

# Nghiên cứu chế tạo vật liệu nano ZnO pha tạp 1 % mol Co<sup>2+</sup> bằng phương pháp thủy nhiệt - khảo sát các đặc tính cấu trúc và tính chất quang của vật liệu

Tạ Ngọc Dũng<sup>1</sup>, Lưu Thị Hồng<sup>3</sup>, Trịnh Xuân Anh, Nguyễn Thị Lan<sup>2</sup>, Huỳnh Đăng Chính<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Kỹ thuật Hóa học, Đại học Bách Khoa Hà Nội, Số 1 Đại Cồ Việt, TP. Hà Nội

<sup>2</sup> Viện Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội, Số 1 Đại Cồ Việt, TP. Hà Nội

<sup>3</sup> Viện Vật liệu xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân Trung, quận Thanh Xuân, TP. Hà Nội

## TỪ KHOÁ

ZnO pha tạp Co<sup>2+</sup>  
ZnO cấu trúc nano  
Oxit kẽm  
Chất bán dẫn dị thể  
Đặc tính vật liệu

## TÓM TẮT

Thực nghiệm này đã nghiên cứu chế tạo vật liệu nano ZnO pha tạp ion 1 % mol Co<sup>2+</sup> (1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO) theo phương pháp thủy nhiệt. Các đặc tính của vật liệu đã được đo bằng các phương pháp vật lý như: XRD, SEM, EDX, phổ hấp thụ UV-vis rắn. Kết quả đo đặc tính của vật liệu cho thấy, vật liệu chế tạo có kích thước nano-mét, cấu trúc wurtzite lục giác. Vật liệu nano 1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO đạt được kích thước hạt tinh thể trung bình giảm và dịch chuyển bờ hấp thụ về phía bước sóng ánh sáng nhìn thấy ( $\lambda \approx 430 - 450$  nm) so với của vật liệu nano ZnO. Kích thước tinh thể trung bình (theo Debye-scherrer) của mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO là 26,28 nm và hình thái hạt tinh thể có dạng các hạt hình cầu nhỏ đồng đều về kích cỡ. Năng lượng vùng cấm quang của vật liệu nano 1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO được xác định bằng ngoại suy từ đồ thị đạo hàm theo phương trình Kubelka-Munk có giá trị là 3,19 eV.

## KEYWORDS

Co<sup>2+</sup> doped ZnO  
ZnO nanostructure  
Zinc oxide  
Heterosemiconductor  
Materials characterizations

## ABSTRACT

This experiment has studied and fabricated ZnO nanomaterials doped with ions Co<sup>2+</sup> of 1 mol.% (1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO) by hydrothermal method. The material properties have been measured by physical methods such as: XRD, SEM, EDX, solid UV-vis absorption spectra. The results showed that the fabricated material has a nanometer size and a hexagonal wurtzite structure. The 1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO nanomaterials reduced the average crystal size and shift the absorption edge towards the visible light wavelength ( $\lambda \approx 430 - 450$  nm) compared to that of the ZnO nanomaterials. The average crystal size (according to Debye-scherrer) of the 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO sample is 26.28 nm and the crystal morphology is in the form of small spherical particles and uniform in size. The optical band gap energy of 1 %Co<sup>2+</sup>-ZnO nanomaterials is determined by extrapolating from the derivative plot according to the Kubelka-Munk equation and reaching a value of 3.19 eV.

## 1. Giới thiệu

Trong vài thập kỷ gần đây, công nghệ nano đã được nổi lên như một kỹ thuật đầy hứa hẹn trong các lĩnh vực ứng dụng y-sinh-hóa. Trong số các vật liệu nano hiện có, các oxit bán dẫn nano là một trong những loại vật liệu nano được chú ý nghiên cứu cho những ứng dụng này. Một thành viên tương đối nổi bật trong họ các oxit bán dẫn kim loại phải kể đến là kẽm oxit cấu trúc nano (ZnO NPs). ZnO NPs có đặc tính hấp thụ tia cực tím (UV) tuyệt vời, trong suốt đối với ánh sáng nhìn thấy, hoạt tính kháng khuẩn và khả năng chống vi khuẩn nổi trội, tính tương thích sinh học tốt, tương đối ít độc và là nguyên liệu tương đối rẻ [1-5]. ZnO có ba loại cấu trúc tinh thể là cấu trúc lục giác wurtzite, cấu trúc lập phương giả kẽm-zinc-blend và cấu trúc rocksalt. Chất bán dẫn ZnO được đặc trưng bởi năng lượng vùng cấm rộng (3,37 eV) và năng lượng liên kết exciton cao (60 meV). Do vậy nên ZnO cũng là vật liệu được quan tâm nhiều trong những ứng dụng thuộc lĩnh vực quang điện tử và điện tử [6-11]. Trong các công trình nghiên cứu gần

đây đã cho thấy vai trò quan trọng của việc pha tạp vào vật liệu ZnO cấu trúc nano để làm tăng cường các đặc tính kháng khuẩn, tính chất quang, tính chất xúc tác quang- hấp phụ cho xử lý môi trường của vật liệu này. Các chất pha tạp vào ZnO được quan tâm nghiên cứu là các ion kim loại chuyển tiếp hoặc ion kim loại quý (ví dụ: Fe, Co, Cr, Cu, Al, Ag,...). Việc pha tạp các ion kim loại vào vật liệu cấu trúc nano ZnO sẽ làm giảm được kích thước hạt tinh thể của vật liệu, thay đổi hình thái học của vật liệu theo mong muốn, làm tăng cường đặc tính quang của vật liệu là làm tăng độ hấp thụ dịch chuyển vào vùng ánh sáng nhìn thấy [6-15,17-18,20]. Đồng thời với việc pha tạp vào vật liệu ZnO thì phương pháp chế tạo vật liệu cũng được các công trình nghiên cứu quan tâm như: phương pháp sol-gel, sol-gel kết hợp với thủy nhiệt, phương pháp thủy nhiệt, đồng kết tủa, kết tủa hóa học,... các phương pháp chế tạo vật liệu khác nhau cũng góp phần làm thay đổi kích thước tinh thể vật liệu, thay đổi hình thái học vật liệu và làm cải thiện các tính chất của vật liệu [6,7,10,14-17,19,21].

\*Liên hệ tác giả: dung.tangoc@hust.edu.vn

Nhận ngày 29/03/2023, sửa xong ngày 05/05/2023, chấp nhận đăng 13/06/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2023.517>

Trong bài viết này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu chế tạo vật liệu nano ZnO pha tạp 1 % mol Co<sup>2+</sup> bằng phương pháp thủy nhiệt – khảo sát các đặc tính cấu trúc và tính chất quang của vật liệu.

## 2. Thực nghiệm

+ **Hóa chất sử dụng:** Cobalt(II) nitrat hexahydrat (Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 98 %, AR-China); Kẽm nitrat (Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 98 %, AR-China); Natri hydroxide (NaOH, 96 %, AR-China); Nước cất 2 lần.

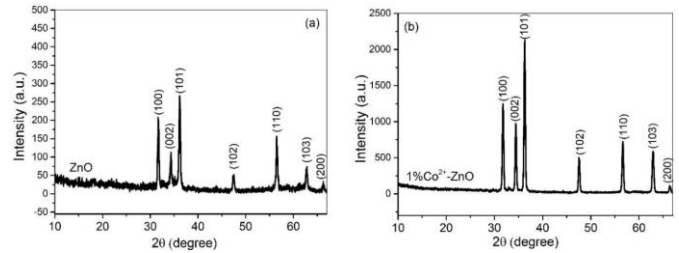
+ **Quy trình thực nghiệm:** Một dung dịch hỗn hợp dung tích 80 ml được pha trộn đồng đều bởi dung dịch muối Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,1M và dung dịch natri hydroxide 0,1M theo tỷ lệ 1:1, đem khuấy đều trên máy khuấy từ trong 20 phút. Sau đó, một lượng muối Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O được thêm vào dung dịch hỗn hợp trên với tỷ lệ theo số mol là 1 % (tỷ lệ số mol của Co<sup>2+</sup> được tính toán so với số mol của Zn<sup>2+</sup> trong dung dịch hỗn hợp). Dung dịch hỗn hợp này lại cho khuấy từ đồng đều tiếp tục trong 30 phút nữa. Tiếp theo, dung dịch hỗn hợp được chuyển vào Teflon dung tích 100 ml và đặt thủy nhiệt ở nhiệt độ 120 °C trong 12 giờ. Hỗn hợp bột nhão sau thủy nhiệt đem lọc, rửa sạch nhiều lần bằng nước cất và cồn tuyệt đối. Bột mịn sạch được sấy ở 90 °C trong 24 giờ. Sản phẩm thu được là mẫu bột mịn có màu tím nhạt và đặt ký hiệu mẫu là 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO. Một mẫu sản phẩm vật liệu bột mịn ZnO không pha tạp cũng đã được chế tạo thực nghiệm trước đó (theo quy trình hoàn toàn tương tự như trên, nhưng không thêm lượng muối Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O có ký hiệu mẫu là ZnO được sử dụng để so sánh.

+ **Các phương pháp đo đặc tính vật liệu:** phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD -X'pert Pro, Cu-Kα bước sóng λ = 1.54065 Å, 0.03°/2s, 2θ ≈ 25 - 75 °); phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM -TM4000 Plus); phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX, Oxford 300); phương pháp hấp thụ UV-Vis rắn (Jasco V-750).

## 3. Kết quả thực nghiệm

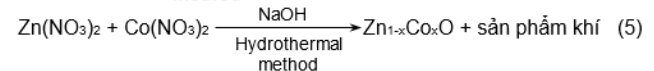
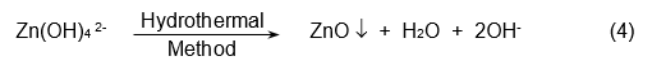
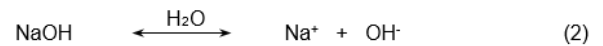
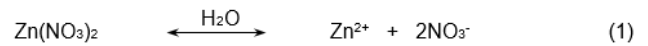
### 3.1. Đặc tính cấu trúc của vật liệu nano ZnO pha tạp 1 % mol Co<sup>2+</sup> và ZnO

Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của mẫu vật liệu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO và ZnO được tổng hợp với dung môi là NaOH được thể hiện trong Hình 1(a,b). Trên hình phổ XRD cho thấy, các đỉnh phổ nhiễu xạ của mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO và ZnO đều có xuất hiện ở các vị trí nhiễu xạ 2θ ≈ 31,7°, 34,3°, 36,2°, 47,5°, 56,6° và 62,8° (JCPDS card No. 89-7102) [8-12]. Ngoài ra không có đỉnh nhiễu xạ nào của Zn hoặc dạng hợp chất của kẽm nào khác được quan sát trong giản đồ XRD. Điều này cho thấy mẫu vật liệu chế tạo được là ở dạng ZnO pha wurtzite nguyên chất. Mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO cho thấy là các đỉnh phổ nhiễu xạ hoàn toàn tương đồng với mẫu ZnO, có chăng thì các đỉnh phổ của mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO chỉ có sự tăng cao cường độ của đỉnh phổ hơn so với mẫu ZnO. Điều này có thể được giải thích là: các ion Co<sup>2+</sup> đã có sự tương tác trong ô mạng tinh thể và được pha tạp vào ô mạng tinh thể của ZnO ở dạng thay thế vị trí ion Zn<sup>2+</sup>, do bán kính nguyên tử của hai ion này gần bằng nhau (r(Zn<sup>2+</sup>) = 0,074 nm và r(Co<sup>2+</sup>) = 0,072 nm) [8-12].



**Hình 1.** Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu vật liệu ZnO pha tạp 1 % mol Co<sup>2+</sup> và mẫu ZnO.

Cơ chế hình thành các ZnO NPs và ZnO pha tạp Co<sup>2+</sup> NPs (Zn<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O NPs) được đưa ra theo các phương trình sau [7,12,14].



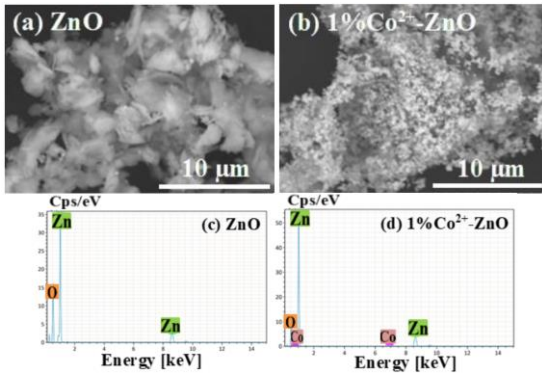
Phương trình Debye-scherrer sau đây được áp dụng để tính kích thước tinh thể trung bình của mẫu vật liệu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO và ZnO [12,13,20,21]. (Trong đó, D là kích thước tinh thể trung bình; K là hệ số phụ thuộc vào hình dạng của tinh thể K = 0,9; λ là bước sóng nhiễu xạ với λ = 1,54056 Å; β là nửa độ bán mở rộng vạch của pic nhiễu xạ lớn nhất (FWHM), θ là góc nhiễu xạ ở vị trí mặt nhiễu xạ (101)).

$$D = K\lambda / \beta \cos\theta \quad (6)$$

Kích thước tinh thể trung bình của các mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO và ZnO xác định được lần lượt là 26,28 nm và 49,82 nm. Như vậy, mẫu ZnO pha tạp 1 % Co<sup>2+</sup> đã làm giảm được kích thước tinh thể trung bình so với mẫu ZnO không pha tạp (theo tính toán bởi phương trình Debye-scherrer dựa trên phổ XRD). Điều này khẳng định thêm nữa về các ion Co<sup>2+</sup> pha tạp đã có sự tương tác trong ô mạng tinh thể và được pha tạp vào ô mạng tinh thể của ZnO.

### 3.2. Kết quả hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX)

Hình 2(a,b) lần lượt là ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của mẫu vật liệu ZnO và mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO. Theo hình ảnh SEM thì mẫu ZnO có hình dạng hạt tinh thể như hình các vảy mỏng với kích thước cỡ ~0,5-1 μm. Mẫu 1 % Co<sup>2+</sup>-ZnO có hình dạng thay đổi so với mẫu ZnO, có hình các hạt cầu nhỏ được phân bố đồng đều trên bề mặt vật liệu với kích thước đường kính cầu cỡ ~ 80 nm. Như vậy với sự pha tạp thêm 1 % mol Co<sup>2+</sup> vào vật liệu ZnO đã làm thay đổi hình dạng hạt tinh thể và kích thước hạt tinh thể của vật liệu gốc ban đầu ZnO (ZnO không pha tạp). Điều này phù hợp với các tài liệu tham khảo [7-14].



**Hình 2.** (a,b): Hình vi điện tử quét (SEM) của mẫu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  và mẫu ZnO; (c,d): Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) của mẫu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  và mẫu ZnO.

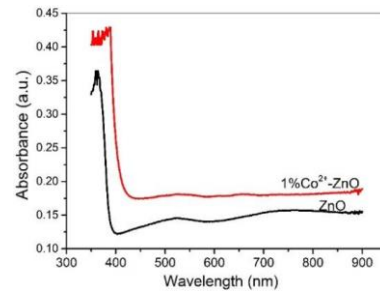
Hình 2(c,d) lần lượt là phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) của mẫu vật liệu ZnO và 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO. Trên hình phổ EDX của mẫu ZnO cho thấy chỉ có các đỉnh phổ tương ứng của hai nguyên tố Zn và O là các nguyên tố tạo thành hợp chất ZnO. Ngoài ra không thấy xuất hiện đỉnh phổ của nguyên tố lạ nào khác phổ các nguyên tố Zn, O. Điều này cho thấy là mẫu ZnO chế tạo được là tinh khiết wurtzite ZnO. Trên hình phổ EDX của mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO cho thấy, ngoài các đỉnh phổ tương ứng với hai nguyên tố Zn và O thì có xuất hiện thêm đỉnh phổ cường độ thấp của nguyên tố Co. Ngoài ra ở mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO cũng tương tự như đối với mẫu ZnO là không thấy xuất hiện đỉnh phổ lạ nào khác phổ của các nguyên tố Zn, O, Co. Điều này cho thấy là ở mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO đã có sự pha tạp của nguyên tố Co vào vật liệu ZnO và đồng thời mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO chế tạo được cũng ở dạng tinh khiết wurtzite ZnO pha tạp 1 %  $\text{Co}^{2+}$  [7-14].

**3.3. Phổ hấp thụ UV-vis rắn và khảo sát đồ thị hàm  $d(F(R)h\nu)/dE$  với năng lượng  $h\nu$  (Kubelka–Munk)**

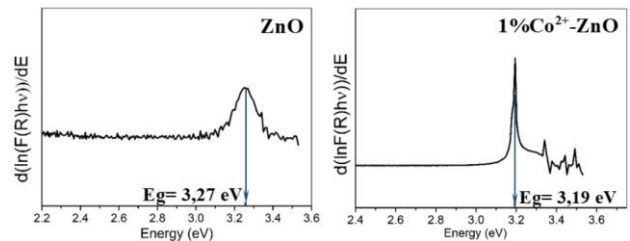
Hình 3 là phổ hấp thụ UV-vis rắn của mẫu vật liệu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO và ZnO. Trên hình phổ hấp thụ UV-vis rắn cho thấy mẫu ZnO có bờ hấp thụ được mở rộng ở vùng tử ngoại gần ( $\lambda \leq 400$  nm). Mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO có bờ hấp thụ được mở rộng và dịch chuyển về vùng bước sóng ánh sáng nhìn thấy ( $\lambda \approx 430 - 450$  nm). Điều này cho nhận xét là mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO đã có sự tác động của nguyên tố pha tạp Co vào vật liệu ZnO, dẫn đến làm dịch chuyển bờ hấp thụ ban đầu của ZnO về vùng bước sóng ánh sáng nhìn thấy ( $\lambda \approx 430 - 450$  nm). Như vậy là mẫu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  đã làm cải thiện được tính chất quang của vật liệu ZnO, và do đó làm nâng cao hiệu quả khả năng cho những ứng dụng quang của vật liệu ZnO [7-14,23]. Hình 4 là đồ thị hàm của đạo hàm  $d[\ln(F(R)h\nu)/(h\nu)]/dE$  so với  $h\nu$ , được sử dụng từ phương trình Kubelka–Munk [16,17,24] theo phương trình sau đây. Trong đó  $F(R)$  là hàm của hệ số phản xạ khuếch tán được xác định từ hệ số phản xạ khuếch tán  $R$  đến  $F(R) = (1 - R)^2/2R$ ;  $h\nu$  là biến số năng lượng photon;  $n = 1/2, 2$  tương ứng với năng lượng khe trống quang trực tiếp, gián tiếp;  $E_g$  là năng lượng vùng cấm quang.

$$\frac{d[\ln(F(R) \times h\nu)]}{d(h\nu)} = \frac{n}{h\nu - E_g} \quad (7)$$

Năng lượng vùng cấm quang ( $E_g$ ) của các mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO và ZnO được tính toán ngoại suy từ đồ thị của hàm đạo hàm  $d[\ln(F(R)h\nu)/(h\nu)]/dE$  so với  $h\nu$  (Hình 4). Theo kết quả ngoại suy từ đồ thị  $d[\ln(F(R)h\nu)/(h\nu)]/dE - h\nu$  xác định được giá trị năng lượng vùng cấm quang của mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO và mẫu ZnO lần lượt là 3,19 eV và 3,27 eV. Giá trị xác định  $E_g$  này từ phương trình Kubelka–Munk của mẫu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO cho thấy là giảm được hơn hẳn so với giá trị  $E_g$  của mẫu ZnO. Điều này cho thấy là mẫu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  đạt được khả năng ứng dụng quang kích thích được ánh sáng trong vùng nhìn thấy và phù hợp với phân tích trên phổ UV-vis rắn (Hình 4) của các mẫu vật liệu ở trên.



**Hình 3.** Phổ hấp thụ UV-vis rắn của mẫu vật liệu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  và mẫu ZnO.



**Hình 4.** Đồ thị phụ thuộc của hàm  $d(F(R)h\nu)/dE$  với năng lượng  $h\nu$  của mẫu ZnO pha tạp 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  và mẫu ZnO.

**4. Kết luận**

Vật liệu nano ZnO pha tạp ion 1 % mol  $\text{Co}^{2+}$  (1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO) đã chế tạo thành công theo phương pháp thủy nhiệt. Các đặc tính cấu trúc và tính chất quang của vật liệu đã được khảo sát. Vật liệu nano 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO chế tạo có cấu trúc wurtzite lục giác, kích thước tinh thể trung bình (theo Debye-scherrer) là 26,28 nm (nhỏ hơn kích thước tinh thể trung bình của mẫu vật liệu ZnO là 49,82 nm). Mẫu nano 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO có hình thái là các tinh thể dạng các hạt hình cầu nhỏ, phân bố đồng đều trên bề mặt vật liệu với kích thước các hạt hình cầu nhỏ cỡ ~80 nm. Vật liệu nano 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO đã làm giảm kích thước hạt tinh thể và làm thay đổi hình dạng hạt tinh thể so với vật liệu ZnO. Phổ hấp thụ UV-vis rắn cho thấy vật liệu nano 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO có bờ hấp thụ được mở rộng và dịch chuyển về phía bước sóng ánh sáng nhìn thấy ( $\lambda \approx 430 - 450$  nm). Năng lượng vùng cấm quang của vật liệu 1 %  $\text{Co}^{2+}$ -ZnO

được ngoại suy từ đồ thị đạo hàm theo phương trình Kubelka–Munk ( $d[\ln(F(R)hv)/(hv)]$  so với  $hv$ ) và đạt được giá trị là 3,19 eV, nhỏ hơn so với năng lượng vùng cấm quang của vật liệu ZnO là 3,27 eV.

**Lời cảm ơn.** Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí của Đại học Bách khoa Hà Nội theo đề tài Asahi Glass Foundation (AGF.2022-04), và hỗ trợ về kinh phí của Đại học Bách Khoa Hà Nội (HUST) theo đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ mã số CT2022.04. BKA.05.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. A.K. Radzimska, T. Jesionowski. *Zinc Oxide-from Synthesis to Application: A Review*, Materials, 7, (2014), 2833-2881.
- [2]. Ü. Özgür *et al.* *Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices*, J. Appl. Phys., 98, (2005), 041301-103.
- [3]. Z.L. Wang. *Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications*, J. Phys. Condens. Matter, 16, (2004), R829.
- [4]. J. Wojnarowicz, T. Chudoba and W. Lojkowski. *A Review of Microwave Synthesis of Zinc Oxide Nanomaterials: Reactants, Process Parameters and Morphologies*, Nanomaterials, 10, (2020), 1086(2-150 pages).
- [5]. M.Parashar, V.K.Shukla. *Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles*, AIP Confer. Proceedings, 2220, (2020), 020143(1-3).
- [6]. B. Sathya, V. Porkalai, D. B. Anburaj, G. Nedunchezian. *Low Temperature Ferromagnetism and Optical Properties of Fe Doped ZnO Nanoparticles Synthesized by Sol-Gel Method*, Mechanics, Materials Science & Engineering, (2017), 6 pages.
- [7]. A. Elkodous *et al.*, *Therapeutic and diagnostic potential of nanomaterials for enhanced biomedical applications*, Colloids Surf. B, 180, (2019), 411-428.
- [8]. R. Saleh, N.F. Djaja., *Transition-Metal-Doped ZnO Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity under UV Light*, Spectrochim. Acta, 130, (2014), 581-590.
- [9]. B. Panigrahy *et al.* *Aqueous Synthesis of Mn- and Co-Doped ZnO Nanorods*, J.Phys.Chem.C, 114, (2010), 11758-11763.
- [10]. Y. Cherifi *et al.* *Electrical, dielectric and photocatalytic properties of Fe-doped ZnO nanomaterials synthesized by sol gel method*, Processing and Application of Ceramics, 10[3], (2016) 125-135.
- [11]. M. G. Nair, M. Nirmala, K. Rekha, A. Anukaliani. *Structural, Optical, Photo Catalytic and Antibacterial Activity of ZnO and Co Doped ZnO Nanoparticles*. Mater. Lett., 65, (2011) 1797-1800.
- [12]. B. Richa, B. Amardeep, J.P. Singh, K.H. Chae, N.Goyal, S.Gautam. *Structural and electronic investigation of ZnO nanostructures synthesized under different environments*, Heliyon, 4, (2018), e00594.
- [13]. P.K. Bhargav *et al.* *Influence of Al and Al-Cu dual doping on structural, optical, wetting and anti-fungal properties of ZnO nanoparticles*, Materials Research Innovations, (2019), 11 pages.
- [14]. W.W. Wang, Zhu, Y.J. *Shape-controlled synthesis of zinc oxide by microwave heating using an imidazolium salt*, Inorg. Chem. Commun., 7, (2004), 1003-1005.
- [15]. T. Thilagavathi, D. Geetha. *Nano ZnO structures synthesized in presence of anionic and cationic surfactant under hydrothermal process*, Appl Nanosci, (2012), 7 pages.
- [16]. L.Z. Yahiyaa, M.K. Dhahir, Z.F. Mahdi. *Synthesized Zno Nanorod with Different Range of Morphologies Using a Simple Hydrothermal Method*, AIP Conference Proceedings, 2290, (2020), 030022.
- [17]. Jeyachitra, V. Senthilnathan, T.S. Senthil. *Studies on electrical behavior of Fe doped ZnO nanoparticles prepared via co-precipitation approach for photocatalytic application*, J Mater Sci: Mater Electron, 2017.
- [18]. Jeyachitra, V. Senthilnathan, T.S. Senthil. *Studies on electrical behavior of Fe doped ZnO nanoparticles prepared via co-precipitation approach for photocatalytic application*, J Mater Sci: Mater Electron, 2017.
- [19]. Y. Wang, Q. Ma, H. Jia, Z. Wang. *One-step solution synthesis and formation mechanism of flower-like ZnO and its structural and optical characterization*, Ceram. Int., 42, (2016), 10751-10757.
- [20]. Nguyễn Xuân Sáng và các tác giả. *Cấu trúc tinh thể, tính chất quang và khả năng quang xúc tác của nano tinh thể ZnO pha tạp ion kim loại Cr<sup>3+</sup>*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, tập 34, Số 4, (2018), 1-8.
- [21]. Nguyen Thi Le Giang, Nguyen Cong Tu, Pham Van Thang, Nguyen Thi Tuyet Mai, Nguyen Thi Lan, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Le Manh Cuong and Luu Thi Lan Anh. *Green synthesis of cuprous oxide (Cu<sub>2</sub>O) nano particles using aloe vera plant*, Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption, 10(2), (2021), 54-58.