TÍNH CHẤT PHÁT QUANG CỦA ION Dy^{3+} TRONG THỦY TINH TeO_2-B_2O_3-ZnO-Na_2O

OPTICAL PROPERTIES OF ION Dy^{3+} IN TeO_2-B_2O_3-ZnO-Na_2O GLASS

Trần Thị Hồng*

Trường Đại học Sư phạm - Đại học Đà Nẵng[1]

*Tác giả liên hệ: tthong@ued.udn.vn

(Nhận bài: 01/9/2022; Chấp nhận đăng: 31/10/2022)

Tóm tắt - Thủy tinh TeO_2 - B_2O_3 - ZnO - Na_2O - Dy_2O_3 được chế tạo bằng phương pháp nóng chảy. Cấu trúc của vật liệu được xác định thông qua phép đo nhiễu xạ tia X. Tính chất quang của vật liệu được nghiên cứu thông qua phổ kích thích và phổ phát quang. Phổ phát quang của vật liệu cho thấy, hai dải có cường độ mạnh, tương ứng dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{15/2}$ (483 nm) trong vùng xanh dương và $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$ (575 nm) trong vùng vàng. Dựa vào kết quả đo phổ phát quang, khi được kích thích bởi bước sóng 385 nm thì tọa độ màu của vật liệu đã được xác định. Từ kết quả cho thấy, vật liệu thủy tinh TeO_2 - B_2O_3 – ZnO - NaO_2 pha tạp Dy^{3+}có khả năng ứng dụng trong chế tạo LED trắng, các thiết bị quang tử và ứng dụng hiển thị.

Từ khóa - ion Dy^{3+}; đất hiếm; thủy tinh borate-tellurite; tính chất quang; LED trắng; TeO_2 – B_2O_3

Abstract - TeO_2 - B_2O_3 – ZnO - Na_2O - Dy_2O_3 glasses were made by melting method. The structure of materials was determined by X-ray diffraction measurement. Optical properties were studied by emission and excitation spectra. The emission spectra showed the intense emission in the 483 nm (blue region) and 575 nm (yellow region) corresponding transition of $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{15/2}$ and $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$ respectively. From the results of emission spectra, we determined the color coordinates of all samples excited by 385nm wavelength. The results indicated that, TeO_2 - B_2O_3 – ZnO - Na_2O glasses doped Dy^{3+} ions can be applied in white - LED, photonic devices, and display applications.

Key words - ion Dy^{3+}; rare earth; borate-tellurite glass; optical properties; WLED; TeO_2 – B_2O_3

1. Giới thiệu

Những năm gần đây, các nhà khoa học đang tập trung tìm kiếm các vật liệu mới ứng dụng vào trong đời sống. Đặc biệt, vật liệu thủy tinh pha tạp các nguyên tố đất hiếm đang được quan tâm nhiều nhất. Bởi nó có rất nhiều ứng dụng quan trọng trong các lĩnh vực như: Chiếu sáng, truyền thông, thiết bị khuếch đại, thiết bị hiển thị, laser,… [1-17]. Trong số các thủy tinh thì thủy tinh borat nổi bật bởi nó có nhiều tính chất ưu việt như: Dễ dàng pha tạp các nguyên tố đất hiếm, nhiệt độ nóng chảy thấp, ổn định nhiệt cao, độ trong suốt của thủy tinh cao [1-6]. Tuy nhiên, thủy tinh này lại hút ẩm mạnh, theo thời gian thì chiết suất và một số các tính chất quang của nó lại thay đổi, cũng như năng lượng phonon của nó khá lớn. Nhằm giảm thiểu các nhược điểm của thủy tinh borat thì người ta đã bổ sung vào nền một số oxit như PbO_2, Bi_2O_3, TeO_2… để từ đó tạo ra một loại thủy tinh có các tính chất như: Độ bền hóa học cao, sức bền cơ học tốt và hiệu suất phát quang cao [2, 5, 10, 11, 15]. Đặc biệt, oxit TeO_2 có năng lượng phonon thấp. Do đó, việc bổ sung oxit TeO_2 vào trong thủy tinh borat sẽ làm giảm năng lượng phonon của thủy tinh này. Hay nói cách khác là nó làm giảm các quá trình phục hồi đa phonon trong các ion đất hiếm, vì vậy làm hiệu suất phát quang của vật liệu tăng lên [2, 5, 15, 17].

Trong số các ion đất hiếm thì ion Dy^{3+} được sử dụng khá nhiều trong các ứng dụng thực tế. Đặc biệt phổ phát quang của Dy^{3+} xuất hiện hai dải phát xạ khá mạnh và khá đơn sắc, sự pha trộn hai dải phát xạ này theo một tỉ lệ thích hợp sẽ tạo ra ánh sáng trắng. Ngoài ra, nhờ sự phụ thuộc mạnh và có qui luật vào nền của chuyển dời $^4F_{9/2} – ^6H_{13/2}$ nên ion Dy^{3+} có thể được sử dụng như một đầu dò để nghiên cứu các đặc điểm của trường ligand [2, 4, 13, 15].

Với sự kết hợp các ưu điểm của B_2O_3 và TeO_2, cùng với vai trò quan trọng của ion Dy^{3+} trong lĩnh vực quang học thì những năm gần đây có khá nhiều các nghiên cứu về tính chất quang của ion Dy^{3+} trong các nền thủy tinh B_2O_3 và TeO_2 có các thành phần nền khác nhau [2, 4, 7, 10-17]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về tính chất quang của vật liệu thủy tinh với các thành phần TeO_2 - B_2O_3 - ZnO- Na_2O – Dy_2O_3 ứng dụng trong chế tạo LED trắng chưa được nghiên cứu. Vì vậy, nghiên cứu chế tạo và tính chất quang của thủy tinh này là vấn đề có tính thiết thực và tính thời sự.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu chế tạo và tính chất quang của thủy tinh TeO_2-B_2O_3-ZnO-NaO_2 - Dy_2O_3 từ đó định hướng ứng dụng của vật liệu này.

2. Thực nghiệm

Vật liệu thủy tinh TeO_2-B_2O_3-ZnO-NaO_2- Dy_2O_3 được chế tạo bằng phương pháp nóng chảy. Bảng 1 trình bày kí hiệu mẫu nghiên cứu và tỉ lệ các hóa chất ban đầu.

Bảng 1. *Kí hiệu và thành phần các hóa chất trong các mẫu thủy tinh*

STT	Kí hiệu	TeO_2	$H_3B_2O_3$	ZnO	$Na_2C\,O_3$	Dy_2O_3
1	TBZND-01	59,9	20	10	10	0,1
2	TBZND-05	59,5	20	10	10	05
3	TBZND-10	59,0	20	10	10	1.0
4	TBZND-15	58,5	20	10	10	1,5
5	TBZND-20	58,0	20	10	10	2,0
6	TBZND-25	57,5	20	10	10	2,5

Quá trình chế tạo mẫu được thực hiện trên thiết bị lò điện Carbolite (Anh), thông số nhiệt cực đại 1400 ^{0}C. Các

[1] The University of Danang - University of Science and Education (Tran Thi Hong)

bước thực hiện như sau:

- *Bước 1*: Các hóa chất được trộn và nghiền ở nhiệt độ phòng trong môi trường không khí.

- *Bước 2:* Sấy hỗn hợp đã được nghiền trong 24 giờ ở nhiệt độ 100°C.

- *Bước 3:* Hỗn hợp được cho vào lò nung và nung ở nhiệt độ 1300°C trong thời gian 2 giờ trong môi trường không khí. Sau đó hạ từ từ xuống nhiệt độ phòng.

- *Bước 4:* Thủy tinh thu được ở bước 3 được ủ 5 giờ ở nhiệt độ 350°C.

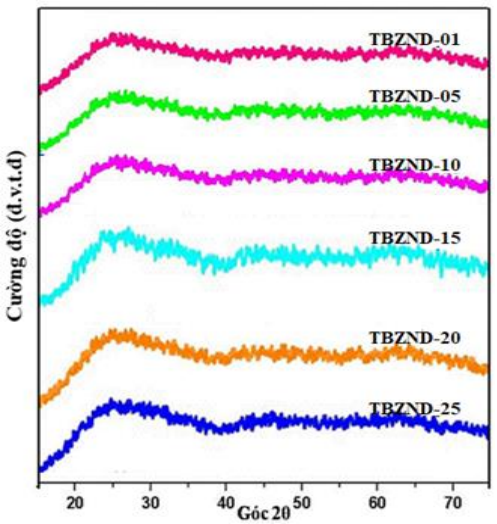
-*Bước 5:* Hoàn thiện vật liệu thủy tinh thu được bằng cách cắt, mài và đánh bóng.

Vật liệu sau khi chế tạo được kiểm tra cấu trúc bằng nhiễu xạ tia X. Các phép đo phổ kích thích và phổ phát quang được thực hiện tại Trung tâm Tính toán hiệu năng cao và Khoa học vật liệu thuộc Khoa Vật lí, Trường Đại học Sư phạm – Đại học Đà Nẵng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các đặc tính về cấu trúc

Phép đo nhiễu xạ tia X của các mẫu nghiên cứu được thực hiện trên máy Bruker D8 Advance Eco với nguồn Cu-Kα (λ = 1,54056Å). Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu ghi trong vùng từ 15^0 đến 75^0 được trình bày tương ứng với các đường cong trong Hình 1.



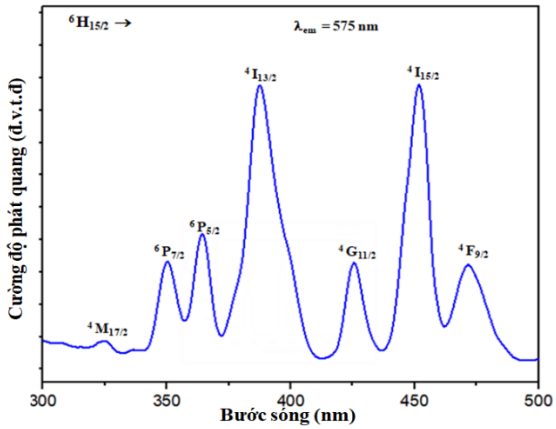
Hình 1. *Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20, TBZND-25*

Từ Hình 1 cho thấy, các mẫu có giản đồ nhiễu xạ tia X là một dải rộng, có các vùng nhiễu xạ lớn và có cực đại trong khoảng góc 25°. Kết quả này đã chứng tỏ rằng, với qui trình chế tạo mẫu của nhóm tác giả thì các tiền chất ban đầu đã hoàn toàn nóng chảy và vật liệu chế tạo có cấu trúc thủy tinh [1, 3, 7, 11, 16].

3.2. Các tính chất quang học

3.2.1. Phổ kích thích phát quang

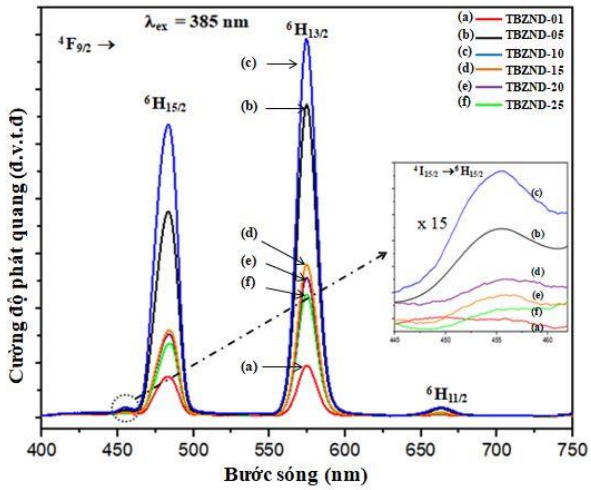
Phổ kích thích phát quang tại nhiệt độ phòng của mẫu TBZND-10, được thực hiện trên hệ đo Horiba Fluorolog 3 FL3-22 và được trình bày ở Hình 2. Phổ kích thích phát quang này cho thấy, khi thay đổi bước sóng kích thích trong vùng từ 300 nm đến 500 nm thì cường độ của chuyển dời $^4F_{9/2} - {}^6H_{13/2}$ (ứng với bức xạ 575 nm) của ion Dy^{3+} thay đổi. Phổ kích thích của Dy^{3+} trong vùng bước sóng từ 300 nm đến 500 nm bao gồm 7 dải, ứng với các dịch chuyển từ trạng thái cơ bản $^6H_{15/2}$ lên các mức $^4M_{17/2}$ (325 nm), $^6P_{7/2}$ (350 nm), $^6P_{5/2}$ (365 nm), $^4I_{13/2}$ (385 nm), $^4G_{11/2}$ (425 nm), $^4I_{15/2}$ (452 nm) và $^4F_{9/2}$ (472 nm). Các dịch chuyển này chủ yếu là các chuyển dời electron từ mức năng lượng $^6H_{15/2}$ lên các mức cao hơn. Đây cũng là các chuyển dời f – f đặc trưng trong ion Dy^{3+} [4, 7, 11, 12, 17]. Mặt khác, dựa vào kết quả thu được từ phổ kích thích, cho thấy các vùng kích thích này tương ứng với các vùng phát xạ của các LED và laser hiện nay. Đây là một lợi thế rất lớn đối với các vật liệu phát quang.



Hình 2. *Phổ kích thích phát quang của ion Dy^{3+} của mẫu TBZND-10 (λ_{em} = 575 nm)*

3.2.2. Phổ quang phát quang

Hình 3 trình bày phổ phát quang của ion Dy^{3+} trong mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20 và TBZND-25 với bước sóng kích thích 385 nm được thực hiện ở nhiệt độ phòng. Tất cả các mẫu đều có phổ phát quang là các vùng phát xạ, có đỉnh phát xạ tại 483 nm, 575 nm và 664 nm tương ứng với dịch chuyển là $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$, $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$, $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ [11-17].

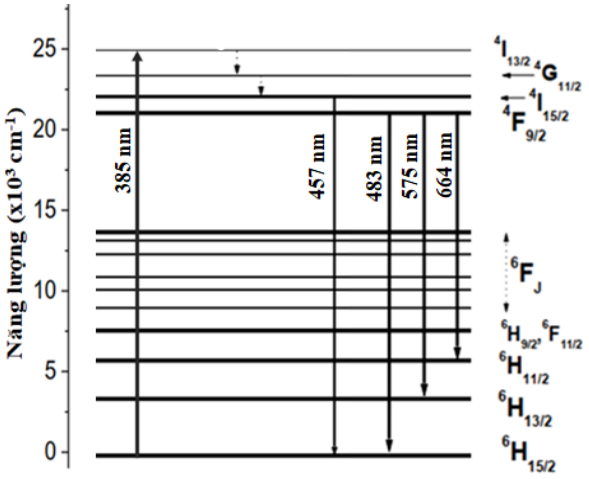


Hình 3. *Phổ phát quang của ion Dy^{3+} trong mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20, TBZND-25 (λ_{ex} = 385 nm)*

Dựa vào kết quả đo phổ kích thích phát quang và phổ phát quang, nhóm tác giả xây dựng được một số mức năng lượng trong giản đồ năng lượng của ion Dy^{3+} trong nền

thủy tinh borate-tellurite. Giản đồ này được trình bày trên Hình 4. Từ giản đồ các mức năng lượng này có thể giải thích các chuyển dời không phát xạ và phát xạ của ion Dy^{3+} trong nền thủy tinh borate-tellurite [4, 10, 14, 16].

Từ Hình 3 cho thấy, mặt dù thay đổi nồng độ pha tạp của ion Dy^{3+} trong thủy tinh borate-tellurite nhưng hình dạng phổ, độ rộng của phổ và vị trí đỉnh phát xạ hầu như không thay đổi. Điều này có thể được giải thích là do trong ion Dy^{3+} thì các electron hóa trị của nó ở lớp $4f^9$ không bị tác dụng bởi môi trường bên ngoài vì nó được bảo vệ bởi các lớp $5s^2$ và $5p^6$. Hai dải có cường độ mạnh ứng với dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$ (483 nm) trong vùng xanh dương và $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ (575 nm) trong vùng vàng sẽ quyết định màu sắc của ánh sáng phát quang. Theo các tác giả [4, 13, 15] thì cường độ phát quang của dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ tùy thuộc vào nền thủy tinh nên nó được gọi là chuyển dời siêu nhạy, ngược lại thì cường độ phát quang của dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$ lại ít thay đổi theo nền thủy tinh. Trong nghiên cứu của nhóm tác giả, cường độ hai chuyển dời này có sự thay đổi, sự thay đổi này không phải do nền mà do nồng độ Dy^{3+}. Cụ thể, khi tăng nồng độ Dy^{3+} đến 1% mol thì cường độ phát quang tăng, tiếp tục tăng nồng độ Dy^{3+} thì cường độ phát quang giảm. Đây chính là hiện tượng dập tắt cường độ phát quang do nồng độ, hay nói cụ thể hơn đó chính là do sự truyền năng lượng giữa các ion Dy^{3+}, vấn đề này nhóm tác giả sẽ trình bày chi tiết hơn trong một nghiên cứu khác khi sử dụng mô hình truyền năng lượng Inokuti-Harayama kết hợp với lí thuyết Judd – Ofelt để xác định các thông số của quá trình truyền năng lượng cũng như cơ chế tương tác giữa các ion. Cũng theo các tác giả [4, 13, 15] đã chỉ ra, vùng phát xạ màu vàng là cơ chế chính trong phổ phát quang của ion Dy^{3+} nằm trong môi trường có đối xứng thấp, điều này cũng phù hợp trong nghiên cứu của nhóm tác giả khi Dy^{3+} nằm trong nền thủy tinh borate- tellurite.

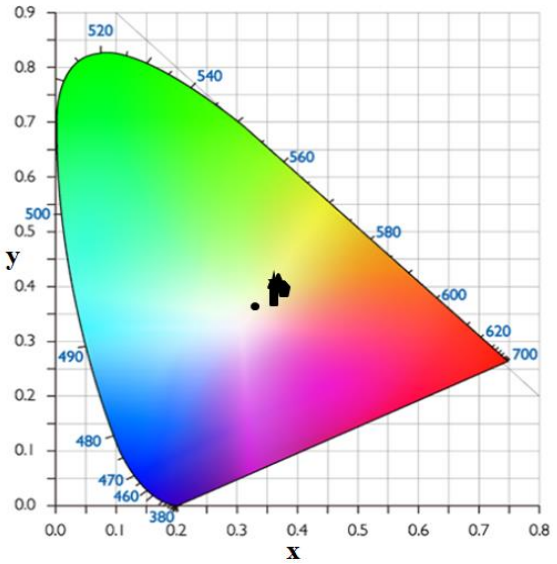


***Hình 4**. Giản đồ một số mức năng lượng của ion Dy^{3+} trong thủy tinh borate-tellurite*

Bằng cách phóng đại phổ, nhóm tác giả nhận thấy, bên cạnh các dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_J$ có cường độ lớn thì còn có dịch chuyển $^4I_{15/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$ (tương ứng với phát xạ vùng 457 nm) có cường độ yếu. Hiện tượng xuất hiện dải phát xạ có cường độ yếu này, có thể giải thích như sau: Dựa vào giản đồ ở Hình 4 cho thấy, ion Dy^{3+} khi được kích thích bởi bức xạ 385 nm thì dịch chuyển từ mức năng lượng $^6H_{15/2}$ lên trạng thái có mức năng lượng $^4I_{13/2}$. Từ trạng thái $^4I_{13/2}$ này thì ion Dy^{3+} ngay lập tức dịch chuyển không bức xạ xuống các mức năng lượng thấp hơn do khoảng cách giữa các mức năng lượng này khoảng 500 cm^{-1} [2, 4, 7, 10]. Mặt khác, do khoảng cách giữa giữa hai mức năng lượng $^4I_{15/2}$ và $^4F_{9/2}$ khoảng 900 cm^{-1} nên khi dịch chuyển đến mức $^4I_{15/2}$ thì tốc độ hồi phục bị chậm lại vì lúc này cơ chế đa phonon xảy ra. Tuy nhiên, vì khoảng cách giữa hai mức năng lượng $^4I_{15/2}$ và $^4F_{9/2}$ nhỏ nên do phân bố nhiệt thì các điện tử ở mức $^4F_{9/2}$ cũng dễ dàng lên mức $^4I_{15/2}$. Do đó, các electron tập trung ở mức $^4I_{15/2}$, từ đó dịch chuyển phát quang về mức năng lượng $^6H_{15/2}$ và tương ứng thu được bức xạ 457 nm.

3.2.3. Tọa độ màu của vật liệu khi được kích thích bởi bức xạ 385 nm

Như phân tích ở phần phổ phát quang ở trên, đối với vật liệu thủy tinh nghiên cứu của nhóm tác giả khi pha tạp ion Dy^{3+} thì có hai vùng phát quang có cường độ mạnh tương ứng với dịch chuyển $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$ (483 nm) trong vùng xanh dương và $^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ (575 nm) trong vùng vàng. Sự tồn tại của hai dải sáng khá đơn sắc trong phổ phát quang của ion Dy^{3+} và hai dải này có đường nối đi qua vùng ánh sáng trắng của giản đồ CIE 1931 cho thấy, vật liệu thủy tinh nghiên cứu của nhóm tác giả khi pha tạp ion Dy^{3+} có thể chế tạo làm đèn chiếu sáng. Hình 5 mô tả tọa độ màu của bức xạ phát ra lần lượt từ mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20 và TBZND-25 ứng với bước sóng kích thích 385 nm. Bảng 2 trình bày tọa độ màu của các mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20 và TBZND-25.



***Hình 5.** Tọa độ màu của các mẫu thủy tinh khi được kích thích bởi bước sóng 385 nm*

***Bảng 2.** Tọa độ màu của các mẫu TBZND-01, TBZND-05, TBZND-10, TBZND-15, TBZND-20 và TBZND-25*

Mẫu	Tọa độ màu (khi kích thích λ_{ex}=385nm)	Kí hiệu
TBZND-01	(0,3337698; 0,3655160; 0,3007142)	●
TBZND-05	(0,3587227; 0,4016793; 0,2395980)	▲
TBZND-10	(0,3670883; 0,4072451; 0,2256666)	◆
TBZND-15	(0,3667417; 0,4062052; 0,2270530)	★
TBZND-20	(0,3606564; 0,3987027; 0,2406409)	■
TBZND-25	(0,3644664; 0,4025095; 0,2330240)	⬟

So sánh tọa màu ở vật liệu nghiên cứu của nhóm tác giả khi được kích thích ở bức xạ 385 nm với tọa độ vùng ánh sáng trắng trên giản đồ CIE 1931. Có thể khẳng định, vùng phát quang của ion Dy^{3+} trong vật liệu nghiên cứu của nhóm tác giả hầu như nằm sát biên của vùng ánh sáng trắng. Đặc biệt với mẫu TBZND-01 khi được kích thích bởi bức xạ 385 nm thì có tọa độ nằm khá gần với điểm sáng trắng trong các thiết bị chiếu sáng [4, 7, 11, 13, 17]. Điều này thể hiện tiềm năng vật liệu thủy tinh borate-tellurite khi pha tạp ion Dy^{3+} trong việc chế tạo điôt phát quang ánh sáng trắng.

4. Kết luận

Vật liệu TeO_2 - B_2O_3-ZnO-Na_2O – Dy_2O_3 đã được chế tạo bằng phương pháp nóng chảy. Cấu trúc của vật liệu đã được xác định qua giản đồ nhiễu xạ tia X. Dựa vào kết quả khảo sát tính chất quang thì tọa độ màu của vật liệu đã được xác đinh. Từ các kết quả thu được, nhóm tác giả nhận thấy, vật liệu thủy tinh TeO_2 - B_2O_3-ZnO-Na_2O - Dy_2O_3 có thể dùng để chế tạo điôt phát quang ánh sáng trắng. Trong thời gian tới, nếu có điều kiện nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu sâu rộng hơn như: Thay đổi tỉ lệ hợp phần thành phần mạng nền TeO_2, B_2O_3; Các thành phần làm biến đổi mạng ZnO, Na_2O; Thay đổi nhiệt độ nung, nhiệt độ ủ và thời gian ủ cũng như thay đổi tỉ lệ pha tạp, … để tìm ra các trị số tối ưu của vật liệu thủy tinh này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2021-DN03-02.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nisha Deopa, A.S.Rao, Ankur Choudhary, Shubham Saini, Abhishek Navhal, M.Jayasimhadri, D.Haranath, G.Vijaya Prakash, "Photoluminescence investigations on Sm^{3+} ions doped borate glasses for tricolor w-LEDs and lasers", *Materials Research Bulletin*, 100, 2018, 206-212.

[2] N.Ami Hazlin, M.K.Halimah, F.D.Muhammad, "Absorption and emission analysis of zinc borotellurite glass doped with dysprosium oxide nanoparticles for generation of white light", *Journal of Luminescence*, 196, 2018, 498-503.

[3] A.M.Hamza, M.K.Halimah, F.D.Muhammad, et al. "Structural, optical and thermal properties of Er^{3+}-Ag codoped bio-silicate borotellurite", *Results in Physics*, 14, 2019,102457-102464.

[4] Nisha Deopa, A.S.Rao, "Photoluminescence and energy transfer studies of Dy^{3+} ions doped lithium lead alumino borate glasses for w-LED and laser applications", *Journal of Luminescence*, 192, 2017, 832-841.

[5] Tran Thi Hong, Phan Tien Dung, Vu Xuan Quang, "Luminescence studies of Eu^{3+}ions in tellurite glass ceramics", *International Journal of Modern Physics B*, 33, 2019, 1950179-1950191.

[6] D.V. Krishna Reddy, Sk Taherunnisa, A.Lakshmi Prasanna, T.Sambasiva Rao, N.Veeraiah, M.Rami Reddy, "Enhancement of the red emission of Eu^{3+} by Bi^{3+} sensitizers in yttrium alumino bismuth borosilicate glasses", *Journal of Molecular Structure*, 1176, 2019, 133-148.

[7] C.Sumalatha, Ramachari Doddoji**,** M. Venkateswarlu, et al. "White light emission from Dy^{3+}-doped ZnO + Bi_2O_3 + BaF_2 + B_2O_3 + TeO_2 glasses: Structural and spectroscopic properties", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 240, 2020, 118568 – 118575.

[8] Eke, Canel, "Radiation attenuation properties of B_2O_3-ZnO-Al_2O_3-Bi_2O_3-Sm_2O_3 glasses", *Radiochimica Acta*, 109, 2021, 851-860.

[9] M. H. M. Zaid, K.A.Matori, S.N.Nazrin, M.N.Azlan, R.Hisam, S.M.Iskandar, "Synthesis, mechanical characterization and photon radiation shielding properties of ZnO–Al_2O_3–Bi_2O_3–B_2O_3 glass system",*Optical Materials*, 122, 2021, 111640-111652.

[10] S.Mukamil, N.Shahid, C.Sarumala, S.A.Khattak, S.M.Wabaidur, M.A.Islam, I.Khan, I.Ullah, J.Kaewhao, G.Booh, " Spectroscopic investigation of dysprosium doped bismuth-borate glasses for white light application", *Optical Material*, 127, 2022, 112291 – 112307.

[11] S.Hemalatha, M.Nagaraja, A.Mashu, N.Srinatha, "Rare earth Dy^{3+}-ion inducced near white light emission in sodium-zinc-borate glasses*", Results in Optics*, 9, 2022, 100275-100386.

[12] Shivani Singla, Sandeep Kaur, Nancy Mahendru, Om Prakash Pandey, Neetu Chopra, Gopi Sharma, "Enhanced photoluminescence in Dy^{3+}/Au co-doped bismuth borosilicate glass", *Optical Materials*,126, 2022, 112236-112245.

[13] S.Mukamil, C.Sarumaha, S.M.Wabaidur, M.A.Islam, S.A.Khattak, S.Kothan, M.Shoaib, I.Khan, I.Ullah, J.Kaewhao, G.Rooh, "Investigation of color tunability of Dy^{3+} & Eu^{3+} Co-doped bismuth borate glasses for lighting applications", *Materials Chemistry and Physics*, 288, 2022, 126422 -126434.

[14] K. Kiran Kumar, Ramachari Doddoji, V.B. Sreedhar, Nguyen Thi Quynh Lien, Ho Van Tuyen, Vasudeva Reddy Minmam Reddy, "Dy^{3+} -doped P_2O_5-Al_2O_3-K_2O-CaF_2- LiF glasses: Thermal, spectroluminescence and photometric properties", *Bulletin Materials Science*, 45, 2022, 456-467.

[15] Ch.B.Annapurna Devi, Sk.Mahamuda, M.Venkateswarlu, K.Swapna, A.Srinivasa Rao, G.Vijaya Prakash, "Dy^{3+} ions doped single and mixed alkali fluoro tungsten tellurite glasses for Laser and white LED applications", *Optical Materials*, 62, 2016, 567-577.

[16] I. Khan, M. Shoaib, G. Rooh, J. Kaewkhao, S.A. Khattak, T. Ahmad, F. Zaman, Ataullah, M. Tufail, "Investigation of luminescence properties of Dy^{3+} doped LiF-Na_2O-K_2O-B_2O_3 glasses for white light generation", *J. Alloy. Comp*. 805, 2019, 896–903.

[17] M.K.Komal Poojha, M.Vijayakumar, P.Matheswaran, E. Sayed Yousef, K.Marimuthu, "Modifier's influence on spectral properties of dysprosium ions doped lead boro-telluro-phosphate glasses for white light applications", *Optics& Laser Technology*,156, 2022, 108585-108584.