

TÍNH TOÁN ĐỘ DÀY TỐI ƯU CHO CÁC LỚP MÀNG ĐA LỚP ĐIỆN MÔI CHỐNG PHẢN XẠ TRONG VÙNG HỒNG NGOẠI BẰNG PHƯƠNG PHÁP N-SQUARE SCAN

Lê Vũ Tuấn Hùng, Nguyễn Văn Đến

Trường Đại Học Khoa Học Tự Nhiên – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 18 tháng 9 năm 2003)

TÓM TẮT: Khi đề cập đến việc nghiên cứu các loại màng quang đa lớp, chúng ta phải kể đến hai công việc quan trọng song song không thể thiếu là việc thiết kế và sản xuất màng. Một bản thiết kế tốt sẽ góp phần trợ giúp đắc lực cho việc chế tạo thành công một màng mỏng với những yêu cầu đã được định trước. Do vậy trong phần nghiên cứu này, chúng tôi đã viết chương trình tính toán mô phỏng bằng ngôn ngữ matlab. Cụ thể là chúng tôi mô phỏng màng điện môi đa lớp chống phản xạ trong vùng hồng ngoại. Chương trình sẽ tính toán được các thông số tối ưu về các độ dày các lớp màng và số lớp màng đối với các vật liệu tạo màng khác nhau tương ứng với các giá trị phản xạ mong muốn. Chúng tôi dùng phương pháp N-Squared Scan và phương pháp ma trận để tiến hành mô phỏng.

Giới Thiệu:

Màng điện môi đa lớp chống phản xạ trong vùng hồng ngoại hiện nay đang được sự quan tâm của rất nhiều nhà khoa học vì khả năng ứng dụng rộng rãi của nó trong khoa học kỹ thuật cũng như trong cuộc sống hàng ngày. Đặc biệt, các màng chống phản xạ vùng hồng ngoại dùng cho các thiết bị quang học trên không gian.

Song song với việc chế tạo màng thì việc nghiên cứu thiết kế màng cũng rất quan trọng. Do vậy trong phần nghiên cứu màng, chúng tôi đã dùng chương trình mô phỏng màng đa lớp khử phản xạ bằng ngôn ngữ Matlab dùng để xác định đặc tính phản xạ của màng ứng với các bước sóng khác nhau trong vùng hồng ngoại. Chương trình cũng lựa chọn các vật liệu thích hợp để chế tạo màng ứng với các giá trị phản xạ mong muốn, đồng thời chương trình cũng tính toán độ dày tối ưu cho các lớp màng. Việc tính toán mô phỏng được sử dụng phương pháp N-square scan kết hợp với phương pháp ma trận. Việc mô phỏng đã tiết kiệm rất nhiều thời gian và công sức trong việc nghiên cứu chế tạo màng.

Lý Thuyết:

Phương pháp N-square scan được dựa trên nguyên tắc sau:

1. Giả sử màng đa lớp có N lớp, ban đầu ta thay đổi độ dày lớp thứ 1 (hoặc có thể thay đổi độ dày lớp thứ i bất kỳ, không nhất thiết bắt buộc là lớp thứ nhất), trong khi ta giữ nguyên độ dày của các lớp còn lại và xem như là hằng số. Từ đó, ta dùng phương pháp ma trận tính toán độ phản xạ theo các bước sóng khác nhau trong vùng hồng ngoại với loạt độ dày của N lớp này và chọn lựa được giá trị độ dày lớp thứ 1 tốt nhất ứng với giá trị nhỏ nhất từ hàm giá trị. Ở đây ta sử dụng hàm tối thiểu bình phương làm hàm giá trị.
2. Lặp lại cách làm trên với các lớp thứ 2, thứ 3, ..., N. Mỗi lần thay đổi thì ta lại chọn lựa được giá trị độ dày tốt nhất cho một loạt các lớp màng trong màng đa lớp.

3. Sau khi thay đổi một loạt các độ dày ở các lớp, ta có được giá trị mục tiêu (giá trị mong muốn đầu tiên).
4. Ta lặp lại toàn bộ quá trình trên (làm lại từ bước thứ 1) nhưng lần này lớp thay đổi đầu tiên là lớp thứ 2, quay lại kết thúc ở lớp thứ 1. Cuối cùng lớp thứ N bị thay đổi giá trị độ dày rồi quay lại lớp thứ 1, thứ 2, ...N-1.
5. Do vậy nếu có q giá trị độ dày thay đổi khác nhau của 1 lớp thì từ phương pháp N-Square Scan áp dụng cho N lớp, ta sẽ có qN^2 lần phải tính độ phản xạ ứng với mỗi bước sóng nhất định.

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:

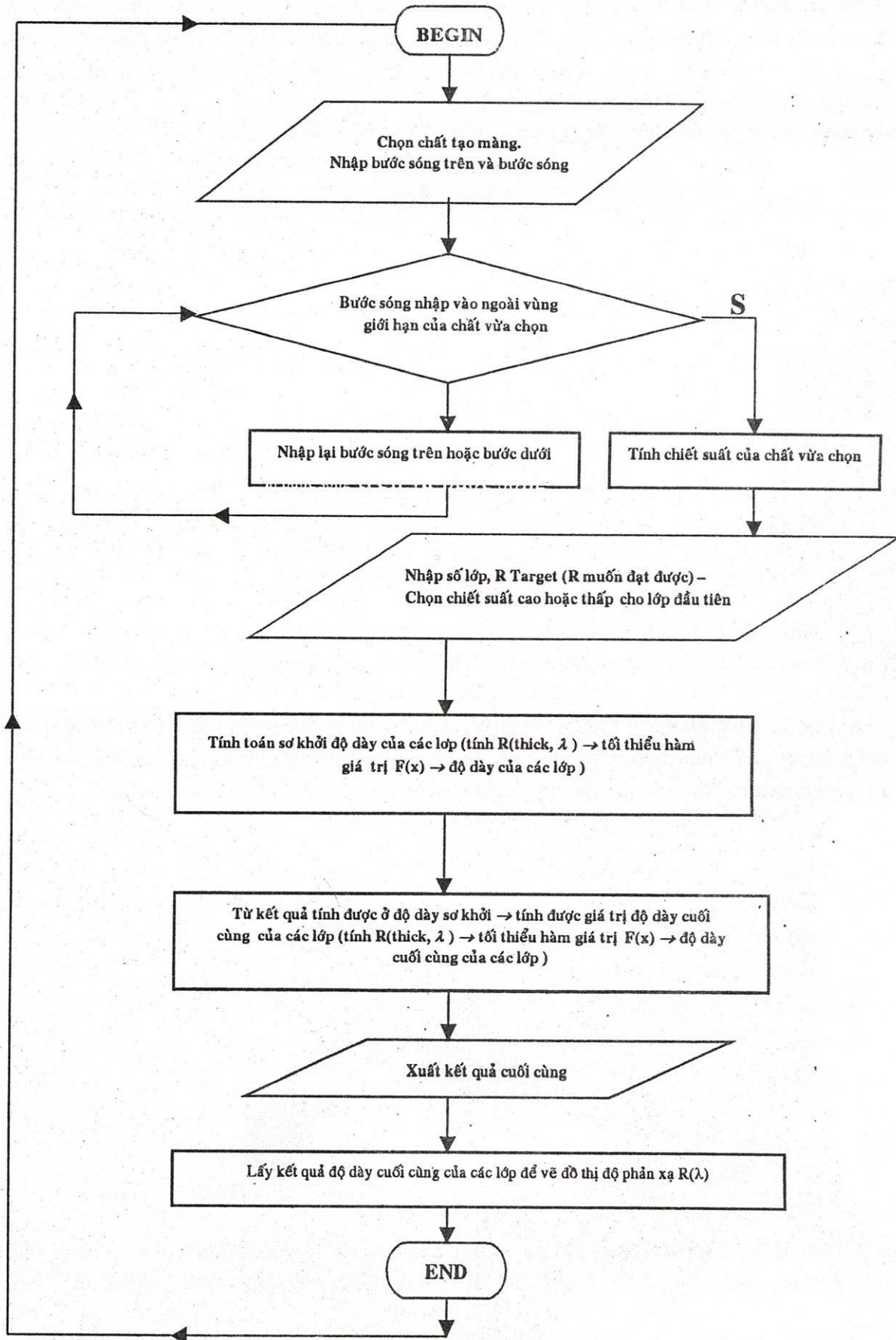
X: vectơ biến thiết kế thay đổi theo độ dày,

$R_0(\lambda_k)$: 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.

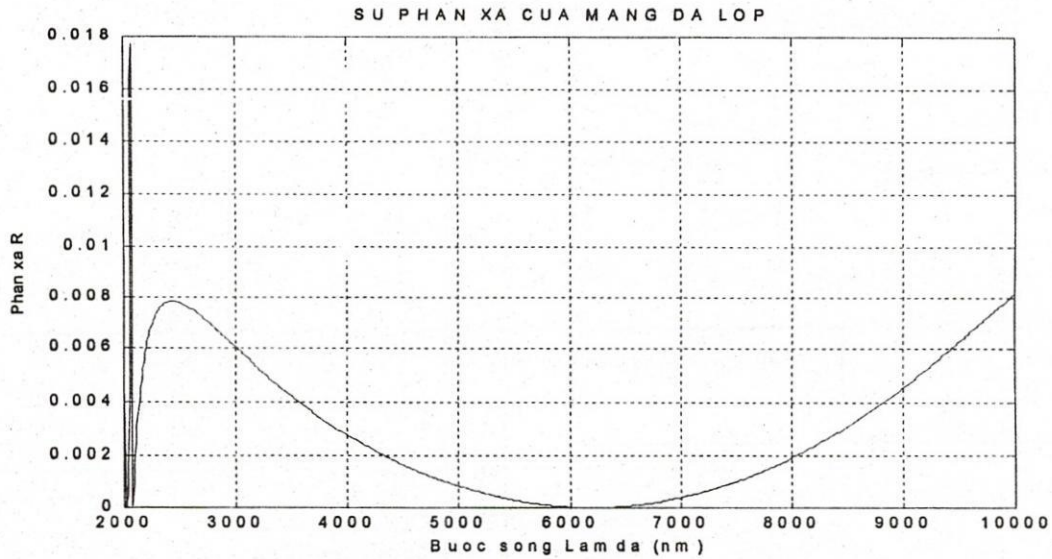
3.3/ Sơ đồ lập trình :



Thực nghiệm - Kết quả và bàn luận:

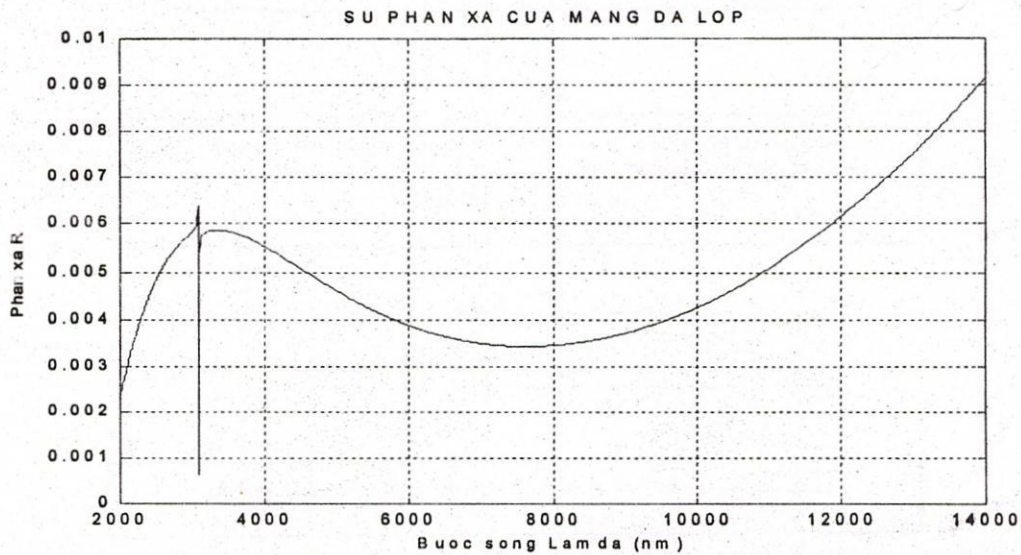
Trong chương trình mô phỏng này, chúng tôi sử dụng 12 chất điện môi có đặc tính truyền suốt tốt trong vùng hồng ngoại và có độ bền khá cao đối với sự tác động của môi trường, đặc biệt là đối với các môi trường trên không gian. Các chất đó là: PbTe, Ge, CdTe, ZnSe, ZnS, Ta₂O₅, YbF₃, SiO₂, MgF₂, CaF₂, BaF₂ [4].

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



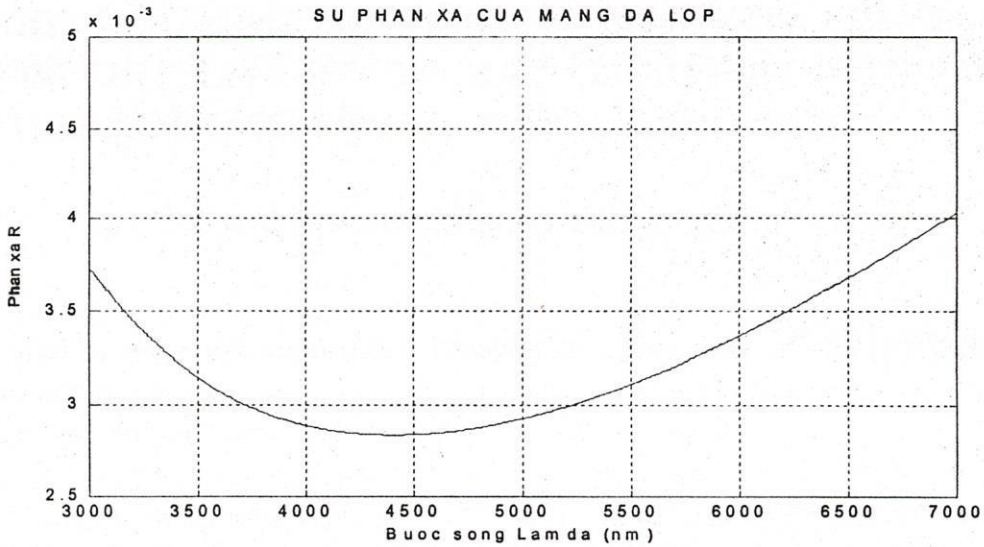
Hình 1: Màng 7 lớp SiO₂/Ge/SiO₂/Ge/SiO₂/Ge/SiO₂. Tạo trên đế thủy tinh thạch anh có chiết suất $n_s=1.52$. Vùng bước sóng từ 2000-10000 nm với độ dày tối ưu cho mỗi lớp là: 234-4-2-38-2-224-664 (nm).

Màng đa lớp Ge/SiO₂ 7 lớp có độ phản xạ trong vùng bước sóng từ 2000-10000 nm là khá thấp, dạng phổ thích hợp với mục tiêu đề ra. Tuy nhiên sự chênh lệch về độ dày giữa các lớp còn khá lớn, điều này có thể gây ra khó khăn cho công việc chế tạo màng.



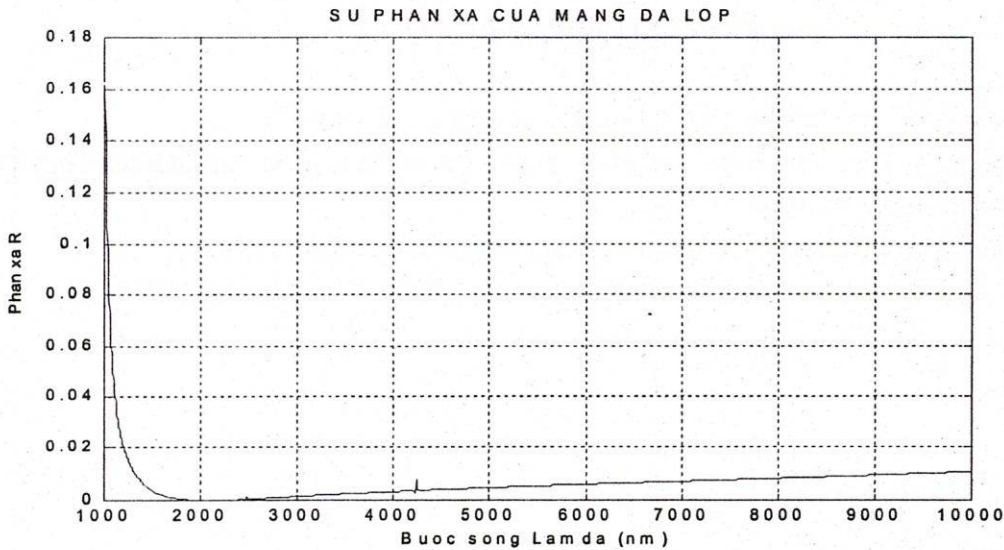
Hình 2: (h4) Màng 5 lớp YF₃/Ge/YF₃/Ge/YF₃. Tạo trên đế thủy tinh thạch anh có chiết suất $n_s=1.52$. Vùng bước sóng 2000-14000 nm với độ dày tối ưu cho từng lớp là: 398-2-58-70-4-350 nm.

Độ phản xạ đạt được của màng khá thấp, độ phản xạ trung bình vào khoảng 0.5%.



Hình 3: Màng 5 lớp $BaF_2/ZnSe/BaF_2/ZnSe/BaF_2$. Tạo trên đế thủy tinh thạch anh có chiết suất $n_s=1.52$. Vùng bước sóng từ 3000-7000 nm. Độ dày tối ưu cho từng lớp màng là : 624-10-50-46-10 nm.

Độ phản xạ của màng khá thấp, cỡ khoảng 0.4%, và độ dày của từng lớp màng (ngoại trừ lớp đầu tiên) không chênh lệch nhau nhiều, điều này tạo thuận lợi cho chúng ta khi chế tạo màng.



Hình 4: Màng 10 lớp $SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5/SiO_2/Ta_2O_5$. Tạo trên đế thủy tinh thạch anh có chiết suất $n_s=1.52$. Vùng bước sóng từ 1000-10000 nm. Độ dày tối ưu cho từng lớp màng là: 304-34-8-212-18-8-16-8-806-970.

Độ phản xạ của màng khá ổn định trong vùng bước sóng từ 2000-10000 nm.

Kết Luận:

Chương trình mô phỏng là một công cụ đắc lực giúp ta thiết kế màng đa lớp với các đặc tính quang học mong muốn. Sử dụng chương trình này, ta có thể tiết kiệm rất nhiều thời gian trong việc nghiên cứu màng, ta có thể chọn lựa các chất điện môi thích hợp, cũng như biết được độ dày tối ưu nhất cho từng lớp màng. Do vậy ta có thể dự đoán được kết quả trước khi tiến chế tạo màng.

CACULATING THE OPTIMAL THICKNESS FOR THE ANTIREFLECTION DIELECTRIC MULTILAYER THIN FILMS IN INFRARED REGION BY N-SQUARE SCAN METHOD

Le Vu Tuan Hung, Nguyen Van Den

ABSTRACT: The anti- reflection dielectric multi-layer thin films in infra-red region are interested by scientists because of their applications in technology and science as well as in daily life. Especially, nowadays The anti- reflection dielectric multi-layer thin films in infra-red region are also being studied to use for spaceflight optical equipment.

In studying thin films, to design them is the first step and very important and necessary. So in our studying, we use matlab language to simulate the anti- reflection dielectric multi-layer thin films in infra-red region with low reflection desire. The program also use to calculate the optimal thickness of layers thin film and chose the suitable materials for multilayer thin film.

We use N-Square Scan method and matrix method to simulate mutilayer thin film. We can save a lot of time in studying thin film through this program.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hans Bach – Dieter Krause . Thin Films On Glass . 1-21 (1997).
2. Xiao dong Li – Connectionsit Learning Architecture Based On An Optical Thin Film Multilayer Model. 61-70 (1997).
3. Edward D.Palik . Handbook Of Optical Constants Of Solid II . (1991).
4. Colin Cole. Broadband Antireflection Coating For Spaceflight Optics. (1995).