

## FABRICATION AND STUDY OF THE OPTICAL PROPERTIES OF $\text{Eu}^{3+}$ -DOPED ZnSe SEMICONDUCTOR QUANTUM DOTS, APPLICATION IN LIGHTING

Nguyen Thi Minh Thuy

TNU - University of Education

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 26/9/2024	This paper presents the process of fabrication and study of the structure and optical properties of ZnSe quantum dots doped with $\text{Eu}^{3+}$ ions at concentrations of 0%, 1%, 3%, and 5%. The purpose of this paper is to investigate the influence of $\text{Eu}^{3+}$ ion concentration on the structure, absorption, and fluorescence emission properties of the material. The samples were synthesized by wet chemical method and studied by X-ray diffraction (XRD), compositional analysis (EDX), UV-Vis absorption spectroscopy, fluorescence excitation spectroscopy, and photoluminescence (PL) spectroscopy. The XRD results showed that all samples had cubic crystal structures. The UV-Vis absorption spectra showed a shift of the absorption peak toward longer wavelengths when the $\text{Eu}^{3+}$ concentration increased, demonstrating the influence of $\text{Eu}^{3+}$ ions on the energy band structure of ZnSe QDs. The PL spectra of $\text{Eu}^{3+}$ -doped ZnSe QDs showed characteristic emission of $\text{Eu}^{3+}$ ions and broadened emission band toward red light compared to undoped ZnSe QDs. This result shows the potential application of $\text{Eu}^{3+}$ -doped ZnSe QDs in the field of lighting.
<b>Revised:</b> 29/10/2024	
<b>Published:</b> 30/10/2024	

**KEYWORDS**

Quantum dots  
ZnSe  
Rare earth  
Optical properties  
 $\text{Eu}^{3+}$

## CHẾ TẠO VÀ NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT QUANG CỦA CÁC CHẤM LƯỢNG TỬ BÁN DẪN ZnSe PHA TẠP ION ĐẤT HIẾM $\text{Eu}^{3+}$ , ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG TRONG CHIẾU SÁNG

Nguyễn Thị Minh Thủy

Trường Đại học Sư phạm - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 26/9/2024	Bài báo này trình bày quá trình chế tạo và nghiên cứu cấu trúc, tính chất quang của các chấm lượng tử ZnSe pha tạp ion $\text{Eu}^{3+}$ với các nồng độ 0%, 1%, 3% và 5%. Mục tiêu của nghiên cứu là khảo sát ảnh hưởng của nồng độ ion $\text{Eu}^{3+}$ đến cấu trúc, tính chất hấp thụ và phát xạ quang huỳnh quang của vật liệu. Các mẫu được tổng hợp bằng phương pháp hóa ướt, sau đó được nghiên cứu bằng các kỹ thuật nhiễu xạ tia X (XRD), phân tích thành phần (EDX), phổ hấp thụ UV-Vis, phổ kích thích huỳnh quang và phổ huỳnh quang (PL). Kết quả XRD cho thấy các mẫu đều có cấu trúc tinh thể lập phương. Các phân tích từ phổ hấp thụ UV-Vis cho thấy sự dịch chuyển đỉnh hấp thụ về phía bước sóng dài khi nồng độ $\text{Eu}^{3+}$ tăng lên, thể hiện sự ảnh hưởng của ion $\text{Eu}^{3+}$ đến cấu trúc vùng năng lượng của các QD ZnSe. Phổ huỳnh quang của các QD ZnSe pha tạp ion $\text{Eu}^{3+}$ cho thấy sự phát xạ đặc trưng của ion $\text{Eu}^{3+}$ và mở rộng vùng phát xạ về phía ánh sáng đỏ so với các QD ZnSe không pha tạp. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của các QD ZnSe pha tạp ion $\text{Eu}^{3+}$ trong lĩnh vực chiếu sáng.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 29/10/2024	
<b>Ngày đăng:</b> 30/10/2024	

**TỪ KHÓA**

Chấm lượng tử  
ZnSe  
Đất hiếm  
Tính chất quang  
 $\text{Eu}^{3+}$

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11186>

Email: [thuyntm@tinue.edu.vn](mailto:thuyntm@tinue.edu.vn)

<http://jst.tnu.edu.vn>

199

Email: [jst@tnu.edu.vn](mailto:jst@tnu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Chấm lượng tử (Quantum Dots, QDs) bán dẫn là các hạt nano có kích thước vài nanomet, sở hữu những tính chất quang học và điện tử độc đáo nhờ hiệu ứng kích thước lượng tử. Trong số đó, ZnSe (Kẽm Selenide) là một trong những vật liệu bán dẫn nhóm II-VI được quan tâm đặc biệt nhờ vào khả năng phát xạ huỳnh quang mạnh, vùng cấm rộng và ổn định hóa học [1]. Những đặc tính này đã mở ra nhiều tiềm năng ứng dụng cho ZnSe QDs trong các lĩnh vực như cảm biến sinh học, hiển thị quang học, và đặc biệt là các thiết bị phát sáng [2], [3].

Ion  $\text{Eu}^{3+}$  là một trong những ion đất hiếm có nhiều ứng dụng quan trọng trong lĩnh vực quang học nhờ vào các đặc tính phát xạ độc đáo. Đặc trưng quang học tiêu biểu của  $\text{Eu}^{3+}$  chủ yếu bắt nguồn từ cấu trúc điện tử phức tạp và các quá trình chuyển dời năng lượng bên trong ion [4]. Ion  $\text{Eu}^{3+}$  có cấu hình điện tử  $[\text{Xe}] 4f^6$  và các mức năng lượng phân tách rõ rệt, chủ yếu liên quan đến sự chuyển dời điện tử trong các orbital 4f [5]. Các chuyển dời giữa các mức 4f có tính chất "cấm spin" và "cấm lưỡng cực điện", do đó phát xạ của  $\text{Eu}^{3+}$  thường diễn ra ở các bước sóng dài hơn, tạo nên ánh sáng huỳnh quang ổn định và sắc nét. Một trong những đặc điểm quang học nổi bật nhất của ion  $\text{Eu}^{3+}$  là dải phát xạ đặc trưng trong vùng ánh sáng đỏ, với bước sóng trung tâm khoảng 618 nm. Đó là các chuyển dời từ mức kích thích  $^5\text{D}_0$  xuống các mức cơ bản  $^7\text{F}_J$  ( $J = 0-4$ ) [6]. Đây là quá trình phát xạ chính, tạo ra ánh sáng đỏ, điều này giải thích tại sao  $\text{Eu}^{3+}$  được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng hiển thị và phát quang đỏ.

Việc pha tạp các ion đất hiếm, điển hình là ion  $\text{Eu}^{3+}$  vào mạng nền của ZnSe QDs đã thu hút nhiều sự chú ý do khả năng cải thiện đáng kể các tính chất quang học và từ tính của vật liệu [6], [7]. Ion  $\text{Eu}^{3+}$ , với cấu hình điện tử đặc biệt, cho phép phát xạ huỳnh quang ở các bước sóng khác nhau, đặc biệt là trong vùng phổ đỏ. Khi được tích hợp vào cấu trúc ZnSe QDs, sự tương tác giữa các ion  $\text{Eu}^{3+}$  và mạng bán dẫn có thể tạo ra những hiệu ứng phát quang mới và ổn định hơn so với vật liệu chưa pha tạp [6] – [9].

Mục tiêu của bài báo này là tổng hợp và nghiên cứu đặc trưng các QD ZnSe pha tạp ion  $\text{Eu}^{3+}$ , nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ ion pha tạp đến các tính chất quang học của vật liệu. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm những hiểu biết sâu sắc về cơ chế phát quang của ZnSe QDs pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$ , từ đó mở ra những triển vọng ứng dụng vật liệu cho các thiết bị quang điện tử và hiển thị thế hệ mới.

## 2. Thực nghiệm

### 2.1. Hóa chất

Bột ZnO (99,98%), bột Se (99,99%), 1-octadecene (ODE, 90%), tri-n-octylphosphine (TOP, 97%), axit oleic (OA, 90%), Muối Europium (III) Acetate Hydrate (99,9%), toluene (97%) và isopropanol (98%). Các hóa chất trên được cung cấp bởi hãng Sigma-Aldrich.

### 2.2. Tổng hợp các chấm lượng tử ZnSe và ZnSe pha tạp $\text{Eu}^{3+}$

Khuấy ZnO với OA và ODE ở 180 °C trong 90 phút thu được dung dịch 1 chứa các ion  $\text{Zn}^{2+}$ . Khuấy muối Europium (III) Acetate Hydrate trong TOP và ODE ở nhiệt độ 120 °C trong 30 phút thu được dung dịch 2 chứa các ion  $\text{Eu}^{2+}$ . Hòa Se trong TOP và ODE ở nhiệt độ 120 °C trong 30 phút thu được dung dịch 2 chứa các ion  $\text{S}^{2-}$ . Bơm nhanh dung dịch 2 vào dung dịch 1 tại nhiệt độ 280 °C và giữ phản ứng trong thời gian 30 phút, thu được dung dịch chứa các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$ . Các QD ZnSe, ZnSe:Eu<sup>3+</sup>1%, ZnSe:Eu<sup>3+</sup>3% và ZnSe:Eu<sup>3+</sup>5% được kí hiệu là Z0, Z1, Z3 và Z5.

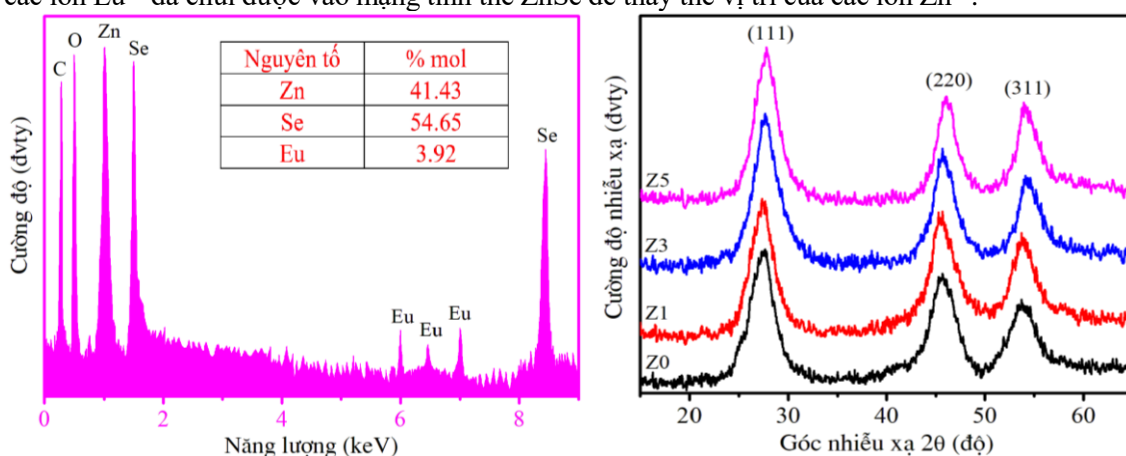
### 2.3. Các phương pháp đặc trưng tính chất

Phổ hấp thụ quang được đo bằng máy Jasco V-770 (Varian). Thành phần nguyên tố có trong các QD được xác định bằng phổ tán sắc năng lượng (EDX, Model JOEL JSM-5610). Cấu trúc

ting thể của các NC được khảo sát bằng máy nhiễu xạ tia X (SIEMENS D-5005). Phổ quang huỳnh quang được đo bằng máy FLS1000, Edingburgh.

### 3. Kết quả và thảo luận

Phổ EDX là công cụ quan trọng trong việc xác định sự có mặt và thành phần hóa học, đặc biệt trong các nghiên cứu về vật liệu và bán dẫn, cung cấp cái nhìn sâu sắc về cấu trúc nguyên tử và thành phần của vật liệu. Phổ EDX của các QD ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  với nồng độ 5% được quan sát trong Hình 1. Kết quả quan sát trên Hình 1 cho thấy sự có mặt của các nguyên tố Zn, Se và Eu với các đỉnh tại các năng lượng tương ứng [6]. Ngoài ra còn có sự có mặt của các nguyên tố C và O, đây là các nguyên tố có trong các tiền chất hữu cơ dùng để chế tạo các QD. Tỷ lệ % các nguyên tử Zn, Se và Eu có trong mẫu  $\text{ZnSe}:\text{Eu}^{3+}5\%$  lần lượt là 41,43, 54,65 và 3,92%. Có thể nhận thấy tỷ lệ % thực tế của các ion  $\text{Eu}^{3+}$  trong các QD  $\text{ZnSe}:\text{Eu}^{3+}5\%$  chỉ là 3,92%, chứng tỏ không phải tất cả các ion  $\text{Eu}^{3+}$  đã chui được vào mạng tinh thể ZnSe để thay thế vị trí của các ion  $\text{Zn}^{2+}$ .



**Hình 1.** Phổ EDX của các QD ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  với nồng độ 5% **Hình 2.** Giản đồ nhiễu xạ tia X của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$

Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) được sử dụng để xác định cấu trúc của các QD chế tạo được. Giản đồ nhiễu xạ tia X của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  được quan sát trên Hình 2. Các QD ZnSe không pha tạp và pha tạp với các nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  khác nhau (1%, 3%, và 5%) đều cho thấy sự xuất hiện của các đỉnh nhiễu xạ tương ứng với các mặt tinh thể (111), (220), và (311) của cấu trúc lập phương giả kẽm (ZB) của ZnSe [1], [6]. Với các QD ZnSe không pha tạp, các đỉnh (111), (220), và (311) xuất hiện tại các góc  $2\theta$  xấp xỉ  $26,5^\circ$ ,  $44^\circ$ , và  $52^\circ$ , tương ứng với các mặt tinh thể chuẩn của ZnSe với cấu trúc lập phương [2], [3]. Khi tăng nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$ , các đỉnh nhiễu xạ dịch nhẹ về phía góc lớn hơn và gây ra thay đổi về hình dạng và độ rộng của các đỉnh nhiễu xạ, điều này chỉ ra ảnh hưởng của quá trình pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  lên cấu trúc tinh thể của các QD ZnSe như gây ra các biến dạng nhẹ trong mạng tinh thể và làm thay đổi hằng số mạng [6]. Bán kính các ion  $\text{Zn}^{2+}$  và  $\text{Eu}^{3+}$  lần lượt là 74 và 95 pm. Có thể nhận thấy độ rộng của các đỉnh nhiễu xạ cũng tăng dần khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng, cho thấy sự giảm kích thước tinh thể khi pha tạp ion  $\text{Eu}^{3+}$ . Kích thước tinh thể (D) của các QD có thể được xác định bằng công thức Debye-Scherrer [10]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Trong đó,  $\theta$  là góc nhiễu xạ,  $\beta$  là độ bán rộng,  $\lambda=0,154$  nm là bước sóng tia X,  $k=0,9$  là hằng số Scherrer. Hằng số mạng tinh thể (a) thu được từ giản đồ XRD bằng phương trình sau [5]:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2)$$

$d$  là khoảng cách giữa các mặt phẳng mạng tương ứng với các chỉ số Miller  $h, k, l$  và được xác định bằng phương trình Bragg [5], [6]:

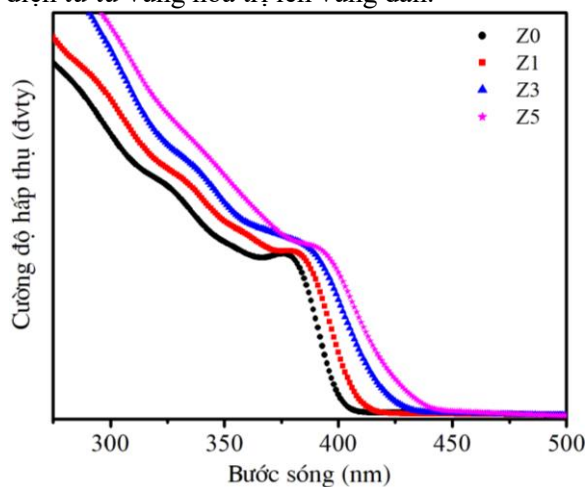
$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (3)$$

Kích thước tinh thể và các tham số mạng của các QD được biểu diễn trong bảng 1.

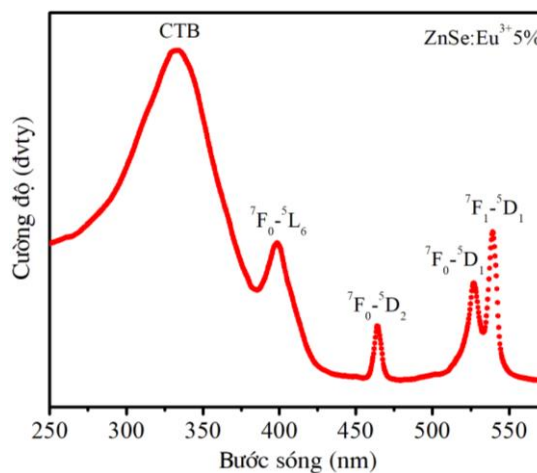
**Bảng 1.** Các tham số mạng của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$

Mẫu	Đỉnh 20-(111) (độ)	Độ bán rộng- $\beta$ (độ)	Hằng số mạng (Å)	Kích thước tinh thể (nm)
Z0	27,47	3,12	5,681	2,63
Z1	27,49	3,18	5,678	2,57
Z3	27,53	3,22	5,675	2,54
Z5	27,64	3,27	5,671	2,50

Để nghiên cứu cấu trúc vùng năng lượng, độ rộng vùng cấm và xác định kích thước của các QD bán dẫn, chúng tôi tiến hành nghiên cứu phổ hấp thụ của các mẫu. Phổ hấp thụ của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  được quan sát trên Hình 3. Với các QD ZnSe (kí hiệu Z0), phổ hấp thụ xuất hiện đỉnh hấp thụ exciton thứ nhất rõ nét tại bước sóng 379 nm. Đỉnh hấp thụ exciton này tương ứng với chuyển mức năng lượng giữa vùng hoá trị và vùng dẫn và chính bằng năng lượng vùng cấm của các QD [11]. Khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng lên từ 1 đến 5%, ta quan sát thấy sự dịch chuyển của đỉnh hấp thụ exciton thứ nhất về phía bước sóng dài hơn (red-shift) từ 383-393 nm. Điều này chỉ ra rằng việc pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  đã làm giảm độ rộng vùng cấm của ZnSe QDs. Kết quả này được giải thích bằng cách thêm ion pha tạp vào mạng tinh thể, dẫn đến sự hình thành các mức năng lượng mới trong vùng cấm của vật liệu, làm giảm năng lượng cần thiết để kích thích điện tử từ vùng hóa trị lên vùng dẫn.



**Hình 3.** Phổ hấp thụ của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$



**Hình 4.** Phổ kích thích huỳnh quang của các QD ZnSe pha tạp 5%  $\text{Eu}^{3+}$ . Phổ kích thích được thu ở bước sóng 619 nm

Kích thước của các QD có thể được xác định thông qua năng lượng của đỉnh hấp thụ exciton, sử dụng công thức [12]:

$$E_g = E_{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^* R^2} \quad (4)$$

Trong đó:  $E_g$  là độ rộng vùng cấm của các QD.  $E_{bulk}$  là độ rộng vùng cấm của ZnSe khối (2,7 eV).  $m^*$  là khối lượng hiệu dụng của electron trong ZnSe (khoảng 0,25  $m_0$ , với  $m_0$  là khối lượng electron tự do).  $\hbar$  là hằng số Planck ( $1,055 \cdot 10^{-34}$  J.s) [1] – [3]. Các tham số về đỉnh hấp thụ exciton, năng lượng vùng cấm, kích thước các hạt được quan sát trong Bảng 2. Có thể nhận thấy

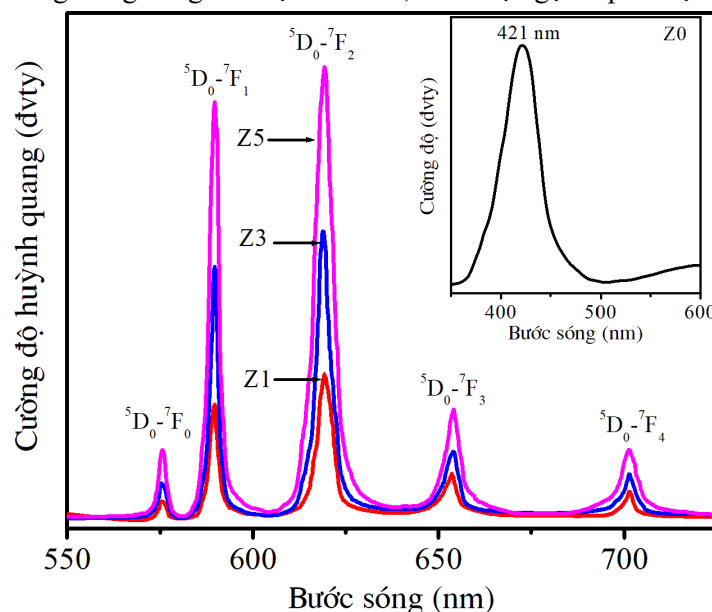
khi nồng độ pha tạp Eu tăng lên thì kích thước của các QD cũng tăng lên, tương tự các kết quả được quan sát trước đó.

**Bảng 2.** Định hấp thụ, năng lượng vùng cấm và kích thước hạt của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$

Mẫu	Đỉnh hấp thụ (nm)	Năng lượng vùng cấm (eV)	Kích thước hạt (nm)
Z0	379	3,27	4,56
Z1	383	3,24	4,63
Z3	387	3,20	4,71
Z5	393	3,16	4,85

Để xác định bước sóng kích thích hiệu quả, chúng tôi tiến hành đo phổ kích thích huỳnh quang (PLE) của các QD ZnSe pha tạp 5%  $\text{Eu}^{3+}$ , kết quả được biểu diễn trong Hình 4. Phổ kích thích huỳnh quang thể hiện các đỉnh đặc trưng cho các quá trình chuyển dời nội điện tử giữa các mức năng lượng của ion  $\text{Eu}^{3+}$  [4]. Phổ PLE của các QD ZnSe pha tạp 5%  $\text{Eu}^{3+}$  có 5 đỉnh kích thích. Đỉnh kích thích rộng ở bước sóng ngắn nhất (332 nm) là đỉnh kích thích của nền ZnSe. Bốn đỉnh kích thích hẹp tại các bước sóng 398, 464, 526 và 539 nm là các đỉnh kích thích đặc trưng của ion  $\text{Eu}^{3+}$  tương ứng với các chuyển dời  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$  và  ${}^7\text{F}_1 \rightarrow {}^5\text{D}_1$  [4], [6]. Các đỉnh cường độ cao tại các vị trí này cho thấy sự tương tác mạnh mẽ giữa các mức năng lượng của  $\text{Eu}^{3+}$  và mạng ZnSe.

Phổ huỳnh quang (PL) giúp xác định các mức năng lượng và tính chất quang học của vật liệu. Phổ huỳnh quang của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  được trình bày trong Hình 5. Với các QD ZnSe (hình nhỏ trong hình 5), phổ PL (được kích thích tại bước sóng 332 nm) cho thấy xuất hiện đỉnh phát xạ mạnh tại bước sóng 421 nm. Đỉnh phát xạ này được phát ra khi điện tử từ vùng dẫn tái hợp với lỗ trống trong vùng hoá trị của ZnSe, còn được gọi là phát xạ exciton [6].

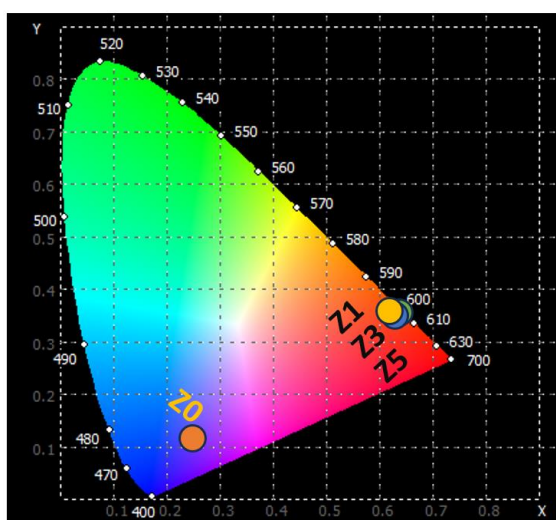


**Hình 5.** Phổ huỳnh quang của các QD ZnSe (hình nhỏ bên trên) và ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  tại bước sóng kích thích 464 nm

Như vậy các QD ZnSe không pha tạp phát xạ ánh sáng màu xanh lam. Phổ PL của các QD ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  xuất hiện 5 đỉnh phát xạ đặc trưng tại các bước sóng 575, 590, 619, 654 và 701 nm tương ứng với các chuyển dời phát xạ  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_0$ ,  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$ ,  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ ,  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_3$  và  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  [5], [6]. Đây là các đỉnh phát xạ đặc trưng của  $\text{Eu}^{3+}$ , với sự chuyển dời của các điện tử từ các mức kích thích cao hơn xuống mức năng lượng thấp hơn trong ion  $\text{Eu}^{3+}$ . Phổ huỳnh quang cho thấy sự tương tác rõ rệt giữa ion  $\text{Eu}^{3+}$  và ZnSe khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng. Sự pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  tạo ra các mức năng lượng trong vùng cấm của ZnSe, dẫn đến sự phát quang đặc trưng của  $\text{Eu}^{3+}$  ở các bước sóng đỏ (~575 nm

- 701 nm). Cường độ phát xạ của  $\text{Eu}^{3+}$  tăng lên khi nồng độ tăng đến 5%, chứng tỏ chưa xảy ra hiện tượng dập tắt huỳnh quang khi nồng độ Eu trong các QD ZnSe lên đến 5%.

Giản đồ tọa độ màu CIE là một công cụ quan trọng trong lĩnh vực quang học. Nó thể hiện mối quan hệ giữa các màu sắc mà mắt người có thể nhìn thấy và được chuẩn hóa theo các tọa độ trong một không gian màu. Giản đồ CIE biểu diễn tọa độ màu sắc của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp với các nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  khác nhau được quan sát trên Hình 6. Các điểm màu của các mẫu di chuyển từ vùng xanh (với ZnSe) về phía vùng đỏ cam khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng lên. Điều này cho thấy rằng, khi pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$ , tính chất phát xạ quang học của ZnSe thay đổi rõ rệt, dần chuyển sang màu sắc ấm hơn (đỏ cam) khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  cao hơn. Bảng 3 là dữ liệu cung cấp tọa độ màu (X, Y) và nhiệt độ màu tương quan (CCT) của các mẫu. CCT là thước đo định lượng để biểu diễn màu sắc của nguồn sáng. Các giá trị CCT trong bảng tăng dần từ 1710 K đến 2204 K khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng lên. Sự thay đổi của tọa độ màu và CCT cho thấy rằng việc pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  vào ZnSe QDs không chỉ làm thay đổi tính chất quang học mà còn điều chỉnh màu sắc phát xạ của vật liệu [6]. Điều này mở ra tiềm năng ứng dụng của các QD ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  trong các thiết bị chiếu sáng và hiển thị, nơi cần điều chỉnh màu sắc phát xạ.



**Hình 6.** Giản đồ CIE biểu diễn tọa độ màu của các QD ZnSe và ZnSe pha tạp với các nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  khác nhau

**Bảng 3.** Tọa độ màu (X, Y) và nhiệt độ màu tương quan (CCT) của các mẫu

Mẫu	CIE		CCT (K)
	x	y	
Z0	0,246	0,116	1710,0
Z1	0,630	0,367	2105,0
Z3	0,635	0,364	2184,1
Z5	0,636	0,363	2204,3

#### 4. Kết luận

Các chấm lượng tử ZnSe pha tạp ion  $\text{Eu}^{3+}$  với các nồng độ 0%, 1%, 3% và 5% đã được chế tạo thành công bằng phương pháp hoá ướt. Kết quả phân tích giản đồ XRD cho thấy các QD đều có cấu trúc tinh thể lập phương, với kích thước tinh thể giảm khi tăng nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$ . Kết quả phân tích từ phổ hấp thụ cho thấy sự dịch chuyển đỉnh hấp thụ về phía bước sóng dài và kích thước hạt tăng từ 4,56-4,85 nm khi nồng độ  $\text{Eu}^{3+}$  tăng từ 0-5%. Phổ PL của các QD ZnSe pha tạp  $\text{Eu}^{3+}$  xuất hiện 5 đỉnh phát xạ đặc trưng tại các bước sóng 575, 590, 619, 654 và 701 nm tương ứng với các chuyển dời phát xạ  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$ ,  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ ,  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ ,  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$  và  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_4$ . Cường độ phát xạ của  $\text{Eu}^{3+}$  tăng lên khi nồng độ tăng đến 5%, chứng tỏ chưa xảy ra hiện tượng dập tắt huỳnh quang khi nồng độ Eu trong các QD ZnSe lên đến 5%. Phổ PL của các QD ZnSe pha tạp ion  $\text{Eu}^{3+}$  mở

rộng vùng phát xạ về phía ánh sáng đỏ so với các QD ZnSe không pha tạp. Các kết quả nghiên cứu trong bài báo này cho thấy tiềm năng ứng dụng của các QD ZnSe pha tạp ion  $\text{Eu}^{3+}$  trong lĩnh vực chiếu sáng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. Jayalakshmi, M. Mariappan, M. Djanaguiraman, and A. Veerappan, "Aqueous soluble zinc selenide quantum dots for rapid detection of lead in water, fruit juices and biological fluids," *Optical Materials*, vol. 149, p. 115080, 2024.
- [2] M. Gao, H. Yang, H. Shen, Z. Zeng, F. Fan, B. Tang, J. Min, Y. Zhang, Q. Hua, L. S. Li, B. Ji, and Z. Du, "Bulk-like ZnSe quantum dots enabling efficient ultranarrow blue light-emitting diodes," *Nano Lett*, vol. 21, no. 17, pp. 7252-7260, 2021.
- [3] D. Li, X. He, L. Zhao, H. Li, Y. Zhao, S. Zhang, X. Zhang, J. Chen, Q. Jin, and J. Xu, "The interaction between semiconductor ZnSe quantum dots and graphene oxide: Ultrafast charge transfer dynamics," *Journal of Luminescence*, vol. 252, p. 119422, 2022.
- [4] C. C. Khong, T. M. T. Nguyen, X. Fan, V. H. Pham, K. Q. Le, T. T. H. Trinh, T. K. Nguyen, T. K. V. Nguyen, T. H. Nguyen, N. D. Lo, and X. C. Nguyen, "Optical properties, Judd-Ofelt analysis and energy transfer processes of  $\text{Eu}^{3+}$  doped ZnS quantum dots," *Chemical Physics Letters*, vol. 832, p.140896, 2023.
- [5] M. T. Pham, X. C. Nguyen, T. H. Nguyen, H. T. Van, V. D. Phan, D. T. Luong, H. Y. Vu, P. T. Vu, Y. Peng, and T. T. Pham, "New insights on the energy transfer mechanisms of Eu-doped CdS quantum dots," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 22, p. 6266, 2020.
- [6] T. H. Nguyen, Y. Y. Yu, K. C. Park, X. C. Nguyen, T. K. C. Tran, T. T. H. Bui, D. T. Luong, V. D. Phan, M. T. Pham, and T. T. H. Pham, "Influence of Eu doping on the structural and optical properties of  $\text{Zn}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Se}$  quantum dots," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 148, p. 109729, 2021.
- [7] J. Y. Park, C. G. Lee, H. W. Seo, D. W. Jeong, M. Y. Kim, W. B. Kim, and B. S. Kim, "Structural and optical properties of ZnSe:Eu/ZnS quantum dots depending on interfacial residual europium," *Applied Surface Science*, vol. 429, no. 31, pp. 225-230, 2018.
- [8] S. Mathew, K. V. A. Kumar, C. Sudarsanakumar, V. P. N. Nampoori, and N. V. Unnikrishnan, "Local symmetry and Z-scan analysis of ZnSe/ $\text{Eu}^{3+}$  doped sol-gel silica hosts," *Canadian Journal of Physics*, vol. 88, no. 7, pp. 479-486, 2010.
- [9] N. Liu, W. Zhou, L. Xu, L. Tong, J. Zhou, W. Su, Y. Yu, and Z. Ma, "Enhanced luminescence of ZnSe:Eu<sup>3+</sup>/ZnS core-shell quantum dots," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 358, no. 17, pp. 2353-2356, 2012.
- [10] A. Shamsi and S. Hashemian, "Nano spinels of copper-doped cobalt aluminate ( $\text{Co}_x\text{Cu}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ ) for removal of Cd(II) from aqueous solutions," *Desalination and Water Treatment*, vol. 181, pp. 346-354, 2020.
- [11] U. B. Memon, U. Chatterjee, M. N. Gandhi, S. Tiwari, and S. P. Duttagupta, "Synthesis of ZnSe quantum dots with stoichiometric ratio difference and study of its optoelectronic property," *Procedia Materials Science*, vol. 5, pp. 1027-1033, 2014.
- [12] R. W. Meulenbergh, J. R. I. Lee, A. Wolcott, J. Z. Zhang, L. J. Terminello, and T. Buuren, "Determination of the exciton binding energy in CdSe quantum dots," *ACS Nano*, vol. 3, no. 2, pp. 325-330, 2009.