

## Résumé de la thèse en français

L'équipe de Recherche en Couches Minces Optiques (RCMO) de l'Institut FRESNEL dispose d'un ensemble de machines de dépôt sous vide utilisant une technologie basée sur le dépôt physique en phase vapeur (PVD). La réalisation de fonctions de filtrage complexes nécessite une parfaite maîtrise du processus de dépôt ainsi qu'un contrôle précis et en temps réel de l'épaisseur optique des couches déposées. Il existe différentes techniques de contrôle basées sur des méthodes physiques ou optiques, le principe consistant dans ce dernier cas à suivre l'évolution des performances spectrales de l'empilement au cours de sa formation. À titre d'exemple, nous pouvons citer ici les méthodes de contrôle dites Monochromatique ou Large Bande.

Au cours de ma thèse, consacrée au développement de nouvelles modalités de contrôle optique *in situ*, je me suis particulièrement intéressé à deux sujets différents, à savoir :

- D'une part, la détermination de la dépendance spectrale des constantes optiques (indice de réfraction et coefficient d'extinction) de matériaux diélectriques. En effet, la connaissance de ces constantes est capitale si l'on souhaite réaliser des filtres optiques de hautes performances, et un moyen possible pour effectuer cette détermination consiste à utiliser un système de contrôle optique large bande afin d'enregistrer les spectres de transmission de l'empilement au fur et à mesure de sa formation. En effet, l'évolution temporelle, à chaque longueur d'onde, de ces spectres de transmission contient des informations quantitatives liées aux constantes optiques que nous souhaitons déterminer. J'ai donc établi de manière théorique la nature mathématique de cette relation et appliqué cette méthode à la détermination des constantes optiques de couches de pentoxyde de tantale ( $Ta_2O_5$ ) et de dioxyde de silicium ( $SiO_2$ ) déposées par pulvérisation ionique assistée (DIBS), et ce, sans avoir recours à l'utilisation de modèles de dispersion d'indice.
- D'autre part, la mesure en temps réel du coefficient de réflexion ( $r$ ) d'un empilement, en amplitude et en phase, lors de son dépôt. En effet, les méthodes de contrôles optiques en intensité présentent des limitations que la connaissance de l'information de phase devrait permettre de contourner. Cette mesure est réalisée par interférométrie holographique digitale à faible cohérence sur un substrat éclairé par sa face arrière et dont la face avant est équipée d'un masque annulaire. Ceci donne accès aux informations de phase et d'amplitude recherchées tout en s'affranchissant des vibrations générées par le fonctionnement de la machine de dépôt ainsi que du mouvement de rotation à 120 tours par minute qu'effectue le porte-substrat. Cette méthode nous a permis de réaliser des cartographies de phase sur la zone centrale du substrat pendant la construction de différentes fonctions de filtrages optiques. Par ailleurs, grâce à elle, nous sommes également en mesure de déterminer les déformations subies par le substrat, ainsi que l'évolution de sa température pendant le dépôt.

**Mots clés :** Couches minces optiques, Holographie digitale à faible cohérence, Coefficient de réflexion (amplitude et phase), Interférométrie, Détermination d'indice, Contrôle optique

## Résumé de la thèse en anglais

The FRESNEL Institute's Research Team on Optical Thin Films (RCMO) owns a set of vacuum deposition machines using technologies based on physical vapor deposition (PVD). The realization of complex filtering functions requires a perfect mastering of the deposition process as well as an accurate real time monitoring of the optical thickness of the deposited layers. There are different monitoring techniques based on physical or optical methods, the principle consisting in the latter case to follow the evolution of the spectral performance of the stack during its formation. As an example, we can cite the monitoring methods called Monochromatic or Broadband.

During my PhD thesis, devoted to the development of new methods of *in situ* optical monitoring, I was particularly interested in two different subjects, namely:

- On the one hand, the determination of the spectral dependence of optical constants (refractive index and extinction coefficient) of dielectric materials. Indeed, the knowledge of these constants is a key issue for the manufacturing of high performance optical filters, and a possible way to achieve this determination consist in using a broadband optical monitoring system in order to record the transmission spectra, in real time, of the stack during its formation. Indeed, the temporal evolution, at each wavelength, of these transmission spectra provide quantitative information related to the optical constants that we wish to determine. I therefore theoretically established the mathematical nature of this relation, and applied this method to determine the optical constants of tantala ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) and silica ( $\text{SiO}_2$ ) layers deposited through a Dual Ion Beam Sputtering (DIBS), and this without the use of index dispersion models.
- On the other hand, the real time measurement of the reflection coefficient ( $r$ ) of a stack, in amplitude and phase, during its deposition. Indeed, the optical monitoring methods based on intensity proprieties present some limitations that the knowledge of phase information should overcome. This measurement is performed by low coherence digital holographic interferometry on a substrate illuminated by its rear face and whose front face is equipped with an annular mask. This gives access to desired phase and amplitude information while avoiding the parasitic influence of the substrate motions induced by the vibrations of the deposition machine, and the rotation of the substrate holder at 120 rounds per minute. This method allow us to perform a phase mapping of the central zone of the substrate during the deposition runs of various optical filtering functions. Furthermore, thanks to it, we are also able to determine the deformations undergone by the substrate, as well as the evolution of its temperature during the deposition process.

**Keywords:** Optical thin films, Low coherence digital holography, Reflexion coefficient (amplitude and phase), Interferometry, Refractive index determination, Optical monitoring.