

XÁC ĐỊNH TỔ HỢP CHIẾT SUẤT TỐI ƯU CHO MÀNG CHỐNG PHẢN XẠ ĐA LỚP TRONG VÙNG HỒNG NGOẠI BẰNG PHƯƠNG PHÁP FLIP-FLOP

Lê Vũ Tuấn Hùng, Nguyễn Văn Đến, Trương Thị Thu Hòa
 Trường Đại Học Khoa Học Tự Nhiên – ĐHQG-HCM
 (Bài nhận ngày 20 tháng 10 năm 2003)

TÓM TẮT: Ngày nay các nhà khoa học đã đưa ra nhiều phương pháp khác nhau để nghiên cứu thiết kế màng, mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và những hạn chế riêng. Do vậy, trong phần nghiên cứu phổ hồng ngoại của màng đa lớp chống phản xạ, chúng tôi đã tiến hành mô phỏng và tính toán tổ hợp chiết suất tối ưu của màng đa lớp bằng phương pháp Flip – Flop. Việc viết chương trình được tiến hành bằng ngôn ngữ matlab.

I. Giới thiệu

Màng chống phản xạ (AR) luôn là đề tài nghiên cứu rất quan trọng của màng mỏng trong những thập niên vừa qua. Cùng với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật trong việc chế tạo màng mỏng nhất là màng mỏng đa lớp, ngày càng có nhiều bài báo nghiên cứu về màng đa lớp chống phản xạ (AR) trong các vùng bước sóng từ tử ngoại đến hồng ngoại đã được công bố nhằm chế tạo các loại màng với các ứng dụng khác nhau. Trong bài báo này chúng tôi đặc biệt chú trọng nghiên cứu màng AR đa lớp trong vùng từ hồng ngoại gần tới vùng hồng ngoại xa vì khả năng ứng dụng mới mẻ của nó là có thể dùng cho các loại kính trên không gian và hơn nữa có rất nhiều vật liệu bán dẫn có chiết suất cao có thể dùng để chế tạo màng. Có nhiều phương pháp khác nhau để thiết kế màng AR, nhưng chúng ta có thể chia ra làm 3 loại chính sau đây:

1. **Phương pháp phân tích:** Xác định các thông số của màng (như số lớp màng, chiết suất của các vật liệu tạo màng, bề dày các lớp màng) qua công thức mô tả hệ số phản xạ và sự dịch chuyển pha tại mặt phân giới của các lớp màng. Dùng phương pháp này, ta có thể đạt được màng với độ phản xạ tiến tới không bằng cách loại bỏ các tia phản xạ không mong muốn qua các thông số của màng.
2. **Phương pháp cải tiến:** Dùng để thiết kế màng bằng cách thay đổi dần độ dày và chiết suất của các lớp màng cho đến khi đạt được kết quả phản xạ mong muốn trong từng vùng bước sóng nhất định.
3. **Phương pháp tổng hợp:** Tương tự như phương pháp cải tiến chỉ khác là phương pháp này không đòi hỏi giá trị khởi đầu khi thiết kế. (starting design) mà nó tự ấn định giá trị khởi đầu. Hai phương pháp quan trọng trong loại phương pháp này là phương pháp needle của Tikhonravov và phương pháp flip-flop của Southwell.

Việc chọn lựa phương pháp nào thích hợp nhất để chế tạo màng AR vẫn chưa có câu trả lời. Trong quá trình nghiên cứu của mình và trong bài báo này, chúng tôi xin trình bày việc nghiên cứu thiết kế màng chống phản xạ đa lớp vùng hồng ngoại bằng phương pháp flip-flop và viết bằng ngôn ngữ matlab.

II. Lý thuyết

II.1. Phương pháp flip-flop

Phương pháp flip-flop dựa trên các bước cơ bản sau đây:

1. Định rõ độ dày vật lý tổng cộng của màng cho tất cả các lớp. Chia bề dày này thành một loạt các lớp mỏng, mỗi lớp mỏng có bề dày bằng nhau.
2. Ban đầu ấn định tất cả các lớp đều là chiết suất thấp hoặc ngược lại. Tính độ phản xạ của màng đa lớp này tại các bước sóng khác nhau. Dùng công thức tối thiểu bình phương để tính hàm giá trị. Xác định hàm giá trị của tổ hợp chiết suất các màng này.
3. Thay đổi dần chiết suất các lớp từ thấp đến cao. Nếu ta có n lớp màng mỏng thì số tổ hợp thay đổi là 2^n trường hợp khác nhau. Mỗi lần thay đổi ta cũng tính độ phản xạ của từng tổ hợp theo bước sóng và tính hàm giá trị cho mỗi tổ hợp.
4. Sau khi đã tính toán tất cả các hàm giá trị của tất cả các tổ hợp chiết suất, ta chọn ra tổ hợp chiết suất có hàm giá trị nhỏ nhất. Đây chính là tổ hợp chiết suất tối ưu nhất mà ta cần tìm.

Trong quá trình tính độ phản xạ của các lớp màng mỏng, ta dùng phương pháp tính toán ma trận.

II.2. Hàm giá trị

Để tối ưu hoá việc tính toán giá trị phản xạ của màng mỏng đa lớp, ta dựa vào hàm giá trị để cực tiểu hoá giá trị của hàm. Phương pháp tối thiểu bình phương được trình bày như sau:

$$F(\mathbf{x}) = \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [R_0(\lambda_k) - R(\mathbf{x}, \lambda_k)]^2 \right]^{1/2}$$

Trong đó:

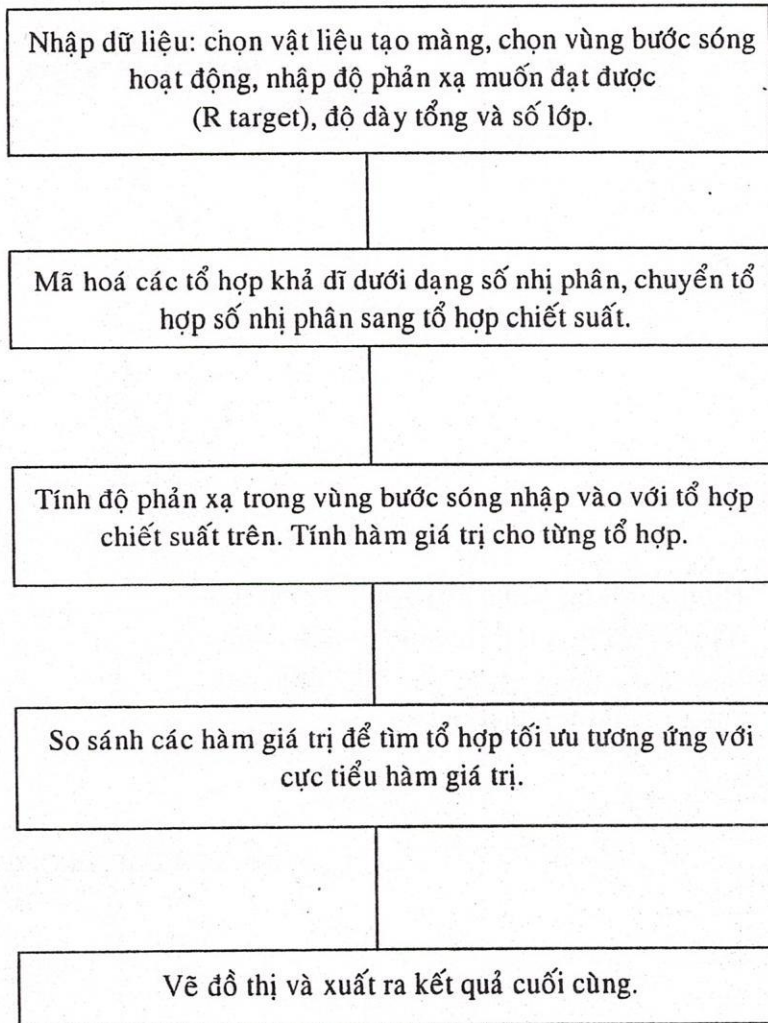
\mathbf{X} : vectơ biến thiết kế thay đổi theo tổ hợp chiết suất

$R_0(\lambda_k)$: Giá trị phản xạ mong muốn tại bước sóng λ_k

$R(\lambda_k)$: Giá trị phản xạ tính toán tại bước sóng λ_k

n : Số điểm thay đổi theo bước sóng

II.3. Sơ đồ khối



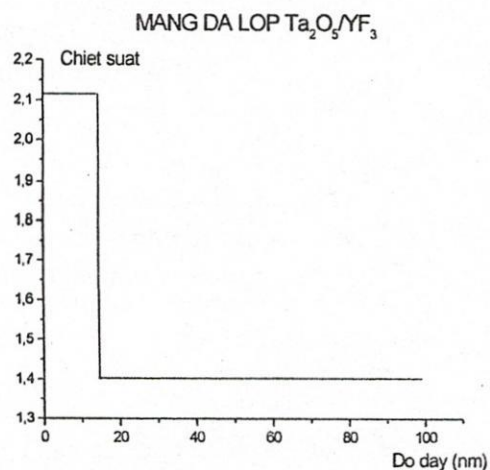
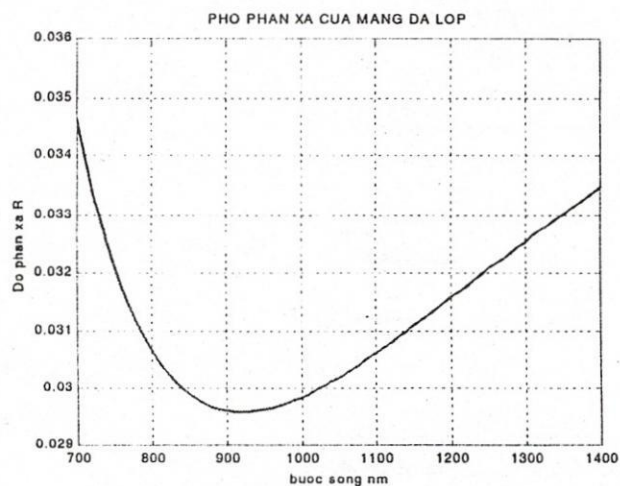
III. Thực nghiệm, kết quả và bàn luận

Trong quá trình mô phỏng và thiết kế màng, để thuận lợi trong việc tính toán, chúng tôi đã viết chương trình bằng ngôn ngữ matlab.

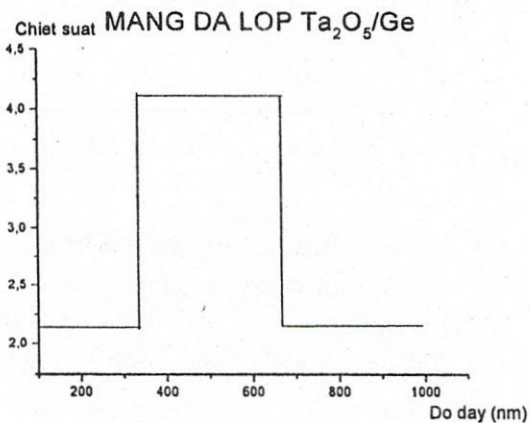
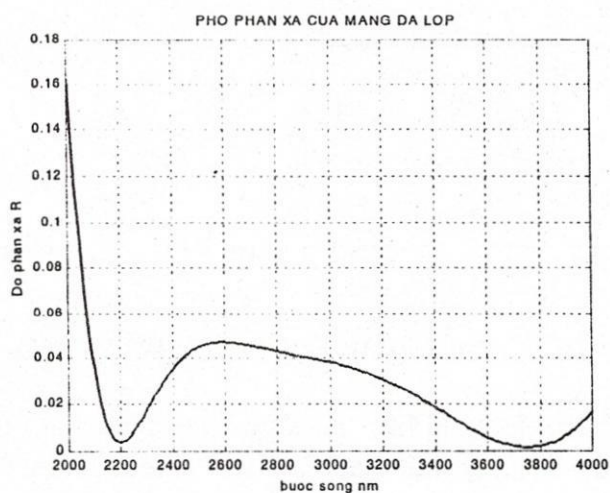
Chúng tôi giả sử các chất tạo màng là truyền suốt, độ hấp thụ rất bé và đồng nhất trong vùng hồng ngoại. Các lớp màng được phủ trên đế thủy tinh thạch anh với chiết suất là 1.52 (môi trường không khí có chiết suất là 1).

Các chất để tạo màng chống phản xạ trong vùng hồng ngoại phải đáp ứng được yêu cầu là phù hợp với thực tế. Chúng phải có đặc tính truyền suốt tốt trong vùng hồng ngoại và có độ bền khá cao đối với sự tác động của môi trường, đặc biệt là đối với các môi trường trên không gian. Các chất đó là: PbTe, Ge, CdTe, ZnSe, ZnS, Ta₂O₅, YbF₃, SiO₂, MgF₂, CaF₂, BaF₂ [4].

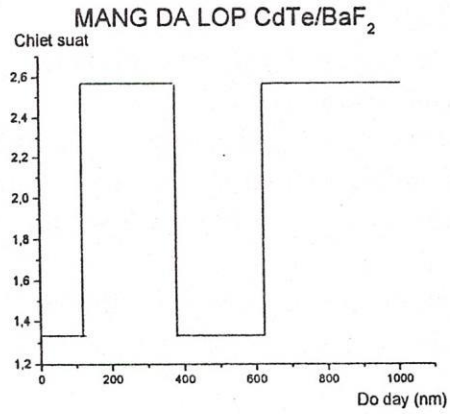
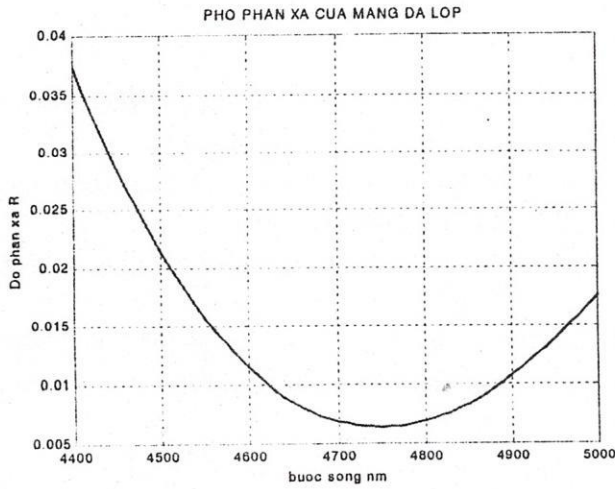
Sau khi chạy chương trình chúng ta thu được một số các kết quả sau đây:



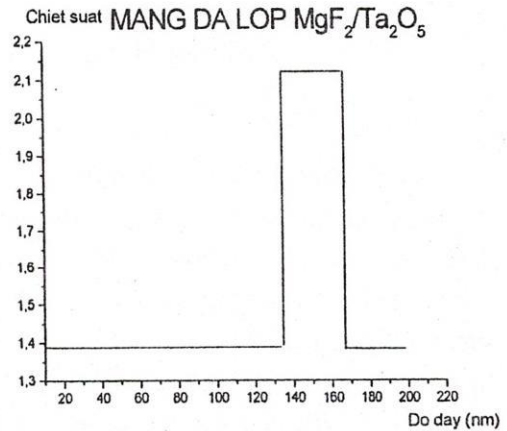
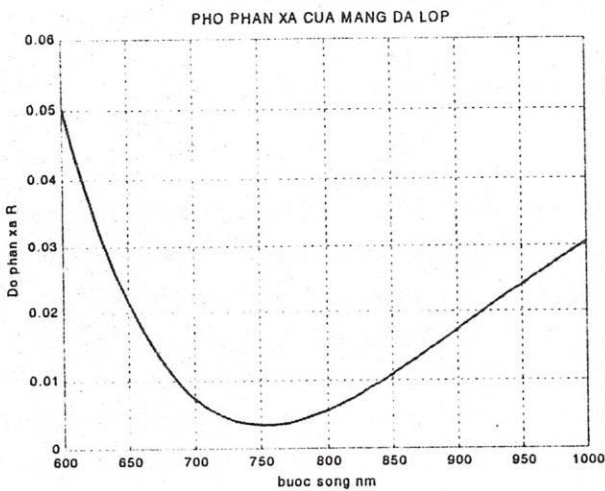
Hình 1: Màng 7 lớp Ta₂O₅/YF₃/YF₃/YF₃/YF₃/YF₃/YF₃ tạo trên đế thủy tinh. Vùng bước sóng hồng ngoại gần 700-1400 nm. Bề dày mỗi lớp là 100/7 nm.



Hình 2: Màng 6 lớp Ta₂O₅/ Ta₂O₅/Ge/Ge/ Ta₂O₅/ Ta₂O₅/ phủ trên đế thủy tinh. Vùng bước sóng 2000-4000 nm. Bề dày mỗi lớp là 1000/6 nm.



Hình 3: Màng 8 lớp BaF₂/BaF₂/CdTe/CdTe /BaF₂/BaF₂/CdTe/CdTe/CdTe tạo trên đế thủy tinh. Vùng bước sóng 4400-5000 nm. Bề dày mỗi lớp là 1000/8 nm.



Hình 4: Màng 6 lớp MgF₂/ MgF₂/ MgF₂/ MgF₂/Ta₂O₅/Ta₂O₅ tạo trên đế thủy tinh. Vùng bước sóng 600-1000 nm. Độ dày từng lớp màng 200/3 nm.

Đối với màng 7 lớp Ta₂O₅/YF₃ (hình 1) độ phản xạ của chúng trong vùng hồng ngoại gần 700 -1400 nm khoảng 3%, độ dày của từng lớp tương đối khá mỏng 14.3 nm. Tuy nhiên đối với các thiết bị quang học không cần độ phản xạ quá nhỏ thì kết quả này có thể chấp nhận được. Màng 6 lớp MgF₂/ Ta₂O₅ (hình 4) cũng nằm trong vùng hồng ngoại gần, tuy độ rộng vùng phổ không bằng màng Ta₂O₅/YF₃ (hình 1) nhưng độ dày của từng lớp dày hơn và bằng 66.7 nm và độ phản xạ trong vùng phổ này cũng được cải thiện hơn khoảng 1-2%.

Đối với màng 6 lớp Ta₂O₅/Ge (hình 2) và màng 8 lớp CdTe/BaF₂ (hình 3) nằm trong vùng bước sóng hồng ngoại 2000-5000 nm. Độ phản xạ khá thấp khoảng 2%. Đặc biệt màng 8 lớp CdTe/BaF₂ (hình 3) có độ phản xạ thấp hơn 1% trong khoảng bước sóng từ 4600-4900 nm.

IV. Kết luận

Thiết kế màng chống phản xạ đa lớp trong vùng hồng ngoại thực sự có một số ưu điểm so với các phương pháp khác:

1. Màng đa lớp chỉ bao gồm hai chất với chiết suất cao và thấp khác nhau, điều này tránh được sự vô hạn của những giá trị chiết suất tùy ý cho các lớp.
2. Bề dày của các lớp màng là đều nhau, điều này tạo nên sự thuận lợi trong quá trình chế tạo màng.

Tuy nhiên, phương pháp flip-flop này cũng có hạn chế là ta rất khó có thể thiết kế màng có độ phản xạ thấp hơn 1% và vùng phổ chống phản xạ không được mở rộng như các phương pháp thay đổi độ dày.

Với những ưu điểm và hạn chế trên, phương pháp flip flop giúp cho ta có thêm một công cụ hữu hiệu để nghiên cứu màng chống phản xạ.

DETERMINING THE OPTIMAL COMBINATION OF REFRACTIVE INDEX FOR ANTI-REFLECTION MULTILAYER THIN FILMS IN INFRARED REGION BY FLIP-FLOP METHOD

Le Vu Tuan Hung, Nguyen Van Den, Truong Thi Thu Hoa

ABSTRACT: *The antireflection multilayer thin film is technologically an important topic in recent years. With the development of technology and science in manufacture thin film especially multilayer thin film, hundreds of research papers have been written on AR coating. In this paper, we emphasize to study the antireflection multilayer thin films from near infrared to far infrared region because they have a lot of applications for spaceflight optical lens. Futhermore, there are available optical materials such as semiconductors with high refractive index used in infrared region. In our study, we use matlab language based flip flop method to determine optimal combination of refractive index for antireflection multilayer thin film in infrared region.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hans Bach – Dieter Krause. *Thin Films On Glass*. 1 -21 (1997).
- [2] William H.Southwell – *Coating design using very thin high - and low – index layers*. Applied Optics/ vol.24, No.4 1985.
- [3] Edward D.Palik. *Handbook Of Optical Constants Of Solid II*. (1991).
- [4] Colin Cole. *Broadband Antireflection Coating For Spaceflight Optics*. (1995).