

XÁC ĐỊNH BỀ DÀY PHÔI VẬT LIỆU BẰNG HỆ PHỔ KẾ ALPHA

Lê Công Hảo, Mai Văn Nhơn, Châu Văn Tạo

Trường Đại Học Khoa Học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 15 tháng 07 năm 2009, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 17 tháng 03 năm 2010)

TÓM TẮT: Ngày nay trong các ngành công nghiệp cũng như trong nghiên cứu khoa học đã xuất hiện nhu cầu cần xác định chính xác được độ dày của những phôi vật liệu có kích thước rất mỏng, xuống tới đơn vị μm . Do đó trong bài báo này chúng tôi sẽ đưa ra hai phương pháp để xác định bề dày của những phôi vật liệu cực mỏng một cách đơn giản, nhanh, chính xác và không tốn kém. Cả hai phương pháp này dựa trên nền tảng của sự mất năng lượng của hạt alpha khi qua phôi vật liệu và sau đó được ghi nhận bằng hệ phổ kế alpha có độ phân giải năng lượng cao.

Từ khóa: Foil thickness, Alpha spectroscopy, Alpha spectrometer, Srim

1. GIỚI THIỆU

Ngay sau khi khám phá về năng lượng hạt phát ra từ vật liệu phóng xạ, nhiều nhà khoa học đã đi tìm lời giải đáp cho câu hỏi thú vị và hóc búa đó là làm thế nào hạt mang điện bị chậm lại khi đi vào môi trường vật chất? Và đã có rất nhiều lý giải được trình bày xung quanh vấn đề trên nhưng tất cả đều bế tắc và không đầy đủ như mong đợi. Xung quanh việc tìm lời giải cho những vấn đề trên, Niels Bohr cùng với thuyết tán xạ ngược và và tán xạ điện tử của Rutherford đã công bố những phân tích về sự mất năng lượng của hạt mang điện khi đi vào môi trường vật chất đó là độ mất năng lượng khi xuyên qua vật chất của hạt mang điện có thể chia làm hai thành phần:

+ Độ mất năng lượng do tương tác với hạt nhân.

+ Độ mất năng lượng do tương tác với điện tử.

Năm 1930, khi phát biểu lại những vấn đề từ tiên đề cơ lượng tử và dựa trên phương trình cơ bản gần đúng Born của hạt chuyển động nhanh trong môi trường lượng tử hóa, Bethe và Bloch đã đưa ra một thuyết quan trọng về năng suất hãm. Thuyết này dựa trên dựa trên phương pháp ước tính năng lượng mất đi của hạt và công thức biểu diễn mối quan hệ giữa quãng chạy và năng lượng, nó đã giải quyết được khá nhiều vấn đề về quãng chạy và độ mất năng lượng để có thể ứng dụng vào tính toán an toàn – che chắn.

Như chúng ta đã được biết ở trên, hạt mang điện đặc biệt là hạt Alpha khi đi vào môi trường vật chất sẽ bị mất mát năng lượng do tương tác với electron quỹ đạo và hạt nhân của

nguyên tử và chính năng lượng mất mát có thể giúp chúng ta xác định được bề dày của các phôi vật liệu mỏng. Thêm vào đó ngày nay trong các ngành công nghiệp cũng như trong nghiên cứu khoa học đã xuất hiện nhu cầu cần xác định chính xác được độ dày của những vật mẫu có kích thước rất mỏng, xuống tới đơn vị μm . Do đó vấn đề được đặt ra là chúng ta cần phải có phương pháp đơn giản, nhanh, hiệu quả và ít tốn kém để xác định được bề dày với độ chính xác cao phục vụ nghiên cứu và sản xuất.

Trên cơ sở lý thuyết về tương tác và sự mất mát năng lượng của hạt mang điện khi đi vào môi trường vật chất, với sự trợ giúp trong việc tính toán của chương trình SRIM (Stopping and Range of Iron in Matter), hệ đo Alpha Analyst, sự hỗ trợ của phần mềm Genie 2000 Alpha Acquisition & Analyst và nhu cầu khai thác có hiệu quả hệ phổ kế alpha chúng tôi đã phát triển và đưa hai phương pháp để xác định bề dày của những phôi vật liệu cực mỏng một cách đơn giản, nhanh, chính xác và ít tốn kém.

2. VẬT LIỆU VÀ THIẾT BỊ

2.1. Vật liệu

Các mẫu đo được sử dụng trong thí nghiệm bao gồm các *phôi nhôm, vàng và bạc* (đường kính vùng hoạt 40 mm). Tất cả các mẫu được chế tạo dán cố định lên các tấm nhựa có kích thước chiều dài 68 mm, chiều rộng 54 mm và bề dày 1,5 mm. Trong đó có 3 mẫu đã biết trước bề dày đó là phôi nhôm (15 μm), phôi vàng (5,51 μm) và phôi bạc (5 μm).

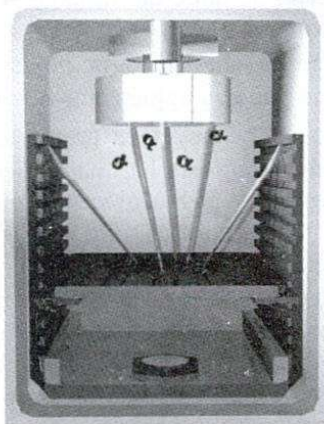
Nguồn được dùng trong thí nghiệm là bộ nguồn chuẩn (bao gồm 4 đồng vị phát hạt alpha

^{238}U , ^{234}U , ^{239}Pu , ^{241}Am) dạng đĩa thép sạch có bán kính là 12,05 mm; bề dày 0,65 mm được sử dụng cho việc xây dựng đường chuẩn năng lượng, nguồn ^{241}Am và nguồn ^{226}Ra được dùng để đo bề dày các mẫu.

2.2. Thiết bị [2]

Thiết bị được sử dụng trong phần nghiên cứu này là hệ phổ kế alpha analyst của hãng CANBERRA với các thông số của detector A1200-37Am như sau:

- ✓ Điện thế phân cực yêu cầu: +40 V
- ✓ Dòng rò (200 C): 12 nA
- ✓ Độ sâu vùng nghèo tối thiểu: >140 microns
- ✓ Thế phân cực cực đại (giới hạn): +100 V
- ✓ Phong điển hình: 0,05 cts/cm²/hour
- ✓ Bán kính hoạt động: 19,55 mm
- ✓ Độ phân giải alpha : 37 keV

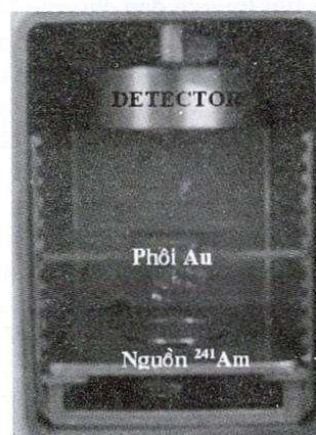


Hình 1. Buồng đo và detector

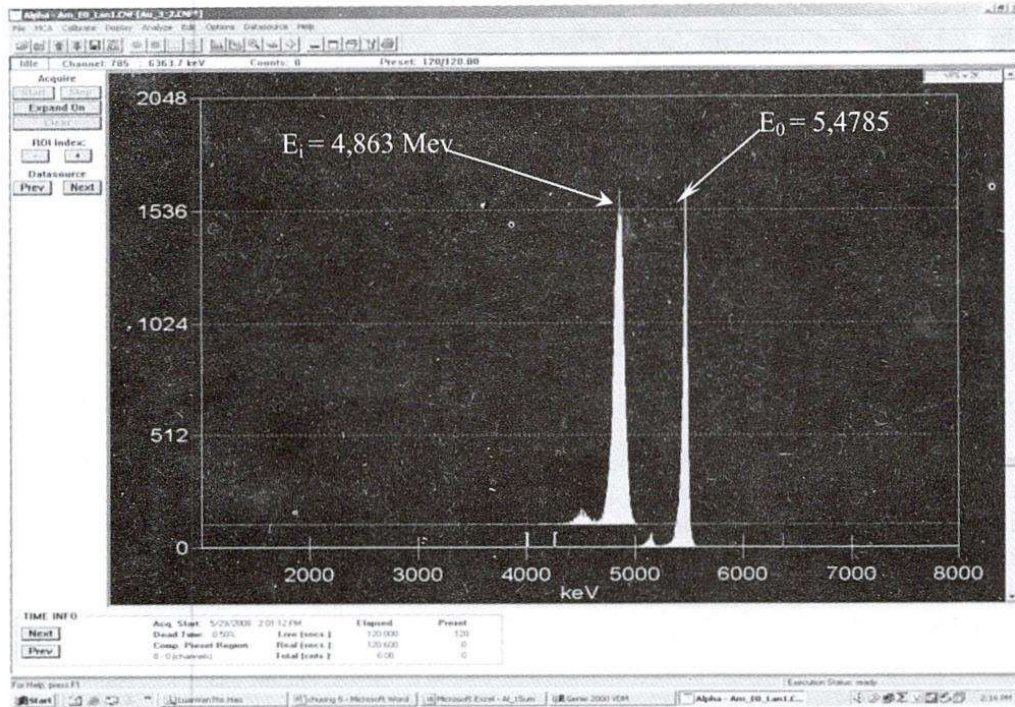
3. BỐ TRÍ THÍ NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP

3.1. Bố trí thí nghiệm

Chúng tôi đã tiến hành sử dụng bộ nguồn chuẩn (bao gồm 4 đồng vị ^{238}U , ^{234}U , ^{239}Pu , ^{241}Am) và nguồn ^{226}Ra để chuẩn máy. Sau đó sử dụng các nguồn ^{241}Am và ^{226}Ra cho việc nghiên cứu xác định bề dày các phiê vật liệu với bố trí hình học lần lượt cho các phiê nhôm, vàng, bạc nằm giữa nguồn và detector cách detector 21 mm như hình 2. tiến hành các thí nghiệm thu nhận phổ của các mẫu nói trên và từ kết quả đo phổ, chúng tôi có được các giá trị E_0 , E_i lần lượt tương ứng với năng lượng hạt alpha có được khi chưa đặt và đặt các phiê vật liệu (hình 3).



Hình 2. Bố trí hình học phép đo đối với nguồn Am^{241}



Hình 3. So sánh phổ nguồn Am²⁴¹ khi chưa có và có sự hiện diện phi vật liệu.

3.2.Phương pháp

Phương pháp 1:

Xuất phát từ công thức *Bethe-Bloch*[4] ta có:

$$\left(-\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right) = 4\pi r_e^2 m_e c^2 z^2 \frac{N_a Z}{A} \beta^{-2} \cdot \left(\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} \right) - \beta^2 - \frac{\delta^2}{2} - \frac{c}{z} \right) \quad (2)$$

Trong đó : v là vận tốc của hạt, n_e là số electron trên một đơn vị thể tích môi trường, z là điện tích hạt tới, N_a là hằng số Avogadro, ρ (g/cm³) là khối lượng riêng của nguyên tố, A, Z : lần lượt là số khối và bậc số nguyên tử của môi trường, m_e : khối lượng của electron, r_e là bán kính của electron, I : năng lượng ion hoá trung bình, $\beta = v/c$ là số hạng tính đến hiệu ứng tương đối, δ hiệu ứng mật độ, C/Z là sự liên kết của electron tầng K và L

Phép biến đổi toán học sẽ biểu diễn giá trị $\left(-\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)$ qua công thức (2):

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{\rho \left(\frac{-dE}{d(\rho x)} \right)} \quad (3)$$

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right) = \left(\frac{4\pi n_e z^2 e^4}{m_e v^2} \right) \ln \left(\frac{2m_e v^2}{I} \right) \quad (1)$$

Thay $n_e = Z\rho \frac{N_a}{A}$ vào (1) ta được:

Trong đó: $\Delta E = E_0 - E_i$, Δx là bề dày vật liệu, ρ là mật độ khối của vật liệu.

Bằng thực nghiệm chúng ta sẽ xác định được giá trị ΔE , giá trị $\frac{-dE}{d(\rho x)}$ được xác định từ phần mềm *SRIM-2008*[3], có ρ là mật độ khối của từng vật liệu chúng ta có thể dễ dàng xác định được bề dày của phi vật liệu. Đây chính là kỹ thuật để xác định bề dày của các phi vật liệu của phương pháp 1.

Phương pháp 2

Biến đổi lại công thức (1) ta có

$$\frac{dE}{dx} = \left(\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 \left(\frac{2NZ e^4 \pi^3}{m_e v^2} \right) \ln \left(\frac{m_e v^2}{I} \right) \quad (4)$$

Từ (4) chúng ta nhận thấy rằng về phải chứa những hằng số đơn giản do đó (4) được biến đổi thành (5)

$$-\frac{dE}{dx} = \left(\frac{c_1}{E}\right) \ln(c_2 E) \quad (5)$$

Trong đó $E = m_\alpha v^2$, c_1 và c_2 là các hằng số.

Đối với trường hợp chúng tôi khảo sát là những phiê vật liệu mỏng, do đó (5) được xấp xỉ thành (6)

$$\frac{\Delta E}{T} \approx \frac{k}{E^m} \quad (6)$$

Trong đó: T là bề dày phiê vật liệu và k và m là những hằng số chuẩn của phiê vật liệu đang khảo sát. Lấy logarit cơ số 10 cả hai vế (6) ta được (7)

$$\log(\Delta E) = \log(k) + \log(T) - m \log(E) \quad (7)$$

Vì vậy nếu chúng ta vẽ ΔE như là một hàm theo E trên đồ thị log-log với T là bề dày biết trước của phiê vật liệu chúng ta sẽ xác định được 2 giá trị hằng số k và m của phiê vật liệu đó. Đây chính là kỹ thuật để xác định bề dày của các phiê vật liệu của phương pháp 2

4.KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thông qua các đo đạc từ thực nghiệm và tính toán chúng tôi đã thu nhận được các kết quả như sau:

Bảng 1. Các thông số chuẩn đối với Al, Au và Ag từ thực nghiệm phương pháp 2

| Phiê vật liệu | Logk | m | T(μm) |
|---------------|--------|--------|--------------|
| Nhôm (Al) | 0,1448 | 1,1405 | 15 |
| Vàng (Au) | 0,1355 | 0.8458 | 5,51 |
| Bạc(Ag) | 0,2831 | 0,8885 | 5 |

Bảng 2. So sánh kết quả đo bề dày cho phiê nhôm.

| Tên mẫu | Bề dày (μm) | | Sự sai lệch tương đối |
|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | Phương pháp 1 | Phương pháp 2 | |
| Al_1 | 15,212 \pm 0,260 | 15,026 \pm 0,043 | 1,23% |
| Al_2 | 11,298 \pm 0,243 | 11,045 \pm 0,025 | 2,26% |
| Al_3 | 11,441 \pm 0,362 | 11,238 \pm 0,082 | 1,79% |
| Al_4 | 7,438 \pm 0,308 | 7,232 \pm 0,033 | 2,81% |

Bảng 3. So sánh kết quả đo bề dày cho phiê vàng

| Tên mẫu | Bề dày (μm) | | Sự sai lệch tương đối |
|---------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| | Phương pháp 1 | Phương pháp 2 | |
| Au_1 | 1,451 \pm 0,070 | 1,411 \pm 0,015 | 2,80% |
| Au_2 | 1,277 \pm 0,058 | 1,229 \pm 0,023 | 3,83% |
| Au_3 | 1,767 \pm 0,073 | 1,726 \pm 0,012 | 2,35% |
| Au_4 | 5,507 \pm 0,095 | 5,515 \pm 0,034 | 0,15% |

Bảng 4. So sánh kết quả đo bề dày cho phiê bạc

| Tên mẫu | Bề dày (μm) | | Sự sai lệch tương đối |
|---------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| | Phương pháp 1 | Phương pháp 2 | |
| Ag_1 | 4,487 \pm 0,123 | 4,387 \pm 0,017 | 2,25% |
| Ag_2 | 2,484 \pm 0,135 | 2,468 \pm 0,034 | 0,65% |
| Ag_3 | 5,048 \pm 0,197 | 5,034 \pm 0,031 | 0,28% |
| Ag_4 | 7,399 \pm 0,166 | 7,370 \pm 0,047 | 0,39% |

Từ các kết quả thực nghiệm, chúng tôi nhận thấy rằng giá trị bề dày của các phiê vật liệu (bảng 2, bảng 3 và bảng 4) được xác định từ 2 phương pháp trên là khá trùng khớp với nhau. Các kết quả thu được từ hai phương pháp nghiên cứu trên chỉ chênh lệch nhau trong

khoảng từ 0,15% đến 3,83% và tất cả đều nằm ở mức sai số.

5. KẾT LUẬN

Mặc dù các mẫu đã được đưa đi đo kiểm nghiệm ở Trung Tâm Kỹ Thuật Tiêu Chuẩn Đo Lường Chất Lượng 3 và một số các cơ quan bạn khác nhưng với lý do không có khả năng để đo đạc các mẫu nói trên nên chúng tôi đã

không nhận được kết quả kiểm nghiệm phản hồi. Tuy nhiên như đã trình bày ở trên, các kết quả thu được từ hai phương pháp nghiên cứu trên không chênh lệch nhau quá nhiều và tất cả đều nằm ở mức sai số. Như vậy điều này cho thấy độ tin cậy của hai phương pháp nghiên cứu trên là khá cao và đủ cơ sở để áp dụng sâu rộng trong lĩnh vực xác định bề dày các phôi vật liệu ở kích cỡ μm hoặc nhỏ hơn.

DETERMINATION OF FOILS THICKNESS BY ALPHA SPECTROSCOPY

Le Cong Hao, Mai Van Nhon, Chau Van Tao
University of Sciences, VNU-HCM

ABSTRACT: Nowadays, in both industry and scientific research, there has been a demand for determination of matters thickness. In this article we will bring out two methods which are very simple, fast, effective and low-cost in getting exactly thickness of thin foils (μm). Both two these methods are based on energy loss of alpha particle when it passed through foil and then detected by high energy resolution alpha spectroscopy.

Keywords: Foil thickness, Alpha spectroscopy, Alpha spectrometer, Srim

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Công Hào, *Luận văn Thạc sỹ Vật lý*, Trường ĐHKHTN – Tp.HCM, (2008).
- [2]. Lê Công Hào, *Khai thác và vận hành hệ phân tích alpha với bộ mẫu chuẩn*, T.chí PTKHCN, ĐHQG, Tp.HCM, (2008).
- [3]. Lê Công Hào, *Nghiên cứu khả năng ứng dụng của SRIM-2008 cho việc tính toán năng suất hãm và quãng chạy hạt alpha trong vật liệu*, T.chí PTKHCN, ĐHQG, Tp.HCM (2008).
- [4]. Glenn F.Knoll, *Radiation Detection And Measurement*, 2nd ed., John Wiley & Sons, (1989).