

Xác định bề dày vật liệu bằng phương pháp truyền qua của hạt beta

Determining the Thickness of Material Using the Transmission Method of Beta Particles

Mai Đình Thủy*, Bùi Ngọc Hà

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 22-4-2019; chấp nhận đăng: 25-9-2020

Tóm tắt

Hiện nay, việc sử dụng bức xạ trong công nghiệp đang rất phổ biến tại Việt Nam. Trong đó, có các ứng dụng bức xạ beta, gamma năng lượng thấp hoặc tia X để đo và kiểm soát bề dày sản phẩm như giấy, màng nhựa, lá nhôm, thép, màng mỏng trong công nghiệp, v.v. Chúng tôi đã thực hiện các nghiên cứu, tính toán, xây dựng hệ thực nghiệm và đã đưa ra các phương trình đường chuẩn cho hệ thiết bị để đo bề dày của các vật liệu có hệ số Z nhỏ (nhôm, silic, ...) với bề dày nằm trong khoảng từ 0.1 mm đến 3 mm sử dụng phương pháp truyền qua của bức xạ beta.

Từ khóa: thiết bị bức xạ, bức xạ beta, kiểm tra bề dày vật liệu, vật liệu có Z nhỏ.

Abstract

Currently, the use of radiation in industry is very popular in Vietnam. The applications of beta, low energy gamma or X-ray radiation are used to measure and control product thickness such as paper, plastic film, aluminum foil, steel, thin film in industry, etc. We have carried out researches, calculations, experiments and gave calibration equations for the system to measure the thickness of small Z-coefficient materials (aluminum, silicon, ...) with a thickness from 0.1 mm to 3 mm using transmission method of beta radiation.

Keywords: radiation equipment, checking material thickness, materials with small Z, beta particles.

1. Mở đầu

Nguồn beta thường được sử dụng trong các cơ sở công nghiệp và phòng thí nghiệm để đo độ dày của vật liệu mỏng (nhôm, giấy, nhựa, vải, ...) và độ dày các lớp phủ (như vàng, bạc, nhựa, ...)[1]. Điều kiện cơ bản để có thể kiểm tra được bề dày khi sử dụng các hạt beta là phạm vi bề dày tương ứng phải nhỏ hơn quãng đường di chuyển lớn nhất của hạt beta hoặc bức xạ phóng xạ trong vật liệu đó (quãng chạy lớn nhất).

Việc kiểm tra độ dày đối tượng tại chỗ thường khá quan trọng trong nghiên cứu và sản xuất. Kỹ thuật đo độ dày có thể được phân loại là phá hủy và không phá hủy. Các phương pháp phá hủy được sử dụng nhiều nhất sử dụng mặt cắt trong kính hiển vi điện tử quét, mặt cắt trong kính hiển vi điện tử truyền qua, quang phổ phát xạ tác động điện tử, phân xạ, nhiễu xạ electron năng lượng cao, định hình độ sâu phún xạ và quang phổ quang điện tử tia X. Các kỹ thuật không phá hủy như là nhiễu xạ tia X, huỳnh quang tia X, quang phổ elip, tán xạ ngược Rutherford (RBS), phân tích phản ứng hạt nhân và quang phổ tán sắc năng lượng. Tuy nhiên, nhược điểm của nhiều kỹ thuật là nó sẽ không nhỏ gọn như sử dụng nguồn beta và một số yêu cầu các phương tiện lớn hơn như RBS hoặc

phát xạ tia X do proton (PIXE). Một số kỹ thuật khác cũng đòi hỏi các hệ thống điện tử cực kỳ phức tạp. Giá trung bình của các hệ thống đo độ dày có sẵn thường dao động trong khoảng từ 1.200 đến 130.000 USD [2,7,8,9,10].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp đo bề dày vật liệu nhẹ (với bề dày khảo sát của các vật liệu nhẹ từ 0.1 mm đến 3.0 mm) dựa trên sự suy giảm cường độ của chùm hạt beta khi truyền qua các loại vật liệu khác nhau. Bằng việc khảo sát sự suy giảm của chùm hạt beta với các bề dày khác nhau của vật liệu chúng tôi xác định được những đường cong suy giảm ứng với từng loại vật liệu. Từ đó có thể xác định được bề dày của vật liệu nhẹ nằm trong giới hạn cho phép.

2. Nội dung

2.1. Nội dung và phương pháp

Đo đạc thực nghiệm dựa trên cơ sở lý thuyết về sự suy giảm của cường độ bức xạ khi truyền qua vật chất thể hiện qua công thức sau [2,3]:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

với μ là hệ số hấp thụ tuyến tính, x là bề dày của vật liệu, I là cường độ bức xạ sau khi qua vật liệu che chắn, I_0 là cường độ bức xạ ban đầu.

* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 977.385.928

Email: thuy.maidinh@hust.edu.vn

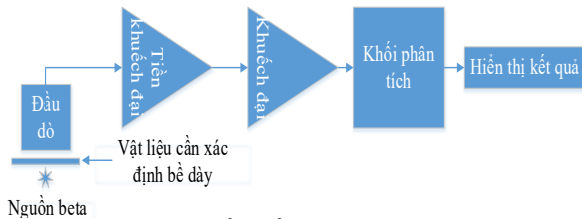
Chúng ta có thể xác định sự suy giảm của số đếm mà hệ đo ghi nhận được sau khi bức xạ truyền qua vật liệu thay vì đo độ suy giảm về cường độ bức xạ. Như vậy, ta có thể sử dụng công thức tính sự suy giảm bức xạ theo số đếm ghi nhận được khi đi qua vật liệu như sau:

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

trong đó: N : Số đếm ghi nhận được khi có vật liệu che chắn giữa nguồn và máy đo. N_0 : Số đếm ghi nhận được khi không có vật liệu che chắn giữa nguồn và máy đo.

Như vậy, ta tiến hành đo đạc thực nghiệm để xác định số đếm N , số đếm N_0 ứng với các vật liệu nhôm hoặc silic có bề dày x khác nhau. Từ đó sẽ tính được hệ số hấp thụ bức xạ của nhôm đối với bức xạ beta.

Cấu hình sắp xếp các khối điện tử của hệ đo đạc thực nghiệm được thiết kế, xây dựng như trong hình 1. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng 2 hệ đo ứng với hai loại đầu dò khác nhau là: hệ thực nghiệm 1: Đầu dò gamma-beta NDI-65/50 đi kèm với hệ xử lý và phân tích phổ MultiAct; hệ thực nghiệm 2: Đầu dò Geiger-Muler vận hành ở điện áp 500V đi kèm với hệ phân tích phóng xạ URL-2.



Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thực nghiệm.

Tất cả các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm về nhiệt độ và áp suất. Nguồn phóng xạ beta được sử dụng là nguồn Sr-90/Y-90 (đối với Sr-90 có năng lượng $E_{\beta(\text{trung bình})} = 0.196$ MeV và $E_{\beta(\text{max})} = 0.546$ MeV; đồng vị Y-90 có năng lượng $E_{\beta(\text{trung bình})} = 0.935$ MeV và $E_{\beta(\text{max})} = 2.284$ MeV) [3]. Các loại vật liệu có Z nhỏ và mỏng được sử dụng để xác định đường cong chuẩn theo bề dày vật liệu như là: nhôm và silic.

Đối với quãng chạy của hạt beta trong các vật liệu có số Z nhỏ (vật liệu nhẹ có nguyên tử số hiệu dụng Z nhỏ như nhôm, silic, ...) được xác định dựa trên công thức thực nghiệm đối với hạt beta có năng lượng $0.01 \leq E_{\beta} \leq 2.5$ MeV như sau[3]:

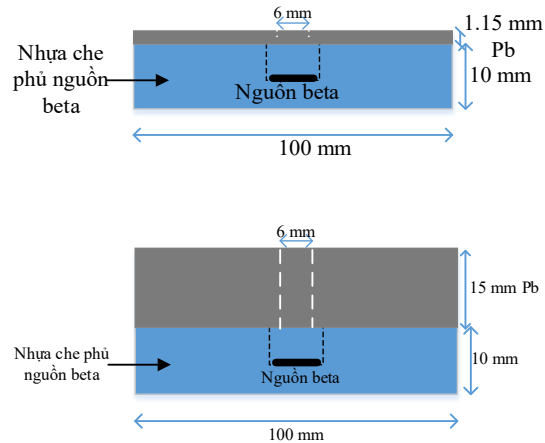
$$R = 0.412 E_{\beta}^{1.27 - 0.0954 \ln E_{\beta}} \quad (g / cm^2) \quad (3)$$

Hoặc

$$\ln E_{\beta} = 6.63 - 3.24(3.29 - \ln R)^{1/2} \quad (4)$$

Áp dụng công thức thực nghiệm trên đối với các vật liệu như nhôm ($\rho = 2.7$ g/cm³) và silic ($\rho = 2.33$ g/cm³) thì quãng chạy lớn nhất của các hạt beta khi sử dụng nguồn beta Sr-90/Y-90 bằng phương pháp truyền qua lần lượt là 3.9 mm và 4.6 mm.

Trước khi khảo sát sự phụ thuộc của cường độ chùm hạt beta vào bề dày của vật liệu, chúng tôi cần phải khảo sát sự ảnh hưởng của bề dày chuẩn trực của nguồn beta và khoảng cách từ nguồn beta đến đầu dò lên đường chuẩn bề dày vật liệu. Bề dày của chuẩn trực nguồn (vật liệu thường làm bằng chì) được khảo sát ở hai giá trị là 1.15 mm chì và 15 mm chì như hình 2. Khoảng cách giữa nguồn beta và đầu dò được khảo sát thay đổi từ 2.5 cm đến 4.1 cm.



Hình 2. Hình dạng và kích thước của nguồn beta và chuẩn trực nguồn.

2.2. Kết quả và thảo luận

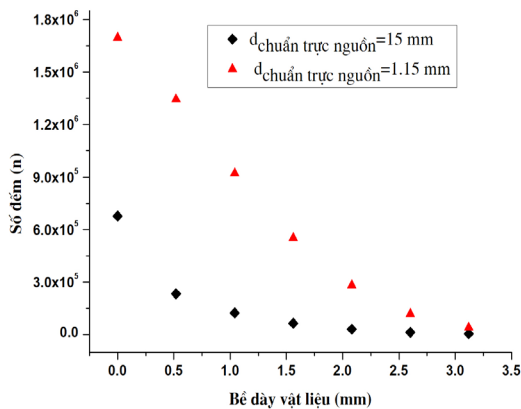
Để có thể xây dựng được các đường cong chuẩn trong việc xác định bề dày ngẫu nhiên của vật liệu mỏng có số Z nhỏ bằng phương pháp truyền qua của bức xạ beta thì cần phải khảo sát những yếu tố ảnh hưởng đến tính chất chùm beta như: bề dày của tấm chuẩn trực nguồn; khoảng cách từ nguồn Sr-90/Y-90 đến đầu dò cũng như ảnh hưởng của bề dày vật liệu đo đến cường độ chùm hạt beta.

Bức xạ beta khi đi qua chuẩn trực nguồn có thể xảy ra các hiệu ứng do tương tác của beta với vật chất như: ion hóa, tán xạ beta, tạo ra chùm bức xạ hãm, ... [2,3]. Do đó, khi sử dụng nguồn Sr-90/Y-90 để xác định bề dày của các vật liệu mỏng cần phải đánh giá thêm ảnh hưởng của chuẩn trực nguồn nằm giữa nguồn và đầu dò lên kết quả đo để có các hiệu chỉnh thích hợp. Đặc biệt là ảnh hưởng của bức xạ hãm khá lớn đến kết quả thực nghiệm. Đối với nguồn Sr-90/Y-90 có $E_{\beta(\text{max})} = 2.284$ MeV, khi đó bức xạ hãm được hình thành do tương tác của beta đối với vật liệu làm chuẩn trực nguồn (sử dụng vật liệu chì có $Z_{Pb} = 82$) có năng lượng từ 0 MeV đến 2.284 MeV[4,5].

Hình 3 cho thấy ảnh hưởng của bề dày chuẩn trực nguồn đối với việc xác định độ dày của vật liệu.

Bảng 1. Kết quả sự ảnh hưởng của bề dày lớp chuẩn trực nguồn đến việc xác định bề dày vật liệu silic:

Bề dày vật liệu (mm)	Tốc độ đếm (cps)	
	Chuẩn trực nguồn dày 15 mm	Chuẩn trực nguồn dày 1.15 mm
0.00	11296 ± 27	28239 ± 88
0.52	3888 ± 11	22399 ± 37
1.04	2081 ± 11	15340 ± 37
1.56	1090 ± 11	9205 ± 37
2.08	518 ± 11	4682 ± 37
2.60	216 ± 11	1966 ± 37
3.12	78 ± 11	667 ± 37

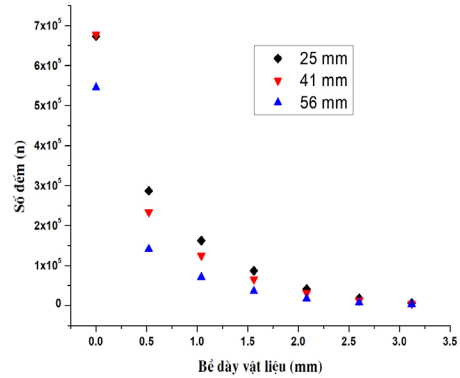


Hình 3. So sánh sự ảnh hưởng của bề dày lớp chuẩn trực nguồn đến việc xác định bề dày vật liệu nhôm

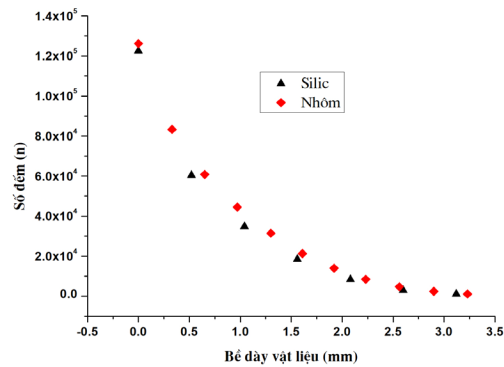
Đối với chuẩn trực nguồn có bề dày 1.15 mm thì đồ thị suy giảm của bức xạ beta đối với vật liệu có dạng gần như tuyến tính do ảnh hưởng của bức xạ hãm (năng suất phát bức xạ hãm tỷ lệ với Z^2 của vật liệu bia) sinh ra tương tác với đầu dò. Trong trường hợp này bề dày của chuẩn trực nguồn không đủ để ngăn cản hết bức xạ hãm do nguồn Sr-90/Y-90 sinh ra. Đối với chuẩn trực nguồn có bề dày 15 mm, sự suy giảm của cường độ chùm hạt beta có xu hướng đúng như phương trình (2). Như vậy với bề dày lớn của chuẩn trực nguồn bức xạ (sử dụng vật liệu chì) sẽ làm giảm hiệu ứng ảnh hưởng của bức xạ hãm.

Do hạt beta từ nguồn Sr-90/Y-90 sẽ bị mất năng lượng dọc theo đường đi nên chúng chỉ đi được một quãng đường hữu hạn. Qua việc khảo sát sự suy giảm của cường độ chùm hạt beta vào bề dày vật liệu và có sự thay đổi khoảng cách giữa đầu dò và nguồn Sr-90/Y-90 sẽ thu được các đường cong suy giảm (hình 4) có phương trình liên hệ giữa số đếm và bề dày vật liệu theo dạng [6]: $y = y_0 + Ae^{-Bx}$ (5). Khảo sát các đường cong này ta thấy khoảng cách giữa nguồn hạt beta và đầu dò càng nhỏ thì độ sai khác giữa kết quả thực nghiệm và hàm làm khớp (5) sẽ

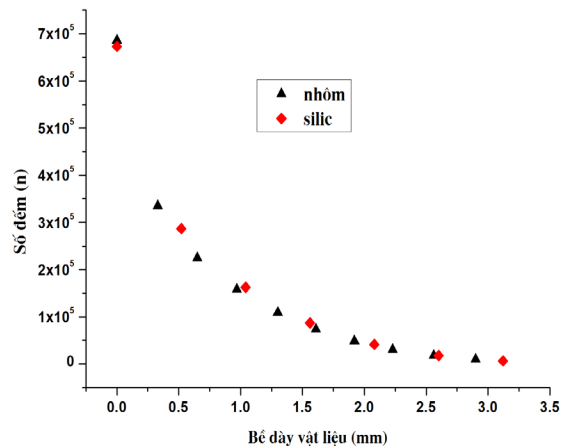
càng nhỏ. Tuy nhiên, khoảng cách giữa đầu dò và nguồn hạt beta sẽ phụ thuộc vào điều kiện thực nghiệm của hệ đo để có thể đạt được kết quả tối ưu.



Hình 4. So sánh sự ảnh hưởng của khoảng cách giữa nguồn beta và đầu dò đến việc xác định bề dày vật liệu



a. Sự thay đổi bề dày vật liệu sử dụng đầu dò gamma-beta NDI-65/50



b. Sự thay đổi bề dày vật liệu sử dụng đầu dò Geiger-Muller

Hình 5. Khảo sát hình dạng đường chuẩn xác định bề dày vật liệu trên các hệ đầu dò khác nhau (đầu dò beta và đầu dò Geiger-Muller)

Để đảm bảo tính ổn định và chính xác của các phương trình sự phụ thuộc của cường độ chùm beta vào bề dày vật liệu, chúng tôi đã khảo sát thêm sự thay đổi của các bề dày vật liệu trên các hệ thực nghiệm khác nhau và với các loại vật liệu có số Z nhỏ xấp xỉ nhau như nhôm và silic. Các kết quả khảo sát này được thực hiện sau khi đã điều chỉnh các điều kiện thực nghiệm như khoảng cách nguồn – đầu dò và bề dày của chuẩn trực nguồn. Dựa trên các điều kiện thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã xác định khoảng cách từ nguồn Sr-90/Y-90 là 41 mm và bề dày của chuẩn trực nguồn là 15 mm chì. Đồ thị phụ thuộc của cường độ hạt beta vào bề dày vật liệu nhôm và silic được biểu diễn như hình 5. Các đồ thị này cho thấy trên các hệ thực nghiệm khác nhau (hệ sử dụng đầu dò Geiger-Muller kết hợp với hệ phân tích URL-2 và hệ phân tích đo phổ beta) thì kết quả đối với nhôm và silic là tương đồng với nhau về hình dạng, tuân theo được quy luật suy giảm như phương trình (2).

Từ các kết quả đo đạc thực nghiệm với các bề dày được khảo sát: bề dày nhôm từ 0.1 mm đến 3.23 mm (sử dụng các tấm nhôm bề dày 0.1 mm) và bề dày silic từ 0.39 mm đến 3.12 mm, chúng tôi xây dựng được các phương trình đường cong khớp hàm chuẩn của sự thay đổi cường độ chùm beta vào bề dày vật liệu có số Z nhỏ như nhôm và silic bằng phương pháp nội. Các phương trình đường khớp hàm chuẩn này thể hiện sự phụ thuộc bề dày của vật liệu nhôm và silic vào số đếm (hoặc tốc độ đếm) đo được từ các hệ thực nghiệm khác nhau như sau:

– Đối với hệ sử dụng đầu dò gamma-beta NDI-65/50:

Nhôm:

$$y = -0.901 \ln(x + 10605.331) + 11.820 \quad (6a)$$

Silic:

$$y = -0.687 \ln(x + 2104.085) + 9.191 \quad (6b)$$

– Đối với hệ sử dụng đầu dò Geiger-Muller:

Nhôm:

$$y = -1.04 \ln(x + 6347.63) + 12.25 \quad (6c)$$

Silic:

$$y = -0.825 \ln(x + 1769.489) + 9.637 \quad (6d)$$

Để kiểm nghiệm tính khả dụng của các phương trình trên nhóm nghiên cứu đã thử nghiệm với những bề dày khác nhau của vật liệu. Bảng 2 thể hiện kết quả kiểm tra của phương trình (6d) với vật liệu silic trên hệ thực nghiệm sử dụng đầu dò Geiger-Muller.

Từ bảng 2 ta có thể thấy rằng phương pháp thực nghiệm xác định bề dày bất kỳ của vật liệu khi sử

dụng các hàm chuẩn trên cho kết quả có sai số có thể chấp nhận được. Tương tự, nhóm nghiên cứu đã tiến hành so sánh, đánh giá sự sai lệch giữa giá trị bề dày vật liệu thực tế và tính toán qua các phương trình (6a, 6b, 6c) với sai số lớn nhất là 5%. Bề dày vật liệu nhỏ nhất có thể xác định được là 0.39 mm đối với silic và 0.10 mm đối với nhôm. Từ đó có thể rút ngắn thời gian đo đạc mà độ chính xác của bề dày vật liệu vẫn được đảm bảo.

Bảng 2. So sánh giá trị bề dày thực tế và bề dày tính theo phương trình (6d) trên vật liệu silic:

Tốc độ đếm (cps)	Bề dày thực (mm)	Bề dày tính toán (mm)	Sai số (%)
1173	0.39 ± 0.01	0.41	5.13
1117	0.43 ± 0.01	0.45	4.65
702	0.78 ± 0.02	0.82	5.13
357	1.34 ± 0.03	1.35	0.74

3. Kết luận

Phương pháp đo độ dày vật liệu có số Z nhỏ sử dụng phương pháp truyền qua của hạt beta là một trong những phương pháp khả dụng. Phương pháp này cho phép đo độ dày của vật liệu theo cách không phá hủy và tiết kiệm chi phí. Dựa trên các kết quả thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được các đồ thị và phương trình hàm làm khớp của vật liệu nhôm và silic trên những hệ thiết bị sử dụng các loại đầu dò như đầu dò gamma-beta NDI-65/50 và đầu dò Geiger-Muller. Các phương trình hàm làm khớp này là cơ sở cho việc nghiên cứu các loại vật liệu có số Z nhỏ khác bằng thực nghiệm. Ngoài ra các kết quả nghiên cứu này còn được sử dụng để xây dựng lên các bài thí nghiệm phục vụ công tác đào tạo về lĩnh vực kỹ thuật hạt nhân ứng dụng.

Lời cảm ơn

Bài báo cáo này được hỗ trợ nghiên cứu từ đề tài cấp cơ sở mã đề tài T2017-PC-036 của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Tài liệu tham khảo

- [1] Grozev, P.A., Vapirev, E.I., Botsova, L.I., 1992. Energy-distribution of beta-particles transmitted through an absorber. Appl. Radiat. Isotopes 43, 383–387.
- [2] Brasunas, J.C., Cushman, G.M., Lakew, B., 1999. Chapter 7: Thickness Measurement. In: Webster, J.G. (Ed.), The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, 1999. by CRC Press LLC, USA.
- [3] James E. Turner. Atoms, Radiation, and Radiation Protection. 2007 WILEY-VCH Verlag Gmb H&Co. KGaA, Weinheim.

- [4] Damkjaer, A., 1982. The response of a silicon surface-barrier detector to monoenergetic electrons in the range 100–600 keV. *Nuclear Instruments and Methods* 200, 377–381.
- [5] Evans, R.D., 1955. *The Atomic Nucleus*. McGraw-Hill, New York.
- [6] Konopinski, E.J., 1966. *The Theory of Beta Radioactivity*. Oxford University Press, London.
- [7] S. Yalcin, O. Gurler, 2005. Effect of different arrangements of point source, aluminum absorber and detector on mass absorption coefficient of beta-particles. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 266, 509–511.
- [8] S. Yalcin, O. Gurler, O. Gundogdu, D.A. Bradley, 2012. A practical method for in-situ thickness determination using energy distribution of beta particles. *Applied Radiation and Isotopes* 70, 128–132.
- [9] Mark E. Zipf, April 2010. Radiation transmission-based thickness measurement systems - advancements, innovations and new technologies. *Advances in measurement systems*. ISBN: 978-953-307-061-2
- [10] D.M. Farcasiu, T. Apostolescu, H. Bozdog, E. Badescu, V. Bohm, S.P. Stanescu, A. Jianu, C. Bordeanu and M.V 1992. CraciunA digital instrument for nondestructive measurements of coating thicknesses by beta backscattering. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 312, 284-288.