

THE INFLUENCE OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE OPTICAL PROPERTIES OF CdTe QUANTUM DOTS

Pham Thi Thuy^{1*}, Nguyen Thi Ngoc Hue^{1,2}, Tran Thi Kim Chi³

¹Sai Gon University, ²Ba Dinh Junior High School, ³Institute of Materials Science - VAST

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 07/5/2025	This study presents the synthesis of CdTe semiconductor quantum dots in aqueous medium by hydrothermal method, using MSA acid as surfactant. Technological parameters such as solution pH, molar ratio between precursors (Cd:Te) and surfactant concentration (Cd:MSA) were systematically investigated to evaluate the influence on the formation process, size, uniformity and optical properties of quantum dots. The results showed that the synthesis conditions had a significant impact on the controllability of particle size and luminescence performance of the material. Changes in pH and Cd:Te ratio affected the crystallinity, particle size and emission properties of CdTe quantum dots. In addition, the surfactant played a role in stabilizing the particle surface and limiting agglomeration, thereby improving the optical quality. The results obtained in this study not only clarify the relationship between the fabrication conditions and properties of CdTe quantum dots but also contribute to the development of high-performance semiconductor nanomaterial systems in practical applications such as optoelectronic devices, biosensors and renewable energy.
Revised: 17/10/2025	
Published: 20/10/2025	
KEYWORDS	
Hydrothermal	
CdTe	
Quantum dot	
Optical properties	
Semiconductor	

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN CHẾ TẠO ĐẾN TÍNH CHẤT QUANG CỦA CÁC CHẤM LƯỢNG TỬ CdTe

Phạm Thị Thuý^{1*}, Nguyễn Thị Ngọc Huệ^{1,2}, Trần Thị Kim Chi³

¹Trường Đại học Sài Gòn, ²Trường Trung học Cơ sở Ba Đình

³Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 07/5/2025	Nghiên cứu này trình bày qui trình tổng hợp các chấm lượng tử bán dẫn CdTe trong môi trường nước bằng phương pháp thủy nhiệt, sử dụng axit MSA làm chất hoạt động bề mặt. Các thông số công nghệ như độ pH của dung dịch, tỉ lệ mol giữa các tiền chất (Cd:Te) và nồng độ chất hoạt động bề mặt (Cd:MSA) đã được khảo sát một cách có hệ thống nhằm đánh giá ảnh hưởng đến quá trình hình thành, kích thước, độ đồng đều và đặc tính quang học của các chấm lượng tử. Kết quả cho thấy điều kiện tổng hợp tác động rõ rệt đến khả năng kiểm soát kích thước hạt và hiệu suất phát quang của vật liệu. Cụ thể, sự thay đổi về pH và tỉ lệ Cd:Te ảnh hưởng đến độ kết tinh, kích thước hạt và đặc tính phát xạ của các chấm lượng tử CdTe. Ngoài ra, chất hoạt động bề mặt đóng vai trò ổn định bề mặt hạt và hạn chế sự kết tụ, từ đó cải thiện chất lượng quang học. Những kết quả đạt được trong nghiên cứu này không chỉ làm sáng tỏ mối liên hệ giữa điều kiện chế tạo và tính chất quang của các chấm lượng tử CdTe mà còn góp phần định hướng cho việc phát triển hệ vật liệu nano bán dẫn hiệu suất cao trong các ứng dụng thực tiễn như thiết bị quang điện tử, cảm biến sinh học và năng lượng tái tạo.
Ngày hoàn thiện: 17/10/2025	
Ngày đăng: 20/10/2025	
TỪ KHÓA	
Thủy nhiệt	
CdTe	
Chấm lượng tử	
Tính chất quang	
Chất bán dẫn	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12739>

* Corresponding author. Email: phamthithuy@sgu.edu.vn

1. Giới thiệu

Chấm lượng tử (Quantum Dots – QD) bán dẫn là một loại vật liệu có cấu trúc nano, thường có hình cầu với kích thước dao động từ vài đến vài chục nm. Nhờ kích thước đặc biệt này, các QD bán dẫn sở hữu nhiều tính chất độc đáo về quang học, điện và từ. Đặc biệt, khả năng phát quang của các QD bán dẫn có thể được điều chỉnh thông qua kích thước hạt, điều này làm tăng sự quan tâm nghiên cứu đối với các đặc tính quang học của chúng. Các QD bán dẫn có tỷ lệ diện tích bề mặt so với thể tích rất cao, giúp cải thiện hiệu suất xúc tác [1] – [3]. Nhờ vậy, việc kiểm soát kích thước thông qua thay đổi các điều kiện chế tạo trong quá trình tổng hợp QD là một yếu tố quan trọng để ứng dụng chúng như chất xúc tác. Ngoài ra, tỷ lệ bề mặt lớn còn làm gia tăng số lượng các trạng thái bề mặt, từ đó tăng khả năng thay thế và hoạt hóa các electron cũng như lỗ trống trong vật liệu [2], [4]. Các QD bán dẫn hiện nay đang ngày càng được quan tâm trong nhiều lĩnh vực khác nhau như pin mặt trời, thiết bị quang điện tử, y sinh học, công nghiệp thực phẩm và nông nghiệp, dệt may cũng như các ngành công nghiệp hiện đại [3] – [5].

Điều kiện chế tạo đóng vai trò then chốt trong việc kiểm soát cấu trúc, kích thước và đặc tính quang học của các QD bán dẫn như CdS, CdTe và CdSe. Nhiệt độ phản ứng là thông số có ảnh hưởng mạnh đến cơ chế tạo mầm và tăng trưởng tinh thể, từ đó chi phối đến kích thước hạt. Khi nhiệt độ tăng, tốc độ kết tinh tăng dẫn đến sự hình thành các hạt có kích thước lớn hơn làm dịch chuyển về phía bước sóng dài của đỉnh phổ hấp thụ và phát quang [6]. Tương tự, thời gian phản ứng kéo dài cũng làm tăng kích thước hạt, tuy nhiên có thể gây hiện tượng kết tụ nếu không được kiểm soát thích hợp [6], [7]. Bên cạnh đó, dung môi và chất hoạt động bề mặt (ligand) như TOPO, OA hoặc TGA đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định bề mặt, hạn chế sự kết tụ và điều chỉnh hình thái hạt [7]. Các ligand này còn có khả năng kết hợp có chọn lọc với ion kim loại hoặc các nguyên tử như S, Se, Te, từ đó tác động đến động học hình thành QD. Tỷ lệ mol giữa các tiền chất, ví dụ giữa Cd và S, Se, Te, là một thông số quan trọng trong việc đảm bảo sự tạo thành pha tinh khiết, hạn chế khuyết tật và nâng cao tính đồng nhất về kích thước [8]. Ngoài ra, trong một số phương pháp tổng hợp sử dụng dung môi nước, các yếu tố công nghệ như pH môi trường và tốc độ thêm tiền chất cũng được ghi nhận ảnh hưởng đáng kể đến quá trình tạo mầm và phát triển tinh thể [9], [10]. Những yếu tố này, khi được tối ưu hóa, không chỉ nâng cao chất lượng tinh thể và độ đồng đều của QD, mà còn cải thiện đáng kể hiệu suất lượng tử phát quang – yếu tố cốt lõi trong các ứng dụng công nghệ cao như hiển thị, cảm biến sinh học và pin mặt trời thế hệ mới.

Các QD CdTe là một trong những vật liệu bán dẫn nhóm II–VI được nghiên cứu rộng rãi nhờ đặc tính quang học nổi bật như khả năng phát quang mạnh, điều chỉnh bước sóng theo kích thước và hiệu suất lượng tử cao [9]. Tuy nhiên, các tính chất quang này lại rất nhạy với điều kiện chế tạo. Nhiệt độ, thời gian phản ứng, loại dung môi, chất hoạt động bề mặt, cũng như tỷ lệ tiền chất đều ảnh hưởng trực tiếp đến kích thước hạt, mức độ kết tinh, độ đồng đều và trạng thái bề mặt của QD [6]–[10]. Sự thay đổi nhỏ trong các thông số tổng hợp có thể dẫn đến khác biệt đáng kể về phổ hấp thụ, phổ phát quang và độ ổn định huỳnh quang. Do đó, việc hiểu rõ mối liên hệ giữa điều kiện chế tạo và tính chất quang của các QD CdTe là cần thiết để tối ưu hóa hiệu suất vật liệu cho các ứng dụng thực tiễn. Bên cạnh đó, phần lớn các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào tổng hợp hoặc khảo sát đặc tính quang học riêng lẻ, trong khi mối liên hệ tổng thể và có hệ thống giữa các điều kiện chế tạo và đặc điểm phát quang ít được nghiên cứu. Vì vậy, bài báo này tập trung nghiên cứu có hệ thống ảnh hưởng của các điều kiện chế tạo như độ pH, nồng độ chất hoạt động bề mặt và tỷ lệ Cd/Te đến độ đồng đều và tính chất quang của các QD CdTe nhằm bổ sung các hiểu biết về công nghệ chế tạo QD CdTe, đóng góp vào việc phát triển các thiết bị quang điện tử và cảm biến sinh học dựa trên QD CdTe.

2. Thực nghiệm

Các QD bán dẫn CdTe được chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt, sử dụng $\text{CdBr}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ và bột TeO_2 làm tiền chất. Quá trình tổng hợp được thực hiện trực tiếp trong môi trường nước, trong

đó axit mercaptosuccinic (MSA) được sử dụng làm chất hoạt động bề mặt. Các hóa chất được sử dụng trong quá trình chế tạo QD CdTe bao gồm: CdBr_2 , bột Te, NaBH_4 , mercaptosuccinic acid (MSA), NaOH, ethanol và nước cất.

Quy trình chế tạo các QD CdTe được tiến hành như sau: đầu tiên, bột Te được chuyển hóa thành TeO_2 bằng cách hòa tan trong dung dịch HNO_3 loãng, duy trì phản ứng ở 50–80 °C trong 4 giờ. Sau phản ứng, dung dịch được lọc và cô cạn để thu được bột TeO_2 màu trắng. Phức $\text{Cd}^{2+}/\text{MSA}$ được tạo ra bằng cách thêm MSA vào dung dịch CdBr_2 . Tiếp theo, TeO_2 được thêm vào dung dịch phức $\text{Cd}^{2+}/\text{MSA}$, khuấy ở 50–80 °C trong 30 phút, sau đó bổ sung NaBH_4 nhằm khử TeO_2 và hình thành các mầm tinh thể CdTe, biểu hiện qua sự chuyển màu từ không màu sang vàng đậm. Cuối cùng, dung dịch chứa mầm được chuyển vào bình thủy nhiệt, xử lý ở các nhiệt độ từ 110 đến 150 °C trong thời gian 60–180 phút. Sau quá trình thủy nhiệt, sản phẩm được làm nguội tự nhiên về nhiệt độ phòng và rửa sạch bằng ethanol để thu được QD CdTe phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo.

Phổ hấp thụ của các mẫu được đo trên hệ Jasco V-770. Phổ huỳnh quang của các mẫu được tiến hành đo trên hệ iHR550.

3. Kết quả và bàn luận

Quá trình chế tạo QD CdTe trong môi trường nước chịu ảnh hưởng bởi nhiều thông số công nghệ như pH dung dịch, tỉ lệ mol Cd:Te, Cd:MSA, v.v. Do đó, việc tối ưu hóa các điều kiện chế tạo là cần thiết nhằm kiểm soát tốt quá trình hình thành và phát triển tinh thể. Mục tiêu của việc tối ưu hóa là thu được sản phẩm có chất lượng cao, thể hiện qua sự xuất hiện rõ ràng của đỉnh hấp thụ exciton và cường độ huỳnh quang mạnh – các chỉ số đặc trưng cho tính đồng nhất kích thước và hiệu suất phát xạ của QD CdTe. Sau đây, chúng tôi sẽ lần lượt nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ như pH dung dịch, tỉ lệ mol Cd:Te, Cd:MSA đến tính chất quang của các QD CdTe.

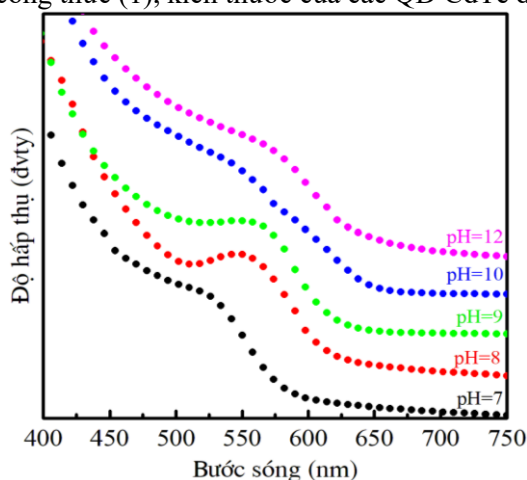
3.1. Ảnh hưởng của độ pH của dung dịch chứa phức $\text{Cd}^{2+}/\text{MSA}$

Độ pH của môi trường phản ứng đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát các quá trình hóa học xảy ra trong hệ, đặc biệt là đối với sự hình thành và ổn định của chấm lượng tử. Ngoài ra, độ pH còn ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền liên kết giữa chất hoạt động bề mặt và bề mặt QD, từ đó chi phối mức độ ổn định và hiệu suất phát quang của các QD. Do đó, khảo sát ảnh hưởng của pH là bước đầu tiên trong quá trình tối ưu hóa điều kiện tổng hợp các QD CdTe. Giá trị pH của dung dịch chứa phức $\text{Cd}^{2+}/\text{MSA}$ được điều chỉnh bằng cách nhỏ từ từ dung dịch NaOH 1M đến các giá trị: 7, 8, 9, 10 và 12. Phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu thu được sau quá trình tổng hợp ở các điều kiện pH khác nhau được trình bày trong Hình 1.

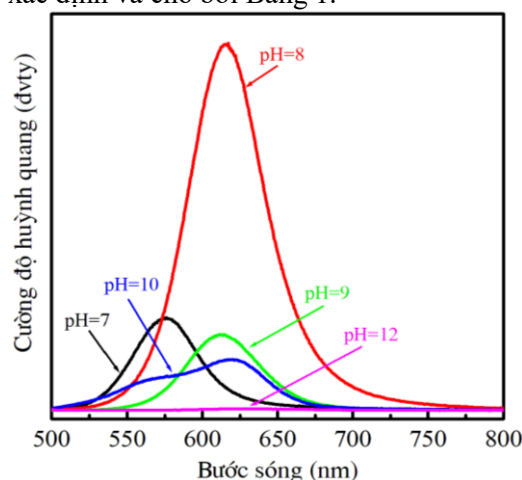
Quan sát phổ hấp thụ của các mẫu cho thấy, khi pH tăng dần, đỉnh hấp thụ của các mẫu có xu hướng dịch chuyển về phía bước sóng dài hơn, cụ thể từ khoảng 535 nm (pH = 7) đến 583 nm (pH = 12). Sự dịch chuyển này cho thấy năng lượng vùng cấm của các QD CdTe giảm dần theo pH. Đây là dấu hiệu rõ ràng của hiện tượng giảm hiệu ứng giam hãm lượng tử xảy ra khi kích thước hạt tăng lên. Như vậy, có thể suy luận rằng, trong điều kiện pH cao, các hạt CdTe có xu hướng kết tinh nhanh hơn, tạo nên các hạt có kích thước lớn hơn so với mẫu ở pH thấp. Cơ chế này có thể được lý giải thông qua vai trò của MSA trong quá trình hình thành các QD. Ở môi trường pH thấp, MSA chỉ phân ly một phần, khả năng tạo phức với ion Cd^{2+} còn hạn chế, dẫn đến tốc độ kết tinh chậm hơn và hạt CdTe hình thành có kích thước nhỏ. Ngược lại, ở pH cao, MSA bị phân ly mạnh, đặc biệt ở các nhóm $-\text{COOH}$ và $-\text{SH}$, làm tăng khả năng tạo phức với Cd^{2+} . Điều này thúc đẩy quá trình kết tinh và tăng trưởng hạt nhanh hơn, hình thành các hạt CdTe lớn hơn, làm giảm năng lượng vùng cấm và dịch đỏ phổ hấp thụ. Từ vị trí các đỉnh hấp thụ, kích thước của các QD CdTe có thể được xác định trên công thức thực nghiệm sau [11]:

$$D = (9.8127 \times 10^{-7})\lambda^3 - (1.7147 \times 10^{-3})\lambda^2 + 1.0064\lambda - 194.84 \quad (1)$$

Trong đó: D là đường kính hạt (nm); λ là bước sóng của đỉnh hấp thụ đầu tiên (nm). Sử dụng công thức (1), kích thước của các QD CdTe được xác định và cho bởi Bảng 1.



Hình 1. Phổ hấp thụ của mẫu CdTe khi thay đổi theo pH của dung dịch chứa phức Cd^{2+} /MSA



Hình 2. Phổ huỳnh quang của mẫu CdTe thay đổi theo pH của dung dịch chứa phức Cd^{2+} /MSA

Bảng 1. Vị trí đỉnh hấp thụ, độ rộng vùng cấm, đường kính hạt và hiệu suất lượng tử của các QD CdTe khi thay đổi giá trị pH

Mẫu	Đỉnh hấp thụ (nm)	Độ rộng vùng cấm (eV)	Đường kính hạt (nm)	Hiệu suất lượng tử (%)
pH=7	535	2,32	8,16	16,28
pH=8	550	2,25	8,96	65,12
pH=9	565	2,19	9,78	13,56
pH=10	572	2,17	10,19	12,67
pH=12	583	2,13	10,84	0,43

Kết quả thu được từ Hình 1 cho thấy các QD CdTe tổng hợp tại các giá trị pH là 7, 8 và 9 thì đỉnh hấp thụ exciton rất rõ cho thấy phân bố kích thước hạt đồng đều. Trong khi đó, ở các mẫu có pH là 10 và 12 thì đỉnh hấp thụ exciton không rõ rệt; phổ hấp thụ chỉ xuất hiện một vai nhỏ. Điều này cho thấy các QD CdTe được tạo ra không đồng đều và hình thành các QD kém ổn định tại giá trị pH cao. Các kết quả phân tích phổ hấp thụ trong Hình 1 cho thấy dung dịch Cd^{2+} /MSA có độ pH từ 7 đến 9 là điều kiện tối ưu để tổng hợp các QD CdTe có phân bố kích thước đồng đều.

Hình 2 trình bày phổ huỳnh quang của các QD CdTe. Đỉnh huỳnh quang dịch chuyển về phía bước sóng dài khi pH tăng, lần lượt tại 575 nm, 613 nm và 614 nm ứng với các mẫu có pH bằng 7, 8 và 9. Đặc biệt, mẫu tổng hợp tại pH = 8 cho cường độ huỳnh quang mạnh nhất, cho thấy hiệu suất phát quang vượt trội. Với mẫu có pH = 10, xuất hiện hai đỉnh huỳnh quang, điều này được cho là do các khuyết tật mạng tinh thể gây ra. Đối với mẫu tổng hợp tại pH = 12, cường độ huỳnh quang rất thấp, phản ánh chất lượng tinh thể kém và mức độ kết tinh không hoàn thiện.

Hiệu suất lượng tử (QY) là một tham số quan trọng để đánh giá hiệu quả phát quang của vật liệu. QY của các QD CdTe được xác định bằng cách so sánh với chất màu hữu cơ đã biết QY và được xác định bằng phương trình sau [12]:

$$QY_{NC} = QY_{dye} \frac{I_{NC}}{I_{dye}} \left(\frac{n_{NC}}{n_{dye}} \right)^2 \frac{1 - 10^{-OD_{dye}}}{1 - 10^{-OD_{NC}}} \quad (2)$$

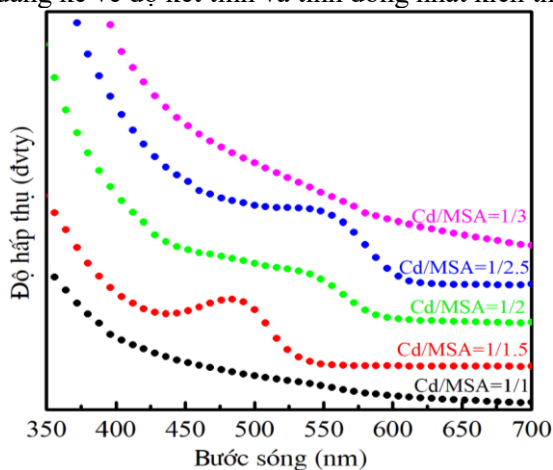
Trong đó, I biểu diễn cường độ phát xạ tích phân của phổ huỳnh quang (PL), thu được bằng cách làm khớp phổ PL. Tham số n biểu thị chiết suất, trong khi OD biểu diễn độ hấp thụ của dung môi chứa các QD hoặc chất màu. Trong nghiên cứu này, chất màu hữu cơ được sử dụng là Rhodamine 6G, có QY là 95% trong etanol. QY của các QD CdTe khi thay đổi độ pH được tính

toán và cho trong Bảng 1. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ pH của dung dịch phản ứng ảnh hưởng rõ rệt đến quá trình hình thành và tính chất quang của các QD CdTe, trong đó pH = 8 là điều kiện tối ưu cho sự phát triển tinh thể, các hạt đồng đều và đạt QY cao nhất. Suk và cộng sự [13] cho rằng môi trường hơi kiềm giúp ổn định phức $\text{Cd}^{2+}/\text{ligand}$, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tạo mầm và hạn chế khuyết tật bề mặt. Nghiên cứu của Talapin và cộng sự [14] chỉ ra rằng giá trị pH thấp làm giảm khả năng bảo vệ bề mặt, còn ở pH quá cao, sự thủy phân mạnh mẽ có thể dẫn đến kết tụ hạt và giảm hiệu suất phát quang. So với các hệ phản ứng sử dụng ligand khác như TGA hoặc MPA, nghiên cứu này cho thấy MSA có khả năng ổn định tốt nhất trong môi trường có pH = 8, phù hợp để tổng hợp các QD CdTe trong môi trường nước và nhiệt độ thấp.

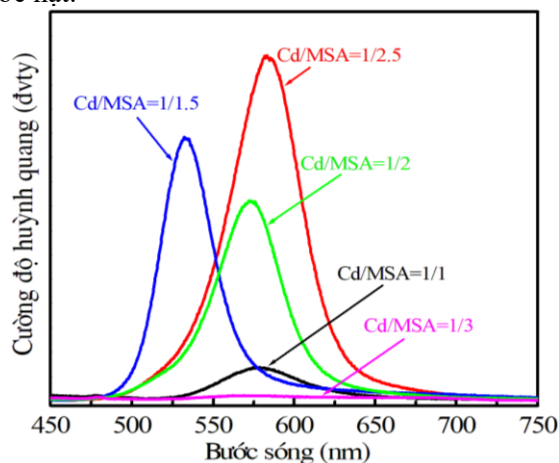
3.2. Ảnh hưởng của chất hoạt động bề mặt MSA

Trong quá trình hình thành và phát triển mầm tinh thể, lực tương tác Van der Waals có thể dẫn đến sự kết tụ nhanh chóng giữa các mầm, gây khó khăn trong việc kiểm soát kích thước và hình thái của QD [6], [7]. Để hạn chế hiện tượng này, các ligand hữu cơ thường được sử dụng nhằm ổn định hệ phân tán trong suốt quá trình tổng hợp. Trong nghiên cứu này, axit mercaptosuccinic (MSA) được chọn làm chất hoạt động bề mặt. MSA là phân tử chứa một nhóm $-\text{SH}$ và hai nhóm $-\text{COOH}$, có khả năng hòa tan tốt trong môi trường nước. Nhờ cấu trúc phân tử đặc trưng, MSA không chỉ giúp ổn định bề mặt các hạt nano mà còn kiểm soát sự phát triển tinh thể một cách hiệu quả. Do đó, việc xác định lượng MSA tối ưu là bước quan trọng nhằm đảm bảo sự hình thành các QD CdTe đồng đều, ổn định và có chất lượng quang học cao.

Các mẫu khảo sát ảnh hưởng của nồng độ chất hoạt động bề mặt MSA đến chất lượng các QD CdTe được tổng hợp trong dung dịch có pH = 8. Trong loạt thí nghiệm này, tỉ lệ Cd:MSA được thay đổi từ 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5 và 1:3. Phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu (Hình 3) cho thấy mẫu có tỉ lệ Cd:MSA = 1:1,5 xuất hiện đỉnh hấp thụ exciton rõ nhất tại 485 nm, chứng tỏ các QD CdTe được chế tạo ở tỉ lệ này có chất lượng tinh thể tốt và phân bố kích thước đồng đều nhất. Khi lượng MSA tiếp tục tăng, các đỉnh exciton dần suy yếu và chỉ còn biểu hiện dưới dạng vai nhỏ. Các mẫu có tỉ lệ Cd:MSA = 1:1 và 1:3, bờ hấp thụ không còn rõ ràng, phản ánh sự suy giảm đáng kể về độ kết tinh và tính đồng nhất kích thước hạt.



Hình 3. Phổ hấp thụ của mẫu CdTe theo tỉ lệ Cd:MSA



Hình 4. Phổ huỳnh quang của mẫu CdTe theo tỉ lệ Cd:MSA

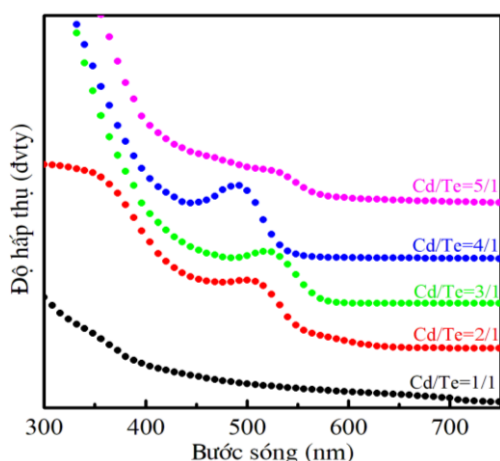
Phổ huỳnh quang của các mẫu (Hình 4) cho thấy cường độ phát quang thay đổi đáng kể theo tỉ lệ MSA. Các mẫu có tỉ lệ Cd:MSA = 1:1 và 1:3 có cường độ huỳnh quang rất yếu phù hợp với kết quả quan sát từ phổ hấp thụ. Đáng chú ý, mẫu có tỉ lệ 1:2,5 cho cường độ huỳnh quang cao nhất mặc dù kết quả quan sát từ phổ hấp thụ cho thấy đây không phải là mẫu có kích thước hạt đồng đều nhất. So với các ligand khác như TGA hay MPA, MSA thể hiện khả năng hòa tan tốt hơn trong nước và tương tác bền với bề mặt CdTe nhờ có đồng thời nhóm $-\text{SH}$ và hai nhóm $-\text{COOH}$.

Nghiên cứu của Ying và cộng sự [15] cũng ghi nhận TGA dễ bị proton hóa ở pH trung tính, làm giảm tính ổn định của các QD, trong khi MPA lại yêu cầu điều kiện pH cao hơn để đạt hiệu suất phát quang tối ưu. So sánh với kết quả hiện tại, có thể thấy MSA giúp cải thiện khả năng phân tán, kiểm soát kích thước và giảm khuyết tật bề mặt, từ đó nâng cao tính chất quang học. Kết quả nghiên cứu cho thấy MSA là chất hoạt động bề mặt hiệu quả trong tổng hợp QD CdTe, tại tỉ lệ Cd:MSA = 1:1,5 các QD CdTe có kích thước đồng đều nhất và cường độ huỳnh quang cao.

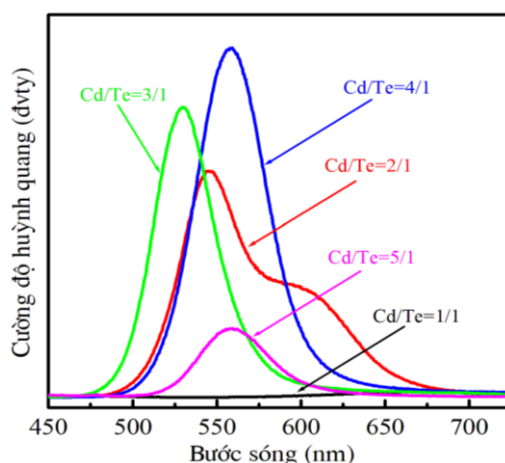
3.3. Ảnh hưởng của tỉ lệ tiền chất Cd:Te

Việc thay đổi tỉ lệ mol ban đầu giữa các tiền chất tham gia phản ứng có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình tạo mầm, phát triển tinh thể và từ đó chi phối chất lượng cũng như kích thước của các QD CdTe. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của tỉ lệ Cd:Te đến sự hình thành, phát triển và tính chất quang của các QD CdTe đã được khảo sát. Các mẫu được tổng hợp trong môi trường dung dịch Cd^{2+} /MSA có pH = 8, với tỉ lệ Cd:MSA cố định là 1:1,5. Tỉ lệ mol Cd:Te được thay đổi lần lượt theo các giá trị: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 và 5:1. Việc duy trì lượng Te^{2-} thấp hơn Cd^{2+} là cần thiết do tính oxy hóa mạnh của Te^{2-} khiến nó dễ bị oxy hóa thành TeO_2 trong điều kiện phản ứng, làm giảm hiệu suất tạo thành QD CdTe.

Phổ hấp thụ UV-Vis (Hình 5) cho thấy các mẫu có tỉ lệ Cd:Te = 2:1, 3:1 và 4:1 đều xuất hiện đỉnh hấp thụ exciton rõ ràng, phản ánh độ kết tinh tốt và phân bố kích thước đồng đều. Trong đó, mẫu có tỉ lệ Cd:Te = 4:1 có đỉnh hấp thụ rõ nét nhất thể hiện chất lượng vượt trội. Ngược lại, các mẫu có tỉ lệ Cd:Te quá thấp (1:1) hoặc quá cao (5:1) không xuất hiện đỉnh hoặc bờ hấp thụ rõ ràng, cho thấy sự suy giảm về mặt cấu trúc tinh thể và kích thước hạt không đồng đều.



Hình 5. Phổ hấp thụ của mẫu CdTe theo tỉ lệ Cd:Te



Hình 6. Phổ huỳnh quang của mẫu CdTe theo tỉ lệ Cd:Te

Phổ huỳnh quang của các mẫu (Hình 6) cũng thể hiện xu hướng tương tự. Mẫu có tỉ lệ Cd:Te = 1:1 có cường độ phát quang rất thấp. Khi tăng lượng Cd lên tỉ lệ 2:1 và 3:1, cường độ huỳnh quang tăng đáng kể, đạt cực đại ở tỉ lệ 4:1. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng tỉ lệ lên 5:1, cường độ huỳnh quang giảm mạnh, cho thấy sự suy giảm chất lượng tinh thể hoặc sự bão hòa vai trò của Cd^{2+} trong phản ứng tạo ra các QD CdTe. Tổng hợp kết quả phổ hấp thụ và huỳnh quang, có thể kết luận rằng tỉ lệ tiền chất Cd:Te tối ưu trong điều kiện khảo sát là 4:1. Zhang và cộng sự [16] đã chỉ ra rằng sự dư thừa nhẹ ion Cd^{2+} kết hợp với nồng độ ligand thích hợp giúp hạn chế khuyết tật bề mặt và tăng hiệu suất lượng tử của các QD CdTe.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công chấm lượng tử CdTe bằng phương pháp thủy nhiệt trong môi trường nước, với MSA làm chất hoạt động bề mặt. Kết quả cho thấy các thông số công nghệ

như pH dung dịch, tỉ lệ mol Cd:Te và Cd:MSA có ảnh hưởng quyết định đến quá trình hình thành, kích thước, sự đồng đều và tính chất quang học của các chấm lượng tử. Trong đó, điều kiện tối ưu được xác định là pH = 8, tỉ lệ Cd:MSA = 2:3 và Cd:Te = 4:1, cho ra hạt CdTe có kích thước đồng đều (8–11 nm), phát quang mạnh và hiệu suất lượng tử cao. Nghiên cứu đã làm rõ mối quan hệ trực tiếp giữa điều kiện tổng hợp và tính chất quang của các chấm lượng tử CdTe, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc tối ưu hóa quá trình chế tạo nhằm nâng cao hiệu suất phát quang. Kết quả này mở ra khả năng ứng dụng chấm lượng tử CdTe trong chế tạo các thiết bị quang điện tử, cảm biến sinh học và trong chiếu sáng rắn. Tuy nhiên, tính ổn định lâu dài và độ bền quang học của chấm lượng tử chưa được đánh giá toàn diện. Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể được triển khai: (i) mở rộng khảo sát ảnh hưởng của các ligand khác; (ii) nghiên cứu cơ chế suy giảm huỳnh quang theo thời gian; và (iii) thử nghiệm tích hợp chấm lượng tử vào các hệ linh kiện quang – điện tử và sinh học để đánh giá hiệu quả ứng dụng thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. M. Yerga, M. B. G. García, and A. C. García, “Biosensor array based on the in situ detection of quantum dots as electrochemical label,” *Sens. Actuators B*, vol. 182, pp.184–189, 2013.
- [2] T. H. Nguyen *et al.*, “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, 2021, Art. no. 109729.
- [3] M. Nayeripour, M. Mansouri, E. Waffenschmidt, *Solar Cells*, IntechOpen, 2020.
- [4] J. Xu, R. Hu, Q. Wang, P. Wang, and H. Bao, “Extracellular biosynthesis of biocompatible CdSe quantum dots,” *IET Nanobiotechnol*, vol. 13, pp. 962–966, 2019.
- [5] D. V. Nguyen *et al.*, “Effect of dopant concentration and the role of ZnS shell on optical properties of Sm^{3+} doped CdS quantum dots,” *RSC Adv*, vol. 11, pp. 7961-7971, 2021.
- [6] Q. Dai, D. Li, S. Jiang, H. Chen, Y. Wang, S. Kan, B. Liu, Q. Cui, and G. Zou, “Synthesis of monodisperse CdSe nanocrystals directly open to air: Monomer reactivity tuned by the selenium ligand,” *Journal of Crystal Growth*, vol. 292, pp. 14–18, 2006.
- [7] Q. Dai, S. Kan, D. Li, S. Jiang, H. Chen, M. Zhang, S. Gao, Y. Nie, H. Lu, Q. Qu, and G. Zou, “Effect of ligands and growth temperature on the growth kinetics and crystal size of colloidal CdSe nanocrystals,” *Materials Letters*, vol. 60, pp. 2925–2928, 2006.
- [8] L. Qu and X. Peng, “Control of Photoluminescence Properties of CdSe Nano-crystals in Growth,” *J. Am. Chem. Soc*, vol. 124, pp. 2049-2055, 2002.
- [9] H. Ke, D. Rui, D. Wenqing, L. Ling, Z. Ai, and Y. Xin, “Aqueous synthesis of CdTe quantum dots by hydride generation for visual detection of silver on quantum dot immobilized paper,” *Analytical methods*, vol. 9, pp. 5339-5347, 2017.
- [10] K. Agne, B. Saulius, and R. Ricardas, “The dose-dependent photobleaching of CdTe quantum dots in aqueous media,” *Luminescence*, vol. 201, pp. 434-441, 2018.
- [11] W. W. Yu, L. Qu, W. Guo, and X. Peng, “Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals,” *Chem. Mater*, vol. 15, pp. 2854-2860, 2003.
- [12] X. C. Nguyen *et al.*, “Controlling the optical and magnetic properties of CdTeSe and Gd-doped CdTeSe alloy semiconductor nanocrystals,” *RSC Adv*, vol. 13, 2023, Art. no. 36455.
- [13] Y. C. Suk, P. S. Jong, S. K. Dong, Y. K. Tae, and S. S. Kwang, “Aqueous Synthesis of CdTe Quantum Dot Using Dithiol-Functionalized Ionic Liquid,” *Nanomaterials*, vol. 8, 2012, Art. no. 519458.
- [14] D. V. Talapin, S. Haubold, A. L. Rogach, A. Kornowski, M. Haase, and H. Weller, “Novel Organometallic Synthesis of Highly Luminescent CdTe Nanocrystals,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 105, no. 12, pp. 2260–2263, 2001.
- [15] E. Ying, D. Li, S. Guo, S. Dong, and J. Wang, “Synthesis and bio-imaging application of highly luminescent mercaptosuccinic acid-coated CdTe nanocrystals,” *PLoS ONE*, vol. 3, no. 5, 2008, Art. no. 2222.
- [16] Y. Zhang, H. Zhang, M. Ma, X. Guo, and H. Wang, “The influence of ligands on the preparation and optical properties of water-soluble CdTe quantum dots,” *Appl. Surf. Sci*, vol. 255, pp. 4747–4753, 2009.