

Couches antireflet

Miroirs diélectriques

Les interférences des lames minces à faces parallèles ont des applications dans la vie courante. Nous allons en voir deux : les traitements "anti-reflet" des verres de lunettes ou d'objectif photo et les miroirs diélectriques multicouches.

1 Couche antireflet

La lumière réfléchi sur les dioptrés air-verre présents dans les instruments d'optique est gênante : elle entraîne une perte de lumière, crée des images parasites et un fond de lumière diffuse qui dégrade la qualité des images.

On diminue fortement cette lumière réfléchi en déposant une couche mince d'un matériau transparent sur les surfaces de verre, l'indice de ce matériau étant inférieur à celui du verre.

1.1 Description

On considère une surface de verre d'indice N sur laquelle une couche d'épaisseur e , d'une substance d'indice n a été déposée. La surface est éclairée par une onde plane monochromatique en incidence normale. Il émerge de cet ensemble une infinité d'ondes transmises et une infinité d'ondes réfléchies, comme avec un Fabry-Pérot. Le principe d'une couche an-

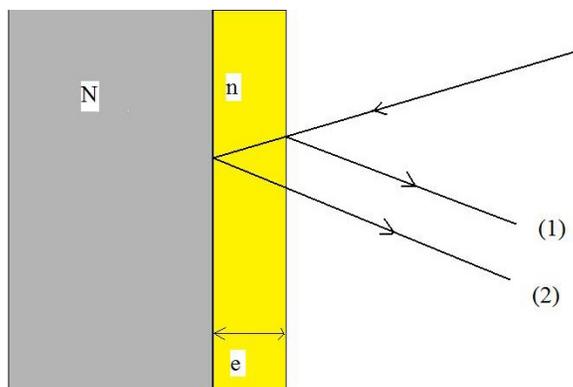


Figure 1: Une couche mince de matériau transparent est déposée sur une surface de verre. Une onde plane arrive en incidence normale (pour la lisibilité du dessin, on a représenté une incidence oblique), elle est réfléchi partiellement sur les deux dioptrés séparant l'air de la couche déposée, et celle-ci du verre. Les deux ondes réfléchies sont en situation d'interférence destructive pour des valeurs appropriées de n et e .

tiereflet est de diminuer le coefficient de réflexion en intensité de l'ensemble { verre + couche antireflet } par rapport au verre seul. Pour cela, les rayons réfléchis par l'ensemble { verre + couche antireflet } doivent interférer destructivement. Cela est possible si les coefficients de réflexion r_1 sur le dioptré air / couche antireflet et r_2 sur le dioptré couche antireflet / verre sont égaux ET si le déphasage entre les deux premiers rayons réfléchis est égal à $\pi + k2\pi$, k entier. Cela est équivalent à deux ondes de même amplitude qui interfèrent en opposition de phase : l'intensité résultante est alors nulle. Et l'intensité réfléchi étant nulle, le reflet est bien supprimé.

1.2 Condition sur n pour une couche antireflet

La condition $r_1 = r_2$ s'écrit

$$\frac{1 - n}{1 + n} = \frac{n - N}{n + N}$$

soit encore

$$(1 - n)(n + N) = (n - N)(1 + n)$$

qui donne en développant

$$2n^2 = 2N$$

ou encore

$$n = \sqrt{N}$$

Pour un verre d'indice $N = 1,5$, cela correspond à $n = 1,22$. Aucun matériau facile à manipuler ne possède un indice aussi faible. On utilise alors de la cryolithe ($n = 1,35$) ou du fluorure de magnésium ($n = 1,38$), ce dernier étant plus robuste.

On obtient alors une intensité réfléchie non nulle, mais environ quatre fois plus faible qu'en l'absence de couche antireflet. Pour un verre d'indice élevé $N = 1,74$, on trouve $n = 1,32$ et les matériaux précédents permettent une couche antireflet très efficace.

1.3 Condition sur l'épaisseur e de la couche

Pour une couche antireflet efficace, il faut que les deux premiers rayons réfléchis aient un déphasage de $\pi + k2\pi$, k entier.

En incidence normale, leur différence de marche est $\delta = 2ne$ et leur déphasage est

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} 2ne$$

On a donc

$$\frac{2\pi}{\lambda} 2ne = \pi + k2\pi$$

On en déduit

$$e = \frac{\lambda}{4n} + k \frac{\lambda}{2n} = (2k + 1) \frac{\lambda}{4n}$$

La plus petite épaisseur est obtenue pour $k = 0$:

$$e_{min} = \frac{\lambda}{4n}$$

. On choisit λ au maximum de sensibilité de l'oeil : 550 nm. Si $n = 1,35$, alors $e_{min} = 102$ nm.

1.4 Remarques

On constate qu'une couche antireflet n'est efficace qu'au voisinage d'une seule longueur d'onde. En lumière blanche, cela pose problème car la réflexion des autres longueurs d'onde n'est pas autant atténuée. On y remédie en déposant plusieurs couches : cela permet d'atténuer encore plus la réflexion et sur une grande plage de longueurs d'onde ; mais cela coûte plus cher.

Enfin, on peut aussi augmenter le coefficient de réflexion d'un dioptre à l'aide de couches minces : cela est utilisé par exemple pour réaliser des lames semi-réfléchissantes ou des miroirs à très haut coefficient de réflexion (pour une cavité laser par exemple). Les miroirs ainsi obtenus sont souvent de meilleure qualité que les miroirs métalliques.

2 Principes du dépôt de couches minces

Pour déposer une couche mince sur du verre, la technique la plus courante consiste à vaporiser le matériau à déposer et à exposer le verre (substrat) à cette vapeur pendant la durée nécessaire à la formation de la couche d'épaisseur désirée. Le dépôt se fait sous vide, ce qui a plusieurs avantages : sous vide, il est plus facile d'évaporer le matériau à déposer ; le chemin du matériau à déposer vers le substrat est direct et il n'y a pas d'interaction avec d'autres molécules qui pourraient réagir chimiquement avec la vapeur à déposer. Il est à noter que la vapeur se dépose partout dans la cloche à vide, pas seulement sur le substrat. Il y a donc un nettoyage à faire après chaque manipulation. La couche se forme par condensation de la vapeur sur le substrat.

L'évaporation peut être réalisée par chauffage ou par bombardement d'électrons.

Cette technique peut être utilisée pour déposer des métaux, des céramiques ou des diélectriques (isolants électriques). Elle se nomme Dépôt Physique en Phase Vapeur, Physical Vapor Deposition en anglais, et est abrégée en PVD.

Il existe également un procédé CVD : Chemical Vapor Deposition, soit Dépôt Chimique en Phase Vapeur, où la vapeur réagit chimiquement avec le substrat et c'est le produit de la réaction chimique qui se dépose.