

## ĐẶC TRƯNG QUANG PHỔ CỦA VẬT LIỆU PHÁT QUANG $M_2Al_2SiO_7$ : Eu (M: Sr, Ca)

Đỗ Thanh Tiến<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Mạnh Sơn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Cơ bản, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, 102 Phùng Hưng, Huế, Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Huế, Việt Nam

\* Tác giả liên hệ Đỗ Thanh Tiến <dothanhtien@huaf.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 18-02-2020; Ngày chấp nhận đăng: 16-03-2020)

**Tóm tắt.** Vật liệu phát quang  $M_2Al_2SiO_7$  (M: Sr, Ca) đơn pha tạp với ion europium được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Kết quả khảo sát giản đồ nhiễu xạ tia X chứng tỏ vật liệu có cấu trúc đơn pha, pha tứ giác. Vật liệu  $M_2Al_2SiO_7$  đơn pha tạp với ion  $Eu^{2+}$  phát bức xạ màu xanh. Phổ phát quang có dạng dải rộng với cực đại ở 510 nm đối với mạng nền  $Sr_2Al_2SiO_7$  và ở 521 nm đối với mạng nền  $Ca_2Al_2SiO_7$ . Trong khi đó phổ phát quang của vật liệu  $M_2Al_2SiO_7$  pha tạp với ion  $Eu^{3+}$  có dạng vạch hẹp, phát bức xạ màu đỏ. Vai trò tâm kích hoạt của ion Eu trong mạng nền phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện công nghệ chế tạo mẫu. Ảnh hưởng trường tinh thể của mạng nền  $Ca_2Al_2SiO_7$  tác động lên ion  $Eu^{2+}$  mạnh hơn trường tinh thể của mạng nền  $Sr_2Al_2SiO_7$  cũng được trình bày và thảo luận.

**Từ khóa:** phát quang,  $M_2Al_2SiO_7$ , europium

## Spectroscopic characteristics of $M_2Al_2SiO_7$ : Eu (M: Sr, Ca) phosphors

Do Thanh Tien<sup>1,2\*</sup>, Nguyen Manh Son<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Agriculture and Forestry, Hue University, 102 Phung Hung St., Hue, Vietnam

<sup>2</sup>Faculty of Physics, University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue St., Hue, Vietnam

\* Correspondence to Do Thanh Tien <dothanhtien@huaf.edu.vn>

(Received: 18 February 2020; Accepted: 16 March 2020)

**Abstract.** The europium-ion-doped  $M_2Al_2SiO_7$  (M: Ca, Sr) materials with tetragonal phase structure were successfully synthesized by using the solid-state reaction method. The  $Eu^{2+}$ -doped  $M_2Al_2SiO_7$  materials emit green radiation. The photoluminescent spectra have a broad band, peaking at 510 nm for the  $Sr_2Al_2SiO_7$  phosphor and 521 nm for the  $Ca_2Al_2SiO_7$  phosphor. Meanwhile, the photoluminescent spectra of the  $Eu^{3+}$ -doped  $M_2Al_2SiO_7$  material have narrow lines, emitting red radiation. The role of the europium activation centers in the lattice greatly depends on the conditions of the sample preparation. The crystal field effect of  $Ca_2Al_2SiO_7$  lattice acting on  $Eu^{2+}$  ions is stronger than that of  $Sr_2Al_2SiO_7$  lattice.

**Keywords:** luminescence,  $M_2Al_2SiO_7$ , europium

## 1 Mở đầu

Trong kỹ thuật chiếu sáng và hiển thị, vật liệu phát quang đóng vai trò quan trọng trong việc chế tạo các loại đèn huỳnh quang, đèn LED. Đó là các loại đèn chiếu sáng có hiệu suất cao và tiết kiệm năng lượng. Trong số đó, vật liệu phát quang pha tạp ion đất hiếm được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng khác nhau do chúng không độc hại, thân thiện với môi trường, có độ chói và tuổi thọ cao [1, 2]. Trong vài năm qua, LED trắng kích thích bởi bức xạ tử ngoại gần kết hợp với các vật liệu phát quang màu đỏ, xanh lá cây và xanh đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học. Những vật liệu phát bức xạ ánh sáng nhìn thấy với hiệu suất phát quang cao dưới kích thích tử ngoại gần hay ánh sáng màu xanh đã được ứng dụng trong chế tạo LED trắng.

Vật liệu phát quang trên nền silicate alumino kiềm thổ ( $M_2Al_2SiO_7$  với M: Ca, Sr) pha tạp các ion đất hiếm đã và đang được nhiều tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu do có hiệu suất phát quang cao, đặc trưng quang phổ phù hợp với nhiều ứng dụng, đặc biệt là trong hiển thị và chiếu sáng [2-4]. Các nghiên cứu về tính chất phát quang của các vật liệu phát quang trên nền  $(Ca, Sr)_2Al_2SiO_7$  pha tạp các ion đất hiếm có nhiều ưu điểm như chi phí thấp, tính ổn định nhiệt và ổn định hóa học cao, đặc biệt là hấp thụ mạnh bức xạ ở vùng tử ngoại gần, v.v. [5, 6]. Vì vậy, việc nghiên cứu tính chất quang của vật liệu phát quang trên nền  $(Ca, Sr)_2Al_2SiO_7$  pha tạp các ion đất hiếm đang là vấn đề quan tâm và có ý nghĩa khoa học rất lớn trong nghiên cứu cơ bản và ứng dụng.

Ion europium pha vào các mạng nền khác nhau thường tồn tại hai trạng thái hóa trị là  $Eu^{2+}$  và  $Eu^{3+}$ , tùy thuộc vào điều kiện công nghệ chế tạo và môi trường phản ứng trong quá trình nung mẫu. Trạng thái hóa trị của ion kích hoạt trong mạng nền được xác định bằng đặc trưng quang phổ. Thông thường, ion europium tồn tại trạng thái hóa trị +2 ( $Eu^{2+}$ ) khi mẫu được nung trong môi trường khử và

trạng thái hóa trị +3 ( $Eu^{3+}$ ) khi mẫu được nung trong môi trường không khí. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu bằng công nghệ phản ứng pha rắn nung trong môi trường khử và môi trường không khí của vật liệu  $M_2Al_2SiO_7: Eu$  (M: Sr, Ca) phát các bức xạ màu khác nhau. Bên cạnh đó, cùng mạng nền silicate alumino kiềm thổ, nhưng kim loại kiềm thổ khác nhau (Sr, Ca) thì ảnh hưởng của trường tinh thể lên ion  $Eu^{2+}$  khác nhau. Kết quả này cũng được thảo luận trong báo cáo này.

## 2 Thực nghiệm

Vật liệu phát quang  $Ca_2Al_2SiO_7$  (CAS) và  $Sr_2Al_2SiO_7$  (SAS) đơn pha tạp ion europium được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Các nguyên liệu sử dụng gồm:  $CaCO_3$  (99,9%, Trung Quốc),  $SrCO_3$  (99,9%, Trung Quốc),  $Al_2O_3$  (99%, Trung quốc),  $SiO_2$  (99,9%, Hàn quốc) và  $Eu_2O_3$  (99,9%, Merck). Hỗn hợp được cân theo tỉ lệ hợp thức, chất chảy  $B_2O_3$  được thêm vào với tỉ lệ 4% khối lượng sản phẩm. Phối liệu được nghiền trộn bằng cối mã não trong thời gian 1 giờ, sau đó hỗn hợp được nung ở 1280 °C đối với vật liệu CAS và 1250 °C đối với vật liệu SAS. Mẫu được nung trong môi trường khử khí CO và trong môi trường không khí. Các yếu tố ảnh hưởng như nhiệt độ nung thiêu kết, thời gian nung và hàm lượng chất chảy  $B_2O_3$  đã được khảo sát [3, 5, 6]. Giảm nhiễu xạ tia X của vật liệu được ghi trên máy XRD D8 ADVANCE, Bruker (Đức). Các phép đo phổ phát quang và phổ kích thích được thực hiện trên hệ đo phổ kế huỳnh quang FL3-22 của hãng Horiba Jobin Yvon, Hoa Kỳ, với nguồn kích thích là đèn Xenon XFOR-450.

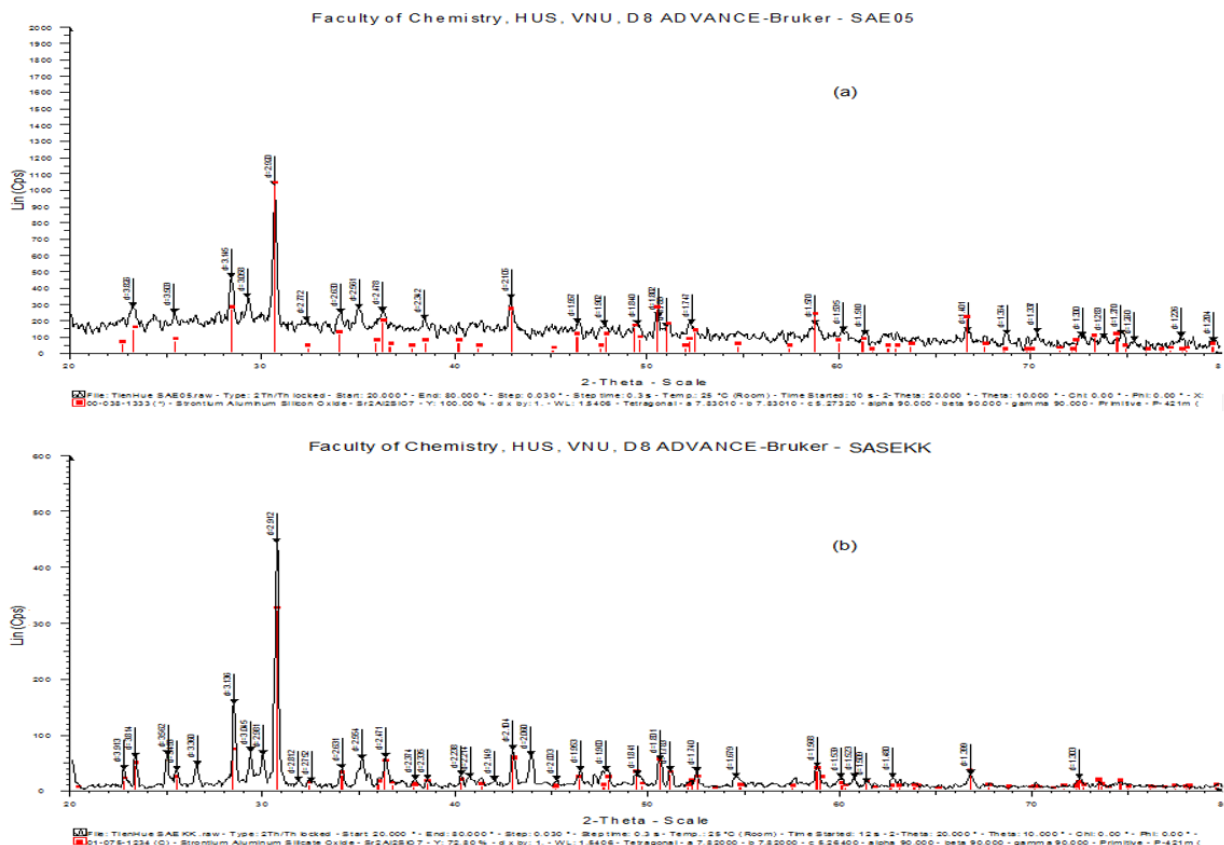
Để khảo sát sự thay đổi hóa trị của ion europium trong họ vật liệu silicate alumino kiềm thổ khi nung trong 2 môi trường nghiên cứu và làm rõ ảnh hưởng của hai kim loại kiềm thổ là stronti và canxi đến đặc trưng quang phổ của ion europium khi pha tạp vào họ vật liệu silicate alumino kiềm thổ, chúng tôi tiến hành chế tạo hai hệ mẫu SAS và CAS với hàm lượng Eu là 0,5% mol.

### 3 Kết quả và thảo luận

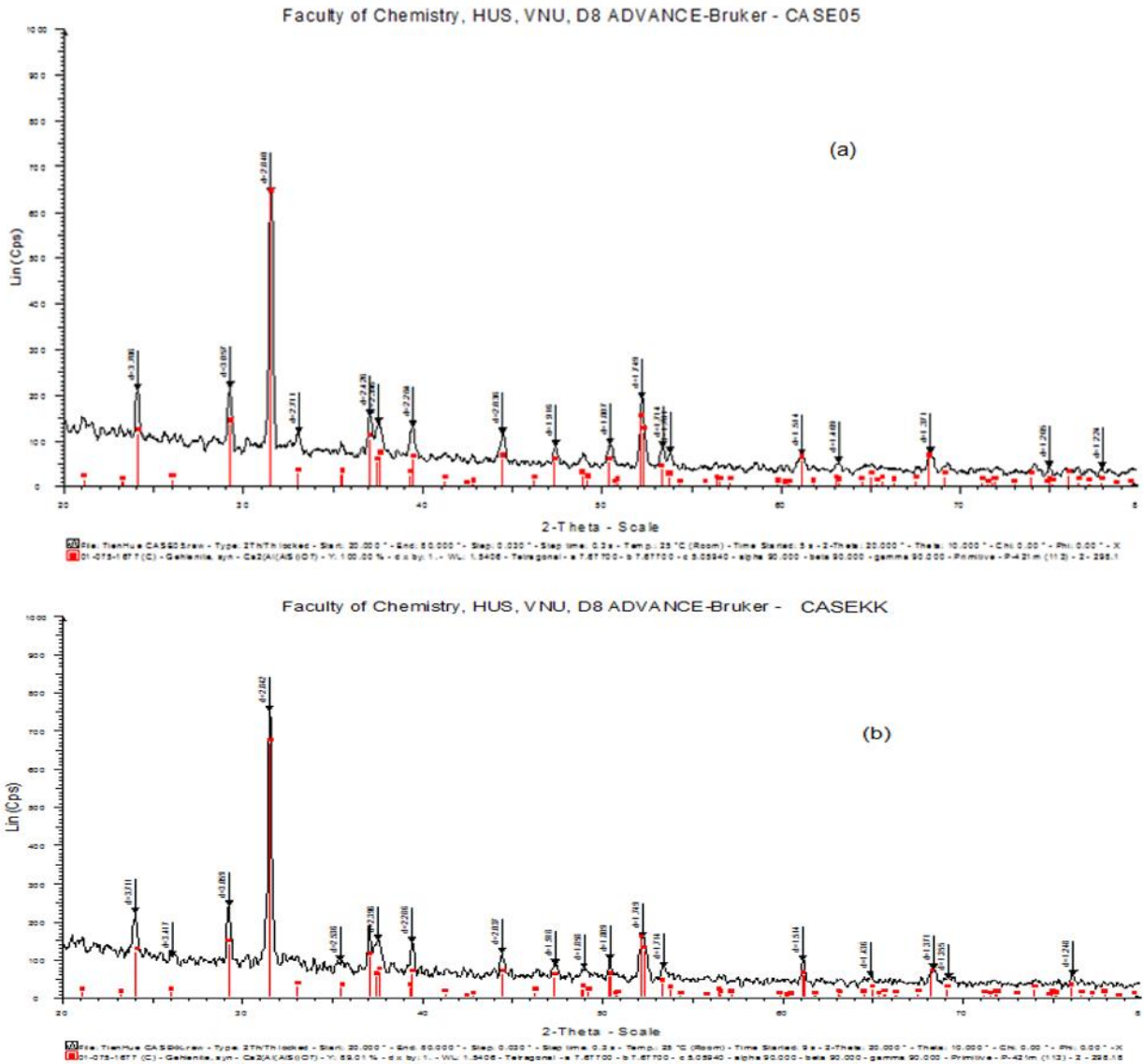
#### 3.1 Cấu trúc tinh thể của vật liệu $M_2Al_2SiO_7$ (M: Sr, Ca) pha tạp europium

Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu SAS: Eu (0,5% mol) nung trong môi trường khử khí CO và không khí được trình bày trên Hình 1. Kết quả phân tích cấu trúc pha cho thấy trên giản đồ xuất hiện các vạch đặc trưng của pha  $Sr_2Al_2SiO_7$  với các thông số mạng:  $a = b = 7,82 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,264 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , thuộc pha tứ giác (Tetragonal), thể tích ô cơ sở  $V = 321,906 \text{ \AA}^3$ . Mặt khác, trên giản đồ nhiễu xạ không xuất hiện các đỉnh đặc trưng của các ion đất hiếm cũng như các thành phần phối liệu ban đầu. Điều này chứng tỏ rằng các ion đất hiếm khi được pha tạp với hàm lượng bé không làm thay đổi cấu trúc pha của vật liệu.

Kết quả nhiễu xạ trên Hình 2 cho thấy các mẫu CAS: Eu (0,5% mol) nung trong môi trường khử khí CO (a) và không khí (b) đều có cấu trúc pha mong muốn là  $Ca_2Al_2SiO_7$ , có các thông số mạng:  $a = b = 7,677 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,059 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , thuộc pha tứ giác (Tetragonal), thể tích ô cơ sở  $V = 298,182 \text{ \AA}^3$ . Cả hai vật liệu SAS và CAS pha tạp Eu đều có cấu trúc pha tứ giác, trong đó vật liệu CAS có thể tích ô cơ sở nhỏ hơn vật liệu SAS.



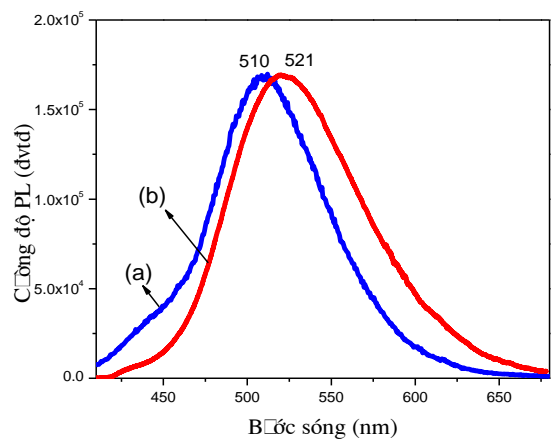
Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu SAS: Eu nung trong môi trường khử (a) và không khí (b)



Hình 2. Giản đồ nhiễu xạ tia X của mẫu CAS: Eu (0,5% mol) nung trong môi trường khử khí CO (a) và không khí (b)

### 3.2 Đặc trưng quang phổ của vật $M_2Al_2SiO_7:Eu^{2+}$ (M: Sr, Ca)

Phổ phát quang (PL) của vật liệu SAS và CAS pha tạp ion  $Eu^{2+}$  (0,5% mol) kích thích bằng bức xạ 365 nm thu được trên Hình 3. Kết quả cho thấy bức xạ của các mẫu SAS và CAS đơn pha tạp ion  $Eu^{2+}$  nung trong môi trường khử đều có dạng dải rộng kéo dài từ 400 đến 650 nm, phát bức xạ màu xanh lá cây. Cực đại bức xạ của mẫu SAS pha tạp ion  $Eu^{2+}$  có bước sóng khoảng 510 nm, trong khi đó bức xạ của  $Eu^{2+}$  trong vật liệu  $SrAl_2O_4$  có cực đại ở 521 nm [1]. Cực đại bức xạ của hệ mẫu CAS:  $Eu^{2+}$  dịch về phía sóng dài so với phổ PL của mẫu SAS:



Hình 3. Phổ phát quang của mẫu SAS:  $Eu^{2+}$  (0,5% mol) (a) và CAS:  $Eu^{2+}$  (0,5% mol) (b), kích thích bằng bức xạ 365 nm

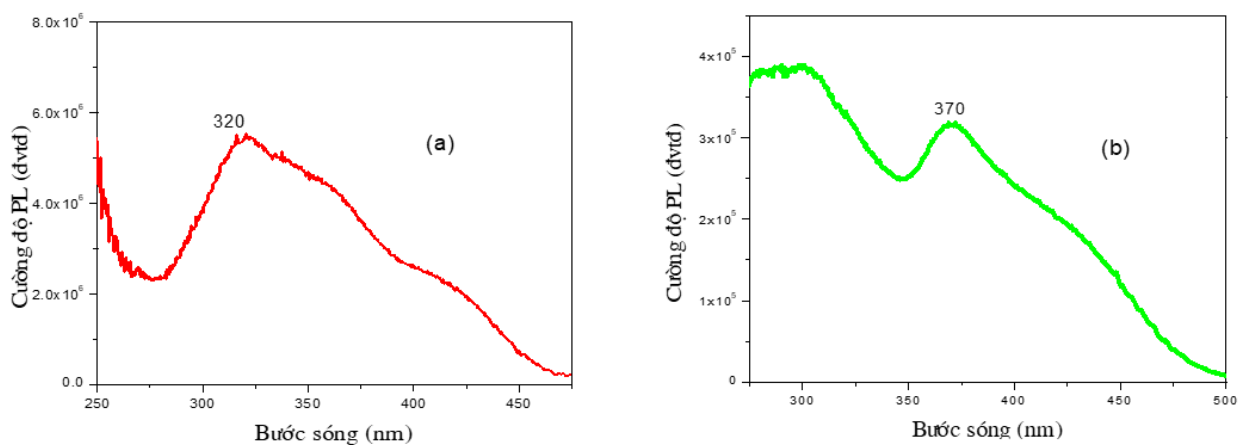
$\text{Eu}^{2+}$ . Các phổ bức xạ này đặc trưng cho chuyển dời bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong mạng nền do dịch chuyển từ trạng thái kích thích với cấu hình điện tử  $4f^65d^1$  đến trạng thái cơ bản với cấu hình điện tử  $4f^7$ . Trên phổ PL không xuất hiện các vạch hẹp đặc trưng cho chuyển dời  ${}^5D_0 - {}^7F_J$  của ion  $\text{Eu}^{3+}$ . Điều này chứng tỏ rằng ion  $\text{Eu}^{3+}$  đã bị khử hoàn toàn thành ion  $\text{Eu}^{2+}$  khi mẫu được chế tạo trong môi trường khử của cacbon và ion  $\text{Eu}^{2+}$  đóng vai trò là tâm phát quang trong mạng nền MAS [7, 8].

Phổ kích thích phát quang (PLE) của mẫu SAS:  $\text{Eu}^{2+}$ , đo ở bức xạ với bước sóng 510 nm được trình bày trên Hình 4a có dạng dải rộng kéo dài từ 275 đến 475 nm với cực đại ở khoảng 320 nm. Phổ PLE của mẫu CAS:  $\text{Eu}^{2+}$ , đo ở bức xạ với bước sóng 521 nm (Hình 4b) trong khoảng 240 đến 500 nm gồm nhiều dải rộng với cực đại ở khoảng 370 nm.

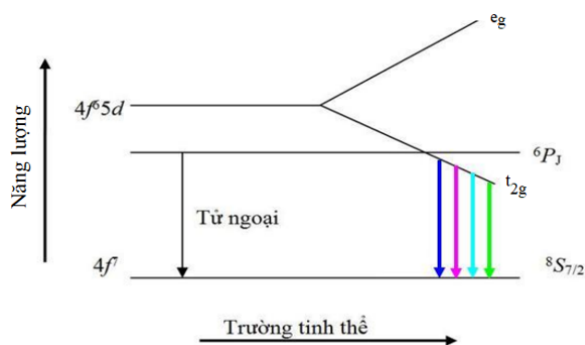
Phổ PLE của MAS:  $\text{Eu}^{2+}$  (M: Ca, Sr) gồm nhiều dải rộng là do chuyển dời hấp thụ từ trạng thái cơ bản của cấu hình điện tử  $4f^7$  đến các trạng thái kích thích của cấu hình điện tử  $4f^65d$  của ion  $\text{Eu}^{2+}$ . Kết quả này cho thấy hai vật liệu phát quang này đều có thể hấp thụ hiệu quả năng lượng bức xạ từ tử ngoại gần đến màu xanh, đặc biệt là vật liệu CAS:  $\text{Eu}^{2+}$  có khả năng hấp thụ mạnh trong

vùng bức xạ màu xanh. Vật liệu có khả năng sử dụng cho việc chế tạo LED trắng.

Các nghiên cứu chỉ ra rằng bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong mạng tinh thể phụ thuộc rất mạnh vào cường độ trường tinh thể do các ion lân cận trong mạng gây ra bởi các ion lân cận trong mạng. Khi cường độ trường tinh thể của mạng tăng thì cực đại bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  dịch về phía bước sóng dài do sự tách của mức 5d trong trường tinh thể (Hình 5). Ion  $\text{Eu}^{2+}$  với cấu hình điện tử  $4f^7$  có mức năng lượng  ${}^8S_{7/2}$  ở trạng thái cơ bản, mức năng lượng  ${}^6P_1$  ở trạng thái kích thích và các mức năng lượng ứng với cấu hình điện tử  $4f^65d^1$ . Trong đó, mức năng lượng của cấu hình  $4f^65d^1$  bị tách thành hai mức  $e_g$  và  $t_{2g}$ ; sự tách mức này càng mạnh khi cường độ trường tinh thể càng mạnh. Sự chuyển dời của các điện tử trong nội cấu hình 4f không nhạy với môi trường xung quanh và thường có dạng các vạch hẹp, trong khi các điện tử 5d lại chịu ảnh hưởng lớn của trường tinh thể do các ion xung quanh gây ra [9, 10]. Các trạng thái phủ nhau của  $4f^65d^1$  tương tác mạnh với các phonon và bị tách bởi trường tinh thể. Điều này làm cho phổ hấp thụ cũng như phổ phát quang tương ứng với các chuyển dời này có dạng dải rộng. Đây cũng là cơ sở xác định trạng thái hóa trị của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong mạng nền.



**Hình 4.** Phổ kích thích phát quang của mẫu SAS: Eu (0,5% mol) (a) và CAS: Eu (0,5% mol) (b) nung trong môi trường khử

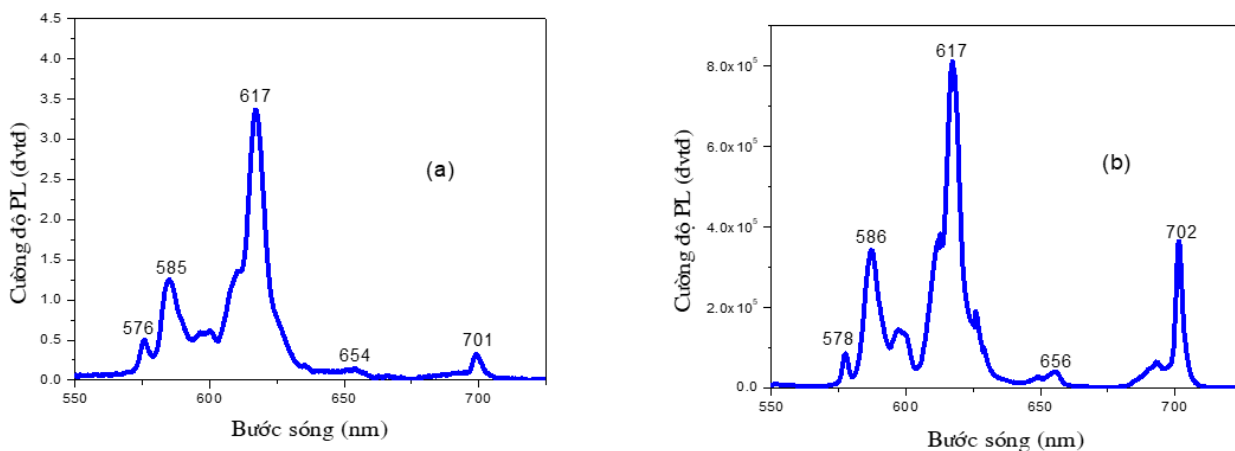


**Hình 5.** Sơ đồ các mức năng lượng  $4f^7$  và  $4f^65d^1$  ảnh hưởng bởi trường tinh thể

Khảo sát phổ phát quang trên Hình 3 cho thấy cực đại bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong mẫu CAS (521 nm) dịch về phía sóng dài so với cực đại bức xạ của nó trong mẫu SAS (510 nm). Kết quả này chứng tỏ trường tinh thể của CAS tác động lên ion  $\text{Eu}^{2+}$  mạnh hơn trường tinh thể của SAS. Điều này cũng phù hợp với các nghiên cứu cấu trúc của các vật liệu. Trong cùng cấu trúc tinh thể tứ giác, ion  $\text{Eu}^{2+}$  thay thế ion kiềm thổ (Sr, Ca) trong ô cơ sở với thể tích bé của mẫu  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  ( $V = 298,182 \text{ \AA}^3$ ) sẽ chịu tác động trường tinh thể của các ion lân cận mạnh hơn so với trường tinh thể của mẫu  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  ( $V = 321,906 \text{ \AA}^3$ ).

### 3.3 Đặc trưng quang phổ của vật liệu $\text{M}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Eu}^{3+}$ (M: Sr, Ca)

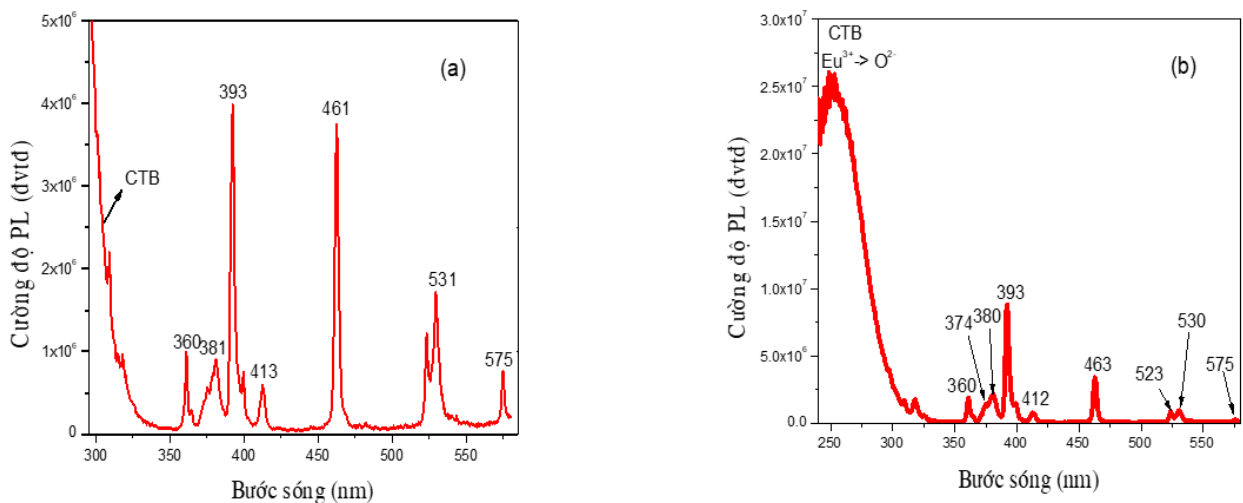
Hình 6 trình bày phổ PL của vật liệu MAS:  $\text{Eu}^{2+}$  (M: Sr, Ca) nung trong môi trường không khí, kích thích bằng bức xạ 365 nm ở nhiệt độ phòng. Phổ phát quang thu được bao gồm các vạch hẹp đặc trưng cho sự chuyển dời của ion  $\text{Eu}^{3+}$ , tương ứng với các chuyển dời từ trạng thái kích thích  $^5\text{D}_0$  về trạng thái cơ bản  $^7\text{F}_j$  ( $j = 0, 1, 2, 3, 4$ ). Bức xạ tại 585 nm tương ứng với chuyển dời lưỡng cực  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_1$  và 617 nm tương ứng với chuyển dời lưỡng cực điện  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_2$  là hai bức xạ với cường độ mạnh nhất. Ba đỉnh bức xạ khác tại 576, 654 và 701 nm là tương đối yếu, tương ứng với các chuyển dời  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$ ,  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_3$  và  $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_4$ , đặc trưng cho ion  $\text{Eu}^{3+}$  [11, 12]. Trong phổ bức xạ của các vật liệu MAS: Eu (M: Sr, Ca) không quan sát thấy dải rộng đặc trưng của ion  $\text{Eu}^{2+}$ . Điều đó cho thấy khi  $\text{Eu}^{3+}$  được pha tạp vào hai mạng nền CAS và SAS, đều có cùng các dịch chuyển mà cực đại bức xạ không dịch chuyển. Nguyên nhân là do trong cấu hình của ion  $\text{Eu}^{3+}$ , lớp điện tử 4f chưa đầy, được che chắn bởi lớp điện tử bên ngoài 5s và 5p lấp đầy; chính vì vậy, sự ảnh hưởng của trường tinh thể là không đáng kể lên ion  $\text{Eu}^{3+}$  [5, 11, 12]. Kết quả cũng cho thấy ion Eu tồn tại ở trạng thái hóa trị +3 trong mạng nền khi mẫu nung trong môi trường không khí.



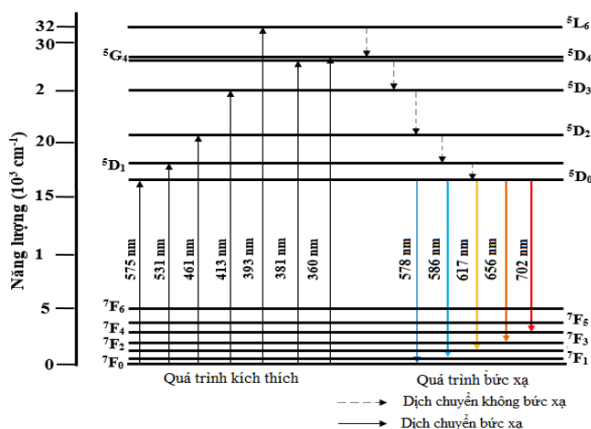
**Hình 6.** Phổ phát quang của mẫu SAS:  $\text{Eu}^{3+}$  (0,5% mol) (a) và CAS:  $\text{Eu}^{3+}$  (0,5% mol) (b), kích thích bằng bức xạ 365 nm

Phổ PLE của MAS:  $\text{Eu}^{3+}$  (M: Sr, Ca), đo ở bức xạ phát quang với bước sóng 617 nm, được trình bày trên Hình 7. Trên phổ PLE của vật liệu xuất hiện một dải rộng trong vùng tử ngoại và một số vạch hẹp trong khoảng 330–580 nm. Phổ PLE bao gồm hai phần chính: (1) dải hấp thụ rộng trong vùng 220–300 nm, được gọi là dải truyền điện tích (CTB) do sự tương tác  $\text{Eu}^{3+} - \text{O}^{2-}$ , xuất hiện do sự truyền một điện tử từ quỹ đạo 2p của oxy đến lớp vỏ 4f của ion  $\text{Eu}^{3+}$ ; (2) các vạch hẹp từ 330 đến 580 nm, được gán cho sự chuyển dời kích thích f – f của ion  $\text{Eu}^{3+}$  [5, 11, 12]. Vạch có cường độ mạnh nhất tại

393 nm tương ứng với chuyển dời  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$  của ion  $\text{Eu}^{3+}$ . Các đỉnh kích thích yếu khác tại 360, 381, 413, 461, 531 và 575 nm được cho là kết quả của quá trình chuyển dời nội cấu hình 4f – 4f của các ion  $\text{Eu}^{3+}$  trong mạng nền và có thể được gán cho các chuyển dời tương ứng  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_4$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{G}_4$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_3$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_0$  [5, 11] (Hình 8). Khi bị kích thích, các ion  $\text{Eu}^{3+}$  dịch chuyển từ trạng thái cơ bản  ${}^7\text{F}_0$  đến các trạng thái kích thích khác nhau, sau đó hồi phục không bức xạ về trạng thái kích thích thấp nhất  ${}^5\text{D}_0$ . Từ đây, các ion  $\text{Eu}^{3+}$  dịch chuyển về các trạng thái cơ bản  ${}^7\text{F}_J$  để phát ra bức xạ.



Hình 7. Phổ kích thích phát quang của mẫu SAS:  $\text{Eu}^{3+}$  (0,5% mol) (a) và CAS:  $\text{Eu}^{3+}$  (0,5% mol) (b), đo ở bức xạ với bước sóng 617 nm



Hình 8. Các chuyển dời hấp thụ và bức xạ của ion  $\text{Eu}^{3+}$  trong mạng nền  $\text{M}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  [11, 12]

## 4 Kết luận

Vật liệu  $\text{M}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Eu}$  (M: Ca, Sr) đã được chế tạo thành công bằng phương pháp phản ứng pha rắn trong môi trường khử và môi trường không khí. Khi nung mẫu trong môi trường khử thì ion Eu có hóa trị +2 và phổ bức xạ có dạng dải rộng. Khi nung mẫu trong môi trường không khí thì ion Eu có hóa trị +3 và phổ có dạng các vạch hẹp. Trường tinh thể của mạng  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  tác động lên ion  $\text{Eu}^{2+}$  mạnh hơn trường tinh thể của mạng  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ , làm cho cực đại bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong vật liệu  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Eu}^{2+}$  dịch về phía sóng dài so với cực đại bức xạ của ion  $\text{Eu}^{2+}$  trong vật liệu

$\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Eu}^{2+}$ . Các vật liệu thu được hấp thụ mạnh bức xạ vùng tử ngoại – màu xanh và phát ra bức xạ màu xanh lá cây nên có khả năng sử dụng trong việc chế tạo LED trắng.

### Tài liệu tham khảo

1. Mothudi B, Ntwaaborwa O, Botha J, Swart H. Photoluminescence and phosphorescence properties of  $\text{MAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  ( $\text{M}=\text{Ca}, \text{Ba}, \text{Sr}$ ) phosphors prepared at an initiating combustion temperature of 500 °C. *Physica B: Condensed Matter*. 2009;404(22):4440-4444.
2. Jiao H, Wang Y.  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ : A White-Light Phosphor Suitable for White-Light-Emitting Diodes. *Journal of The Electrochemical Society*. 2009;156(5):117-120.
3. Tien DT, Son NM. Preparation and spectroscopic properties of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Tb}^{3+}$  phosphor, *Hue University Journal of Science: Natural Science*. 2019;128(1B):5-10.
4. Li M, Wang L, Ran W, Liu Q, Ren C, Jiang H, et al. Broadly tunable emission from  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{Bi}$  phosphors based on crystal field modulation around Bi ions. *New Journal of Chemistry*. 2016;40(11):9579-9585.
5. Tiến ĐT, Sơn NM, Càng LT. Công nghệ chế tạo và tính chất quang của vật liệu  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  pha tạp Europium. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Khoa học Tự nhiên*. 2019;128(1A):73-80.
6. Sơn NM, Tiến DT, Tiến DT, Luyen PN, Tam NV, Hưng NV, Càng LT. Spectroscopic Characteristics of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7: \text{RE}^{3+}$  Phosphors, *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019;8(6):1509-1512.
7. Shin-Hei C, Nam-Hoon K, Young-Hoon Y, Sung-Churl C. Photoluminescence properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  and  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  long-phosphorescent phosphors synthesized by an oxalate coprecipitation method, *Journal of Ceramic Processing Research*. 2006;7(1):62-65.
8. Lu F, Bai L, Dang W, Yang Z, Lin P, Structure and Photoluminescence of  $\text{Eu}^{2+}$  Doped  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  Cyan-Green Emitting Phosphors, *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2014;4(2):R27-R30.
9. Hebbink GA. Luminescent Materials based on Lanthanide Ions [dissertation]. Enschede: Twente University Press (TUP); 2002. 163 p.
10. Ding Y, Zhang Y, Wang Z, Li W, Mao D, Han H, Chang C. Photoluminescence of Eu single doped and Eu/Dy codoped  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  phosphors with long persistence. *Journal of Luminescence*. 2009;129(3): 294-299.
11. Zhang F, Wang Y, Tao Y. VUV spectroscopic properties of  $\text{Ba}_2\text{Gd}_2\text{Si}_4\text{O}_{13}: \text{RE}^{3+}$  ( $\text{RE}^{3+} = \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$ ). *Materials Research Bulletin*. 2013; 48(5):1952-1956.
12. Li Y, Chang Y, Lin Y, Chang Y, Lin Y. Synthesis and luminescent properties of  $\text{Ln}^{3+}$  ( $\text{Eu}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Dy}^{3+}$ )-doped lanthanum aluminum germanate  $\text{LaAlGe}_2\text{O}_7$  phosphors. *Journal of Alloys and Compounds*. 2007; 439(1-2):367-375.