

Ứng dụng của chấm lượng tử phát quang điện trong công nghệ hiển thị và giảng dạy

Tô Thị Thảo*

*Khoa Cơ bản I, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Received: 4/11/2024; Accepted: 12/11/2024; Published: 18/11/2024

Abstract: Through the integration of quantum dots with light-emitting diodes (LEDs), quantum dot light-emitting diodes (QLED) devices have been developed. This cutting-edge technology provides notable advantages over conventional lighting systems, including exceptional color accuracy, fast response times, and high energy efficiency. Additionally, the wide-ranging applications of QLED technology in science, technology, healthcare, and education underscore its potential to become the dominant display technology of the future.

Keywords: QLED, quantum dot, science, technology, healthcare, and education.

1. Đặt vấn đề

Màn hình tivi sử dụng ống tia âm cực CRT (Cathode Ray Tube) được phát minh ra từ năm 1907. Đến những năm 1950, với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật, tivi màu đầu tiên được xuất hiện tại Mỹ. Đó là những tivi được dựa trên màn hình LCD và plasma.

Tuy nhiên, các màn hình hiện thị trên có những hạn chế kéo dài từ khi ra đời: đèn nền đen cao, độ tương phản thấp và khả năng tái tạo màu sắc còn nhiều hạn chế. Đối với hai điểm đầu tiên, hiện tại vẫn chưa có giải pháp, trong khi việc cải thiện phản ứng màu sắc có thể đạt được nhờ vào chấm lượng tử (quantum dots - QD), những hạt nano tinh thể được chèn vào hệ thống nền của màn hình LCD. QD không chỉ giúp tái tạo màu sắc sáng hơn và đẹp hơn, mà còn giảm năng lượng cần thiết để vận hành màn hình, vốn là yếu tố quan trọng đối với các thiết bị di động [1].

Công nghệ tiếp theo áp dụng cho hầu hết các màn hình xung quanh chúng ta (TV, màn hình, máy tính bảng, điện thoại thông minh...) đều sử dụng đèn LED trắng được bố trí dọc theo hai cạnh lớn nhất của màn hình. Ở đây, đèn LED trắng thực chất là đèn LED xanh lam được phủ chất phát quang phát ra ánh sáng vàng, để ánh sáng xanh và vàng có vẻ như trắng đối với mắt chúng ta. Tuy nhiên, ánh sáng này không thích hợp để đi qua các bộ lọc RGB được đặt trước

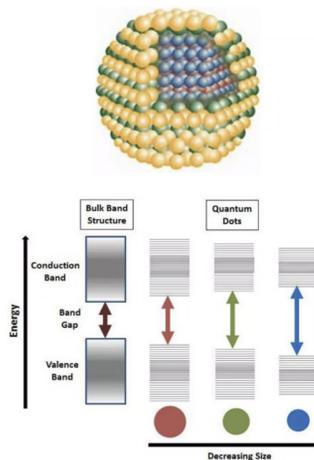
các điểm ảnh con của màn hình LCD. Thành phần ánh sáng xanh không gặp vấn đề, nhưng phần ánh sáng vàng phải biến thành màu xanh lục và đỏ, một sự chuyển đổi gây ra sự lãng phí photon lớn, vì chỉ có một phần nhỏ (khoảng 10%) có thể đi qua các bộ lọc xanh lục và đỏ.

Năm 1994 màn hình LCD dựa trên QD đã được giới thiệu QLED (đi-ốt phát sáng dựa trên QD). Các tính chất và hiệu suất của màn hình QLED phụ thuộc vào kích thước và thành phần của các hạt QD. QD có kích thước từ 2 đến 10 nm, có thể hoạt động dưới dạng quang phát quang (photoluminescent) và dưới dạng điện phát quang (electroluminescent), tích hợp chúng vào kỹ thuật hiển thị.

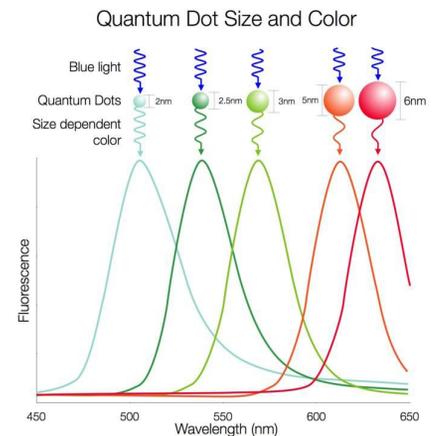
2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của OLED

2.1.1. Chấm lượng tử



Hình 2.1: Chấm lượng tử

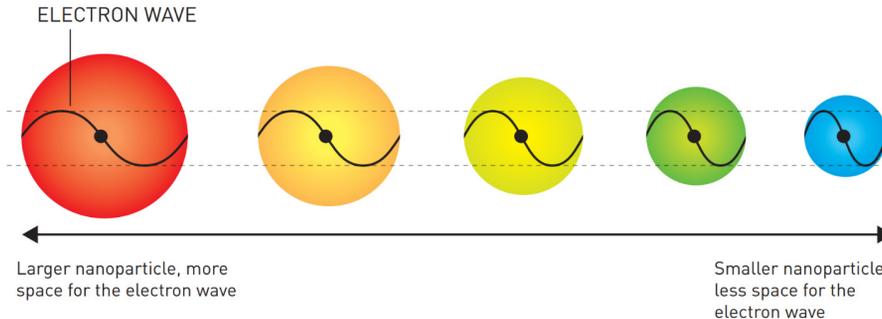


Hình 2.2: Sự phụ thuộc của bước sóng ánh sáng phát xạ vào kích thước của QD [8]

Chấm lượng tử (QD) là những tinh thể bán dẫn có kích thước từ 2-10 nm, và thường là ZnS hoặc CdSe. Với kích thước này có thể so với bán kính exciton Bohr (khoảng cách giữa electron ở vùng dẫn và lỗ trống ở vùng hóa trị) thì năng lượng của chúng (tức là năng lượng cần thiết để electron có thể nhảy lên mức năng lượng cao hơn). Do đó, bước sóng của ánh sáng phát ra phụ thuộc vào kích thước của QD. Lúc này, tính chất của QD gần giống như nguyên tử hơn là vật liệu khối [2].

Trong khi bán dẫn khối chỉ có thể phát ra một màu sắc ánh sáng duy nhất thì với QD, người ta có thể điều chỉnh màu sắc chính xác mà một QD có thể nhận và phát lại bằng cách điều chỉnh kích thước của nó. Hình 2.1 thể hiện sự khác nhau giữa bán dẫn khối thông thường và QD. Sự khác nhau này do sự khác biệt giữa vùng dẫn và vùng hóa trị (khe năng lượng) của bán dẫn khối và QD khi thay đổi kích thước của QD. Người ta điều chỉnh tần số ánh sáng phát xạ bằng cách thay đổi kích thước, hình dạng và vật liệu của QD.

Hình 2.2 cho thấy bước sóng ánh sáng tỉ lệ thuận với kích thước của QD. Trong các thiết bị hiển thị, QD sẽ chuyển đổi ánh sáng xanh lam thành ánh sáng màu đỏ hoặc xanh lục, phụ thuộc vào kích thước của QD do sự hiệu ứng giam cầm lượng tử (hình 2.3).



Hình 2.3: Sự phụ thuộc của bước sóng electron vào kích thước QD (Nobel hóa học năm 2023)

Các nhà nghiên cứu đã tập trung nghiên cứu để tạo nên các QLED hoạt động tốt hơn như thêm vào lớp truyền điện tích bằng các hạt nano hay các vật liệu tạo nên QD khác nhau [8,9].

2.1.2. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của QLED

Ý tưởng sử dụng QD làm nguồn sáng trực tiếp xuất hiện vào những năm 90 của thế kỷ trước, khi các nhà nghiên cứu cho thấy hiệu suất cao của các tinh thể nano trong quá trình chuyển đổi điện thành ánh sáng [3].

Cấu trúc của một tấm nền QLED gồm các QD được chia thành các ô (một ô cho mỗi

màu RGB) và được kẹp giữa hai lớp dẫn điện, mang các điện tích. Các electron và lỗ trống tái hợp bên trong các tinh thể nano, hình thành các exciton và lần lượt gây ra sự phát ra các photon với bước sóng tỷ lệ thuận với kích thước của QD (hình 2.2).

Nhờ các tinh thể nano này, có thể mở rộng gam màu để bao phủ 100% không gian màu sRGB, cũng như Adobe RGB và DCI, lên đến khoảng 95% Rec 2020, yêu cầu các màu cơ bản đơn sắc. Nhằm nâng cao hiệu suất của QLED, người ta có thể sử dụng các hạt tinh thể ZnO có tác dụng như lớp vận chuyển điện tử ET. Năng lượng vùng cấm E_g đối với hạt nano ZnO được xác định từ biểu thức [9]:

$$E_{g,NPs} = E_{g,bulk} + \frac{100}{18.1d^2 + 41.4d - 0.8}$$

Trong đó, $E_{g,NPs}$ là khe năng lượng của hạt nano, $E_{g,bulk}$ là khe năng lượng của bán dẫn khối ZnO (~3,3 eV), d là bán kính của hạt nano. Như vậy, bằng cách thay đổi bán kính của hạt nano, độ rộng vùng cấm thay đổi dẫn đến bước sóng của ánh sáng phát ra cũng thay đổi.

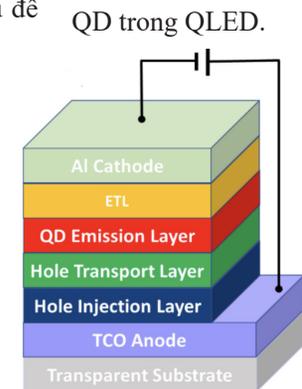
Cấu trúc QLED điển hình gồm 4 lớp (hình 2.4):

(1). Lớp vận chuyển electron (ETL) - để bơm electron từ cực âm và vận chuyển electron.

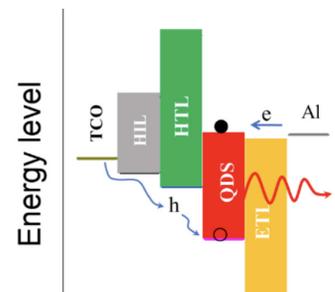
(2). Lớp vận chuyển lỗ trống (HTL) - để vận chuyển lỗ trống từ HIL đến EML.

(3). Lớp tiêm lỗ trống (HIL) - để bơm lỗ trống từ điện cực anode.

(4). Lớp phát xạ (EML) - vận chuyển electron/lỗ trống và tái tổ hợp của chúng để hình thành exciton (phát xạ photon); đây là lớp



Hình 2.4: Cấu trúc của QLED



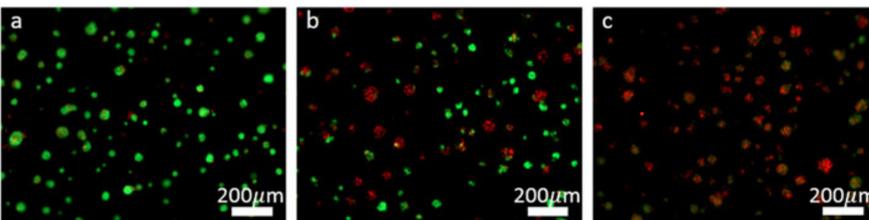
Hình 2.5: Giảm đồ năng lượng của QLED

Khi một electron và một lỗ tái tổ hợp trong lớp phát xạ, các photon được hình thành, với bước sóng tương ứng với khoảng cách năng lượng của các QD (hình 2.5). Càng nhiều electron và lỗ tái tổ hợp, càng nhiều photon sẽ được tạo ra, điều này tương ứng với cường độ sáng nhận được càng lớn. Vì vậy, người ta áp dụng lớp vận chuyển lỗ trống (HTL) và lớp vận chuyển electron (ETL) để hạn chế các electron và lỗ trống trong lớp phát xạ, nhằm cải thiện hiệu suất của thiết bị.

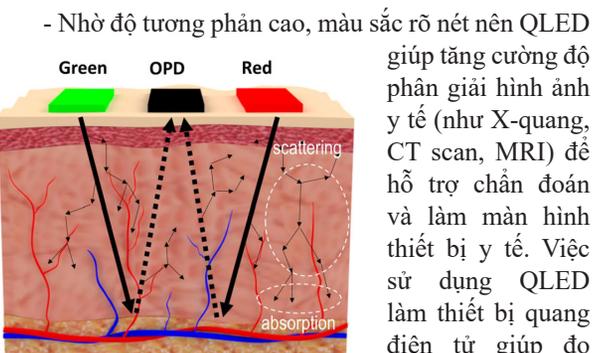
2.2. Ứng dụng

Ngoài ứng dụng trong màn hình tivi, công nghệ QLED còn được ứng dụng trong việc chế tạo màn hình điện thoại, máy tính bảng... nhờ khả năng vượt trội hơn các thiết bị hiển thị khác về màu sắc, độ tương phản, tiết kiệm năng lượng... Ngoài ra, QLED còn được sử dụng trong y tế để tạo ra các thiết bị chăm sóc sức khỏe [3,4,6]. Các ứng dụng điển hình như:

Trong liệu pháp quang động lực PDT (Photodynamic Therapy) hay quang sinh điều biến (photobiomodulation), QLED giúp tăng cường trao đổi chất với tế bào giúp điều trị vết thương và tiêu diệt tế bào ung thư. QLED được làm chất đánh dấu sinh học phát quang, giúp phát hiện các bệnh như ung thư ở giai đoạn sớm thông qua hình ảnh quang học. Hình 2.6 thể hiện các tế bào ung thư bị chết (màu đậm) ở hình 2.6c nhiều hơn sau khi điều trị bằng phương pháp PDT.



Hình 2.6: Tế bào ung thư dưới ánh sáng huỳnh quang sau 24h với ba phương pháp (a) Kiểm soát tế bào mà không cần xử lý bằng ánh sáng; (b) PDT dựa trên đèn LED; (c) PDT dựa trên QLED [5]



Hình 2.7: Thiết bị đo SpO_2 bằng QLED [5]

Nhờ độ tương phản cao, màu sắc rõ nét nên QLED giúp tăng cường độ phân giải hình ảnh y tế (như X-quang, CT scan, MRI) để hỗ trợ chẩn đoán và làm màn hình thiết bị y tế. Việc sử dụng QLED làm thiết bị quang điện tử giúp đo nồng độ oxy trong máu SpO_2 cho

thấy kết quả chính xác hơn, không có nhiễu so với các phương pháp khác.

Công nghệ QLED được tích hợp trong các thiết bị thực tế ảo/tăng cường (VR/AR), giúp học sinh và sinh viên trải nghiệm học tập chân thực hơn.

3. Kết luận

So với OLED, QLED độ tinh khiết màu sắc tốt hơn do sự phân tán bước sóng của ba màu cơ bản RGB là rất thấp. Hơn nữa, QD có hiệu suất cao hơn và do đó tiêu thụ ít năng lượng hơn mặc dù có độ sáng cao hơn. Công nghệ hiển thị dựa trên QLED là sự lựa chọn tối ưu cho các thế hệ màn hình tương lai nhờ vào các lợi thế tiềm năng vượt trội.

Công nghệ QLED không chỉ đơn thuần là một giải pháp công nghệ hiển thị, mà còn là công cụ mang tính cách mạng trong việc nâng cao chất lượng giáo dục. Nghiên cứu và ứng dụng QLED trong dạy học góp phần thúc đẩy giáo dục hiện đại, cải thiện trải nghiệm học tập, giúp học sinh tiếp cận tri thức một cách hiệu quả hơn về hiệu suất, tiêu thụ điện năng thấp, tỷ lệ tương phản tốt và khả năng chống lóa cao.

Tài liệu tham khảo

- [1]. K. Bourzac (2016), *Quantum dots go on display*, Nature, 493 (2016) 283.
- [2]. J. Chen, Q. Zhao, B. Yu, and U. Lemmer, *Adv. Optical Mater.*, 12 (2024) 2300873.
- [3]. H. Chen, et al., (2017), *Quantum dot light emitting devices for photomedical applications*, Journal of SID 25, (2017) 177-184.
- [4]. Y. M. Huang, et al, (2020), *Advances in Quantum-Dot-Based Displays*, Nanomaterials 10, (2020) 1-26.
- [5]. Ho Seung Lee, Byeongju Noh, Seong Uk Kong, Yong Ha Hwang, Ha-Eun Cho1, Yongmin Jeon and Kyung Cheol Choi, *npj Flexible Electronics* 7, (2013) 15
- [6]. A. Manuel, et al., (2022), *Luminescent Nanomaterials for EnergyEfficient Display and Healthcare*, ACS Energy Lett. 7, (2022) 1001.
- [7]. Ning Tu and S. W. Ricky Lee, *Int. J. Mol. Sci.* 24, (2023) 14350.
- [8]. S. Rhee, et al., (2020), *Recent Progress in High-Luminance Quantum Dot Light Emitting Diodes*, Current Optics and Photonics 4, (2020) 161.