé par une onde incidente quelconque ($E_x^{(ref)}(\mathbf{r})$). Le champ diffracté par l'échantillon peut s'écrire :

$$E_x^{(sc)}(\mathbf{r}) = E_x^{(ref)}(\mathbf{r}) + \sum_{q=1}^N G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_q) I_q \quad (1)$$

où I_q est le courant induit par l'onde incidente dans le fil q et $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_q)$ est la fonction de Green associée à ce fil. Le courant I_q est relié à l'onde incidente via la loi d'Ohm qui s'écrit :

$$Z_q I_q = E_x^{(ref)}(\mathbf{r}_q) - Z_q^{(in)} I_q - \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq q}}^N Z_{qp}^{(m)} I_p \quad (2)$$

Les impédances $Z_{qp}^{(m)} = -G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_q)$ traduisent les couplages entre fils et ne sont fonction que des caractéristiques géométriques de la configuration. En revanche, Z_q est fonction des impédances qui sont réparties le long du fil ($Z_q^{(in)}$ est simplement l'impédance d'entrée du fil qui ne dépend que de son rayon). Un choix judicieux de ces impédances permet *via* l'équation (2) de contrôler les courants I_q et *in fine* le champ diffracté. En pratique, les

fonctions de Green sont calculées numériquement par éléments finis et les impédances réparties sur les fils qui contribuent à Z_q sont choisies pour satisfaire une contrainte sur $E_x^{(sc)}$ à l'aide d'une méthode d'optimisation. Cette procédure permet de déterminer le jeu d'impédances nécessaire pour, par exemple, réfléchir l'énergie incidente dans une direction donnée. On peut également créer plusieurs faisceaux ou chercher à focaliser l'énergie réfléchie.

3 Application aux antennes reconfigurables

Pour illustrer la méthode, nous avons conçu une métasurface composée de 21 lignes espacées de 15 mm, placées sur un substrat d'épaisseur totale 2.5 mm et de permittivité 2.2 dont la face arrière est métallisée. Les lignes sont chargées par des diodes varactors (Fig. 1(b)). La simulation électromagnétique 3D de la cellule élémentaire est assortie de conditions de périodicité. Ensuite, l'utilisation des expressions présentées dans [6] permet de calculer l'impédance linéique. Les résultats présentés à 10 GHz sur la Fig. 1(c) illustrent la capacité de diriger le faisceau réfléchi dans différentes directions dans le cas où l'angle d'incidence est de 45°.

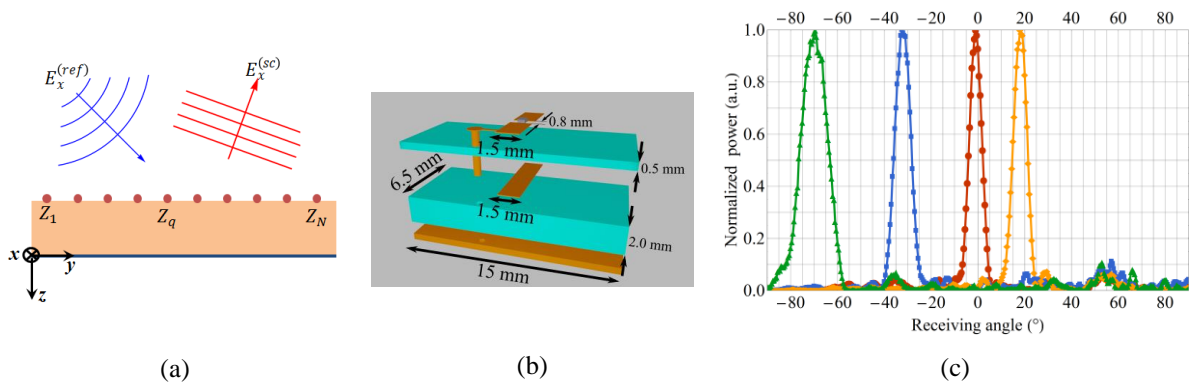


Figure 1 : (a) Schéma de la configuration, (b) Motif élémentaire de la métasurface et (c) Démonstration expérimentale montrant la capacité à réfléchir le faisceau incident dans différentes directions.

4 Conclusion

Les métasurfaces denses à gradient de phase sont très limitées en termes de performance, due à la désadaptation d'impédance entre l'onde incidente et l'onde réfléchi ou réfractée. La démarche proposée permet de concevoir des métasurfaces à faible densité avec un comportement fortement non-local. Cette possibilité permet par exemple de diminuer le niveau des lobes secondaires dans des configurations type 'reflect-array'. En outre, une diminution du nombre d'éléments permet, dans le cas de systèmes reconfigurables, de réduire les pertes associées aux éléments accordables. La démarche proposée est très générale et peut s'appliquer aux futurs systèmes de communication, que ce soit des structures planes ou conformes, voire aussi pour des fonctionnalités en champ proche.

Références bibliographiques

- [1] S. A. Tretyakov, "Metasurfaces for general transformations of electromagnetic fields," *Phil. Trans. R. Soc. A-Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 373, no. 2049, p. 20140362, 2015.
- [2] N. Yu et al., "Light propagation with phase discontinuities: Generalized laws of reflection and refraction," *Science*, vol. 334, no. 6054, pp. 333-337, 2011.
- [3] B. Ratni, A. de Lustrac, G.-P. Piau, and S. N. Burokur, "Electronic control of linear-to-circular polarization conversion using a reconfigurable metasurface," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 111, no. 21, p. 214101, 2017.
- [4] V. Popov et al., "Omega-bianisotropic metasurface for converting a propagating wave into a surface wave," *Phys. Rev. B*, vol. 100, no. 12, p. 125103, 2019.
- [5] B. Ratni, A. de Lustrac, G.-P. Piau, S. N. Burokur, "Reconfigurable meta-mirror for wavefronts control: applications to microwave antennas," *Opt. Express*, vol. 26, no. 3, pp. 2613-2624, 2018.
- [6] V. Popov et al., "Designing metagratings via local periodic approximation: From microwaves to infrared," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 11, no. 4, p. 044054, 2019.