

NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC VÀ CHẾ TẠO LED CHO BỨC XẠ 385nm-415nm

THE STUDY OF STRUCTURAL AND FABRICATION FOR 385nm-415nm UV LED

Nguyễn Văn Hiếu

Trường ĐH Khoa Học Tự Nhiên, ĐHQG TP. HCM
ĐH Ritsumeikan, Shiga, Nhật Bản.

Bùi Văn Quảng,

ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM.

TÓM TẮT

Báo cáo này trình bày về lý thuyết vật liệu bán dẫn Nitride, cơ chế phát xạ, cấu trúc đa giếng lượng tử cho phát xạ cực tím và tìm hiểu về thiết bị tạo màng mỏng theo kỹ thuật lắng đọng hóa học cho kim loại hữu cơ (MOCVD). Tác giả tính toán các thông số vật lý và quang cho một mô hình cấu trúc tiềm năng phát xạ cực tím qua phần mềm SiLENSe. Mô phỏng chế tạo cấu trúc UVLED bằng phần mềm Intellisuite cho mục đích giảng dạy. Cuối cùng, tác giả đề xuất quy trình chế tạo UV LED tại Khu công nghệ cao Tp.HCM (SHTP), nơi đang có thiết bị MOCVD duy nhất tại Việt Nam.

Từ khóa: UVLED, MOCVD, đa giếng lượng tử, khử trùng.

ABSTRACT

This report focuses to find out the emission mechanisms for Nitride semiconductor, multi-quantum wells structures for ultraviolet radiation, study about thin film technology on the equipment of Metal-Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD). We calculate the physical and optical properties for 2 potential UVLED structures by SiLENSe software and other mathematical formulas. Their fabrication process also was studied by Intellisuite software, which is the easy way for educational purpose. Finally, we propose some ideas for the UVLED manufacture process in Saigon Hi-Tech Park (SHTP, Vietnam), where owned the MOCVD equipment in Vietnam.

Key words: UVLED, MOCVD, Multi Quantum Wells (MQWs), Sterilizing.

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ bán dẫn, công nghiệp vật liệu ngày càng phát triển không ngừng và đang dần khẳng định tầm quan trọng trong đời sống hiện nay. Con người với trình độ tri thức của mình đã mở ra những giới hạn mới, khám phá ra những loại vật liệu mới, những kỹ thuật, công nghệ mới [1] và áp dụng lên chúng để tạo ra những sản phẩm có hàm lượng chất xám và tính ứng dụng cao trong nhiều nhiều lĩnh vực. Một trong những số đó phải kể đến sự phát minh diode phát xạ ánh sáng cực tím (Ultra-violet light emitting diode,

UVLED) [2-5] và nhiều ứng dụng của nó trong cuộc sống [6,7].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày cấu trúc linh kiện đa giếng lượng tử và cơ chế phát xạ bước sóng cực tím với nguyên lý hoạt động là chuyển tiếp p – n. Các tính chất vật lý của cấu trúc (năng lượng vùng dẫn- vùng hóa trị, mật độ phân bố hạt tải, mật độ dòng, cường độ và bước sóng phát xạ với bước sóng phát xạ,... thay đổi theo nồng độ khuếch tán), thành phần

In trong InGaN (hay Al trong AlGaIn), kích thước và số lượng giếng lượng tử được khảo sát chi tiết qua phần mềm SiLENSe [8] cho LED phát xạ bước sóng cận cực tím. Việc mô phỏng chế tạo UVLED cũng được tiến hành trên phần mềm Intellisuite. Nguyên lý hoạt động thiết bị MOCVD được khảo sát và qui trình chế tạo thử nghiệm UVLED tại khu công nghệ cao Tp.HCM. Hiện nay, ứng dụng của bức xạ cực tím đã được biết đến nhiều như bảo mật thông tin, phân tích thành phần khoáng sản, đo nồng độ ozon trong không khí và khử khuẩn trong nước sinh hoạt,... mà nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới đang theo đuổi. Trong đó, chúng tôi đã tiến hành chế tạo thiết bị điều khiển cường độ bức xạ UV của LED và thử nghiệm khử 2 loại vi khuẩn E.coli và Coliform [9-10].

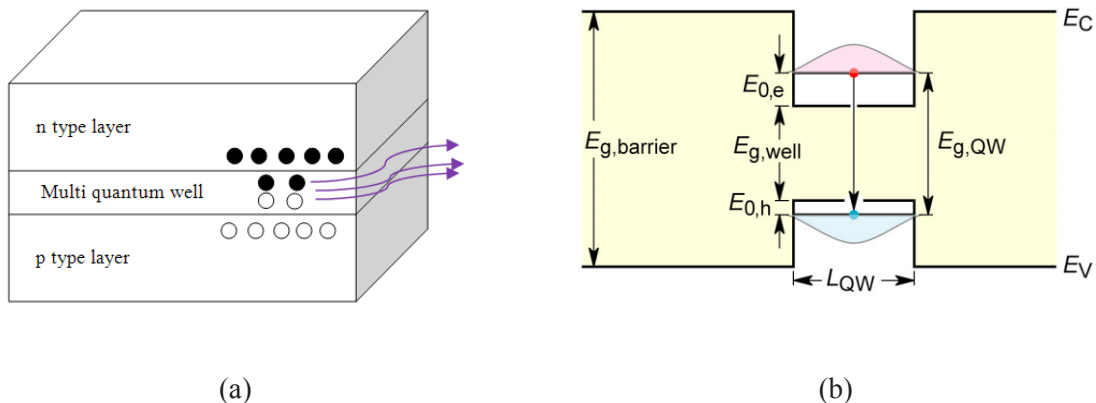
2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Cơ sở lý thuyết

Ngoài cấu trúc là nối chuyển tiếp p – n, UV LED còn có một vùng đặc biệt hơn so với các LED thông thường, vùng phát xạ ánh sáng có bước sóng cực tím là cấu trúc đa giếng lượng tử (multi quantum well, MQWs). Khi được kích hoạt bởi

dòng điện, các điện tử trong lớp bán dẫn loại n di chuyển xuyên qua các lớp giếng lượng tử và gặp các lỗ trống tại vùng p để tái hợp và phát xạ photon (xem hình 1.a).

Các lớp MQW có tác dụng như các giếng thế có độ dốc tùy theo số lớp giếng, kích thích hạt mang điện lên mức năng lượng cao để tăng hiệu suất tái hợp với 1 cơ chế riêng được giải thích chi tiết trong phần 3. Khi chiều dày lớp kích hoạt trở nên gần với bước sóng De-Broglie, các hiệu ứng lượng tử trở nên rõ ràng hơn. Hệ quả của việc giam giữ electron và lỗ trống trong lớp rất mỏng là những phân tử đó sẽ hoạt động như các hạt trong giếng thế. Do đó, thay vì ở trạng thái liên tục trong vùng dẫn, những electron đó bị giam giữ ở trạng thái lượng tử gián đoạn trong vùng cấm của vật liệu. Tương tự như vậy, các trạng thái trong vùng hóa trị của lỗ trống bị hạn chế đối với những mức gián đoạn trong giếng lượng tử. Hình. b mô tả sự hình thành của các trạng thái lượng tử gián đoạn trong vùng cấm hẹp có hiệu quả làm thay đổi vùng cấm vật liệu, và cung cấp một cách làm thay đổi năng lượng photon phát ra bằng cách kiểm soát độ dày của vùng cấm hẹp trong vật liệu.



Hình 1. Mô tả cấu trúc giếng lượng tử của LED phát xạ cực tím : (a) cơ chế phát xạ vùng MQWs và (b), Sơ đồ mức năng lượng và khe năng lượng của vùng MQW.

Một giếng lượng tử đủ lớn, có thể giam giữ những hạt tải bên trong chính nó khi phân cực thuận. Vì thế, có thể sử dụng các giếng lượng tử để hạn chế sự phát xạ để chỉ xảy ra trong vùng kích hoạt, do đó nhận được bức xạ tối đa tại bước sóng phù hợp. Việc sử dụng đa giếng lượng tử để tăng cường sự giam giữ các hạt tải. Một cấu trúc giếng lượng tử có nhiều hơn một giếng lượng tử,

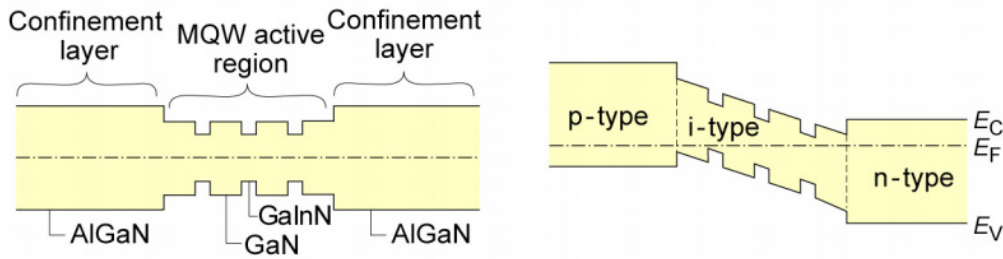
do đó nó có thể chứa nhiều hạt tải hơn và do đó năng lượng phát xạ cao hơn.

Theo sơ đồ mức năng lượng trên, các ký hiệu $E_{g,barrier}$, $E_{g,well}$, $E_{g,QW}$, E_c và E_v lần lượt là các khe năng lượng (bandgap): rào cản, giếng, giếng lượng tử, vùng dẫn và vùng hóa trị. Ta cũng lưu ý rằng, kích thước vùng giếng lượng tử ký hiệu

là L_{QW} . Trong hình 1, ký hiệu mức trên là điện tử và mức dưới là lỗ trống. Như thế, năng lượng giếng lượng tử sẽ cho bởi công thức [1]:

$$E_{g, QW} = E_{well} + E_{0,e} + E_{0,h} [1]$$

với $E_{0,e}$, $E_{0,h}$ lần lượt là năng lượng lượng tử hóa của điện tử, lỗ trống.



Hình 2. Giản đồ năng lượng của LED đa giếng lượng tử dựa trên AlGaN / GaN / GaInN: (a) Cấu trúc không pha tạp (Undoped) và (b) cấu trúc pha tạp.

Mức năng lượng của điện tử (*phần trên*) trong vùng MQW của hình 2 luôn thấp hơn so với các vùng bán dẫn bởi vì vùng QW này tạo thành từ các lớp vật liệu In/AlGaN với kích thước vài nm đã hình thành các mức năng lượng thay đổi như một giếng thế. Khi pha tạp loại n hay p vào 2 vùng ngoài, giếng đồ năng lượng bị gãy xuống tạo một độ dốc. Tuy nhiên, mức năng lượng Fermi (E_F) vẫn nằm giữa và gần mức E_C của vùng bán dẫn loại n. Các cơ chế trên sẽ ảnh hưởng cường độ phát xạ và bước sóng phát xạ của hạt mang điện trong cấu trúc UVLED. Sử dụng phần mềm SiLENSe, nhóm nghiên cứu khảo sát các mức năng lượng và tính chất quang của LED qua các mô hình toán học và bản chất vật lý của nó.

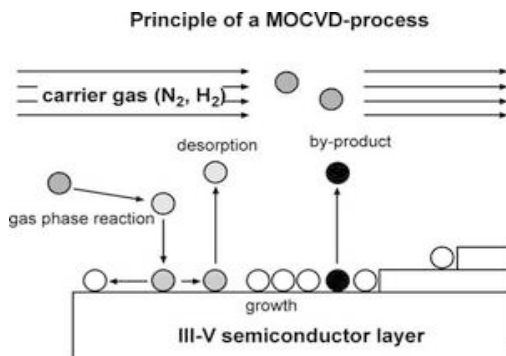
2.2. Thiết bị MOCVD

MOCVD được sử dụng rộng rãi trong việc chế tạo các cấu trúc epitaxial bằng cách lắng đọng những nguyên tử trên đế wafer. Các nguyên tử được lắng đọng lên trên đế wafer ở nhiệt độ cao

và đặt trong phản ứng sau khi nó bị phân ly từ các phân tử kim loại - hữu cơ (vật liệu nguồn). MOCVD là một trong những phương pháp tốt nhất cho việc chế tạo hợp chất bán dẫn nhóm III - V có độ tinh khiết cao và có cấu trúc trật tự.

Cấu trúc MQWs của UVLED có bề dày từ 1.5 nm đến 10nm sử dụng kim loại hữu cơ TMAI, TMGa nên chỉ có hệ MOCVD là thích hợp và kỹ thuật duy nhất có thể tạo các màng mỏng này thành công.

Hình 2.a mô tả cơ chế lắng đọng các phân tử trên bề mặt chất nền (thường là sapphire hay thủy tinh) khi sử dụng các phân tử khí N_2 , H_2 phản ứng với các phân tử kim loại hữu cơ (TMA, TMG) tạo nên pha phản ứng trong một buồng đã hút chân không. Các lớp hợp chất bán dẫn loại III và V hình thành. Bằng cách điều chỉnh áp suất hợp chất đưa vào và thời gian phản ứng, các màng mỏng có kích thước khác nhau được hình thành. Đây là nguyên lý của thiết bị tạo màng mỏng MOCVD cho cấu trúc MQW.



Hình 2. (a) Sơ đồ nguyên lý của phương pháp MOCVD và (b) Thiết bị MOCVD tại khu công nghệ cao TP. HCM (SHTP) [10].

Nhóm nghiên cứu đã cộng tác nghiên cứu với các nhà khoa học tại Trung tâm, nghiên cứu và phát triển (R&D Center, SHTP)(xem hình 2.b)

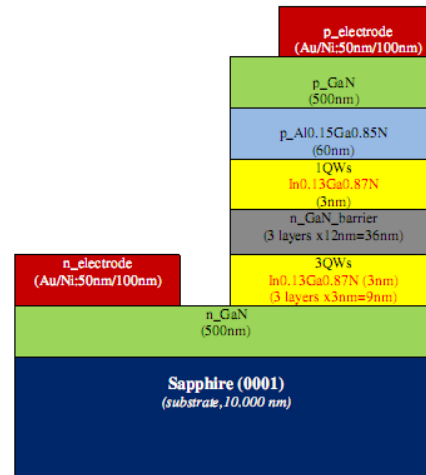
3. KẾT QUẢ KHẢO SÁT CẤU TRÚC

3.1 Cấu trúc UV LED khảo sát

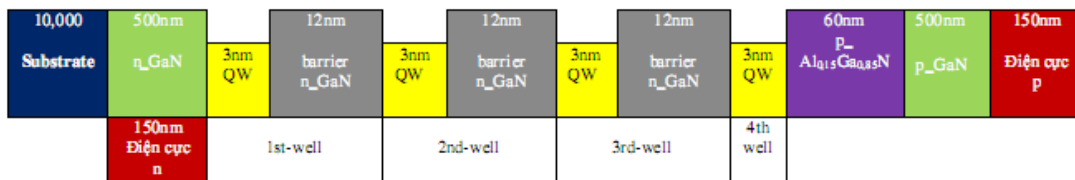
Qua các tham số đầu vào cho mô phỏng bởi phần mềm SiLENSe, chúng tôi đã phát hiện cấu trúc đa giếng thế n_GaN -4 wells- p_GaN của LED cho phát xạ 385nm (như hình 3). Sử dụng 2 điện cực (n-electrode và p-electrode) có cấu trúc Au/Ni-50nm/100nm dày 15nm mang tính tượng trưng cho mô phỏng. Vấn đề là cần xác định kích thước của các lớp này thế nào và sự ảnh hưởng của nó đến cường độ và bước sóng phát xạ, nồng độ pha tạp ở mức giới hạn nào,... là các tham số khảo sát của chúng tôi.

Cấu trúc 385nm như hình 3 được vẽ lại theo hình 4 để tính kích thước các lớp màng mỏng. Mỗi giếng (well) sẽ gồm 3nm-QW và 12nm rào cản. Giếng cuối cùng không có rào cản.

và tham gia vào qui trình chế tạo các lớp MQW trên đế tại Đại học Ritsumeikan, Nhật bản.



Hình 3. Mô hình cấu trúc của LED với 4 lớp QW cho phát xạ cận cực tím [10].



Hình 4. Cấu trúc 1 với 4 giếng lượng tử bị kẹp giữa 3 rào cản. Vật liệu vùng kích hoạt là InGaN cho phát xạ khả kiến và cận cực tím [10].

Cấu trúc UVLED 385nm-415nm này có các đặc trưng và kích thước được mô tả như sau:

- Vùng hoạt động của hạt tải từ n-p: n_GaN -4 wells- p_GaN . Kích thước của chúng là chiều dài của 4 well, được tính là $(3 + 12 + 3 + 12 + 3 + 12 + 3) = 48$ nm.

- Ba giếng lượng tử (well) đầu bao gồm 3nmQW và 12nm barrier, giếng cuối cùng chỉ có 3 nm QW.

- Tổng kích thước của cấu trúc (không tính đế và điện cực) là $(500 + 48 + 60 + 500) = 1108$ nm. Cấu trúc này đồng đều và xem như hạt tải chỉ

chuyển động trong phạm vi 500 nm đến 548 nm là vùng kích hoạt.

- Trong các phần tính toán, khi ta tăng số giếng lượng tử, tức là tăng số cặp QW-barrier lên. Khi đó, kích thước vùng kích hoạt sẽ tăng theo, đồng nghĩa với bề dày cấu trúc LED tăng.

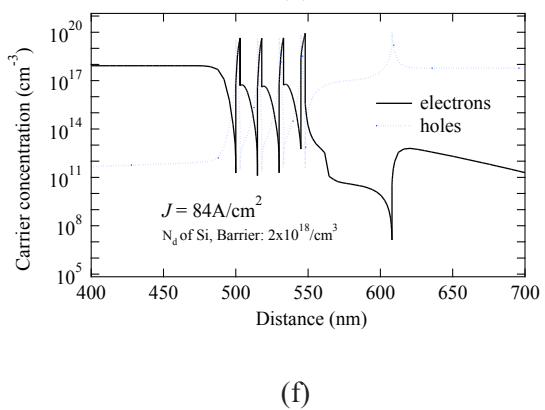
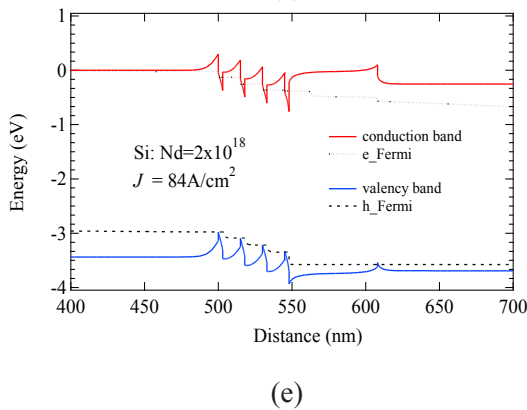
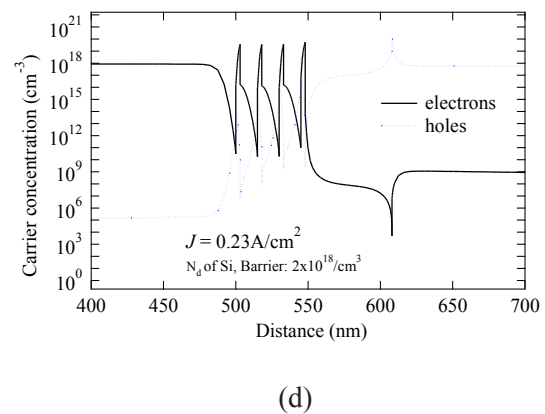
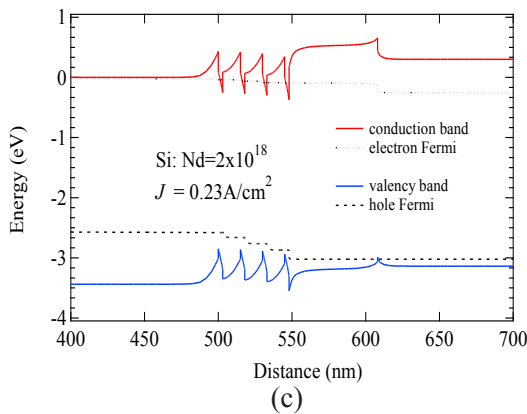
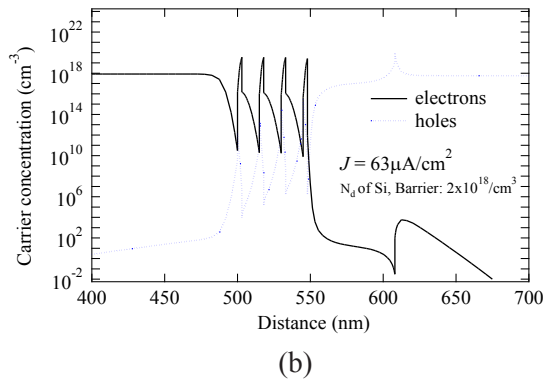
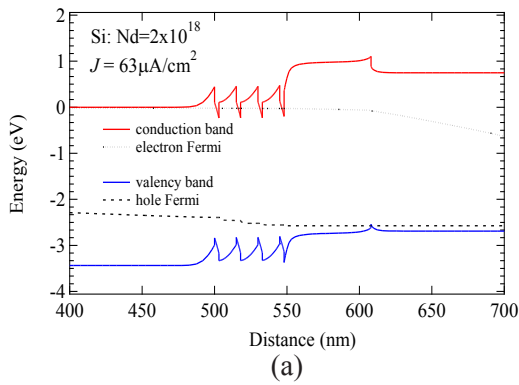
Trong chế tạo bằng thiết bị, việc điều khiển số chu kỳ giếng lượng tử là dễ bằng qui trình tạo xung điều khiển các pha: NH_3 , AlN và GaN của hệ MOCVD để có được các lớp khác nhau với thành phần Al,Ga,N khác nhau. Qua đó, giếng thế được hình thành. Do đó, trong mô phỏng, chúng tôi cũng chú trọng số lượng giếng thế thay

đổi theo các tính chất khác nhằm có được những cấu tốt nhất.

3.2. Phân bố hạt tải theo mật độ dòng hạt tải vào cấu trúc

Chúng tôi khảo sát ở 3 mật độ dòng khác nhau là $63 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, $0,23 \text{ A}/\text{cm}^2$ và $84 \text{ A}/\text{cm}^2$ như hình 5 bên dưới. Hình dạng của 4 răng cưa trong hình 5(a,c,e) ở trên là phân bố năng lượng của 4 giếng

lượng tử của vùng kích hoạt. Mỗi răng cưa tương ứng 1 giếng lượng tử và theo thứ tự từ 1 đến 4. Giếng thứ 4 là giếng cuối cùng và tiếp giáp với vùng hạt tải loại p. Đồ thị phía trên là năng lượng vùng dẫn (*conduction band*) của điện tử và đồ thị bên dưới là vùng hóa trị (*valency band*) của lỗ trống. Các giải thích cho các hình trong suốt phần mô phỏng sẽ dựa theo cách trên.



Hình 5. Kết quả mô phỏng các hạt tải: (a,c,e) giản đồ năng lượng và (b,d,f) mật độ phân bố với $[\text{Si}] = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ trong rào cản với mật độ dòng, $J = 84 \text{ A}/\text{cm}^2$.

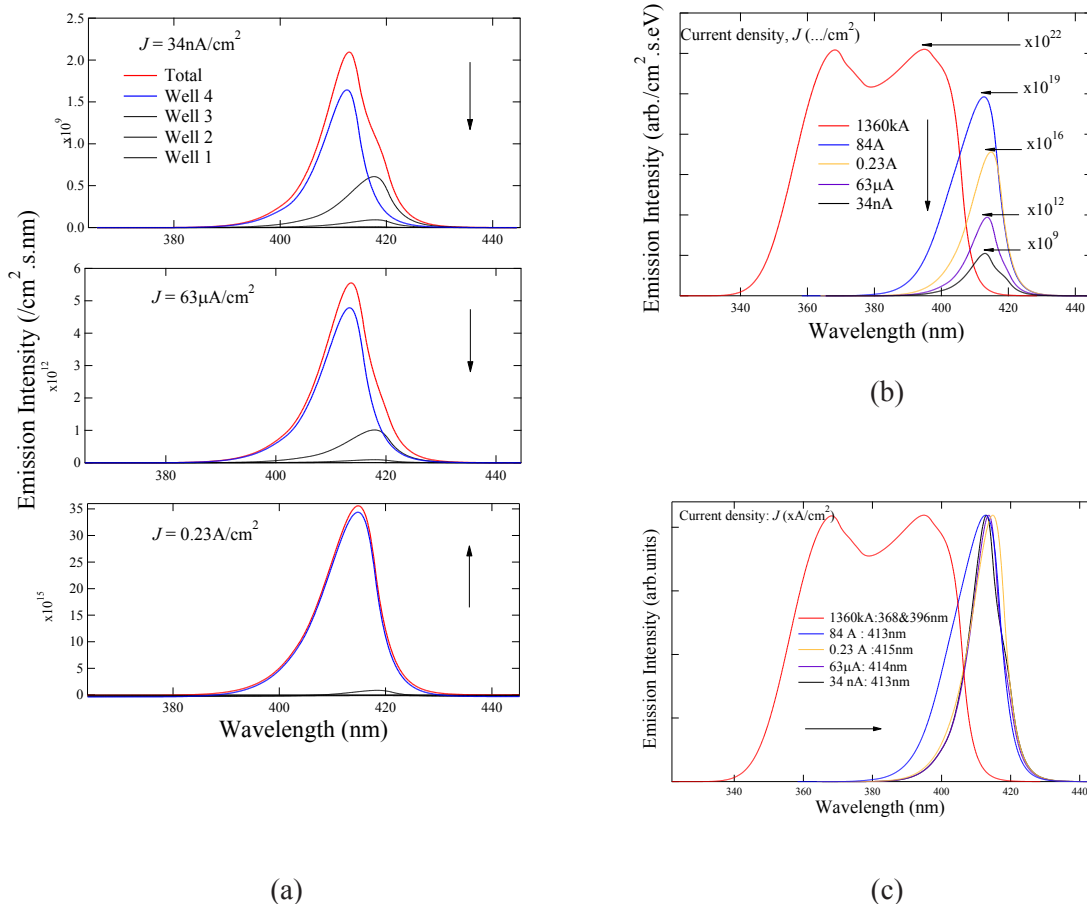
Qua đồ thị phân bố năng lượng trên, mật độ phân bố điện tử trong vùng QW là đồng đều trong các giếng lượng tử ở mật độ dòng thấp. Khi dòng tăng thì phân bố cũng tăng từ từ với dòng tăng. Các lỗ trống chiếm các vị trí gần vùng phát hạt tải p-AlGaN ở J thấp.

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy, mật độ hạt tải Si trong vùng n-GaN sẽ quyết định tỉ lệ tái hợp hạt tải trong vùng QW nên gọi vùng này là vùng kích hoạt. Mật độ điện tử thấp sẽ làm tỉ lệ tái hợp hạt tải thấp và kéo theo sự không đồng nhất trong phân bố lỗ trống. Như thế, n-GaN barrier sẽ đóng vai trò rào cản đối với các điện tử khi chúng chạy về vùng p để tái hợp. Khi tăng mật độ dòng tải (từ $J = 63 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ đến mức cao $84 \text{ A}/\text{cm}^2$)

cm^2) áp vào cấu trúc, sự phân bố điện tử không thay đổi trong các giếng lượng tử.

3.3. Phát xạ của các lớp QW theo mật độ dòng kích hoạt

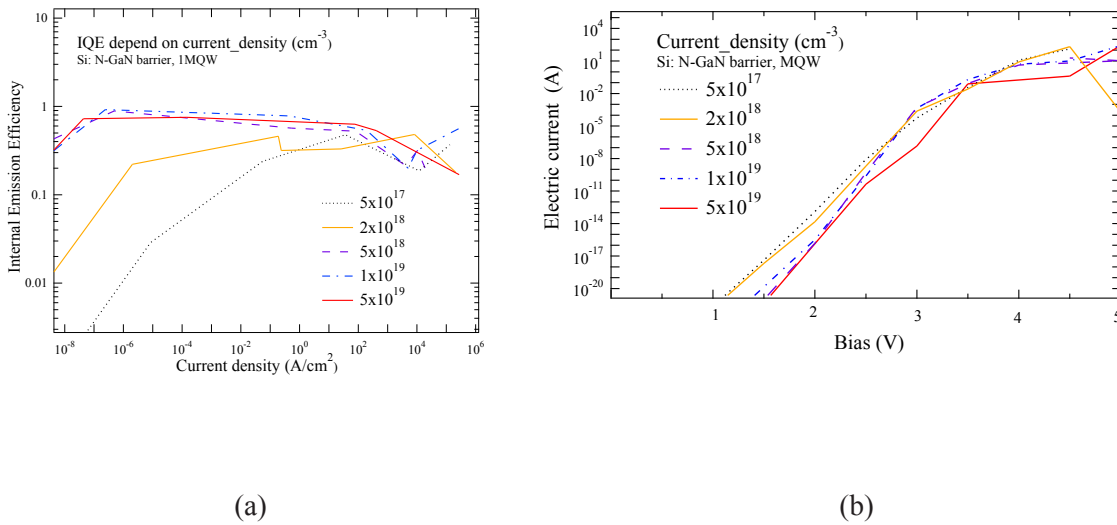
Giếng lượng tử ngoài cùng (sát vùng p) đóng góp cường độ phát xạ lớn nhất và áp đảo khi mật độ dòng càng tăng (xem hình 6.a). Khi tăng mật độ dòng từ $34 \text{ nA}/\text{cm}^2$ lên $63 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, $0.23 \text{ A}/\text{cm}^2$, $84 \text{ A}/\text{cm}^2$ (xem hình 6.b) thì cường độ phát xạ của cấu trúc này tăng lần lượt từ 10^9 , 10^{12} , 10^{16} , 10^{19} với đơn vị là $(\text{arb}/\text{cm}^2 \cdot \text{eV})$. Cường độ tăng theo cấp số nhân với bội số từ 10^3 đến 10^4 tương ứng với giá trị mật độ dòng J tăng theo cấp số nhân.



Hình 6. Kết quả mô phỏng: (a) phát xạ của các lớp QW theo mật độ dòng từ $34 \text{ nA}/\text{cm}^2$ đến $0,23 \text{ A}/\text{cm}^2$, (b) Cường độ phát xạ của các lớp QW tăng nhanh theo mật độ dòng kích hoạt và (c) Độ lệch của bước sóng phát xạ của LED theo theo mật độ dòng kích hoạt. Giá trị bước sóng ổn định ở mật độ dòng nhỏ hơn $84 \text{ A}/\text{cm}^2$.

Quan sát hình 6.c thì bước sóng phát xạ của các giá trị mật độ dòng từ 34nA/cm² đến 84A/cm² dao động từ 409nm đến 415nm. Với cường độ cực đại (không tương), cấu trúc QW này sẽ phát xạ bước sóng kép 365nm đến 390nm với cường độ 10²² (arb/cm².eV) [10].

3.4. Hiệu suất phát xạ LED và mật độ Si trong rào cản n_GaN



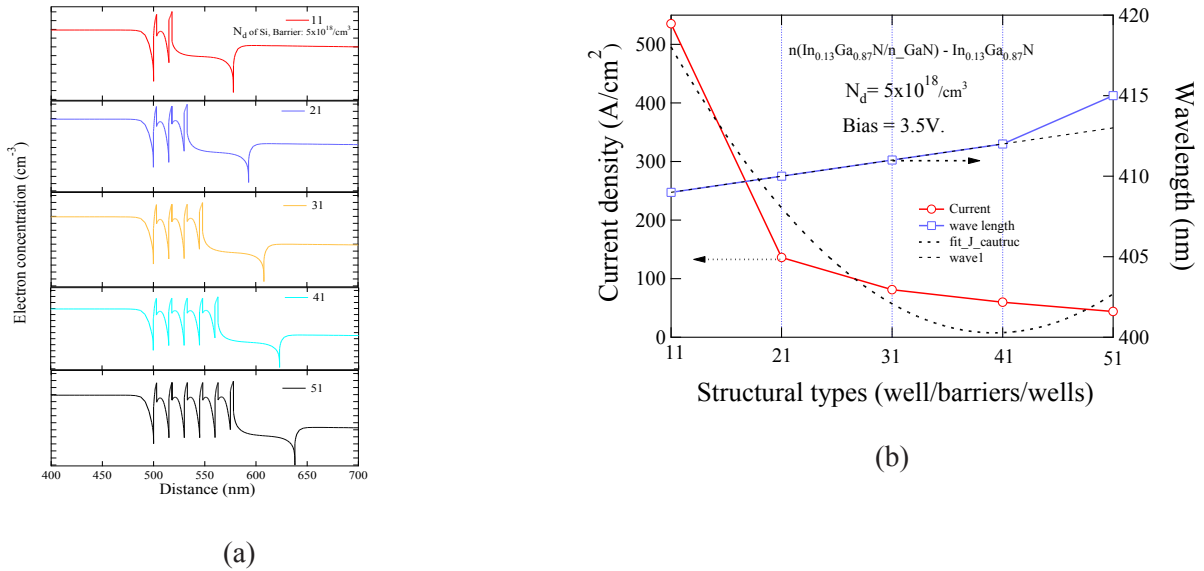
Hình 7. (a) hiệu suất phát xạ (IQE) của LED phụ thuộc vào mật độ doping Si trong rào cản n_GaN và (b), đặc tuyến IV của LED phụ thuộc vào mật độ doping Si trong rào cản n_GaN.

Thực hiện các mô phỏng hiệu suất phát xạ nội (*Internal Emission Efficiency*) theo nồng độ n_Si khác nhau trong rào cản, ta thấy rằng hiệu suất sẽ tăng khi mật độ đạt 5x10¹⁸/cm³ và và bảo hòa ở mức mật độ 5x10¹⁹/cm³. Do đó, khi chế tạo cấu trúc LED, lớp n_GaN nên được khuếch tán ở mật độ 5x10¹⁸/cm³ là hợp lý (xem hình 7.a). Bên cạnh đó. Đặc tuyến I-V sẽ tăng khi mật độ n_Si trong rào cản tăng. Tuy nhiên, mức độ tăng điện thế phân cực cũng chỉ dao động từ 1V đến gần 2V. Dòng bão hòa trong LED với cấu trúc QW này dưới 10A như hình 7.b.

3.5. Khảo sát ảnh hưởng của kích thước vùng kích hoạt (MQWs)

Tiếp theo, chúng tôi khảo sát mật độ hạt tải trong cấu trúc QW của LED thay đổi theo số giếng

lượng tử, với số giếng thế khảo sát từ 2 (ký hiệu là 11), lên 3 (ký hiệu là 21) và lên đến 6 (ký hiệu 51). Lưu ý rằng cấu trúc này sẽ là 1 QW-1 rào cản và 1 lớp QW ngoài cùng. Mật độ pha tạp và kích thước của rào cản cũng ảnh hưởng lớn đến 1 số tính chất quang của UVLED sẽ được thảo luận trong các báo cáo khác. Hình 8.a cho thấy sự đóng góp của từng lớp giếng lượng tử đến mật độ điện tử thể hiện qua số hình răng cưa và phân bố điều trong cấu trúc. Tuy nhiên, độ chênh lệch mật độ giữa 2 giếng liên nhau giảm dần khi số lượng giếng tăng lên tuần tự (Hình 8.a: xem đồ thị của 2 giếng lượng tử đầu và 6 giếng lượng tử cuối)



Hình 8. Khảo sát ảnh hưởng của số lớp giếng lượng tử trong cấu trúc QW: (a) mật độ điện tử trong các giếng thế và (b) cường độ dòng, bước sóng phát xạ của các cấu trúc khảo sát.

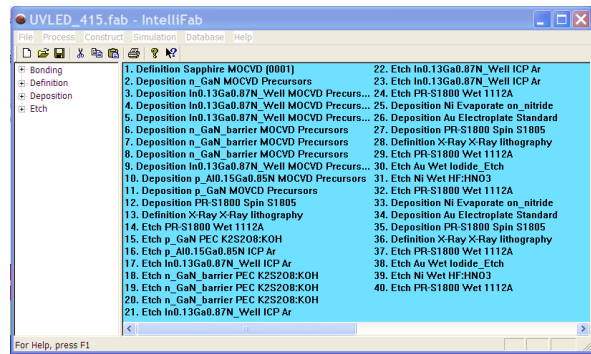
Sự thay đổi mật độ dòng và bước sóng phát xạ của LED theo từng cấu trúc của lớp rào cản và giếng lượng tử được mô tả trong hình 8.b. Ta lưu ý rằng kích thước của 1 giếng lượng tử là 3nm, rào cản là 12nm. Do đó, đối với cấu trúc 21 thì độ dày của các lớp QW là 18nm lên đến 48nm (theo cấp số cộng, cơ số là 18 cho 1 lớp QW). Đối với bước sóng phát xạ (hình 8.b, trục phải) thì sự tăng dần tuyến tính khi cấu trúc tăng từ 11 đến 41, nhưng lại nhảy vọt với cấu trúc 51. Từ kết quả mô phỏng trên, chúng ta thấy rằng không phải mật độ dòng cao là bước sóng phát xạ lớn, bởi vì, vấn đề là khả năng tái hợp điện tử và lỗ trống sẽ quyết định cường độ phát xạ. Một điều quan trọng cần rút ra là đối với cấu trúc có InGaN này, kích thước vùng MQWs càng tăng thì bước sóng phát xạ có chiều hướng tăng theo.

Như thế, với các cấu trúc này, chúng ta có thể xác định được 3 giếng lượng tử (cấu trúc 21) là có dòng đủ lớn và bề dày là 18nm cho phát xạ UV của LED.

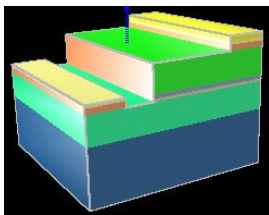
4. MÔ PHỎNG CHẾ TẠO

Nhằm định hướng cho chế tạo UVLED trên thiết bị MOCVD, chúng tôi sử dụng phần mềm Intellisuite cho mô phỏng qui trình và chi tiết các bước chế tạo. Intellisuite có các chức năng như: 3D Builder (xây dựng các lớp trong không gian 3 chiều); 2D Builder (không gian 2 chiều); Intellimask thì dùng để tạo ra các mặt nạ trong việc tạo hình các lớp màng; Intellifab mô phỏng chế tạo như một phòng sạch làm từ những bước cơ bản như để Si với hướng tùy chọn, đến tạo màng, chiếu tia UV và khắc,...

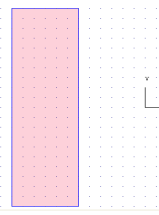
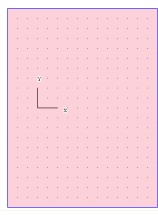
Qui trình mô phỏng chế tạo UV LED bước sóng từ 385nm đến 415 nm được thực hiện qua 40 bước trên phần mềm Intellisuite như hình 10. Các vật liệu sử dụng cho cấu trúc này: đế Sapphire, Gallium nitride (GaN), Aluminium gallium nitride (AlGaN), Indium gallium nitride (InGaN), Vàng (Au), Nickel (Ni). Ta thấy tổng bề dày của UV LED này là 11.258 μm , trong đó đế là sapphire có kích thước 10 μm thể hiện trong phần dưới của hình 10.a.



Hình 9. Qui trình mô phỏng chế tạo UV LED bước sóng từ 385 nm đến 415 nm bằng phần mềm Intellisuite.



(a)



(b)

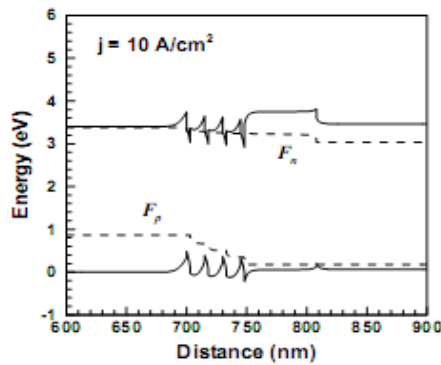
Hình 10. (a), quá trình mô phỏng chế tạo UV LED bước sóng từ 385nm đến 415 nm và (b) các mặt nạ dùng trong chế tạo điện cực loại p Ti/Au [10].

Như đã trình bày ở phần trên, việc tạo các giếng lượng tử sẽ tăng quãng đường hay tốc độ tái hợp của các hạt tải (điện tử và lỗ trống) do bandgap thay đổi hay rộng ra. Từ đó, chúng ta sẽ điều khiển việc tạo cấu trúc và tạo ra những bước sóng phát xạ khác nhau. Do đó, trong hệ MOCVD thì các buồng chứa vật liệu (*Reactant Storage*) là quan trọng và rất cần thiết khi chúng ta muốn tạo một cấu trúc cụ thể. Việc điều khiển tạo các lớp màng mỏng với thành phần AlN, AlGaN hay InGaN, AlInGaN khác nhau rất đơn giản cho lập trình điều khiển quá trình tạo màng trên đế trong buồng phản ứng (reaction chamber) qua tham số áp suất khí và thời gian bơm khí. Kết quả trong Intellisuite sẽ định hướng cho việc chế tạo trên thiết bị được chính xác, giảm sai sót và tiết kiệm vật tư. Tuy nhiên, mỗi thiết bị MOCVD có các reaction chamber khác nhau nên việc cân chỉnh ban đầu rất quan trọng, tức là cấu trúc UVLED có bao nhiêu lớp màng mỏng thì ta phải chế tạo số lượng mẫu riêng cho từng lớp nhằm cân chỉnh tham số áp suất và tốc độ lắng đọng. Việc này, phải tiến hành bằng thực nghiệm.

Để thực hiện cấu trúc này, 03 mặt nạ (mask1;1000 μm x750 μm) được sử dụng như sau: mặt nạ số 1 được dùng tạo hình, bảo vệ và khắc phần màng mỏng của lớp GaN loại p, lớp bán dẫn GaN loại n, lớp bán dẫn GaN loại p, các lớp rào cản n_GaN, và các lớp giếng lượng tử In_{0.13}Ga_{0.87}N bằng phương pháp ICP. Mặt nạ số 2 (1000 μm x300 μm) sử dụng bảo vệ phần màng mỏng không bị ăn mòn trong quá trình khắc để tạo điện cực Au/Ni loại n. Mặt nạ số 3 (1000 μm x300 μm) sử dụng tạo hình và bảo vệ phần màng mỏng không bị ăn mòn trong quá trình khắc tạo thành điện cực loại p Au/Ni trong cấu trúc UV LED.

5. THẢO LUẬN VÀ ĐÁNH GIÁ

Kết quả khảo sát sự phân bố năng lượng vùng dẫn và vùng hóa trị như hình 5 (a,c,e) đã trùng khớp với tính toán của tác giả V. F. Mymrin [11] cho cấu trúc tương tự này.



Hình 11. Cấu trúc năng lượng của $In_xGa_{1-x}N$, MQW LED 4 giếng thế với mật độ $[Si] = 5 \times 10^{18}/cm^3$ trong trào cản được tính với mật độ dòng $10 A/cm^2$ [11].

6. KẾT LUẬN

Cấu trúc tiêu biểu của ULED sử dụng vật liệu AlGaIn được mô phỏng rất chi tiết với sự thay đổi kích thước vùng MQW phù hợp với thực hiện công bố [11]. Các kết luận trong đề tài rất quan trọng để định hướng cho việc chế tạo [10]. Quy trình mô phỏng chế tạo UVLED được tìm hiểu chi tiết và định hướng cho việc chế tạo trên MOCVD tại SHTP trong tương lai.

5. GHI NHẬN VÀ CẢM ƠN

Báo cáo này là một phần nghiên cứu của đề tài NCKH cấp Tp.HCM năm 2010-2012 (86/HĐ-SKHCN). Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn các đồng nghiệp của Đại học Ritsumeikan (Nhật bản) đã hỗ trợ phần mềm và thảo luận. Cảm ơn SHTP đã tạo điều kiện khảo sát thiết bị và nhóm MEMS (Bộ Môn VLĐT) đã chia sẻ kinh nghiệm mô phỏng chế tạo. Xin cảm ơn các đóng góp hữu ích từ các giáo sư phản biện nhằm hoàn chỉnh bài báo cáo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kiyoshi Takahashi, Akihiko Yoshikawa and Adarsh Sandhu (Eds.), Wide Bandgap semiconductors, Fundamental Properties and Modern Photonic and Electronic Devices, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007).
- [2]. M. Aasif Khan, M. Shatalov, H.P.Maruska, H.M.Wang and E.Kkuokstis, Invited Paper,

Bước sóng phát xạ được xác nhận từ 411 nm đến 418 nm với mật độ dòng từ $1.9 A/cm^2$ đến $1.5 kA/cm^2$. Trong khi đó, kết quả tính toán của chúng tôi dao động từ 409nm (cấu trúc 11) đến 415 nm (cấu trúc 15) với mật độ dòng từ 100 đến $400 A/cm^2$. Sự khác biệt nhỏ đến từ các tham số khuếch tán, độ dày lớp rào cản. Kết quả này thể hiện tính toán cấu trúc đúng phương pháp cho phát xạ 385 – 415 nm mà ứng dụng khử trùng đang triển khai.

III-Nitride UV Devices, Japanese Journal of Applied Physics **44** (2005),7191.

- [3] Hideki Hirayama, “Quaternary InAlGaIn-based high-efficiency ultraviolet light-emitting diodes”, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama,351-0198, (2005).
- [4]. M. Takeya, T. Mizuno, T. Sasaki, S. Ikeda, T. Fujimoto, Y. Ohfuji, K. Oikawa, Y. Yabuki, S. Uchida, and M. Ikeda; Phys. Status Solidi C **0** (2003) 2292.
- [5]. D.C. Tin, T. T. Chan and D.M. Chien, *Growth of GaN Blue LED structure on sapphire substrate by MOVCD technology. Proceedings of the 9th AUN/SEED-Net Field-wise Seminar on materials Engineering*, p.70-75 (Jan.,2007)
- [6]. Nakamura et al.: United States Patent No. 5,578,839. United States Patent and Trademark Office (filed 1993-11-17).
- [7]. S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* P.2 35 (1996) L74.
- [8] <http://www.semitech.us/products/SiLENSe/>
- [9]. Nguyen Van Hieu and Vu The Dang, *The lamp with 365nm UVLED for the sterilization*

of bacteria in water. The 5th International Workshop on advanced Materials Science and Nanotechnology, (Nov., 2010), NLE-6-P.

[10]. Bùi Văn Quảng, *Nghiên cứu và tính toán cấu trúc của LED bước sóng cực tím (Ultraviolet Light Emitting Diode: UVLED)*, Luận văn Thạc Sĩ, (ĐH SPKT TP. HCM), (bảo vệ 11/2010).

[11]. V. F. Mymrin, K. A. Bulashevich, N. I. Podolskaya, I. A. Zhmakin, S. Yu. Karpov, and Yu. N. Makarov, *Modelling study of MQW LED operation*, Phys. stat. sol. (c) 2, No. 7, (2005), 2928.