

Mở đầu

Thông thường, đặc tính quang học của vật liệu được đánh giá thông qua hiện tượng phản xạ và truyền qua theo 1 góc cố định. [1] Mặc dù phương pháp này đủ cho các đánh giá thường nhật, nhưng vô tình bỏ qua hiện tượng tán xạ góc, yếu tố quan trọng để đánh giá: [2,4]

- Lớp phủ quang học:** Sự biến thiên của góc phản xạ và góc truyền qua
- Độ nhám và độ bóng của bề mặt:** Sự phân bố giữa hiện tượng phản xạ gương và phản xạ khuếch tán
- Môi trường khuếch tán:** Sự phân tán ánh sáng trong mẫu bột, gốm, polyme dạng xốp
- Chức năng quang học:** Cảm biến, màn hình hiển thị, tế bào quang điện, bề mặt chống phản xạ.

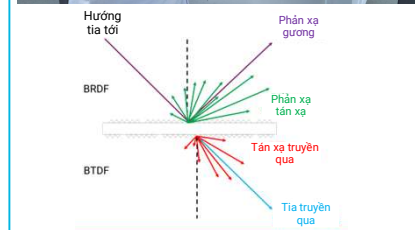
Hàm phân phối tán xạ hai chiều (Bidirectional Scattering Distribution Function, **BSDF**) cung cấp khuôn khổ để đo lường các hiệu ứng: [5]

- Phản xạ hai chiều (BRDF)** → Tán xạ phản xạ (sự phân bố tia sáng tới theo các góc khác sau khi tiếp xúc với bề mặt vật liệu).
- Truyền qua hai chiều (BTDF)** → tán xạ truyền qua (sự phân bố lại của tia sáng sau khi đi qua vật liệu).

Các thiết bị quang học đo góc truyền thống và các hệ thống tán xạ được chế tạo riêng có thể đáp ứng được các phép đo, nhưng khá phức tạp, vận hành bằng thủ công hoặc các góc đo bị hạn chế. Cary 7000 UMS có thể khắc phục các hạn chế nhờ vào:

- Tự điều chỉnh góc tới (AOI), di chuyển đầu đo, thay đổi sự phân cực, di chuyển mẫu.
- Dải bước sóng rộng (250–2500 nm).
- Độ chính xác cao với chức năng tự động căn chỉnh, lựa chọn đầu dò.

Bài nghiên cứu này sử dụng Cary 7000 UMS (Hình 1) để xác định phản xạ tán xạ (bề mặt Lambertian với mẫu bề mặt bóng) và tán xạ truyền qua (silica với PTFE), để chứng minh khả năng của thiết bị trong việc xác định tính chất vật liệu qua hàm phân phối tán xạ hai chiều **BSDF**.



Hình 1: Thiết bị Cary với phụ kiện Universal Measurement Accessory (UMA). Minh họa BRDF và BTDF

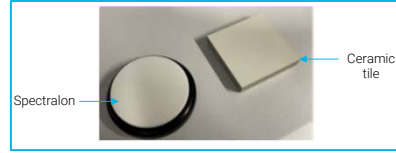
Nghiên cứu thực nghiệm

Các phép quang phổ đa góc được thực hiện bằng thiết bị Cary 7000 UMS, trang bị phụ kiện UMA). Hệ thống hỗ trợ đo phản xạ và truyền qua trong dải bước sóng từ 250-2500nm nhờ vào khả năng điều chỉnh góc tự động và nâng cao hiệu suất bằng bộ lấy mẫu rắn tự động UMA Solids Autosampler. Bộ lấy mẫu tự động cho phép quét nhiều mẫu hoặc nhiều vị trí trên tấm bản dẫn mà không cần giám sát, tích hợp thêm khả năng di chuyển 360 độ. Khẩu độ ánh sáng có thể được điều chỉnh thủ công

Nghiên cứu thực nghiệm

BRDF

Để minh họa khả năng lập bản đồ phân bố phản xạ, hai mẫu đã được lựa chọn để so sánh: miếng hiệu chuẩn Spectralon (trái) và một mẫu gốm bóng chuẩn (phải).



BTDF

Các phép xác định BTDF được thực hiện trên thiết bị Cary 7000, lựa chọn góc đo từ -85° đến +85°. Thiết bị được điều khiển trực tiếp bằng phần mềm Cary WinUV, vận hành với đèn tungsten-halogen và đèn Deuterium khí đo vùng tử ngoại. Bộ đơn sắc kép kiểu Littrow cung cấp độ rộng phổ 4 nm, chùm tia hình thành một điểm chiếu kích thước 5x4.5 mm bằng các khe dọc và ngang

Đầu dò bao gồm bàn xoay motor với độ phân giải góc 0.02°, cho phép sự điều chỉnh chính xác góc tới và góc đo.

Các phép đo tự động hóa, tự động ghi lại thông số trạng thái phân cực, bước sóng, góc đo, thời gian lấy tích phân từ 2-9 giây và lặp lại 3 lần mỗi lần đo.

Đặc điểm của hai vật liệu chuẩn được sử dụng: PTFE cấu tạo xốp (60 x 40 x 0.5 mm, trái) được gắn trên khung tùy chỉnh, và silica tổng hợp (HOD-500, đường kính 50 mm, độ dày 2 mm, phải) có các lỗ nhỏ để tăng cường khả năng truyền qua.[6]

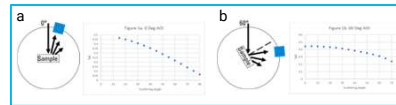


Kết quả và Thảo luận

BRDF

Phép đo BRDF được đo tại bước sóng 900nm, góc tới được cố định và detector di chuyển quét theo các góc tán xạ phản xạ khác nhau.

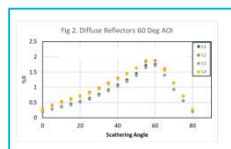
Vật liệu Spectralon cho sự phản xạ đồng đều, với cường độ tia tán xạ phản xạ cực đại gần góc pháp tuyến và giảm dần ở các góc xiên—phù hợp với đặc tính Lambertian. Giá trị phản xạ là tuyệt đối, được chuẩn hóa tới 100%, nhưng chỉ đại diện cho phần được thu thập trong phạm vi xoay góc của đầu dò.



Hình 2a: Độ phản xạ tại bước sóng 900 nm góc tới 0° và góc phản xạ từ 15-80°.

Hình 2b: Giống với hình a nhưng đo với góc tới 60°

Đối với mẫu không phải Spectralon, được đo tại góc tới 60° AOI, dải góc tán xạ từ 0° to 80° sử dụng UMA Solids Autosampler. Theo hình 3 thấy rằng cả bốn mẫu đều thể hiện cường độ tia tán xạ phản xạ cực đại tại góc 60°, cho thấy cường độ phản xạ đạt cực đại tại góc trùng với góc tới, do tồn tại tia phản xạ gương trùng với góc tới. Mặc dù vậy, tín hiệu của sự phản xạ khuếch tán vẫn được thu nhận tại các góc. So sánh với Spectralon, các mẫu này cho thấy sự xuất hiện đồng thời giữa phản xạ gương và phản xạ khuếch tán. Nhấn mạnh sự khác biệt giữa các góc phản xạ.



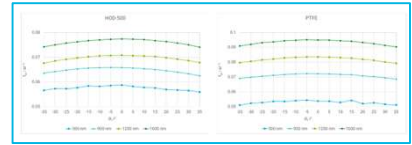
Hình 3: Dữ liệu đo phản xạ từ các mẫu non - Spectralon

Kết quả và Thảo luận

BTDF

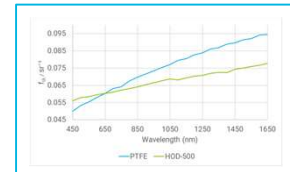
Phép đo BTDF được tiến hành trên hai mẫu Silica tổng hợp (HOD-500) và PTFE dạng xốp. Bước sóng từ 450 đến 1650 nm mỗi điểm cách nhau 50 nm góc thiên đỉnh (góc giữa hướng quan sát và đường pháp tuyến bề mặt mẫu) giao động từ -35° to +35° cách nhau 5° mỗi giá trị.

Hình 4 thể hiện phép đo BTDF tại 4 bước sóng đã chọn. Cả hai mẫu HOD-500 (trái) và mẫu PTFE (phải) cả hai đều thể hiện hiện tượng tán xạ gần giống bề mặt Lambertian. Tuy nhiên, mẫu HOD-500 có những đặc tính giống hơn, độ lệch lần lượt -0.22% và -3.0% tương ứng với $\theta_t = 10^\circ$ và 35° , còn mẫu PTFE cho giá trị -0.49% và -4.1% khi đo.



Hình 4. Phép đo BTDF mẫu HOD-500 (trái) và PTFE (phải) tại bốn bước sóng khác nhau.

Hình 5 thể hiện kết quả BTDF theo bước sóng tại một góc thiên đỉnh cố định 25°. Dưới bước sóng 650 nm, HOD-500 cho giá trị BTDF cao hơn PTFE, với độ chênh lệch tương đối ~10% tại 450 nm. Trên bước sóng 650 nm, PTFE cho thấy sự tăng mạnh, cao hơn khoảng ~23% so với HOD-500 tại bước sóng 1650 nm.



Hình 5. Kết quả BTDF mẫu HOD-500 và PTFE trong khoảng bước sóng biến thiên từ vùng khả kiến đến vùng cận hồng ngoại. BTDF được đo tại góc thiên đỉnh 25°. Độ không đảm bảo đo mở rộng của phép đo ở mức tin cậy 95%.

Kết luận

Thiết bị Agilent Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer (UMS) là công cụ linh hoạt, thân thiện với người dùng trong các phép đo quang học đa góc. Các chức năng tự động hóa của thiết bị bao gồm điều chỉnh vị trí đầu dò, xoay mẫu 360°, thay đổi sự phân cực—cho phép tiến hành thu thập dữ liệu mà không cần sự giám sát. Trong bài nghiên cứu này, thiết bị có thể đáp ứng việc xác định góc phân bố phản xạ của vật liệu có tính khuếch tán và đánh giá chính xác phép đo BTDF tại vùng khả kiến và vùng cận hồng ngoại. Mặc dù thường được sử dụng trong việc đo tính chất phản xạ gương, Cary 7000 UMS hoàn toàn có thể đáp ứng những ứng dụng đo quang học phức tạp hơn với kết quả đo ổn định, độ không đảm bảo đo nằm trong phạm vi chấp nhận.

Nguồn dẫn

- [1] Travis Burt and Chris Colley, "Investigating the Angular Dependence of Absolute Specular Reflection," Application Note, 2022, Agilent Technologies.
- [2] Sawa H. Importance of diffuse scattering for materials science. IUCrJ. 2016 Aug 31;3(Pt 5):298-299. doi: 10.1107/S2052252516013889. PMID: 28461890; PMCID: PMC5391851.
- [3] Travis Burt, "High Volume Optical Component Testing," Application Note, 2020, Agilent Technologies.
- [4] Robert Francis and Travis Burt, "Optical Characterization of Thin Films," Application Note, 2022, Agilent Technologies.
- [5] Asmail C. Bidirectional Scattering Distribution Function (BSDF): A Systematized Bibliography. J Res Natl Inst Stand Technol. 1991 Mar-Apr;96(2):215-223. doi: 10.6028/jres.096.010. PMID: 28184111; PMCID: PMC4930030.
- [6] Aschan R, Manoocheri F, Lanevski D, Ikonen E. Measurement of Bidirectional Transmittance Distribution Function in the Visible and Near-Infrared Spectral Range. Metrologia 2024, 61 (5), 055004. DIO: 10.1088/1681-7575/ad60ca.