

## ĐẶC TRƯNG QUANG PHỔ CỦA VẬT LIỆU $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ĐỒNG PHA TẠP $\text{Ce}^{3+}$ VÀ $\text{Sm}^{3+}$

Đỗ Thanh Tiến<sup>1\*</sup>, Nguyễn Mạnh Sơn<sup>2</sup>, Trần Thương Thiên<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Sở Giáo dục và Đào tạo tỉnh Quảng Trị, Tp. Đông Hà, Quảng Trị, Việt Nam

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

(Ngày nhận bài: 01-6-2021; Ngày chấp nhận đăng: 04-8-2021)

**Tóm tắt.** Vật liệu phát quang  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  đồng pha tạp  $\text{Ce}^{3+}$  và  $\text{Sm}^{3+}$  được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy vật liệu có cấu trúc pha tứ giác. Phổ bức xạ của vật liệu  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+},\text{Sm}^{3+}$  gồm một dải rộng có cực đại bức xạ ở bước sóng 420 nm, đặc trưng cho chuyển dời của ion  $\text{Ce}^{3+}$  và các vạch hẹp ở bước sóng 563, 602, 645 và 712 nm đặc trưng cho chuyển dời của ion  $\text{Sm}^{3+}$ . Hiện tượng truyền năng lượng từ ion  $\text{Ce}^{3+}$  sang ion  $\text{Sm}^{3+}$  cũng được trình bày và thảo luận.

**Từ khóa:**  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ , ion đất hiếm, truyền năng lượng

## Spectroscopic characteristics of $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ phosphors co-doped with $\text{Ce}^{3+}$ and $\text{Sm}^{3+}$

Do Thanh Tien<sup>1\*</sup>, Nguyen Manh Son<sup>2</sup>, Tran Thuong Thien<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Quang Tri Province Department of Education and Training, Dong Ha City, Quang Tri, Vietnam

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

(Received: 01 June 2020; Accepted: 04 August 2021)

**Abstract.** Luminescent materials  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  co-doped with  $\text{Ce}^{3+}$  and  $\text{Sm}^{3+}$  were prepared with the solid-state reaction method. The XRD diffraction patterns show that the samples have a single tetragonal phase structure. The luminescent spectra of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+},\text{Sm}^{3+}$  phosphor have a broad band with a peak at 420 nm, characterizing the transition of the electronic configuration of  $\text{Ce}^{3+}$  ion and narrow lines peaked at about 563, 602, 645, and 712 nm, representing the transition of the  $\text{Sm}^{3+}$  ion. The energy transfer from  $\text{Ce}^{3+}$  to  $\text{Sm}^{3+}$  was presented and discussed.

**Keywords:**  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ , rare earth ion, energy transfer

## 1 Mở đầu

Việc phát minh ra đèn LED đã khởi đầu một cuộc cách mạng quan trọng cho lĩnh vực chiếu sáng của thế kỷ này. Đèn LED đã thay thế đèn sợi đốt hoặc đèn huỳnh quang nhờ hiệu suất phát quang cao, tiêu thụ điện năng thấp và đặc tính thân thiện với môi trường. LED trắng được chế tạo dựa trên chip LED phát bức xạ tử ngoại gần hoặc chip LED màu xanh được phủ một lớp vật liệu phát quang giúp chuyển đổi bức xạ ban đầu hoặc bổ sung màu cho quá trình tạo ra LED trắng. Trong những năm gần đây, vật liệu trên nền silicate đã được chế tạo và nghiên cứu rộng rãi. Trong số đó, vật liệu trên nền silicate alumino kiềm thổ  $(\text{Sr,Ca})_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  pha tạp các ion đất hiếm đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Năm 1992, với mục đích nghiên cứu để tạo ra vật liệu ứng dụng làm laser điốt (Laser Diode – LD), Larry và cs. đã có công bố về vật liệu CAS pha tạp kim loại chuyển tiếp  $\text{Cr}^{4+}$  [1]. Tiếp theo, một loạt các nghiên cứu về đặc trưng quang phát quang của vật liệu CAS pha tạp, đồng pha tạp các ion  $\text{RE}^{3+}$  ( $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ , v.v.) đã được thực hiện [2-6]; nghiên cứu hiện tượng truyền năng lượng (Energy Transfer – ET) giữa các cặp ion  $\text{Ce}^{3+}$  và  $\text{Tb}^{3+}$  [5],  $\text{Ce}^{3+}$  và  $\text{Mn}^{2+}$  [7],  $\text{Tm}^{3+}$  và  $\text{Dy}^{3+}$  [8] và xác nhận các ion  $\text{Ce}^{3+}$  và  $\text{Tm}^{3+}$  đóng vai trò là tâm tăng nhạy (tâm S – Sensitizer), các ion  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  đóng vai trò là tâm kích hoạt (tâm A – Activator). Tuy nhiên, chưa có công trình nào công bố về hiện tượng truyền năng lượng giữa ion  $\text{Ce}^{3+}$  và ion  $\text{Sm}^{3+}$  trong mạng nền  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ . Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về đặc trưng quang phổ vật liệu  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  đồng pha tạp ion  $\text{Ce}^{3+}$  và ion  $\text{Sm}^{3+}$  được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn.

## 2 Thực nghiệm

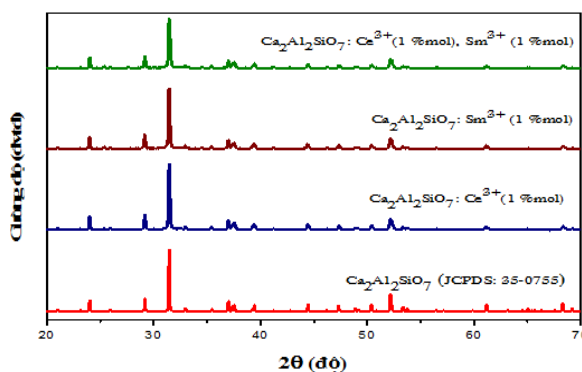
Vật liệu phát quang  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  (CAS) đồng pha tạp ion ( $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ) được chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Các nguyên liệu sử dụng

gồm:  $\text{CaCO}_3$  (99,9%, Trung Quốc),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (99%, Trung quốc),  $\text{SiO}_2$  (99,9%, Hàn quốc),  $\text{CeO}_2$  (99,9%, Merck) và  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (99,9%, Merck). Hỗn hợp được cân theo tỉ lệ hợp thức; chất chảy  $\text{B}_2\text{O}_3$  được thêm vào với tỉ lệ 4% khối lượng sản phẩm. Phối liệu được nghiền trộn bằng cối mã nã trong một giờ, sau đó hỗn hợp được nung ở  $1280^\circ\text{C}$  trong một giờ [9-12]. Giản đồ nhiễu xạ tia X được ghi trên nhiễu xạ kế Bruker D8-Advance; phổ phát quang (PL) và phổ kích thích phát quang (PLE) được ghi bằng phổ kế huỳnh quang FS5 Spectrofluorometer của Edinburgh Instruments Ltd.

## 3 Kết quả và thảo luận

### 3.1 Ct quả và thảo luận struments Lt $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ : $\text{Ce}^{3+}$ , $\text{Sm}^{3+}$

Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X trên Hình 1 cho thấy, vật liệu chế tạo được có cấu trúc pha mong muốn là  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ , thuộc pha tứ giác (tetragonal) [9, 10, 13]. 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 vào mạng nền với hàm lượng bé không làm thay đổi cấu trúc pha của vật liệu.

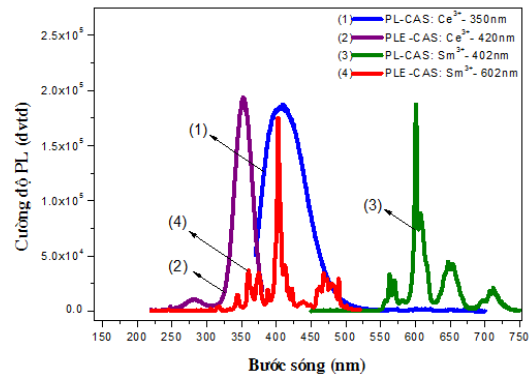


Hình 1. Giản đồ XRD của hệ mẫu CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol), CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol), CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol),  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol)

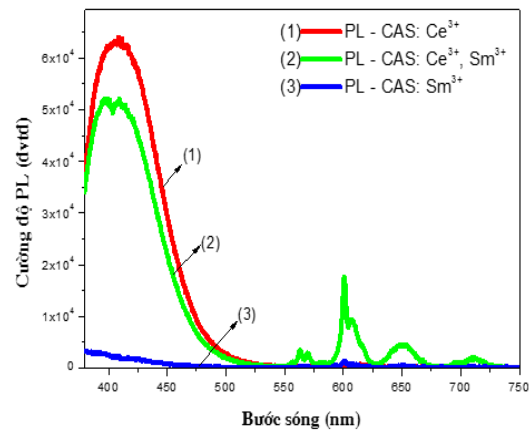
### 3.2 Tính ch nhiễu x cính ch nhiễu $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ : $\text{Ce}^{3+}$ , $\text{Sm}^{3+}$

Sự truyền năng lượng xảy ra khi có sự phù hợp năng lượng giữa năng lượng bức xạ của tâm S và năng lượng hấp thụ của tâm A [11, 14]. Kết quả thu được trên Hình 2 cho thấy, phổ PLE của vật liệu CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  đo ở bức xạ phát quang là 420 nm có dạng dải rộng với bước sóng từ 300 đến 400 nm và có cực đại ở khoảng 350 nm. Bên cạnh đó, phổ PL của ion  $\text{Ce}^{3+}$  trong mạng nền CAS được kích thích bằng bức xạ 350 nm, có dạng dải rộng với bước sóng từ 365 đến 525 nm và cực đại bức xạ ở bước sóng 420 nm. Trong khi đó, trên phổ PLE của vật liệu CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol) đo ở bức xạ 602 nm xuất hiện các vạch hẹp đặc trưng cho chuyển dời hấp thụ của ion  $\text{Sm}^{3+}$  với bước sóng từ 300 đến 500 nm. Kết hợp phổ PL của ion  $\text{Ce}^{3+}$  và phổ PLE của ion  $\text{Sm}^{3+}$  (Hình 2), dải bức xạ có bước sóng từ 365 đến 550 nm của ion  $\text{Ce}^{3+}$  với cực đại ở 420 nm chồng phủ lên dải phổ PLE (374, 390, 411, 422, 437 và 472 nm) của ion  $\text{Sm}^{3+}$  [13, 15]. Điều này cho thấy, có thể có hiện tượng truyền năng lượng từ ion  $\text{Ce}^{3+}$  đến ion  $\text{Sm}^{3+}$  trong mạng nền CAS. Trong vật liệu CAS đồng pha tạp ion  $\text{Ce}^{3+}$  và ion  $\text{Sm}^{3+}$ , ion  $\text{Ce}^{3+}$  đóng vai trò là tâm S còn ion  $\text{Sm}^{3+}$  đóng vai trò là tâm A.

Kết quả khảo sát phổ PL của các mẫu CAS đơn và đồng pha tạp  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  cùng được kích thích bằng bức xạ với bước sóng  $\lambda_{\text{exc}} = 350$  nm chỉ ra trên Hình 3. Kết quả này cho thấy, phổ PL của CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  có dạng vạch hẹp với cực đại bức xạ ở 602 nm, ứng với bức xạ đặc trưng của ion  $\text{Sm}^{3+}$ . Phổ PL của CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  có phổ bức xạ dạng dải rộng với cực đại bức xạ ở bước sóng 420 nm. Đây là chuyển dời bức xạ đặc trưng của ion  $\text{Ce}^{3+}$ . Vật liệu CAS đồng pha tạp ion  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  cho bức xạ đặc trưng của cả ion  $\text{Ce}^{3+}$  và ion  $\text{Sm}^{3+}$  gồm các vạch hẹp ở bước sóng 563, 602, 645 và 712 nm, đặc trưng cho chuyển dời của ion  $\text{Sm}^{3+}$  và dải rộng có cực đại bức xạ ở 420 nm, đặc trưng cho ion  $\text{Ce}^{3+}$  [11, 13]. Tuy nhiên, cường độ cực đại của bức xạ 420 nm của mẫu CAS đồng pha tạp giảm đi rất nhiều so với mẫu CAS đơn pha tạp ion  $\text{Ce}^{3+}$  khi được pha tạp cùng nồng độ và



**Hình 2.** Phổ PL của mẫu CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol) (1) và CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol),  $\lambda_{\text{exc}} = 350$  nm (3), Phổ PLE của mẫu CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol),  $\lambda_{\text{em}} = 420$  nm (2) và mẫu CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol),  $\lambda_{\text{em}} = 602$  nm (4)

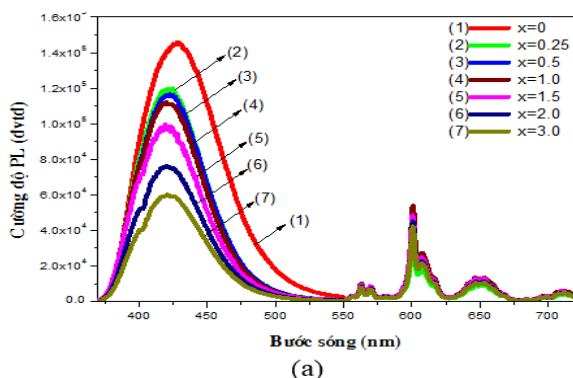


**Hình 3.** Phổ PL của CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol) (1), CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (1% mol),  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol) (2) và CAS:  $\text{Sm}^{3+}$  (1% mol) (3) cùng kích thích ở  $\lambda_{\text{exc}} = 350$  nm

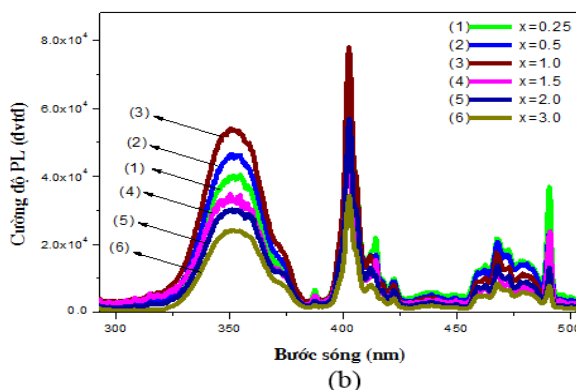
cường độ bức xạ của ion  $\text{Sm}^{3+}$  lại tăng lên đáng kể so với mẫu CAS:  $\text{Sm}^{3+}$ . Đồng thời, kết quả trên Hình 2 chứng tỏ bức xạ phát ra của ion  $\text{Ce}^{3+}$  trùng hợp với bức xạ hấp thụ của ion  $\text{Sm}^{3+}$ . Điều này thể hiện sự truyền năng lượng từ ion  $\text{Ce}^{3+}$  sang ion  $\text{Sm}^{3+}$  trong mạng nền CAS.

Để làm rõ hơn cơ chế truyền năng lượng từ ion  $\text{Ce}^{3+}$  sang ion  $\text{Sm}^{3+}$  trong vật liệu CAS:  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ , chúng tôi tiến hành khảo sát phổ PL của hệ CAS:  $\text{Ce}^{3+}$  (0,5% mol),  $\text{Sm}^{3+}$  (x% mol) với nồng độ  $\text{Ce}^{3+}$  được giữ nguyên không đổi ở 0,5% mol, nồng độ ion  $\text{Sm}^{3+}$  thay đổi từ 0 đến 3% mol, cùng đo trong cùng một điều kiện và kích thích bằng bức xạ 350 nm (Hình 4). Kết quả cho thấy rằng, phổ bức xạ của mẫu đồng pha tạp có các dịch chuyển đặc

trung của cả ion  $Ce^{3+}$  và ion  $Sm^{3+}$ . Khi tăng nồng độ tạp ion  $Sm^{3+}$  từ 0 đến 3% mol thì vị trí bức xạ cực đại của ion  $Ce^{3+}$  và ion  $Sm^{3+}$  trong phổ PL đều không thay đổi, đồng thời cường độ bức xạ của  $Sm^{3+}$  tăng lên và của ion  $Ce^{3+}$  giảm đi. Hiện tượng này cho thấy, mặc dù nồng độ của ion  $Ce^{3+}$  không thay đổi nhưng cường độ bức xạ đặc trưng cho ion  $Ce^{3+}$  giảm đi đáng kể khi tăng nồng độ pha tạp ion  $Sm^{3+}$ . Kết quả này một lần nữa khẳng định có sự truyền năng lượng hiệu quả từ ion  $Ce^{3+}$  sang ion  $Sm^{3+}$  trong mạng nền CAS. Bên cạnh đó, ở Hình 5 khi khảo sát phổ PLE của CAS:  $Ce^{3+}$  (0,5% mol),  $Sm^{3+}$  ( $x\%$  mol) đo ở bức xạ 602 nm của ion  $Sm^{3+}$  có các dịch chuyển hấp thụ đặc trưng cho cả ion  $Ce^{3+}$  và ion  $Sm^{3+}$ . Cụ thể là trong khoảng bước sóng từ 300 đến 375 nm, phổ có dạng dải rộng với cực đại bức xạ ở 350 nm, đặc trưng cho hấp thụ của ion  $Ce^{3+}$ . Trong khoảng bước sóng từ 375 đến 500 nm, phổ kích thích gồm các vạch hẹp đặc trưng cho chuyển dời hấp thụ của ion  $Sm^{3+}$ . Kết quả này cho thấy rằng, trong vật liệu CAS đồng pha tạp ion  $Ce^{3+}$  và  $Sm^{3+}$ , bên cạnh chuyển dời hấp thụ của ion  $Sm^{3+}$  còn có sự đóng góp chuyển dời hấp thụ của ion  $Ce^{3+}$  để phát ra bức xạ của ion  $Sm^{3+}$ . Từ kết quả thu được trên Hình 4, chúng tôi cũng xác định được nồng độ pha tạp tối ưu của ion  $Sm^{3+}$  trong hệ mẫu CAS:  $Ce^{3+}$  (0,5% mol),  $Sm^{3+}$  ( $x\%$  mol) là 1% mol. Nếu tiếp tục tăng nồng độ pha tạp ion  $Sm^{3+}$  thì cường độ phát quang cực đại của cả ion  $Ce^{3+}$  và ion  $Sm^{3+}$  đều giảm do hiệu ứng dập tắt do nồng độ.



**Hình 4.** Phổ PL của hệ mẫu CAS:  $Ce^{3+}$  (0,5% mol),  $Sm^{3+}$  ( $x\%$  mol),  $\lambda_{ex} = 350$  nm



**Hình 5.** Phổ PLE của hệ mẫu CAS:  $Ce^{3+}$  (0,5% mol),  $Sm^{3+}$  ( $x\%$  mol),  $\lambda_{em} = 602$  nm

## 4 Kết luận

Vật liệu CAS:  $Ce^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$  có cấu trúc pha tứ giác đã được chế tạo thành công bằng phương pháp phản ứng pha rắn. Phổ PL của mẫu CAS:  $Ce^{3+}$  có dạng dải rộng, có cực đại ở bước sóng ở 420 nm đặc trưng cho chuyển dời điện tử của ion  $Ce^{3+}$ . Phổ PL của mẫu CAS:  $Sm^{3+}$  có dạng các vạch hẹp với cực đại ở bước sóng 563, 602, 645 và 712 nm, đặc trưng cho chuyển dời điện tử của ion  $Sm^{3+}$ . Hiện tượng truyền năng lượng từ ion  $Ce^{3+}$  đến ion  $Sm^{3+}$  xuất hiện trong mạng nền CAS. Cường độ phát quang mạnh nhất của hệ mẫu CAS:  $Ce^{3+}$  (0,5% mol),  $Sm^{3+}$  ( $x\%$  mol) với  $x = 0, 0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0$ , và 3,0 tối ưu khi nồng độ ion  $Sm^{3+}$  là 1,0% mol.

## Thông tin tài trợ

Nghiên cứu được thực hiện với sự tài trợ của Đại học Huế (Đề tài mã số DHH2021-02-154).

## Tài Liệu Tham Khảo

1. Laary DM, Toomas HA, Bruce HTC. Crystal growth and spectroscopic properties of  $Cr^{4+}$  in  $Ca_2Al_2SiO_7$  and  $Ca_2Ga_2SiO_7$ . *Optical Material*. 1992;1(2):91-100.
2. Akiyama M, Xu CN, Nonaka K. Improvement in Mechanoluminescence Intensity of  $Ca_2Al_2SiO_7$ : Ce by the Statistical Approach. *Journal of The Electrochemical Society*. 2003;150(5):H115-H118.

3. Boulanger PL, Doualan JL, Girard S, Margerie J, Moncorge R, Viana B. Excited-state absorption of  $\text{Er}^{3+}$  in the  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  laser crystal. *Journal of Luminescence*. 2000;86:15-21.
4. Geetanjali T, Nameeta B, Ravi S, Bisen DP, Kumar SS, Kumar KU. Enhanced long-persistence of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+}$  phosphors for mechanoluminescence and thermoluminescence dosimetry. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2016;27:6399-6407.
5. Haiyan J, Yuhua W.  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ : A White-Light Phosphor Suitable for White-Light-Emitting Diodes. *Journal of The Electrochemical Society*. 2009;156:J117-J120.
6. Zhang Q, Wang J, Zhang M, Ding W, Su Q. Enhanced photoluminescence of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Eu}^{3+}$  by charge compensation method. *Applied Physics Letters*. 2007;88:805-809.
7. Teixeira VC, Montes PJR, Valerio MEG. Structural and optical characterizations of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$  nanoparticles produced via a hybrid route. *Optical Materials*. 2014;36(9):1580-1590.
8. Abudouwufu T, Sambasivam S, Wan Y, Abudoureyimu A, Yusufu T, Tuxun H, et al. Energy Transfer Behavior and Color-Tunable Properties of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{RE}^{3+}$  ( $\text{RE}^{3+} = \text{Tm}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Tm}^{3+}/\text{Dy}^{3+}$ ) for White-Emitting Phosphors. *Journal of Electronic Materials*. 2018.
9. Son NM, Tien DT, Son LVT. Effect of  $\text{Eu}^{3+}$  ion Doping Concentration to Luminescent Properties of  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  Phosphor. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019;8:248-250.
10. 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;128:5-10.
11. Tien DT, Son NM, Tuat LV, Liem LN. Energy Transfer between  $\text{Ce}^{3+}-\text{Dy}^{3+}$  in  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Ce}^{3+}, \text{Dy}^{3+}$  Phosphor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;540(1):012001.
12. Tien DT, Son NM. Spectroscopic characteristics of  $\text{M}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7:\text{Eu}$  (M: Sr, Ca) phosphors. *Hue University Journal of Science: Natural Science*. 2020;129(1A):79-86.
13. Son NM, Tien DT, Tien DT, Luyen PN, Tam NV, Hung NV, Cang 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;8:1509-1512.
14. Tuyen HV, Tien DT, Son NM, Do PV. Judd–Ofelt Parameters of  $\text{Eu}^{3+}$  and Energy Transfer of  $\text{Ce}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$  in  $\text{Sr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$  Materials. *Journal of Electronic Materials*. 2019;48:7799-7805.
15. Rao CS, Jayasankar CK. Spectroscopic and radiative properties of  $\text{Sm}^{3+}$ -doped K-Mg-Al phosphate glasses. *Opt. Commun*. 2013;286:204-210.