

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO TẤM COMPOSITE CHỨA NANO TINH THỂ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) TRÊN NỀN NHỰA PMMA ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG CHO LED

FABRICATION OF $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) NANOCRYSTAL/PMMA COMPOSITE FILM FOR LED

Dương Thị Thanh^{2,3}, Lê Tiến Hà², Dương Thanh Tùng^{1,*}

¹*Viện Tiên tiến khoa học và công nghệ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

²*Khoa Vật lý và Công nghệ, Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên*

³*Trường THPT Na Rì, huyện Na Rì, tỉnh Bắc Kạn*

Đến Tòa soạn ngày 28/8/2020, chấp nhận đăng ngày 12/10/2020

Tóm tắt: Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành chế tạo các hạt nano tinh thể bán dẫn $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ và $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ bằng phương pháp tái kết tủa dưới sự hỗ trợ của các phối tử. Chúng phát ánh sáng xanh lục và đỏ, tương ứng, dưới sự kích thích của chip led Blue 450 nm. Các hạt nano chế tạo được có kích thước trong khoảng 5-10 nm xác định thông qua kính hiển vi điện tử truyền qua phân giải cao HRTEM. Bằng phép đo phổ huỳnh quang kích thích, chúng tôi xác định được bước sóng phát xạ của màu xanh lục là 520 nm và của màu đỏ là 640 nm tương ứng với các hạt nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ và $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Nhựa PMMA cũng được thêm vào để tạo thành tấm composite chứa các hạt nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) phát ra các màu xanh lục và đỏ giữ được độ bền và không bị phân hủy theo thời gian. Ưu điểm của chúng còn được thể hiện ở chỗ, khi kết hợp với chip LED màu xanh dương ($\lambda = 455$ nm), chúng thể hiện gam màu rộng lên đến 150% so với hệ Blue LED và bột huỳnh quang YAG:Ce thương mại và các chuẩn màu sRGB và NTSC 1987. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của chúng làm tấm chuyển đổi màu sắc ứng dụng cho LED.

Từ khóa: chấm lượng tử bán dẫn, kích thước hạt, tính chất quang.

Abstract: In this paper, we prepare Organic-Inorganic Lead Halide Perovskite nanocrystalline $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ that emit green and red light, respectively, under the excitation of the 450 nm Blue LED chip. The prepared nanoparticles size in the range of 5-10 nm are determined through high-resolution transmission electron microscopy HRTEM. The PL peaked at 520 nm and 640 nm for $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ nanocrystals, respectively. In addition, PMMA has also been added to form composite composites containing $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ crystal nanoparticles ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) that emit green and red colors. The PL retain their intensity and do not decay over time. Their advantages are also demonstrated that, when combined with blue LED chips ($\lambda = 455$ nm), they exhibit a wide color gamut of up to 150% compared to Blue LED and commercial YAG: Ce fluorescent powder, as well as sRGB and NTSC 1987 color standards. This result shows the potential of their application as a color conversion plate for LED applications.

Keywords: semiconductor Quantum dots, particle size, optical properties.

1. GIỚI THIỆU

Bột huỳnh quang chấm lượng tử là một trong những vật liệu quan trọng trong lĩnh vực chiếu sáng rắn - một cấu trúc gồm có LED và vật liệu huỳnh quang hiệu suất cao có thể hấp thụ một phần ánh sáng phát ra từ LED chuyển thành ánh sáng ở vùng phổ mong muốn, góp phần làm cho ánh sáng phát ra từ tổ hợp LED + bột huỳnh quang có màu sắc mong muốn. Thuật ngữ chấm lượng tử có ý nghĩa cụ thể về cấu trúc trong đó xảy ra hiệu ứng giam giữ lượng tử các hạt tải điện. Trong thực tế, vì hiệu ứng giam giữ lượng tử xảy ra khi có ít nhất là một chiều kích thước của vật liệu nhỏ so sánh được với bán kính Bohr, mà bán kính bohr của đa số vật liệu tinh thể bán dẫn nằm trong vùng nano mét.

Chấm lượng tử chalcogenide CdTe, CdSe là loại vật liệu rất được quan tâm trước đây vì có hiệu suất phát quang tốt trong vùng ánh sáng khả kiến, nhưng do chứa Cd là kim loại nặng được xem là rất độc hại khi tích tụ trong cơ thể người [1]. Bên cạnh đó, do sự suy giảm khả năng phát quang của chấm lượng tử chalcogenide bị ảnh hưởng mạnh bởi các sai hỏng bề mặt. Do đó, chúng đòi hỏi quy trình chế tạo vật liệu cấu trúc lõi vỏ phức tạp và đắt tiền. Vì vậy các vật liệu phát quang hiệu suất cao thay thế CdTe và CdSe đang được tích cực tìm kiếm.

Vật liệu Perovskite gần đây được lựa chọn trong nghiên cứu các chấm lượng tử là do năng lượng vùng cấm của chúng (ở trạng thái vật liệu khối) tương ứng với vùng hồng ngoại gần và vùng ánh sáng nhìn thấy, khi có hiệu ứng giam giữ lượng tử, chúng sẽ phát huỳnh quang trong vùng phổ khả kiến, thuận tiện cho các ứng dụng hiển thị huỳnh quang [2-3]. Khả năng phát quang của chúng cũng ít bị ảnh hưởng bởi các sai hỏng bề mặt do đó không cần chế tạo ở dạng cấu trúc lõi vỏ phức tạp. Mặc dù vật liệu chứa chì và thiếc halogen đã được tìm thấy từ những năm 1893, nhưng tinh thể đầu tiên nghiên cứu xác định rằng chì

halogen có cấu trúc perovskite với công thức hóa học CsPbX_3 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ hoặc I) chỉ được thực hiện 64 năm sau bởi nhà khoa học người Đan Mạch Christian Møller. Ông cũng quan sát thấy rằng các vật liệu này hành xử như chất bán dẫn. Trong năm 1978, Dieter Weber thay thế caesium bằng cation methylammonium (CH_3NH_3^+) để tạo ra chấm lượng tử lai vô cơ - hữu cơ perovskites đầu tiên. Các ion caesium hoặc cation hữu cơ nhỏ như metylamoni và formamidinium chiếm các khoảng trống hình khối bởi 12 ion halide lân cận gần nhất. Đặc tính cấu trúc của lai perovskites của công thức $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{BX}_3$ (với $\text{B} = \text{Sn}$ (ii) hoặc Pb (ii) và $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ hoặc I) cũng đã được xem xét gần đây.

Phương pháp tái kết tủa thông qua việc trộn dung môi phân cực và không phân cực là một cách đơn giản để điều chế các hạt nano hữu cơ hoặc các chấm polymer [4]. Chúng khác với phương pháp đồng kết tủa thường đưa các chất phản ứng vào để làm thay đổi khả năng hòa tan của tiền chất trong cùng một dung môi. Các tiền chất của perovskite gốc halogen thường hòa tan trong nhiều dung môi phân cực, nhưng không hòa tan trong các chất không phân cực. Dựa trên cặp toluene và N có thể trộn được, N-dimethylformamide (DMF), phương pháp tái kết tủa với sự hỗ trợ của các phối tử (LARP) để chế tạo các hạt nano tinh thể perovskite. Kỹ thuật LARP vừa đơn giản vừa linh hoạt để tổng hợp các perovskite halide và các cấu trúc nano khác. Tuy nhiên, vấn đề lớn nhất của chúng là kém bền so với các loại vật liệu chấm lượng tử khác do các liên kết ion yếu trong tinh thể; chúng dễ dàng phân hủy khi tiếp xúc với không khí, hơi nước hoặc các dung môi hòa tan khác.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày việc chế tạo hai loại hạt nano tinh thể bán dẫn $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ và $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ bằng phương pháp tái kết tủa dưới sự hỗ trợ của các phối tử vốn là các polymer gốc amine và axit hữu cơ

chuỗi dài. Sau khi tổng hợp được hạt nano tinh thể chúng tôi tiến hành trộn với PMMA và xử lý chân không để tạo thành tấm perovskite-polymer composite phát ánh sáng đỏ và xanh lục có độ bền màu cao dưới các tác động của môi trường.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất

HBr, HI, methylamine, PbBr_2 , PbI_2 , dimethyl formamide (DMF), toluene, oleylamine, oleic axit, polymethyl methacrylate.

2.2. Tổng hợp nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ ($\text{X}=\text{Br}$, I)

$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ ($\text{X} = \text{Br}$, I) được tổng hợp thông qua phản ứng giữa 24 ml methylamine (33% trọng lượng trong ethanol tuyệt đối, Sigma) và 10 ml axit hydromromic/hydroiodic (40/57 wt% trong nước, hãng Samchun, Hàn Quốc) trong 250 ml bình cầu đáy tròn ở 0°C trong 2 giờ khuấy. Kết tủa được thu hồi bằng cách đặt dung dịch lên thiết bị bay hơi quay và loại bỏ cẩn thận các dung môi ở 50°C . Sản phẩm thô, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$, được hòa tan lại trong 80 ml ethanol tuyệt đối và kết tủa lại với việc bổ sung 300 ml diethyl ete. Sau khi lọc, chất rắn kết tinh $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ được thu thập và sấy khô ở 60°C trong tủ hút chân không trong 24 giờ.

2.3. Màng composit $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X}=\text{Br}, \text{I}$) nano crystal/PMMA

Bước 1: Hai hỗn hợp chì (II) halogen (PbX_2) và $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ ($\text{X} = \text{Br}$, I) được khuấy tan trong 5ml dung dịch N,N-dimethylformamide (DMF) ở nhiệt độ 50°C , 30 phút với tỷ lệ mol là 0,2 mmol PbX_2 và 0,2 mmol $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ ($\text{X} = \text{Br}$, I) trong lọ thủy tinh.

Bước 2: Sau đó ta sử dụng dung dịch 0,5 ml oleic axit (OA) và 0,25 ml oleylamine (OLA) nhỏ vào hỗn hợp ở trên. Gia nhiệt khuấy ở

50°C và trong 2h30' sẽ thu được hỗn hợp dung dịch trong suốt A (dung dịch tiền chất).

Bước 3: Lọ thủy tinh chứa 5 ml dung dịch toluene được khuấy đều sau đó nhỏ 0,5 ml tiền chất A và khuấy đều trong 5 phút.

Bước 4: Dem đi ly tâm với tốc độ 5000 vòng/phút trong 5 phút để loại bỏ các hạt có kích thước to và thu được dung dịch lỏng màu xanh lá cây hoặc màu đỏ. Nồng độ hạt nano trong dung dịch được điều chỉnh trong khoảng 10 mg/ml bằng cách cho bay hơi dung môi và cân trọng lượng với dung môi không chứa hạt nano ở cùng thể tích.

Bước 5: Tạo hỗn hợp keo polymer PMMA bằng cách trộn 5 g nhựa PMMA trong 5 ml toluene. Ngâm trong 24h tan hết có dạng sệt.

Bước 6: Từ bước 4 lấy 20 ml dung dịch perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ 10 mg/ml trộn đều với 20 ml dung dịch polymer ở bước 5.

Bước 7: Được hỗn hợp đã trộn đều, cho vào khuôn có hình dạng theo ý muốn. Tiếp theo để khắc phục độ bền ta sấy chân không bằng hệ bơm màng trong thời gian 5h. Mẫu khô dần có dạng màng dẻo có thể uốn cong.

2.4. Thử nghiệm trên chip LED

Chip LED xanh dương công suất 1 W có bước sóng phát xạ 455 nm. Bột huỳnh quang thương mại YAG:Ce và bột nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (Br, I) sau khi chế tạo được trộn với nhựa PMMA và phủ lên bề mặt chip LED với thể tích 1.8, 2.2 và 2.8 μl ; với tỷ lệ lần lượt là 50% khối lượng đối với bột YAG:Ce và 30 ml dung dịch 10 mg/ml $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (Br, I) trong toluene được trộn với 8.5 g PMMA trong 20 ml toluene.

2.5. Các phép đo phân tích

Cấu trúc hình thái học của vật liệu được khảo

sát bằng phương pháp hiển vi điện tử truyền qua (HRTEM, Jeol) tại Viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam. Phép đo phổ phát xạ huỳnh quang (NanoLog, Horiba) được thực hiện tại Viện Tiên tiến khoa học và công nghệ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Phương pháp phổ nhiễu xạ tia X (XRD, Siemens Bruker D5000) với bức xạ $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). Phép đo quang phổ của LED bằng quả cầu tích phân được thực hiện tại phòng thí nghiệm Ralaco-Hust đặt tại viện AIST.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Chế tạo hạt nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$)

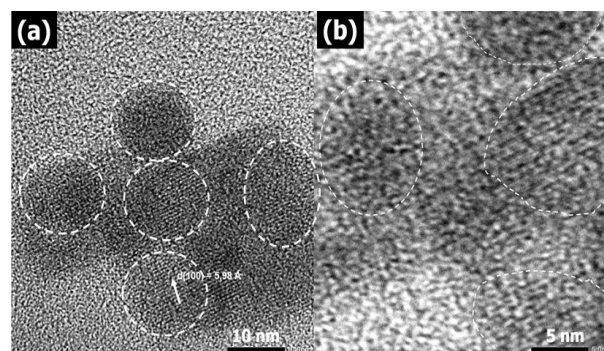
Vai trò của các phối tử hữu cơ chuỗi dài trong việc chế tạo các hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ QDs đã được miêu tả trước đó. Nhìn chung các phối tử chứa các gốc alkylamines có vai trò điều khiển động học của quá trình tinh thể hóa và tạo ra các hạt nano tinh thể trong dung dịch. Bên cạnh đó, oleic axit đóng vai trò là chất thụ động bề mặt giúp cho hạt nano đã được hình thành sẽ không bị kết đám.



Hình 1: Ảnh chụp mẫu $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ dưới ánh sáng ban ngày và ánh sáng cực tím

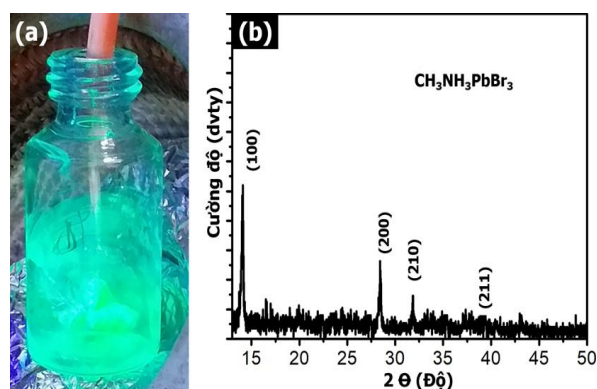
Hình 1 cho thấy mẫu dung dịch chứa hạt nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ sau khi thu được ở bước 4 có dạng màu xanh lá cây và bán trong suốt khi quan sát dưới ánh sáng ban ngày. Khi quan sát dưới ánh sáng UV (400 nm), dung dịch phát ánh sáng mạnh chứng tỏ các hạt nano tinh thể phát quang đã được hình thành trong dung dịch. Tuy nhiên sau vài ngày, khả năng phát quang của chúng giảm dần, xuất

hiện các kết tủa màu vàng và dung dịch trở nên đục dần.



Hình 2: Ảnh HRTEM của mẫu nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ chế tạo được

Mẫu sau chế tạo được phân tích cấu trúc bề mặt bằng phương pháp hiển vi điện tử truyền qua và thể hiện trong hình 2 (a) và (b). Các hạt nano có kích thước trong khoảng 10 nm và đã bắt đầu có xu hướng kết đám lại với nhau. Khoảng cách giữa các vân mạng là 5,98 Å, tương ứng với mặt tinh thể (100).



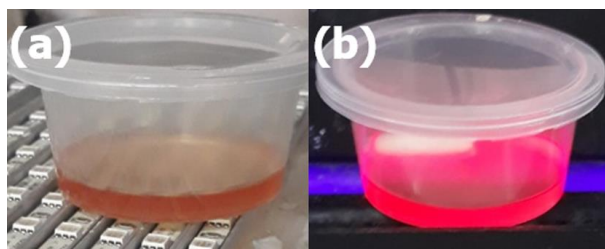
Hình 3: (a) Ảnh chụp mẫu nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ sau khi sấy khô. (b) Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu bột chế tạo được

Với mục đích kiểm tra sự tác động của dung môi đến độ bền của mẫu, chúng tôi tiến hành loại bỏ dung môi bằng cách sấy mẫu dung dịch ở 60°C và thổi khí N_2 . Cuối cùng, các hạt nano ở dạng khô bám lên thành lọ thủy tinh, chúng thể hiện độ bền màu và giữ được khả năng phát quang trong nhiều tháng (xem hình 3). Phổ nhiễu xạ tia X mẫu bột cũng cho thấy việc hình thành các tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ cấu trúc

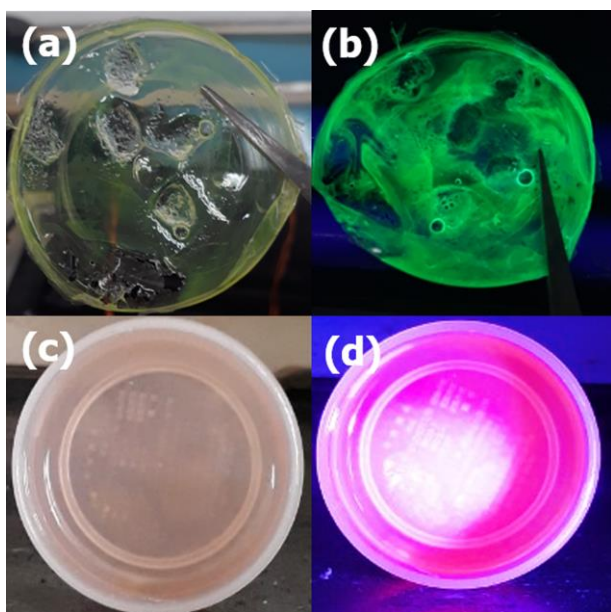
cubic với các đỉnh nhiễu xạ (100), (200), (210) và (211) phù hợp với các công bố trước đó [5].

Tương tự như quy trình chế tạo dung dịch chứa hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$, các hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ phát quang màu đỏ đã được chế tạo bằng cách thay thế các tiền chất $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Br}$ và PbBr_2 bằng $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ và PbI_2 .

Dung dịch sau khi chế tạo có màu nâu nhạt và khi chiếu sáng dưới nguồn đèn UV 400 nm, chúng phát ra ánh sáng màu đỏ. Tương tự như dung dịch chứa hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, chúng cũng nhanh chóng bị phân hủy và mất khả năng phát quang, thậm chí là trong vài giờ sau khi chế tạo (xem hình 4).



Hình 4. Ảnh chụp mẫu nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ sau khi chế tạo dưới ánh sáng ban ngày (a) và đèn UV (b)

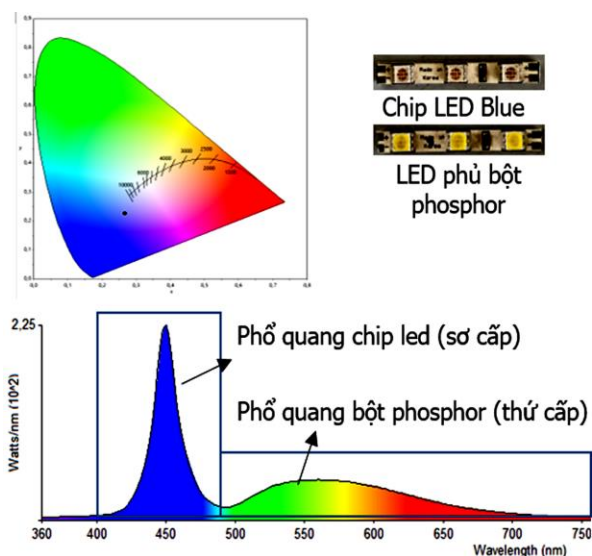


Hình 5. Ảnh chụp mẫu composite nano tinh thể $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($X = \text{Br}, \text{I}$) dưới ánh sáng ban ngày và tia UV phát ánh sáng xanh lục (a), (b) và đỏ (c), (d) trên nền nhựa PMMA

Để chế tạo được tấm composite chứa nano tinh thể phát quang $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$, tiến hành hòa tan nhựa PMMA trong dung môi toluene và đưa vào dung dịch chứa hạt nano tinh thể. Sau khi sấy chân không bằng máy bơm màng ở áp suất ~ 10 torr trong 5h, ta thu được các tấm nhựa composite phát quang màu xanh lá cây và màu đỏ như quan sát trong hình 5.

3.2. Phân tích phổ màu của đèn LED

Để phân tích phổ phát xạ của đèn Led, chúng tôi tiến hành đo quang phổ của đèn với sensor quang đặt trong hệ cầu tích phân, sau đó phân tích bằng phần mềm Color Calculator 6.33.



Hình 6. Phổ màu của đèn Blue LED phủ bột huỳnh quang YAG:Ce thương mại được phân tích bằng phần mềm Color Calculator 6.33

Để đánh giá chất lượng của các bột huỳnh quang, chúng tôi quan tâm đến đại lượng hiệu suất chuyển đổi. Đây là đại lượng được tính dựa trên khả năng phát xạ ánh sáng thứ cấp khi nhận được ánh sáng kích thích là ánh sáng sơ cấp vùng xanh lam từ chip LED chiếu tới (xem hình 6):

$$H(\%) = \frac{R}{B_o - B_i} \times 100\%$$

Trong đó:

H: Hiệu suất chuyển đổi của bột phosphor;

R: Công suất phát xạ thứ cấp của LED sau khi phủ bột;

B₀: Công suất phát xạ của chip blue LED ban đầu;

B₁: Công suất phát xạ vùng xanh lam của LED sau khi phủ bột.

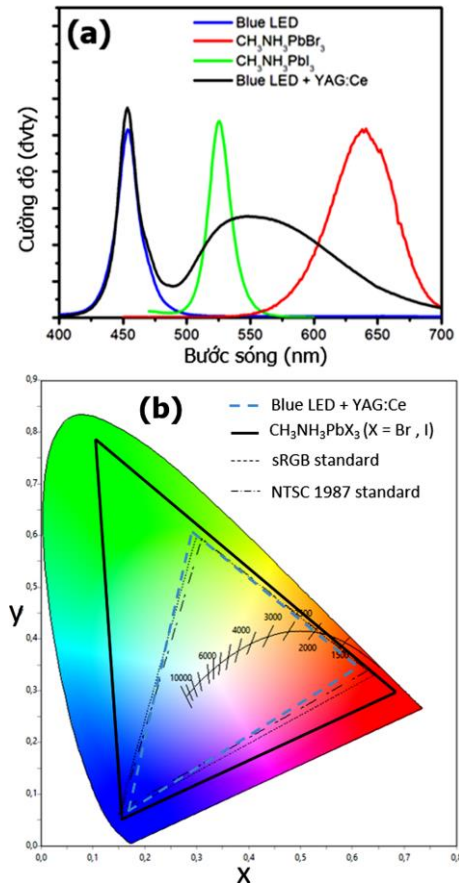
Phổ chip led (400-500 nm), phổ phát quang của bột (500-700 nm) và hiệu suất chuyển đổi được trình bày chi tiết trong bảng 1 và hình 6. Kết quả thu được cho thấy, hiệu suất chuyển đổi tốt nhất thu được là 62% đối với mẫu phủ 2,2 μ l dung dịch keo chứa 50% bột YAG:Ce thương mại. Bên cạnh đó, chỉ số hoàn màu CRI cũng đạt được là 83 và nhiệt độ màu là 13.060 K.

Bảng 1. So sánh thông số hoạt động của đèn LED blue phủ bột YAG:Ce thương mại và hạt nano perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (Br, I)

Mẫu	H (%)	CRI	CCT (K)
Blue LED + Y ₁	60	71	38.673
Blue LED + Y ₂	62	83	13.060
Blue LED + Y ₃	54	74	5.375
Blue LED + $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$	41	70	12.880

Tiếp theo, khi tiến hành đo phổ huỳnh quang của LED Blue phủ các hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (X = Br, I), chúng tạo ra nguồn sáng với ba màu Red, Green và Blue. Khi so sánh với LED ánh sáng trắng Blue LED + YAG:Ce, chúng thể hiện các màu xanh lục và đỏ tách biệt trong khi LED Blue + YAG:Ce chỉ thể hiện một dải phổ rộng từ 500 đến 700 nm, cường độ vùng ánh sáng đỏ (từ 600-700 nm) là thấp và không điều khiển được. Mặc dù hiệu suất phát quang và chỉ số hoàn màu thấp hơn so với bột YAG:Ce thương mại (H ~ 41%, CRI ~ 70), các nghiên cứu chỉ ra rằng, chúng có thể cải thiện hơn nữa để tiến gần hơn với các ứng dụng

thương mại [5]. Tiềm năng ứng dụng của chúng còn được thể hiện bằng chỉ số về độ rộng gam màu được thể hiện như trong hình 7.



Hình 7. (a) Phổ huỳnh quang của chip LED GaN 450 nm, hạt nano $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ và $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (b) phân bố gam màu của nguồn sáng trong hệ tọa độ màu CIE 1931

Tọa độ màu được xác định bằng cách sử dụng phần mềm Color Calculator 6.33. Khi so sánh độ rộng gam màu theo các chuẩn hiện thị như sRGB và NTSC 1987 trong hệ tọa độ màu CIE 1931, hệ LED blue+ YAG: Ce cho thấy độ bao phủ xấp xỉ 100%. Trong khi đó phổ màu của hệ Blue LED + $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ lên đến gần 150%. Kết quả này cho thấy tiềm năng của chúng trong các ứng dụng LED chiếu sáng và hiển thị chất lượng cao.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành chế tạo thành công hạt nano tinh thể

$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) và phân tán chúng trong nền PMMA để tạo thành tấm composite phát quang màu đỏ và màu xanh lục ở các bước sóng 520 nm và 640 nm. Khi kết hợp với chip LED blue 450 nm, chúng tạo thành nguồn sáng trắng với độ rộng gam màu vượt trội so với các chuẩn gam màu hiển thị tiêu chuẩn trước đây như sRGB và NTSC 1987 trong hệ

tọa độ màu CIE 1931. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của chúng làm tấm chuyển đổi màu sắc ứng dụng cho LED.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo (MOET) đề tài mã số “B2020_BKA_25_CTVL”

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Yang, H. Wu, K. Williams, Y. Cao, “Synthesis of CdSe and CdTe Nanocrystals without Precursor Injection”, *Angewandte Chemie*, 117(41), 6870–6873 (2005).
- [2] P. Wang, J. Xie, K. Xiao, H. Hu, C. Cui, Y. Qiang, P. Lin, V. Arivazhagan, L. Xu, Z. Yang, Y. Yao, T. Lu, Z. Wang, X. Yu, D. Yang, “ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ Quantum Dot-Induced Nucleation for High Performance Perovskite Light-Emitting Solar Cells”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10, 26, 22320–22328 (2018)
- [3] Y. Suh, T. Kim, . Choi, C. Lee, J. Park, “High-Performance CsPbX_3 Perovskite Quantum-Dot Light-Emitting Devices via Solid-State Ligand Exchange”, *ACS Applied Nano Materials* 1, 2, 488–496 (2018).
- [4] S. Zou, Y. Liu, J. Li, C. Liu, R. Feng, F. Jiang, Y. Li, J. Song, H. Zeng, M. Hong, X. Chen, “Stabilizing Cesium Lead Halide Perovskite Lattice through Mn(II) Substitution for Air-Stable Light-Emitting Diodes”, *J. Am. Chem. Soc.*, 139, pp. 11443–11450 (2017)
- [5] R. Surabhi, A. Batra, K. Bhat, A. Chivery, S. Uba, B. Bohara, A. Alomari, “Growth and characteristics of perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ crystal for optoelectronic applications”, *FERROELECTRICS*, VOL. 533, 72–81 (2018)

Thông tin liên hệ:

Dương Thanh Tùng

Điện thoại: 0342748609 - Email: tung.duongthanh@hust.edu.vn

Viện Tiên tiến khoa học và công nghệ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

