Proposition de thèse ISAE-SUPAERO

Invisibilité Microonde par Décharge Plasma

Directeurs de thèse : Thierry CALLEGARI (LAPLACE / GREPHE), Romain PASCAUD (ISAE-Recherche / DEOS / SCAN)

Contact : romain.pascaud@isae-supaero.fr

Date limite de candidature : 22/03/2018.

Domaine scientifique : électromagnétisme.

Mots-clés : furtivité, décharges plasma.

Résumé : La capacité à rendre un objet furtif, voire invisible, est un enjeu crucial pour les systèmes de défense actuels. D'un point de vue pratique, cela consiste à réduire sensiblement sa signature électromagnétique, thermique et acoustique, et ainsi empêcher sa détection et son identification par des systèmes au sol ou embarqués. Dans le domaine des microondes, on cherche principalement à dissimuler différents objets (avions, missiles, …), ou parties d'objets, aux systèmes radar. Ces derniers peuvent être mono- ou multi-statiques. Pour améliorer la furtivité, on modifie la forme de l'objet pour répartir favorablement l'énergie diffractée [1]. En utilisant des matériaux ou des revêtements absorbants, on peut également agir efficacement sur la puissance réfléchie en la réduisant [2]. Toutefois, si ces techniques permettent d'améliorer la furtivité d'un objet, elles ne conduisent pas pour autant à son invisibilité quasi-totale.

Récemment, la recherche dans le domaine des métamatériaux a permis le développement de solutions originales conduisant à l'invisibilité d'objets canoniques (cylindres, sphères, …) [3-7]. Certains métamatériaux présentent en effet des propriétés exotiques comme une permittivité diélectrique et une perméabilité magnétique négatives, et donc un indice de réfraction potentiellement négatif lui aussi. En combinant ces propriétés et l'optique de transformation, il a été montré par Pendry et al. que l'on peut rendre un objet totalement invisible dans le domaine des microondes [3,4]. Dans ce cas particulier, un métamatériau fortement anisotrope et inhomogène est créé afin de déformer l'espace, habituellement isotrope. L'invisibilité est ainsi obtenue en courbant l'onde électromagnétique incidente et en isolant complètement la région camouflée.

Une autre approche, plus simple à mettre en œuvre, a été proposée par Alù et al. en 2005 [5]. La technique d'annulation de diffraction (Scattering Cancellation Technique ou SCT) consiste à associer à l'objet à camoufler (une sphère diélectrique dans [5]), un matériau produisant un moment dipolaire de même intensité mais de signe opposé. Le camouflage plasmonique, issu de la structure bicouche, annule ainsi le champ lointain diffracté. Contrairement à l'approche de Pendry et al. , le matériau nécessaire pour le camouflage est isotrope et homogène avec seulement une faible permittivité positive ou négative, ce qui facilite fortement sa mise en œuvre. La vérification expérimentale des potentialités de cette méthode a principalement été réalisée à l'aide de métamatériaux dans le domaine des microondes [6,7].

Dans le travail proposé, nous nous intéressons à substituer au métamatériau un gaz ionisé, également connu sous le nom de plasma, pour obtenir l'invisibilité. En effet, le plasma possède intrinsèquement une permittivité diélectrique faiblement positive, voire négative, dans la gamme des microondes. L'objectif principal de cette thèse est donc de mettre à profit les propriétés diélectriques du plasma pour rendre invisible des objets dans le domaine des microondes.

Récemment des travaux innovants ont été entrepris dans le domaine des interactions plasmas / micro-ondes. Ils ont été conduits dans le cadre d'un partenariat entre les équipes GRE (Groupe de Recherche en Electromagnétisme) et GREPHE (Groupe de Recherche Energétique, Plasma, Hors Equilibre) du LAPLACE (LAboratoire PLAsma et Conversion d'Energie) et le DEOS (Département Electronique Optronique Signal) de

l'ISAE (Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace). Forts des résultats obtenus, il semble aujourd'hui possible de mettre en évidence expérimentalement l'apport des plasmas pour l'invisibilité microonde.

Références

[1] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, Radar Cross Section , 2nd Edition , SciTech Publishing, 2004.

[2] P. Saville, Review of Radar Absorbing Materials , Defence R & D Canada – Atlantic, Jan. 2005.

[3] J. B. Pendry, D. Schurig, and D. R. Smith, Controlling electromagnetic fields , Science, Vol. 312, No. 5781, pp. 1780-1782, Jun. 2006.

[4] D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, and D. R. Smith, Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies , Science, Vol. 314, No. 5801, pp. 977-980, Nov. 2006.

[5] A. Alù and N. Engheta, Achieving transparency with plasmonic and metamaterial coatings , Physical Review E, Vol. 72, p. 016623, Jul. 2005.

[6] B. Edwards, A. Alù, M. G. Silveirinha, and N. Engheta, Experimental verification of plasmonic cloaking at microwave frequencies with metamaterials , Physical Review Letters, Vol. 103, No. 15, p. 153901, Oct. 2009.

[7] D. Rainwater, A. Kerkhoff, K. Melin, J. C. Soric, G. Moreno, and A. Alù, Experimental verification of three-dimensional plasmonic cloaking in free-space , New Journal of Physics, Vol. 14, p. 013054, Jan. 2012.

[8] H. Singh, S. Antony, and R. M. Jha, Plasma-based Radar Cross Section Reduction , Springer, 2016.

[9] R. J. Vidmar, On the use of atmospheric pressure plasmas as electromagnetic reflectors and absorbers , IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 18, No. 4, pp. 733-741, Aug. 1990.

[10] C.-X. Yuan, Z.-X. Zhou, J. W. Zhang, X.-L. Xiang, Y. Feng, and H.-G. Sun, Properties of propagation of electromagnetic wave in a multilayer radar-absorbing structure with plasma- and radar-absorbing material , IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 39, No. 9, pp. 1768-1775, Sep. 2011.

FORMATION DOCTORALE