KHẢO SÁT CÁC TÍNH CHẤT NHIỆT PHÁT QUANG CỦA TINH THỂ K₂GdF₅: Sm³⁺

Phan Văn Độ, Lương Duy Thành Trường Đại học Thủy lợi, email: phanvando@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Phóng xạ là hiện tượng phổ biến trong tự nhiên. Hẳng ngày, con người luôn phải nhận các bức xa như tia anpha, beta, gamma hay notron. Sức khỏe con người sẽ bị đe dọa nghiêm trọng khi liều tích lũy vượt quá giới hạn cho phép (cỡ 20 mSv/năm). Mức độ ảnh hưởng của các bức xạ khác nhau là khác nhau nhưng chúng đều có thể gây ra các bệnh đặc biệt nguy hiểm như bệnh ung thư, máu trắng... Với những người làm việc trong các môi trường có độ phóng xạ lớn như phòng X quang, hay lò phản ứng hạt nhân... thì nguy cơ nhiễm phóng xạ càng cao. Vì vậy, kiểm soát an toàn phóng xạ là môt nhiêm vu quan trong. Trong lĩnh vực này luôn có một đòi hỏi cấp bách về hai vấn lớn là: phân biệt được trường bức xạ và đo liêu môi trường. Hiện nay, nhiều vật liệu nhiệt huỳnh quang đã được nghiên cứu và đưa vào sử dụng trong việc đo liều và xạ trị 7LiF:Mg,Ti như (TLD100), $Al_2O_2:C$ (TLD400), 6LiF:Mg,Ti (TLD600). Tuy nhiên, chúng không có khả năng phân biệt được các tia phóng xạ và độ nhạy không cao với liều môi trường [1].

Nhóm vật liệu nhiệt huỳnh quang họ K_2LnF_5 và $KLnF_4$ (Ln là nguyên tố đất hiếm) pha tạp đất hiếm hóa trị 3 được nghiên cứu khá nhiều do chúng có thể đáp ứng được các yêu cầu nói trên [2-6]. Trong số các ion đất hiếm thì ¹⁵⁷Gd có tiết diện bắt notron lớn nhất (255.000b) do đó tinh thể K_2GdF_5 có độ nhạy cao với bức xạ notron [2]. Trong thời gian gần đây, đã có nhiều công bố về tính chất nhiệt phát quang của vật liệu này [2, 3, 6].

Các tác giả đều chỉ ra triển vọng ứng dụng của chúng trong việc phân biệt trường bức xạ và đo liều môi trường. Trong báo cáo này, chúng tôi trình bày một số kết quả nghiên cứu tính chất nhiệt huỳnh quang của vật liệu đa tinh thể K_2GdF_5 :Sm³⁺.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vật liệu đa tinh thể K_2GdF_5 pha tạp 2at $\%Sm^{3+}$ được chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt. Các hóa chất ban đầu gồm dung dịch KF, muối $Gd(NO_3)_3$ và $Sm(NO_3)_3$ được cân theo dự kiến rồi đưa vào bình thủy nhiệt. Nhiệt độ được duy trì ổn định tại 500 K, áp suất 40 at trong thời gian 168 giờ. Sản phẩm thu được là vật liệu đa tinh thể K_2GdF_5 : Sm^{3+} có kích thước cỡ vài chục nanometer. Các mẫu được chiếu bằng các bức xạ notron, beta và tia X từ các nguồn ${}^{90}Sr$, Am-Be và ống tia X. Các đường cong nhiệt phát quang được đo bằng hệ thiết bị Harshaw-Bicron 3500 TLD với dài đo từ 50-400°C.

3. KÉT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đường cong TL tích phân

Theo lý thuyết nhiệt phát quang, khi chất điện môi không lý tưởng được chiếu bởi các bức xạ ion hóa, các điện tử được giải phóng khỏi vùng hóa trị và sau đó bị bắt tại các bẫy, các lỗ trống bị bắt tại tâm. Nếu sau đó vật liệu được đốt nóng, các điện tử sẽ được giải phóng khỏi bẫy và tái hợp với lỗ trống đồng thời phát quang. Cường độ huỳnh quang I(t) phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức [1]:

472

$$I(t) = \frac{n_0^{b} \cdot s \cdot \exp\left\{-\frac{E}{kT}\right\} N^{(1-b)}}{\left[1 + \frac{s(b-1)(n_0 / N)^{b-1}}{\beta} \int_{\tau_0}^{\tau} \exp\left\{-\frac{E}{kT}\right\} dT'\right]^{\frac{b}{b-1}}}$$

trong đó n_0 là tổng số điện tử trên bẫy ở thời điểm ban đầu, s là tần số thoát, b là bậc động học, N làmật độ bẫy điện tử, E là độ sâu bẫy (còn gọi lại năng lượng kích hoạt), β là tốc độ gia nhiệt, k là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ tuyệt đối. Đường cong biểu diễn cường độ huỳnh quang theo nhiệt độ được gọi là đường cong nhiệt huỳnh quang tích phân (TL). Trên đường cong có thể có nhiều đỉnh, mỗi đỉnh ứng với một bẫy điện tử.

Hiện tượng nhiệt phát quang được ứng dụng nhiều trong việc đo liều và tính tuổi của các cổ vật.Hiện nay, liều kế thương mại TLD00 được sử dụng phổ biến để kiểm soát an toàn phóng xạ. Ưu điểm của liều kế này là rất nhạy với bức xạ beta và tia X. Tuy nhiên, đường cong nhiệt phát quang tích phân của TLD100 không có sự khác nhau giữa các bức xạ (hình 1), do đó liều kế này không thể sử dụng để nhận biết trường bức xạ.



Hình 1. Đường cong TL tích phân của TLD100 với các bức xạ khác nhau với liều chiếu 2 mSv

Hình 2 trình bày đường cong nhiệt phát quang tích phân của mẫu $K_2GdF_5:Sm^{3+}$. Trong phép đo này, các mẫu được chuẩn hóa về cùng khối lượng và được chiếu xạ với cùng liêu 2 mSv.



Hình 2. Đường cong TL của K_2GdF_5 : Sm với các bức xạ khác nhau, tốc độ gia nhiệt 5 °C/s

Với bức xạ beta, đường cong TL xuất hiện một đỉnh mạnh tại nhiệt độ khoảng 210°C và 3 đỉnh thấp hơn tại các nhiệt độ 100, 130 và 335°C; với tia X, đường cong xuất hiện một đỉnh lớn trong khoảng 335°C và một vai ở nhiệt độ khoảng 280°C; với bức xạ nơtron, 2 đỉnh được ghi nhận rõ ràng tại nhiệt độ khoảng 210 và 335°C.Có thể thấy rằng hình dạng của đường cong TL phụ thuộc mạnh vào bức xạ mà vật liệu đã hấp thụ trước đó. Như vậy, vật liệu đa tinh thể K₂GdF₅: Sm³⁺ có triển vọng trong việc chế tạo liều kế để sử dụng trong việc phân biệt trường bức xạ.

3.2. Đáp ứng liều notron của K₂GdF₅: Sm³⁺



Hình 3. Đường đáp ứng liều đối với notron của K₂GdF₅: Sm³⁺ và TLD600

Để có thể sử dụng làm vật liệu đo liều, vật liệu nhiệt phát quang phải có đường đáp ứng của tín hiệu TL phụ thuộc tuyến tính với liều chiếu trong phạm vi sử dụng [1, 4]. Hình 3 trình bày đường đáp ứng với notron liều nhỏ của K_2GdF_5 : Sm³⁺ và của liều kế chuyên dụng cho notron (TLD600). Kết quả nghiên cứu cho thấy, với liều nhỏ (cõ liều môi trường), đường đáp ứng liều của K_2GdF_5 : Sm³⁺ có dạng khá tuyến tính và có độ nhạy cao hơn nhiều so với liều kế TLD600. Ngoài

473

ra, hình dạng đường cong TL của K_2GdF_5 : Sm^{3+} khá đơn giản, điều này rất thuận tiện cho việc phân tích các thông số động học. Như vậy, vật liệu tinh thể K_2GdF_5 : Sm^{3+} có triển vọng trong chế tạo liều kế với mục đích đo liều nơtron môi trường.

3.3. Đánh giá các thông số động học



Hình 4. Đường cong TL tích phân của mẫu K_2GdF_5 :Sm³⁺ với các tốc độ gia nhiệt khác nhau



Hình 5. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $\ln(T_m^2 / \beta)$ theo $1/T_m$

Để đánh giá các thông số động học của vật liệu, chúng tôi sử dụng phương pháp thay đổi tốc độ gia nhiệt [1, 3]. Theo phương pháp này, đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $\ln(T_m^2/\beta)$ theo $1/T_m$ có hệ số góc là E/k và giao với trục tung tại vị trí $\ln(E/ks)$, từ đây ta có thể tính được E và s.

Hình 4 trình bày đường cong TL tích phân của mẫu K₂GdF₅:Sm³⁺ với các tốc độ gia nhiệt khác nhau. Có thể nhận thấy rằng vị trí của các đỉnh có xu hướng dịch về phía nhiệt độ cao khi β tăng. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của ln(T_m^2/β) theo $1/T_m$ của các đỉnh được trình bày trong hình 5.

Từ đồ thị, chúng tôi tính được giá trị của năng lượng kích hoạt E và tần số thoát s. Ngoài ra, sử dụng phương pháp thay đổi liều

chiếu [1], bậc động học (b) của các đỉnh cũng được tìm ra. Các kết quả tính toán được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số động học của vật liệu K₂YF₅:Sm³⁺ (β = 5 °C/s)

Đỉnh	$T_{\rm m}^{\rm o} {\rm C}$	E, eV	b	<i>s</i> , s ⁻¹
1	100	0,54	1,13	$1,2 \times 10^{7}$
2	210	1,04	1,13	3,2×10 ⁹
3	335	1,92	1,12	3,9×10 ¹²

4. KÉT LUÂN

Đường cong nhiệt phát quang tích phân của đa tinh thể ứng với các bức xạ; beta, notron và tia X đã được đo và phân tích động học. Hình dạng của các đường cong phụ thuộc mạnh vào loại bức xạ mà vật liệu đã hấp thụ trước đó. Điều này chỉ ra triển vọng của vật liệu $K_2GdF_5:Sm^{3+}$ trong việc phân biệt trường bức xạ. Độ nhạy cao của vật liệu với bức xạ notron liều nhỏ cho mở ra triển vọng chế tạo liều kế notron môi trường từ vật liệu này.

5.TÀI LIỆU THAM KHẢO

- C. Furetta, 2003, Handbook of Themorlumi-nescence, World Scientific, Singapore.
- [2] Huynh Ky Hanh., N.M. Khaidukov., V.N. Makhov, 2012, Themorluminescence properties of K_2YF_5 and K_2GdF_5 doped with Tb³⁺ in response α , β and X ray, J. Lumin, 268, 3344.
- [3] J.A. Nieto., N.M. Khaidukov., 2016, Themorluminescence of Tb doped double fluorides, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., 263, 36-40.
- [4] E.C. Silva, N.M. Khaidukov., M.S. Nogueira, 2007, Investigation of theTL response ofK₂YF₅:Dy³⁺crystals toXandgamma radiationfields, Radiat. Meas.42, 311–315.
- [5] N. Kristianpoller., D. Weiss., N. Khaidukov.,2008, Thermoluminescence of some Pr³⁺dopedfluoride crystals, Radiat. Meas. 43, 245–248.
- [6] L.O. Faria, N. Khaidukov,M. S. Nogueira (2014), Thermoluminescence response of K₂GdF₅:Tb³⁺ crystals to photon radiation fields, Radiat. Prot. Dosim, 112, 435–438.

474