
Profilométrie optique tridimensionnelle haute résolution

Superviseur : Patrick Chaumet, Kamal belkibir, Gabriel Soriano

La caractérisation fine de la rugosité des surfaces est un enjeu scientifique et industriel considérable. En microélectronique par exemple, la fabrication de semi-conducteurs nécessite de nouvelles solutions de métrologie avancée pour l'inspection des wafers et du dépôt des matériaux.

L'optique présente des avantages marqués pour le contrôle non-destructif : rapidité, faible coût, faible encombrement... Les profilomètres optiques commerciaux ont cependant leur précision (pouvoir de résolution transverse) limitée à la demi-longueur d'onde « par la diffraction ». Cette limite n'est toutefois pas intrinsèque ; elle découle surtout du modèle physique d'interaction onde-surface utilisé ; ces modèles, élémentaires, sont généralement limités à la diffusion simple de la lumière.

Dans l'équipe SEMO de l'Institut Fresnel, nous travaillons sur la profilométrie optique par méthode inverse de diffraction intégrant une méthode numérique rigoureuse de résolution du problème direct de diffraction d'une onde électromagnétique par une surface rugueuse. Nous faisons spécialement réaliser des échantillons rugueux au Laboratoire de Photonique et de Nanostructures. Nous disposons sur site d'un montage de microscopie tomographique de diffraction pour la mesure en amplitude et en phase du champ diffracté par ces échantillons. Un modèle inverse pour des rugosités unidimensionnelles (invariantes par translation suivant une direction) a été développé [1,2]. Les tests sur des données expérimentales [3] affichent des résolutions bien meilleures que le critère de Rayleigh ; la limite de résolution de ce genre de méthodes reste à établir.

Nous proposons aujourd'hui d'étendre ce modèle inverse aux surfaces bidimensionnelles (objets 3D) dans le cadre d'une thèse. Nous commencerons par travailler sur des données synthétiques ; le modèle direct a déjà été développé dans l'équipe. Avant d'attaquer le problème vectoriel sur des surfaces diélectriques, on pourra considérer les conditions de Dirichlet et/ou Neumann sur le cas des ondes scalaires.

Pour réduire encore la charge numérique, nous avons commencé à développer une nouvelle approche où les mesures sont combinées pour simuler un éclairage de la surface par un faisceau d'empreinte étroite. Ainsi, une portion restreinte de la surface sera inversée, à un coût de calcul maîtrisé. Le centre du faisceau étroit est décalé pour balayer la surface complète, et ainsi reconstruire la rugosité complète.

Pour obtenir des données expérimentales des échantillons rugueux de natures diverses sont disponibles au laboratoire ; on déterminera aussi quels échantillons tests seront réalisés au Laboratoire de Photonique et de Nanostructures.

Sujet théorique/numérique/expérimental.

Programmation matlab et fortran.

mots clés : profilométrie, ondes électromagnétiques, théorie de la diffraction, problèmes inverses, modélisation numérique, microscope tomographique de diffraction.

[1] S. Arhab, G. Soriano, Y. Ruan, G. Maire, A. Talneau, D. Sentenac, P. C. Chaumet, K. Belkibir, and H. Giovannini, Phys. Rev. Lett. 111, 053902 (2013)

[2] S. Arhab, G. Soriano, K. Belkibir, A. Sentenac, and H. Giovannini, J. Opt. Soc. Am. A 28, 576-580 (2011)

[3] S. Arhab, H. Giovannini, K. Belkibir, and G. Soriano, J. Opt. Soc. Am. A 29, 1508-1515 (2012)