

Contrôle et évaluation de la rugosité des surfaces polies de verres optiques par la méthode de diffusion totale intégrée de la lumière

Manallah Aissa

Laboratoire d'Optique Appliquée, Institut d'Optique et de Mécanique de Précision,

Université Ferhat Abbas de Sétif

Tel/Fax : +21336925134,

Email: manallah_aissa@yahoo.fr

Résumé: La méthode de diffusion de la lumière, fondée sur le principe de l'interaction lumière-matière, est appliquée pour le contrôle et la mesure de la rugosité des verres optiques polis. Elle se base sur l'évaluation statistique du signal lumineux en voyant par la surface étudiée, et permet par conséquent de caractériser l'état de surface en fonction de la répartition de la lumière diffusée et corriger cette répartition à l'aide du paramètre de rugosité. La lumière diffusée par une surface rugueuse contient donc les informations sur l'état de celle-ci.

Mots clés: Métrologie optique, Diffusion de la lumière, Rugosité, Contrôle non destructif.

1 DIFFUSION TOTALE INTEGREE OU TIS

TIS est définie comme le rapport de l'intensité de la lumière diffusée à l'intérieur d'un hémisphère couvrant la surface en question, sur l'intensité de la lumière totale réfléchie par cette surface. La théorie scalaire de la diffusion de Beckmann, associe la réflectivité spéculaire R_r d'une surface et la réflectivité totale R_0 (qui inclut la réflectivité diffuse R_d), à la rugosité rms δ et la longueur d'onde λ de la lumière incidente (ou de test). En supposant que $\delta \ll \lambda$, on écrit pour TIS, le rapport :

$$TIS = \frac{R_d}{R_0} \approx \left(\frac{4\pi\delta \cos \theta_0}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

2 MONTAGE EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental, est illustré par la figure ci-dessus :

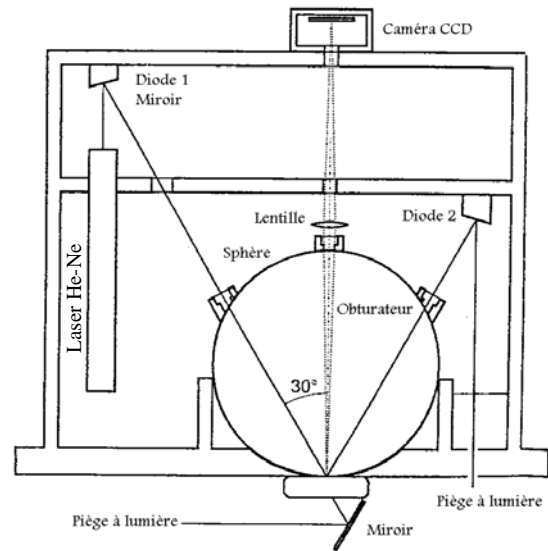


Fig. 1. Montage pour la diffusion totale intégrée TIS

3 MESURES ET RESULTATS

Les mesures sont faites sur des échantillons en verre optique (Flint LF7), le long d'un profil droit de 10 mm avec un pas de 1 mm. Le rapport TIS et la rugosité quadratique δ sont définis respectivement par:

$$TIS = I_d / (I_d + I_r) \quad (2)$$

et

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi \cos \theta_0} \sqrt{TIS} \quad (3)$$

Les résultats sont regroupés dans le tableau 1 :

TABLEAU 1. INTENSITES DES FLUX LUMINEUX: I_i , I_r ET I_d , ET LES VALEURS DE TIS ET DE δ POUR LE VERRE LF7 (TEMPS DE POLISSAGE = 12 min)

1 mm	I_i nA	I_d 10 ² nA	I_d I_r nA	IS	δ nm
1	1,915	191,86	27,34	0,0702	15,4
2	1,957	93,78	27,73	0,0336	10,7
3	2,002	77,52	28,46	0,0271	09,6
4	2,052	157,97	28,21	0,2119	13,8
5	2,067	71,07	29,52	0,0241	09,0
6	2,042	206,60	29,33	0,0706	15,4
7	1,915	98,25	27,31	0,0360	11,0
8	1,915	64,45	27,19	0,0237	08,9
9	1,916	100,82	27,37	0,0368	11,2
10	1,917	70,09	27,24	0,0257	09,3

TABLEAU 2. RAPPORT DE LA VALEUR ABSOLUE $|\delta_i - \delta_{moy}|$ ET L'ECART MOYEN POUR L'ECHANTILLON LF7 (TEMPS DE POLISSAGE = 12 min)

$\frac{ \delta_i - \delta_{moy} }{\text{Ecart - moyen}}$	1,926	0,375	0,899	1,127	1,170	1,946	0,196	1,204	0,133	1,020
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Comme on peut le constater, toutes les valeurs du tableau ci-dessus sont inférieures à quatre, donc aucune valeur de δ_i n'est exclue.

Pour voir l'effet du temps de polissage sur l'évolution de la rugosité; des mesures sont faites pour un polissage progressif entre 2 min et 14 min par pas de 2 min. Le tableau 3 regroupe ainsi les valeurs de δ , l'écart-moyen et l'écart-type pour l'échantillon LF7.

TABLEAU 3. VALEURS POUR δ , L'ECART-MOYEN ET L'ECART-TYPE POUR LE VERRE LF7 EN FONCTION DU TEMPS DE POLISSAGE (TP).

(min)	2	4	6	8	10	12	14
δ (nm)	28,5	25,6	21,4	18,2	15,4	11,4	12,3
Ecart moy	3,0	2,4	2,3	1,2	2,1	2,1	2,2
Ecart type	3,7	2,7	2,8	1,5	2,2	2,5	2,4

1. Conclusion

Nous avons utilisé une méthode optique de mesure indirecte, basée sur la théorie scalaire de la diffusion de la lumière pour caractériser la rugosité des surfaces de verres optiques ayant subi un polissage de qualité optique. Le paramètre statistique de la rugosité δ est alors déterminé.

L'intensité de la lumière diffusée est proportionnelle à la rugosité de la surface; lorsque cette dernière est faible devant la longueur d'onde de la lumière ($\delta \ll \lambda$), la réflexion spéculaire est importante et la diffusion est faible, et vice-versa selon l'orientation des pentes des irrégularités de la surface.

A. Échantillonnage statistique de la rugosité

Pour cette série de 10 mesures de δ_i , on calcule δ_{moy} , la valeur moyenne des δ_i ; et on détermine l'écart-moyen, et l'écart-type :

- $\delta_{moy} = 11,4 \text{ nm}$
- $\text{Ecart - moyen} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} |\delta_i - \delta_{moy}| = 2,1 \text{ nm}$
- $\text{Ecart-type} = \left\{ \frac{1}{10(10-1)} \left[10 \sum_{i=1}^{10} \delta_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{10} \delta_i \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} = 2,5 \text{ nm}$

On calcule ensuite l'écart de chacune des valeurs de δ_i par rapport à δ_{moy} et on voit si celui-ci est supérieur à quatre fois l'écart moyen, alors δ_i peut être éliminé et δ_{moy} est recalculée pour les valeurs δ_i restantes. Le tableau 2 reproduit le rapport entre la valeur absolue de $\delta_i - \delta_{moy}$ et l'écart moyen.

Les mesures de diffusion nécessitent d'une part, l'utilisation d'une lumière monochromatique cohérente et stable, et d'autre part la connaissance de la nature dispersive de l'échantillon en fonction de la longueur d'onde utilisée.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Beckmann and A. Spizzichino, "The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces", Pergamon press (1963)
- [2] J. M. Bennett and L. Mattsson, "Introduction to surface roughness and scattering", OSA (1999)
- [3] J. C. Stover, "Optical scattering measurement and analysis", SPIE Press (1995)
- [4] H. Davies, "The reflection of electromagnetic waves from a rough surface", IEE, Part 4, Vol. 51, pp. 209-214 (1954)
- [5] Aïssa Manallah, "Analyse et caractérisation des surfaces et interfaces des matériaux diélectriques, métalliques et semi-conducteurs", thèse de doctorat d'état, Université de Sétif, Décembre 2007.