

Procédés

Optimisation des composants diélectriques pour les applications laser à forte puissance

De nouveaux revêtements peuvent être créés en combinant des revêtements IAD avec une surveillance optique à large bande de l'épaisseur des couches

Par Christian Merry

LASER COMPONENTS S.A.S, 45 bis route des Gardes, 92190 Meudon, France

Contact : c.merry@lasercomponents.fr

Les avancées dans le domaine de l'optique font augmenter les niveaux d'exigences en matière de composants optiques, comme les caractéristiques techniques, la précision, la fiabilité et la répétabilité. Ces niveaux d'exigences peuvent être satisfaits de différentes manières. En plus de la mise en place de nouveaux systèmes de traitements optiques, la mise à niveau des machines existantes (en intégrant par exemple une nouvelle technologie de mesure) doit également être mentionnée. Les avantages et les inconvénients inhérents à chaque approche sont décrits ci-après.

Revêtements IBS

L'IBS (pulvérisation par faisceau d'ions) est apparue depuis quelques années, et concerne plus particulièrement les revêtements très exigeants. Grâce à la forte répétabilité de l'IBS et à sa faible vitesse de dépôt, les épaisseurs de couches nécessaires peuvent être fabriquées avec une grande précision. De plus, le processus produit des revêtements très compacts, insensibles aux changements de température et présentant une très faible diffusion. L'un des principaux inconvénients de l'IBS est que, en raison de sa faible vitesse de développement de couches, la fabrication d'un revêtement prend beaucoup de temps. En outre, par rapport aux applicateurs classiques, la capacité des machines à IBS est généralement très limitée.

Revêtements « E-beam »

L'application par faisceau d'électrons est la technologie la plus connue et probablement la plus utilisée. Ce processus est également connu sous le nom de PVD (dépôt physique en phase vapeur) ou « E-beam ». Il consiste à vaporiser des matériaux diélectriques dans le vide à l'aide d'un faisceau d'électrons. En règle générale, la capacité de la chambre est plus importante et la durée de fabrication est plus courte qu'avec les revêtements pulvérisés, ce qui permet de réduire les coûts de production. En ce qui concerne plus particulièrement les impulsions laser nanoseconde, les revêtements E-beam présentent un seuil d'endommagement très élevé, qui est difficilement atteint par les revêtements pulvérisés [1]. De plus, le processus E-beam permet

de fabriquer simultanément des revêtements destinés à des longueurs d'onde centrales différentes ou à plusieurs angles d'incidence en un seul passage. Ces possibilités sont uniques et n'existent pas avec les techniques de pulvérisation. Par conséquent, les revêtements E-beam demeurent un excellent choix pour un grand nombre d'applications. Il y a peu de temps encore, la sensibilité des couches aux changements de température (dérive thermique), et la précision de fabrication et la répétabilité limitées des couches complexes présentaient des inconvénients.

Afin de s'adapter aux exigences de plus en plus strictes en matière d'optique de précision et d'éviter les inconvénients susmentionnés, les chambres de traitements existantes peuvent être mises à niveau afin d'utiliser les dernières technologies en vigueur.

Revêtements IAD destinés aux couches compactes et insensibles à la température

Afin d'éviter toute dérive thermique, les chambres de traitements existantes peuvent être équipées d'une source d'ions à hautes performances. Les couches déposées sont ciblées par un flux d'ions à basse énergie, d'où le nom d'IAD (Ion-Assisted Deposition - Dépôt ionique). En raison de ce transfert d'impulsions, les molécules déposées à la surface de la couche accumulent une énergie cinétique supplémentaire, ce qui provoque une occupation des emplacements les plus avantageux sur le plan énergétique à l'intérieur de la structure de la couche en formation. Ainsi, des couches beaucoup plus compactes peuvent être obtenues, en ajustant le faisceau d'ions

avec précaution. Ces couches présentent une stabilité mécanique et thermique beaucoup plus élevée, proche de celle des revêtements pulvérisés. La pénétration d'eau dans les couches peut également être empêchée. Le revêtement devient donc résistant aux conditions environnementales, et ses caractéristiques peuvent ainsi être maintenues, même dans les conditions d'utilisation les plus diverses.

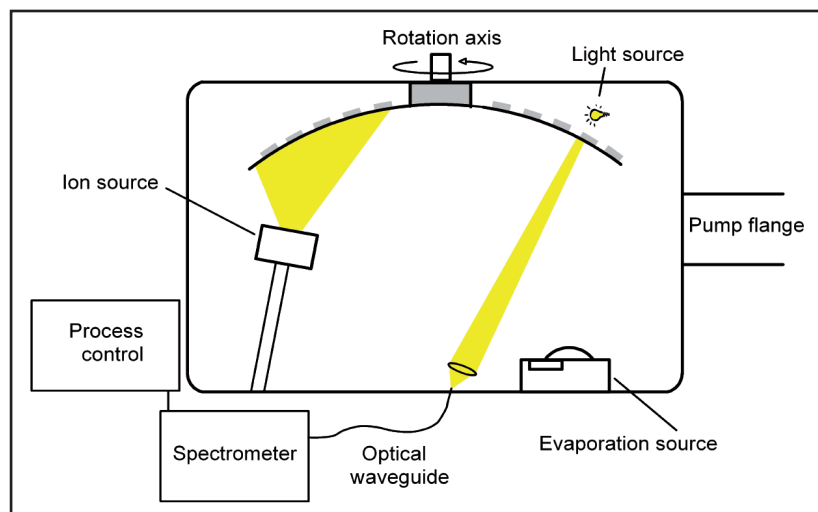
En utilisant une source d'ions à basse énergie, le degré d'assistance ionique peut être parfaitement ajusté de façon à s'adapter aux propriétés requises pour les couches. Ceci est particulièrement avantageux en présence de matériaux extrêmement sensibles aux contraintes, ou de revêtements présentant un seuil d'endommagement très élevé.

Surveillance en ligne et à large bande de l'épaisseur des couches pour les revêtements complexes

Afin d'améliorer la précision de fabrication et la répétabilité, il est possible d'installer un instrument optique à large bande supplémentaire *sur site*, de façon à mesurer l'épaisseur des couches (Fig. 1). Contrairement aux concepts de surveillance classiques, l'épaisseur de la couche déposée n'est pas mesurée au niveau d'une pièce témoin au centre ou par une microbalance en quartz, mais directement au niveau d'un substrat à l'intérieur de la calotte du porte-substrat. Cela permet d'accroître la précision de fabrication. Néanmoins, le fait que le spectre visible entier soit utilisé pour surveiller l'épaisseur des couches est encore plus important. La lumière d'une source de lumière blanche est transmise à travers le substrat à mesurer et est couplée à une fibre optique dans la partie inférieure de la chambre à vide. La lumière est guidée vers un spectromètre capable de traiter la totalité de la plage de longueurs d'onde, des UV au proche-infrarouge.

Ce concept est l'inverse du principe de surveillance monochrome de l'épaisseur des couches (le plus couramment utilisé), selon lequel la lumière d'une seule longueur d'onde λ est détectée. Généralement, cela limite les structures de couches possibles aux couches ayant une épaisseur optique (c'est-à-dire le produit de l'épaisseur et de l'indice de réfraction) égale à un quart de cette longueur d'onde de référence ou à des multiples de celle-ci. Ces structures de couches sont également appelées « systèmes $\lambda/4$ ».

▼ Figure 1 : Schéma d'une chambre d'application à vaporisation par faisceau d'électrons ionique et à surveillance optique à large bande de l'épaisseur des couches.



LASER COMPONENTS a cessé d'être uniquement un distributeur en 1986, avec le lancement de la fabrication en interne d'optiques pour laser.

Dans les années qui ont suivies, le développement et la production de ses propres composants s'est étendue en Europe, au Canada et aux États-Unis.

Traitements Optiques Laser

Ainsi en Allemagne, LASER COMPONENTS développe des couches multi diélectriques pour composants optiques hautes tenues au flux dans la gamme spectrale 193 nm à 5 μ m.

L'usine possède 5 chambres de traitement. Une d'entre elles utilise une technologie par vaporisation qui permet de réaliser des optiques encore plus performantes pour les nouvelles générations de Laser.

Une des spécialités de LASER COMPONENTS réside dans la fabrication de miroirs en verre à géométrie parabolique pour les disques Laser de faible épaisseur, d'optiques adaptatives ou encore de miroirs Gaussien.

Composants Optiques

Depuis 2008, LASER COMPONENTS produit dans sa nouvelle usine dernier cri des lentilles optiques. Des substrats de diamètres de 10 mm à 50 mm peuvent être meulés et polis selon les spécifications des clients. Tous les types de lentilles (plan-concaves, plan-convexes, biconcaves, et biconvexes) peuvent être produits avec des rayons de courbures dans des plages de 12 mm à 12 000 mm.

Contact :

c.merry@lasercomponents.fr

www.lasercomponents.fr

www.twitter.com/LCFrance

Avec la surveillance à large bande de l'épaisseur des couches, le spectre observé est étendu d'une seule longueur d'onde à une large plage spectrale. En d'autres termes, le nombre de longueurs d'onde de référence mesurées simultanément est limité uniquement par la résolution du spectromètre. Il n'est pas rare d'avoir plus de 1000 points de mesure. Les avantages offerts par la surveillance à large bande sont énormes. Pour commencer, les couches ne sont plus limitées à une seule longueur d'onde de référence et aux systèmes $\lambda/4$. Par conséquent, il est désormais possible de déposer des couches d'épaisseur arbitraire et selon n'importe quelle combinaison, ce qui permet de développer les possibilités de formation de revêtements complexes. Le contrôle de la production est également amélioré de façon significative. Le grand nombre de points de mesure permet d'augmenter considérablement la précision de la mesure de l'épaisseur actuelle des couches. De plus, après chaque tour de la calotte de substrat, la transmission de courant du substrat à mesurer est comparée avec les valeurs cibles théoriques. Ainsi, mêmes les plus petites variations des paramètres du matériau optique ou de l'épaisseur des couches déposées peuvent être reconnues et compensées pendant le processus de fabrication.

Nouveaux produits et améliorations

En combinant des revêtements à dépôt ionique avec la surveillance à large bande de l'épaisseur des couches, il est possible de réunir les avantages du processus E-beam classique et les excellentes propriétés des couches IBS. Cela permet de fabriquer des revêtements présentant de meilleures caractéristiques. On peut citer par exemple le polarisateur en couche mince (TFP), qui est inséré en-dessous de l'angle de Brewster (environ 56°). La partie à polarisation p du faisceau incident est transmise (et ne subit qu'un léger décalage) alors que la partie à polarisation s est réfléchie à un angle d'environ 112° (Fig. 2).

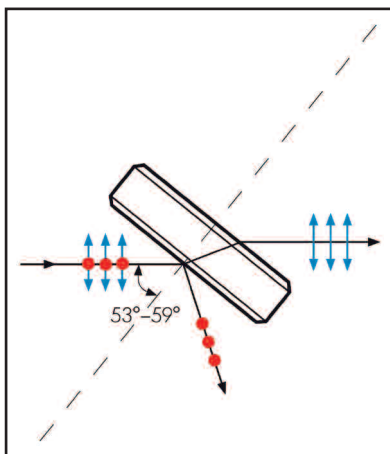
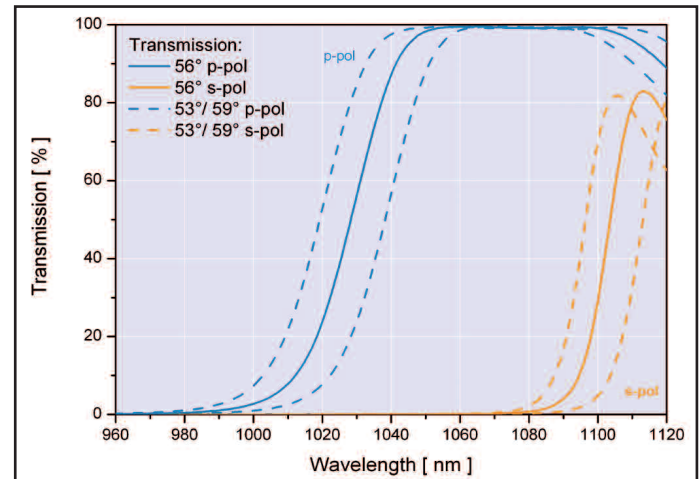


Figure 2 : Un polarisateur en couche mince est inséré en-dessous de l'angle de Brewster d'environ 56° . Alors que la lumière à polarisation p est transmise, la partie à polarisation s est réfléchie, et donc déviée de 112° .

En raison de leurs seuils d'endommagement élevés, les polarisateurs en couche mince conviennent particulièrement pour la séparation de polarisations à des niveaux de puissance laser élevés. Le but est d'obtenir une transmission T_p élevée de la lumière polarisée p et un rapport d'extinction T_p/T_s le plus élevé possible. Par exemple les spécifications standard de LASER COMPONENTS sont : $T_p > 95\%$ et $T_p/T_s > 100:1$, jusqu'à $300:1$. Pour atteindre ces valeurs optimales, cependant, l'angle d'incidence doit être ajusté (pour les polarisateurs en couche mince standard) entre 53° et 59° .

Grâce à la surveillance à large bande, il est désormais possible d'améliorer de manière significative les caractéristiques des polarisateurs en couche mince. Cela a entraîné la création d'un nouveau polarisateur à large bande (TFPB). Ce polarisateur présente des caractéristiques adéquates permanentes avec des angles de 53° à 59° , comme cela est illustré sur la figure 3. Le rapport d'extinction peut même être augmenté au-delà de $300:1$.



▲ Figure 3 : Courbe de transmission du polarisateur en couche mince à large bande (TFPB) pour une longueur d'onde centrale de 1064 nm .

Grâce à la grande variété d'angles acceptés par le TFPB, aucune optimisation de l'angle d'incidence n'est nécessaire. Son application est donc très simple et aucun ajustement ultérieur n'est nécessaire. De plus, le polarisateur peut être utilisé sur des trajets de faisceau légèrement divergents ou concentrés sans avoir à redouter des pertes de performances. À l'inverse, si aucune fourchette d'angles étendue n'est utilisée (mais plutôt un angle d'incidence fixe), le TFPB peut être utilisé pour une plage de longueurs d'onde située autour de la longueur d'onde centrale (CWL). Si $CWL = 532\text{ nm}$, cet intervalle est d'environ 20 nm ; si $CWL = 1064\text{ nm}$, cet intervalle devient supérieur à 25 nm .

Le polarisateur à large bande TFPB est disponible pour toutes les longueurs d'onde standard situées entre 355 nm et 1064 nm . Des longueurs d'onde particulières sont également disponibles sur simple demande.

En plus des polarisateurs en couche mince sans réglage (TFPB), le système de surveillance à large bande permet de fabriquer une multitude de revêtements complexes. Ex. : miroirs à dispersion de vitesse de groupe négative - appelés « miroirs à compression ». Ces miroirs sont utilisés pour compenser l'élargissement des impulsions temporelles au sein des impulsions laser ultra courtes provoquées par la dispersion normale des matériaux optiques. On peut également citer les séparateurs de faisceaux non polarisants, les miroirs à bande passante, les polarisateurs en couche mince pour un angle d'incidence de 45° , les filtres optiques ou les courbes de transmission et de réflexion en fonction des spécifications du client.

Référence :

[1] Laser-Induced Damage in *Optical Materials*, 2008, Proc. SPIE, Vol. 7132, Editors G.J. Exarhos, D. Ristau, M.J. Soileau and C.J. Stolz