HAL
open science

Contrôle de la réflexion d'un faisceau micro-onde gaussien par modulation spatiale de sa phase

I.A. Glukhov, Yu. S. Dadoenkova, S.G. Moiseev, F.F.L. Bentivegna

To cite this version:

I.A. Glukhov, Yu. S. Dadoenkova, S.G. Moiseev, F.F.L. Bentivegna. Contrôle de la réflexion d'un faisceau micro-onde gaussien par modulation spatiale de sa phase. Journée du Club Optique Micro-Ondes JCOM 2021 (Société Française d'Optique), Jun 2021, Paris (en ligne), France. hal-03251010

HAL Id: hal-03251010

https://hal.science/hal-03251010v1

Submitted on 6 Jun 2021

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.

JCOM 2021
ESYCOM–Le Cnam
Paris
04 juin 2021

Contrôle de la réflexion d'un faisceau micro-onde gaussien par modulation spatiale de sa phase

Igor A. Glukhov[1,2], Yuliya S. Dadoenkova[1,2], Sergey G. Moiseev[2], Florian F. L. Bentivegna[1]
[1] *Lab-STICC (UMR 6285), CNRS, ENIB, 29238 Brest Cedex 3, France*
[2] *Université d'État d'Ulyanovsk, 432017, Ulyanovsk, Fédération de Russie*

Les décalages latéraux et angulaires que subit un faisceau lors de sa réflexion ont fait l'objet de nombreuses études [1]. L'enjeu de ces études est de contrôler précisément la valeur de ces décalages, mais aussi de les exploiter pour une gamme d'applications qui va de la conception de capteurs ultra-sensibles (capteurs de champs électriques et magnétiques, de substances biologiques ou chimiques, de résonances plasmoniques de surface, de température...) à celle de dispositifs photoniques (interrupteurs, routeurs, dé/multiplexeurs...). Nous nous intéressons ici à la possibilité d'utiliser une modulation spatiale de la phase d'un faisceau gaussien [2] en vue d'obtenir un paramètre supplémentaire de contrôle des décalages qu'il subit à la réflexion sur une lame diélectrique.

Nous considérons la réflexion d'un faisceau gaussien dans la gamme des micro-ondes sur une lame diélectrique non-magnétique, à faces planes et parallèles, d'indice de réfraction n_F et d'épaisseur *d.* La lame est entourée d'air (Fig. 1) et ses dimensions latérales sont supposées très supérieures à *d*.

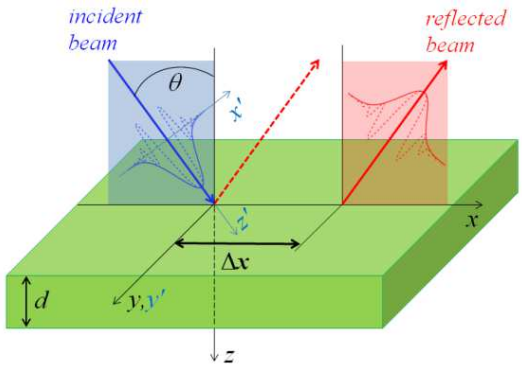

Figure 1. Schéma de la réflexion d'un faisceau gaussien sur une lame diélectrique. Un décalage latéral Δx par rapport à la direction de réflexion spéculaire se produit dans le plan d'incidence.

Le faisceau incident dont nous étudions la réflexion est un faisceau gaussien bi-dimensionnel dont la phase est modulée spatialement. Le faisceau réfléchi subit, dans le plan d'incidence (*xz*) d'un référentiel cartésien, un décalage latéral Δx par rapport à la position attendue pour une réflexion purement spéculaire. Ce décalage latéral s'accompagne en général d'un léger décalage angulaire, également dans le plan d'incidence. Ce comportement généralise l'effet Goos-Hänchen [3]. Dans ce travail, nous montrons que la modulation spatiale de la phase du faisceau incident permet un contrôle de cet effet.

Sans perte de généralité, l'onde incidente est supposée polarisée *s*, et l'unique composante de son champ électrique a pour amplitude complexe $E_y^{(\mathrm{i})}$, avec, dans le référentiel cartésien (*x'y'z'*) attaché à cette onde (Fig. 1) :

$$E_y^{(\mathrm{i})}(x',z') = E_{y0}\sqrt{\frac{w_0}{w(z')}}\exp\left[-\frac{1}{w^2(z')}x'^2\right]\exp\left[-i\frac{\xi}{w_0^2}x'^2\right]\exp\left[i\eta(z')-ik_0z'-ik\frac{1}{2R(z')}x'^2\right]. \qquad (1)$$

Dans l'expression (1) apparaissent les paramètres caractéristiques typiques (rayon du faisceau w, waist w_0, rayon du front d'onde R et phase de Gouy η) d'un faisceau gaussien, mais aussi ξ, qui est le *taux de modulation spatiale de la phase du champ*. Ce dernier paramètre exerce une profonde influence sur les effets de réflexion non-spéculaire du faisceau gaussien, ce qu'une simulation numérique montre par exemple pour un faisceau de waist $w_0 = 8{,}85$ mm et de longueur d'onde centrale 2,912 mm en incidence oblique sur une lame de quartz fondu d'épaisseur d = 8,33 mm (Fig. 2).

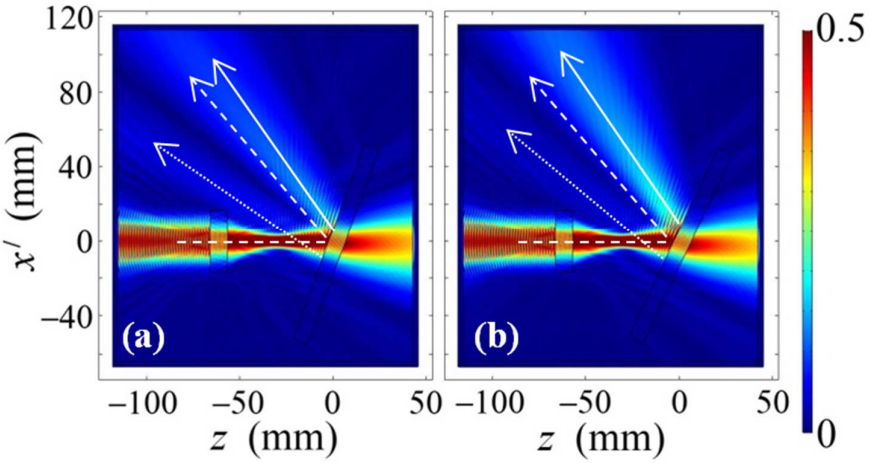

Figure 2**.** Distribution de l'amplitude normalisée des champs électriques incident, réfléchi et transmis pour un angle d'incidence (a) $\theta = 20°$ et (b) $\theta = 25°$ et un taux de modulation spatiale de la phase du champ incident $\xi = -3$. La flèche tiretée indique la direction de réflexion spéculaire et les flèches pointillée et pleine les faisceaux réfléchis primaire et secondaire.

Sur cet exemple, en l'absence de modulation de phase ($\xi = 0$), le décalage latéral du faisceau ne dépasse pas 0,3 w_0. et le décalage angulaire est d'environ 2°. L'introduction d'une modulation spatiale de la phase sur le trajet du faisceau incident a pour conséquences une augmentation *contrôlée* (d'un facteur pouvant excéder 2) du décalage latéral, une déformation du faisceau réfléchi et l'apparition d'un faisceau réfléchi secondaire. Le décalage angulaire atteint environ 9,8° pour $\theta = 20°$ et 6,6° pour $\theta = 25°$. Une telle modulation peut par exemple être obtenue en utilisant une lame dont l'indice de réfraction présente un gradient parabolique dans la direction perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau [4].

Notre étude généralise cet exemple à une large gamme d'angles d'incidence et de taux de modulation de la phase du faisceau, et montre que la modulation spatiale de la phase du faisceau incident offre un moyen d'exalter de manière contrôlée les valeurs des décalages de faisceaux et, potentiellement, d'améliorer la sensibilité et l'efficacité de dispositifs exploitant ces décalages.

Références :

[1] K. Y. Bliokh and A. Aiello, "Goos–Hänchen and Imbert–Fedorov beam shifts: an overview", J. Opt., 15(1), 14001, 2013.
[2] A. A. Zharov, N. A. Zharova, and A. A. Zharov, Jr., "Phase control of the giant resonant Goos–Hänchen shift", JETP Letters, 112, 65–70, 2020.
[3] F. Goos and H. Hänchen, "Ein neuer und fundamentaler Versuch zur Totalreflexion", Ann. der Phys., 1, 333–346, 1947.
[4] D. Isakov, C. J. Stevens, F. Castles, and P. S. Grant, "3D-Printed High Dielectric Contrast Gradient Index Flat Lens for a Directive Antenna with Reduced Dimensions", Adv. Mater. Technol., 1(6), 1600072, 2016.