



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0041788

(51)^{2020.01} H01L 33/30; H01L 21/465; H01L 29/06; (13) B
H01L 33/32; H01L 33/22; H01L 21/306;
H01L 29/20

-
- (21) 1-2021-03033 (22) 31/10/2019
(86) PCT/US2019/059163 31/10/2019 (87) WO 2020/096859 14/05/2020
(30) 62/756,252 06/11/2018 US
(45) 25/11/2024 440 (43) 25/01/2022 406
(73) THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA (US)
1111 Franklin Street, Twelfth Floor Oakland, California 94607-5200, United States
of America
(72) Tal MARGALITH (US); Matthew S. WONG (US); Lesley CHAN (US); Steven P.
DENBAARS (US).
(74) Văn phòng Luật sư Ân Nam (ANNAM IP & LAW)
-

(54) PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO ĐIÔT PHÁT QUANG KÍCH CỠ MICRO CÓ DÒNG
RÒ SIÊU NHỎ VÀ LINH KIỆN ĐƯỢC CHẾ TẠO THEO PHƯƠNG PHÁP NÀY
(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp chế tạo điôt phát quang kích cỡ micro (micro-LED)
có dòng rò siêu nhỏ thu được từ phương pháp thụ động hóa thành bên cho các micro-LED
bằng cách sử dụng bước xử lý hóa học sau đó là lắng đọng điện môi bảo toàn hình dạng,
mà làm giảm hoặc giảm thiểu hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt, và các micro-LED
được thụ động hóa có thể đạt được hiệu suất cao hơn các micro-LED không được xử lý
thành bên. Hơn nữa, biên dạng thành bên của các micro-LED có thể thay đổi bằng cách
thay đổi các điều kiện xử lý hóa học.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến các điốt phát quang kích cỡ micro (micro-LED) có dòng rò siêu nhỏ.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

(Lưu ý: Sáng chế có tham khảo một số tài liệu công bố khác như được chỉ ra trong suốt toàn bộ bản mô tả bởi một hoặc nhiều số chỉ dẫn nằm trong dấu ngoặc vuông, ví dụ, [x]. Danh sách các tài liệu công bố khác này theo các số chỉ dẫn có thể được tìm thấy trong phần có tên là "Tài liệu tham khảo". Mỗi tài liệu công bố đó được kết hợp ở đây bằng cách viện dẫn).

Đối với các LED vô cơ, các vật liệu bán dẫn III-nitrua hoặc III-V đang được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau. Do tính bền hóa học của các vật liệu bán dẫn vô cơ, việc khắc mòn khô trên cơ sở plasma được sử dụng rộng rãi để xác định kết cấu mô đỉnh bằng của các LED.

Bản chất tích cực của khắc mòn plasma dẫn đến sự hình thành các khuyết tật và trạng thái bề mặt trên thành bên của LED, và dẫn đến dòng rò và giảm hiệu suất lượng tử bên trong, do sự tái hợp không bức xạ ở các trạng thái bề mặt. Các ảnh hưởng của hư hại thành bên và tái hợp bề mặt rõ ràng hơn khi tỷ lệ chu vi thành bên/diện tích phát sáng của đèn LED tăng lên.

Các micro-LED (cũng được gọi là μ LED) và các LED kích cỡ nano (cũng được gọi là nano-LED) là các LED có diện tích phát sáng lần lượt nhỏ hơn $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ hoặc $1 \mu\text{m}^2$, tương ứng. Các loại LED này có tỷ lệ chu vi/diện tích cao, và các ảnh hưởng của hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt có thể được quan sát thấy từ hiệu suất hiệu quả. Đã quan sát thấy rằng hiệu quả cao nhất giảm xuống khi kích cỡ của LED thu nhỏ.

Thông thường, sự thụ động hóa thành bên bằng cách sử dụng lắng đọng điện môi bảo toàn hình dạng được sử dụng để làm giảm dòng rò. Tuy nhiên, sự thụ động hóa thành bên chỉ sử dụng lắng đọng điện môi là không đủ để loại bỏ ảnh hưởng của hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt từ các μ LED.

Do đó, trong lĩnh vực này, cần có các phương pháp cải tiến để chế tạo LED. Sáng chế đáp ứng nhu cầu này.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế bộc lộ diot phát quang kích cỡ micro (micro-LED) có dòng rò siêu nhỏ. Cụ thể là sáng chế mô tả phương pháp thụ động hóa thành bên cho các μ LED sử dụng xử lý hóa học tiếp theo là lắng đọng điện môi bảo toàn hình dạng, mà làm giảm hoặc loại bỏ hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt, và các μ LED đã thụ động có thể đạt được hiệu quả cao hơn so với các μ LED không được xử lý thành bên. Hơn nữa, biên dạng thành bên của các μ LED có thể được thay đổi bằng cách thay đổi các điều kiện xử lý hóa học.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sau đây việc tham chiếu đến các hình vẽ trong đó các số chỉ dẫn giống nhau thể hiện cho các phần tương ứng trong suốt bản mô tả:

Fig.1 là đồ thị cường độ dòng rò theo tỷ lệ chu vi/diện tích.

Fig.2 bao gồm các hình ảnh hiển vi điện tử quét (scanning electron microscopy - SEM) (a), (b) và (c) có các biên dạng thành bên của các μ LED, mà không xử lý và các xử lý hoá học khác.

Fig.3 bao gồm các hình ảnh điện phát quang (electroluminescence - EL) của các μ LED III-nitrua có các kích cỡ khác nhau mà minh họa các kết quả khác nhau thu được từ các xử lý hoá học đến độ đồng đều của sự phát sáng ở mật độ dòng điện là 1 A/cm^2 . Cường độ sáng từ các μ LED kích cỡ $10 \times 10 \text{ }\mu\text{m}^2$ mà không xử lý hóa học là quá mờ để chụp được bằng camera, do đó hình ảnh không được thể hiện.

Fig.4 bao gồm các hình ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của biên dạng thành bên của các μ LED, trong đó hình ảnh (a) là trước khi và hình ảnh (b) là sau khi xử lý hóa học bằng kali hydroxit (KOH) ở nhiệt độ phòng trong thời gian 40 phút. Phần lông ghép trên hình ảnh (b) là biên dạng thành bên với xử lý hóa học KOH ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 40 phút.

Fig.5(a) và Fig.5(b) là các đồ thị hiệu suất lượng tử bên ngoài (external quantum efficiency - EQE) (%) theo mật độ dòng điện (A/cm^2) thể hiện sự phụ thuộc của EQE vào sự cấp dòng điện cho các μ LED mà không xử lý thành bên như được thể hiện trên Fig.5(a) và có xử lý thành bên như được thể hiện trên Fig.5(b).

Fig.6 là đồ thị EQE cao nhất (%) theo độ dài linh kiện (μm) mà thể hiện sự phân bố EQE cao nhất của sáu kích cỡ linh kiện khác nhau có và không xử lý thành bên.

Fig.7(a) là đồ thị mật độ dòng điện (A/cm^2) theo điện áp (V) minh họa đặc tính cường độ dòng điện-điện áp của các linh kiện kích cỡ 100×100 và $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ có và không xử lý thành bên, và Fig.7(b) là đồ thị hệ số lý tưởng theo độ dài linh kiện (μm) minh họa sự phân bố hệ số lý tưởng của các μLED có và không xử lý thành bên.

Fig.8 là lưu đồ các bước quy trình theo một phương án của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trong phần mô tả các phương án ưu tiên sau đây, sự tham chiếu được thực hiện dựa trên các hình vẽ kèm theo mà các hình vẽ này là một phần của sáng chế, và được thể hiện theo cách minh họa phương án cụ thể trong đó sáng chế có thể được thực hiện. cần hiểu rằng các phương án này có thể được thực hiện và các thay đổi về mặt kết cấu có thể được thực hiện mà không tách khỏi phạm vi của sáng chế.

Tổng quát

Các LED III-nitrua hoặc III-V đã được phát triển cho các ứng dụng phát sáng trạng thái rắn, trong đó III-nitrua hoặc III-V là chỉ thành phần hợp kim của các chất bán dẫn (Ga, Al, In, B)N có công thức hóa học là $\text{Ga}_w\text{Al}_x\text{In}_y\text{B}_z\text{N}$ với $0 \leq w \leq 1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$, và $w + x + y + z = 1$.

Gần đây, ngày càng có nhiều nghiên cứu chú ý đến việc sử dụng các μLED III-nitrua cho các ứng dụng hiển thị khác nhau, chẳng hạn như hiển thị gần mắt và hiển thị trực tiếp trên vật thể, do độ bền hóa học, tuổi thọ hoạt động dài, hiệu suất cao và tỷ lệ tương phản cao của các μLED III-nitrua.

Do tính trơ về mặt hóa học của III-nitrua, quá trình khắc mòn plasma khô thường được sử dụng trong chế tạo linh kiện III-nitrua. Kết quả là, các khuyết tật và trạng thái bề mặt được tạo ra trên các thành bên của linh kiện do các điều kiện khắc nghiệt của quá trình khắc mòn khô. Hơn nữa, các khuyết tật và trạng thái bề mặt đóng vai trò như bẫy mang điện tích và làm tăng dòng rò và xác suất tái hợp không bức xạ, mà dẫn đến giảm xác suất tái hợp bức xạ và hiệu quả của các linh kiện.

Để giảm dòng rò được tạo ra bởi quá trình khắc mòn khô, đối với các LED có tỷ lệ chu vi/diện tích phát xạ thành bên nhỏ, một phương pháp là lắng đọng các vật liệu

điện môi, chẳng hạn như silic dioxide (SiO_2), silic nitrua (SiN_x), saphia hoặc nhôm oxit (Al_2O_3), nhôm nitrua (AlN), hoặc các oxit và nitrua cách điện khác, để phân chia thành bên và che đi các khuyết tật và trạng thái bề mặt. Tuy nhiên, sự thụ động hóa thành bên chỉ với vật liệu cách điện không thể làm giảm dòng rò đầy đủ cho các μLED .

Do tỷ lệ chu vi/diện tích cao, hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất của các μLED . Từ các tài liệu, người ta đã chỉ ra rằng hiệu suất tối đa của các μLED giảm khi kích thước linh kiện μLED thu nhỏ, và sự giảm hiệu suất là do các vị trí tái hợp không bức xạ được tạo ra bởi quá trình khắc mòn khô, liên kết treo và các trạng thái bề mặt ở thành bên. Bằng cách sử dụng cách thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi, hiệu suất của các μLED có thể được cải thiện, về mặt rò rỉ cường độ dòng rò và công suất đầu ra ánh sáng, tuy nhiên cường độ dòng rò sẽ tăng lên theo kích thước linh kiện thu nhỏ.

Sáng chế mô tả phương pháp sản xuất bao gồm cả xử lý hóa học để loại bỏ hư hại thành bên và thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi để thụ động hóa các trạng thái bề mặt và các liên kết treo. Xử lý hóa học có thể được thực hiện trước khi thụ động hóa thành bên bảo toàn hình dạng nhờ chất điện môi, nhưng thứ tự có thể đảo ngược với thụ động hóa thành bên bảo toàn hình dạng nhờ chất điện môi được thực hiện trước khi xử lý hóa học.

Nhiều bước xử lý hóa học có thể được thực hiện, hoặc nhiều hơn một hóa chất có thể được sử dụng trong mỗi bước xử lý hóa học, phụ thuộc vào hệ vật liệu, thiết kế linh kiện và nhu cầu sản xuất. Mục tiêu của xử lý hóa học là để loại bỏ hư hại thành bên từ sự khắc mòn khô.

Các hóa chất được sử dụng theo sáng chế có thể là hóa chất bất kỳ có sẵn trên thị trường hoặc sản xuất bằng cách tổng hợp. Hóa chất bản thân nó có thể là chất rắn, chất lỏng hoặc chất khí và có thể hòa tan trong các dung môi khác để chuyển sang pha khác có lợi cho hiệu suất linh kiện và tối ưu cho việc chế tạo.

Các bề mặt có hư hại thành bên và các khuyết tật có năng lượng cao do các liên kết treo và các khuyết tật. Khi xử lý hóa học được sử dụng, các bề mặt có hư hại năng lượng cao sẽ được khắc mòn ra và phản ứng sẽ kết thúc khi hư hại và khuyết tật được loại bỏ.

Bản chất của việc khắc mòn phụ thuộc nhiều vào sự lựa chọn hóa chất. Một số hóa chất có thể đạt được độ nhám thành bên mịn màng trong khi bảo toàn biên dạng thành bên khỏi sự khắc mòn khô, và một số có thể dẫn đến biên dạng thành bên bào ép và thẳng đứng. Hơn nữa, các thông số khắc mòn và biên dạng thành bên có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi nồng độ, nhiệt độ, thời gian xử lý, và/hoặc các đặc tính vật lý khác của dung dịch hóa chất.

Việc sử dụng xử lý hóa học có thể có các tác động tiêu cực lên các thành phần khác của mẫu bán dẫn vô cơ, và có thể dẫn đến hiệu suất linh kiện kém. Do đó, các thành phần có thể được bảo vệ sử dụng các vật liệu kháng hóa chất trước khi xử lý để tránh sự biến chất của các phần khác của mẫu.

Mặt khác, thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi có lợi cho việc tăng hiệu quả của các LED bằng cách giảm dòng rò và tăng hiệu quả khai thác ánh sáng. Tuy nhiên, do tỷ lệ chu vi/diện tích lớn trong các μ LED, một số phương pháp lắng đọng điện môi có thể tạo ra nhiều hư hại hơn cho các μ LED và giảm hiệu suất.

Bằng cách sử dụng cả xử lý hóa học và thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi, các kỹ thuật lắng đọng điện môi linh hoạt hơn có thể được sử dụng để đạt được dòng rò nhỏ và không có hư hại bổ sung.

Các kết quả thực nghiệm đối với sáng chế được mô tả trong các hình vẽ Fig.1, Fig.2 và Fig.3.

Fig.1 là đồ thị của cường độ dòng rò (A/cm^2) so với tỷ lệ chu vi/diện tích (μm^{-1}). Đồ thị này minh họa cường độ dòng rò với các biện pháp xử lý khác nhau được đo ở điện áp -4 V và với các kích thước nhau nhau của các μ LED. Đường đồ thị "tham chiếu" là chỉ các μ LED không được xử lý.

Fig.2 bao gồm các hình ảnh SEM của các biên dạng thành bên của các μ LED, trong đó ảnh (a) là thành bên không được xử lý, và các ảnh (b) và (c) là các thành bên với các cách xử lý hoá học khác nhau.

Fig.3 bao gồm các hình ảnh EL của các μ LED III-nitrua có các kích thước khác nhau được chỉ ra bằng cột được đánh dấu là "độ dài linh kiện" và các hàng được đánh dấu là 10 μm , 20 μm , 40 μm , 60 μm , 80 μm , và 100 μm . Các kỹ thuật thụ động hóa khác nhau và không thụ động hóa được chỉ ra bởi các cột được đánh dấu là "xử lý hóa

học” và “tham chiếu”, tương ứng. Các hình vẽ thể hiện các sự khác biệt do xử lý hóa học lên độ đồng nhất của sự phát xạ ánh sáng ở mật độ dòng điện là 1 A/cm².

Sáng chế được mô tả chi tiết hơn dưới đây.

Mô tả kỹ thuật

Theo sáng chế, các μ LED có đặc tính EQE đỉnh độc lập về kích thước đã được chứng minh từ 10x10 μm^2 đến 100x100 μm^2 bằng cách sử dụng kết hợp cả xử lý hóa học và thụ động hóa thành bên lắng đọng lớp nguyên tử (atomic-layer deposition - ALD). Xử lý hóa học và thụ động hóa thành bên đã cải thiện các yếu tố lý tưởng của các μ LED từ 3,4 thành 2,5. Các kết quả từ sự kết hợp xử lý hóa học và thụ động hóa thành bên ALD gợi ý rằng vấn đề hiệu quả phụ thuộc vào kích thước có thể khắc phục được với các biện pháp xử lý thành bên phù hợp sau khi khắc mòn khô.

Như được lưu ý ở trên, các μ LED được coi là một trong số các ứng viên hứa hẹn nhất cho các ứng dụng hiển thị thế hệ mới, vì các μ LED cung cấp hiệu suất vượt trội về độ sáng, hiệu quả phát sáng, thời gian hoạt động, và độ phân giải. [1-7] Tính linh hoạt của các μ LED không bị giới hạn ở các màn hình hiển thị do chúng cũng được sử dụng trong các linh kiện điện tử sinh học và các ứng dụng truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy (visible-light communication - VLC). [8,9]

Hệ vật liệu InGaN có tốc độ tái hợp bề mặt thấp hơn các vật liệu gốc GaAs, do đó các μ LED III-nitrua cần vượt trội hơn rất nhiều so với các μ LED gốc GaAs cho các ứng dụng hiển thị và Internet vạn vật (Internet of Things - IoT) công suất siêu thấp. [10-12]

Các báo cáo trước đây thể hiện rằng EQE đỉnh giảm khi các kích thước của μ LED thu nhỏ. [13-15] Sự giảm EQE đỉnh này được xác định là do hệ quả của sự tái hợp bề mặt và hư hại thành bên từ việc khắc mòn khô, mà đóng vai trò là vị trí tái hợp không bức xạ Shockley-Read-Hall (SRH). [16-18] Tác động này ngày càng trở nên có hại đối với hiệu quả khi kích thước linh kiện giảm và tỷ lệ chu vi trên diện tích tăng lên.

Một loạt các kỹ thuật đã được sử dụng để giảm tác động của hư hại thành bên, nhưng không có phương pháp nào trong số này chứng minh được EQE đỉnh không phụ thuộc vào kích thước. [15,19-21] Trong số tất cả các phương pháp, thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi sử dụng ALD là kỹ thuật hiệu quả nhất để ngăn chặn dòng rò và khuyết tật bề mặt. [19,21] Các hóa chất ướt, như KOH và amoni sulfua, đã được sử dụng để cải thiện hiệu suất điện và để giảm hư hại thành bên từ việc khắc mòn khô trong các

LED thông thường. [22] Tuy nhiên, các tác động của xử lý hóa học lên hiệu quả của các LED thông thường đã chưa được nghiên cứu kỹ lưỡng. Vì các tác động của hư hại thành bên là rõ ràng hơn ở các μ LED so với các LED thông thường, việc xử lý hóa học cần có lợi hơn cho hiệu suất của các μ LED, tuy nhiên các ảnh hưởng của xử lý hóa học lên các μ LED chưa được hiểu rõ ràng.

Theo sáng chế, các tác động của xử lý hóa học bằng KOH kết hợp với thụ động hóa thành bên ALD lên các đặc tính điện và hiệu quả của các μ LED đã được khảo sát. Đồng thời, sáng chế đã chứng minh các μ LED với EQE đỉnh được duy trì từ 10×10 đến $100 \times 100 \mu\text{m}^2$. Ngược lại, các μ LED không xử lý thành bên thể hiện rằng EQE đỉnh đặc trưng giảm khi kích thước linh kiện tăng. Thuộc tích EQE đỉnh không phụ thuộc kích thước từ 10×10 đến $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ của các μ LED được quan sát trước. Sáng chế lần đầu tiên bộc lộ rằng hiệu quả phụ thuộc kích thước của các μ LED có thể được khắc phục và các ảnh hưởng của hư hại thành bên có thể được giảm thiểu nhờ các phương pháp xử lý thành bên thích hợp.

Các kết cấu μ LED được chế tạo trên phiên bản dẫn kiểu epitaxy LED xanh InGaN mặt phẳng có trên thị trường trồng trên đế saphia. Các phiên bản dẫn công nghiệp được sử dụng để giảm thiểu các sự thay đổi trong các điều kiện nuôi và để đảm bảo độ đồng nhất xuyên qua phiên bản dẫn. Các μ LED với sáu kích thước được chế tạo: 10×10 , 20×20 , 40×40 , 60×60 , 80×80 , $100 \times 100 \mu\text{m}^2$, với các thiết kế linh kiện cụ thể đã được báo cáo ở đầu đó. [14,19,23] Tất cả các linh kiện được xử lý cùng nhau để giảm thiểu các biến thể chế tạo bất kỳ.

Trước khi bắt đầu xử lý phiên bản dẫn, việc làm sạch bằng nước cường toan, axit hydrofloric được đệm (buffered hydrofluoric - BHF), và dung môi được thực hiện để loại bỏ các chất bẩn. Sau khi làm sạch, 110 nm indi-thiếc oxit (indium-tin oxide - ITO) được lắng đọng thông qua lắng đọng chùm điện tử như là tiếp xúc loại p trong suốt. Các đỉnh bằng của linh kiện được xác định bằng cách khắc ion-hoạt động (reactive-ion etching - RIE) để khắc ITO sử dụng metan/hydro/argon và khắc sâu vào lớp n-GaN sử dụng silic tetraclorea. Sau khi khắc, các μ LED được xử lý thành bên được xử lý với KOH ở nhiệt độ phòng trong thời gian 40 phút. Vật phản xạ đẳng hướng (omnidirectional reflector - ODR), bao gồm 3 cặp silic dioxit (SiO_2) và tantali oxit (Ta_2O_5) với độ phản xạ 95,5% trong phạm vi bước sóng giữa 430 và 450 nm, được lắng đọng bằng phương pháp lắng đọng chùm ion như là lớp điện môi cách ly kim loại. Nhôm

oxit (Al_2O_3) được lắng đọng trên đỉnh của ODR như là lớp gắn dính kim loại. 50 nm SiO_2 được lắng đọng trên các μLED được xử lý thành bên sử dụng ALD ở 300°C để thụ động hóa thành bên. Sau khi lắng đọng lớp phủ ALD SiO_2 , vùng diện tích SiO_2 chọn lọc được loại bỏ sử dụng BHF để tạo cửa sổ tiếp xúc với kim loại. Các tiếp điểm p- và n-chung bao gồm 700/100/700 nm của Al/Ni/Au và được lắng đọng sử dụng phương pháp lắng đọng chùm điện tử.

Các đặc tính dòng điện-điện áp được phân tích bằng thử nghiệm trên phiên bản dẫn. Để xác định EQE, các μLED được phân tách thành các khối $750 \times 750 \mu\text{m}^2$. Các linh kiện được chia khối sau đó được lắp lên các đầu bạc, nối dây và đóng nắp sử dụng nhựa Dow Corning OE-6650™ với chỉ số khúc xạ là 1,54. Dữ liệu EQE được đo nhờ khối cầu kết hợp.

Các ảnh hưởng của xử lý hóa học bằng KOH lên biên dạng phát sáng của các μLED có thể được chứng minh bằng các hình ảnh điện phát quang (electroluminescence - EL) của các μLED ở cường độ 1 A/cm^2 , như được thể hiện trên Fig.3. Các μLED không được xử lý thành bên, được chỉ ra dưới dạng “Tham chiếu”, dẫn đến sự phát sáng không đồng nhất trong các linh kiện lớn và sự phát sáng mờ nhưng đồng nhất trong các linh kiện nhỏ. [13,14,19] Cường độ sáng từ các μLED $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ không được xử lý hóa học là quá mờ để chụp được bằng camera. Mặt khác, các μLED được xử lý hóa học bằng KOH tạo ra sự phát sáng đồng nhất trong tất cả sáu kích thước. Hơn nữa, thuộc tính mờ không xuất hiện trong các μLED nhỏ hơn được xử lý với KOH. Điều này minh họa rằng xử lý hóa học bằng KOH cải thiện độ đồng đều EL ở các mật độ dòng thấp. Các đường dẫn rò được tạo ra ở các thành bên sau khi khắc mòn khô [22,24,25], nên dòng điện chạy xung quanh các mép, do đó sự phát sáng không đồng nhất được quan sát trong các μLED lớn. Bằng cách sử dụng xử lý hóa học bằng KOH, các đường dẫn rò ở các thành bên được loại bỏ và dòng điện được dẫn đồng đều vào các linh kiện. Kết quả là, các μLED được xử lý hóa học bằng KOH tạo ra sự phát sáng đồng nhất.

KOH đã được sử dụng trước để cải thiện hiệu suất điện của các linh kiện loại gốc GaN bằng cách loại bỏ vật liệu bị hư hại do plasma trên các thành bên của linh kiện. [22,24] Tuy nhiên, các tác động của KOH lên các μLED chưa được nghiên cứu sâu. Fig.4 thể hiện các hình ảnh SEM, được đánh dấu là (a) và (b), của các biên dạng thành bên của μLED trước và sau khi xử lý hóa học bằng KOH. Đối với linh kiện không được xử lý bằng KOH, bản chất của khắc cơ học công suất cao của RIE dẫn đến bề mặt thành

bên gồ ghề. Đối với thành bên mà có xử lý bằng KOH, đặc điểm ép mặt mặt phẳng m- được tạo ra với các kích cỡ giữa 50 và 200 nm. Sự hình thành của các mặt phẳng m- trên thành bên của linh kiện đã được báo cáo trong các nghiên cứu trước đó sử dụng KOH hoặc tetrametylamoni hydroxit (TMAH).^[24–26] Các kích thước của các mặt phẳng m- tăng lên cùng với thời gian xử lý KOH. Đặc điểm này của xử lý bằng KOH gợi ý rằng nó có thể được sử dụng để cải thiện hiệu quả khai thác ánh sáng của các μ LED và các kết quả tương tự đã được chứng minh sử dụng TMAH.^[27] Tuy nhiên, để duy trì hiệu suất khai thác ánh sáng tương tự trong cả hai mẫu, đặc điểm mặt phẳng m- được báo cáo ở đây đã tăng hiệu suất khai thác ánh sáng không đáng kể (dưới 5%) dựa trên mô phỏng theo dõi tia Monte Carlo bằng phần mềm Synopsys LightTools™. Bên cạnh thời gian xử lý, nhiệt độ cũng có tác động đáng kể đến hình thái thành bên của thiết bị. Nội dung trong hình (b) trên Fig.4 thể hiện biên dạng thành bên trong của linh kiện đã được xử lý bằng KOH ở 80°C trong thời gian 40 phút và thể hiện rõ sự hình thành các mặt phẳng m- có thể bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ. Mặc dù các biên dạng thành bên khác nhau được quan sát ở các nhiệt độ khác nhau, không có sự khác biệt đáng chú ý về hiệu suất điện. Việc loại bỏ các vật liệu bị hư hỏng do plasma ra khỏi thành bên của linh kiện bằng cách sử dụng KOH rất hơi hợt và không làm giảm đáng kể kích thước linh kiện μ LED, với tổng chiều dài khắc bên là khoảng 500 nm.

Sau khi trình bày các tác động của việc xử lý bằng KOH, ảnh hưởng của sự kết hợp giữa xử lý bằng KOH và sự thụ động hóa ALD sẽ được thảo luận sau đây. Fig.5(a) và Fig.5(b) thể hiện các đường cong EQE của các μ LED từ 10x10 μm^2 đến 100x100 μm^2 mà không có và có sự kết hợp của KOH và xử lý thành bên ALD, tương ứng. Từ Fig.5(a), các μ LED từ 40x40 μm^2 đến 100x100 μm^2 tạo ra các EQE đỉnh giữa 22% và 25% với các sự chênh lệch nhỏ do sự thay đổi chế tạo. Tuy nhiên, khi các kích thước của μ LED co nhỏ, các EQE đỉnh của các linh kiện 20x20 μm^2 và 10x10 μm^2 giảm đột ngột xuống dưới 20%. Sự chênh lệch giữa các EQE đỉnh của các linh kiện 100x100 μm^2 và 10x10 μm^2 là khoảng 30%. Sự giảm về EQE lớn nhất có thể được giải thích bằng các ảnh hưởng của các vị trí tái hợp không bức xạ SRH gây ra bởi hư hại thành bên và sự tái hợp bề mặt. Mật độ dòng điện ở EQE đỉnh dịch từ 5 A/cm² đối với μ LED 100x100 μm^2 đến 15 A/cm² đối với μ LED 10x10 μm^2 , và sự dịch chuyển là do tăng sự tái hợp không bức xạ SRH hiệu quả.^[13,14,17]

Mặt khác, các EQE đỉnh của tất cả các μ LED được xử lý thành bên là giữa 22% và 23%, và đa thể hiện các mức chênh lệch không đáng kể trong EQE đỉnh. Mặc dù các linh kiện này đã chứng minh EQE độc lập về kích thước trong μ LED được xử lý bên trong, vẫn có sự thay đổi của vị trí đỉnh EQE. Vì các tác động của tái hợp không bức xạ SRH không được loại bỏ hoàn toàn, nên cần có các nghiên cứu sâu hơn để hiểu hiệu quả của việc xử lý hóa học đối với tái tổ hợp không bức xạ SRH.

Đối với cả hai bộ mẫu, các linh kiện nhỏ hơn $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ cho thấy hiệu quả giảm đáng kể so với các linh kiện lớn hơn. Hiệu ứng này đã được quan sát thấy từ các báo cáo khác trong đó các linh kiện nhỏ hơn tạo ra sự lan truyền nhiệt và dòng điện đồng đều hơn. ^[13,14,16] Tính nhất quán của xử lý thành bên trên EQE đỉnh được xác định bằng cách đo năm linh kiện với mỗi kích thước trong cả hai mẫu, như được thể hiện trên Fig.6. Các μ LED không được xử lý thành bên thể hiện xu hướng mà EQE đỉnh giảm dần đối với các linh kiện nhỏ hơn $40 \times 40 \mu\text{m}^2$. Các μ LED được xử lý thành bên có sự phân bố các EQE đỉnh giữa 22% và 27% với sự biến đổi tương đối nhỏ.

Các tác động của xử lý bằng KOH và xử lý thành bên ALD đến các đặc tính điện áp - dòng điện và hệ số lý tưởng của các μ LED đã được xác định. Đặc tính mật độ dòng-điện áp của các linh kiện 100×100 và $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ có và không được xử lý thành bên trong được thể hiện trên Fig.7(a). Các linh kiện $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ đạt được mật độ dòng cao hơn các linh kiện $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ với cùng điện áp áp dụng, và điều này đã được quan sát thấy trong các báo cáo có trước. ^[13,14] Hiệu ứng góp phần vào việc lan truyền nhiệt và dòng điện tốt hơn trong các linh kiện $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. ^[16] Cả hai loại linh kiện không được xử lý thành bên đều mang lại bậc mật độ dòng rò cao hơn tỷ lệ thuận với cường độ so với các linh kiện đã được xử lý thành bên, cho thấy việc xử lý thành bên là đủ để ngăn chặn dòng điện rò. Các hệ số lý tưởng được tính toán từ các đặc tính điện áp - dòng tỷ lệ thuận của các μ LED ở 5 A/cm^2 bằng cách sử dụng phương trình 1 dưới đây:

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{\partial \ln I}{\partial V} \right)^{-1} \quad (1)$$

trong đó n là hệ số lý tưởng, q là điện tích nguyên tố, k là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ Kelvin, I là dòng điện, và V là điện áp. ^[29] Fig.7(b) hiển thị hệ số lý tưởng được tính toán của sáu μ LED có kích thước khác nhau với đã được và không được xử lý thành bên. Các hệ số lý tưởng của các linh kiện không được xử lý thành bên, khoảng 3,4, là cao hơn so với các μ LED được xử lý thành bên, và phương pháp xử lý thành bên được

bộ lộ có các hiệu quả có lợi về hiệu suất điện. ^[30,31] Đối với các μ LED được xử lý thành bên, các hệ số lý tưởng là khoảng 2,5, chỉ ra rằng sự tái hợp chất mang có khả năng là cơ chế chủ đạo xảy ra trong các linh kiện này. ^[32] Sự chênh lệch giữa các hệ số lý tưởng trong hai mẫu có thể được giải thích là bởi hư hại thành bên từ việc khắc mòn khô. Đã có báo cáo rằng hư hại do plasma làm giảm hiệu suất điện và làm tăng hệ số lý tưởng. ^[31,32] Do đó, hệ số tư tưởng cũng xác nhận rằng hiệu suất điện của các μ LED được cải thiện đáng kể khi được xử lý thành bên. Hơn nữa, hệ số tư tưởng có thể đóng vai trò là thước đo thay thế để xác định hiệu quả của việc xử lý thành bên. Nhiều quá trình xử lý thành bên khác nhau đã được chứng minh để khôi phục hiệu suất μ LED từ các sự hư hại thành bên, bao gồm ủ nhiệt và thụ động hóa thành bên nhờ chất điện môi, nhưng những cải thiện này được thể hiện bằng các phép đo EQE trên phiên bản bán dẫn hoặc linh kiện được đóng gói. ^[15,19–21] Ngoài EQE, hệ số lý tưởng tạo thông tin bổ sung về hiệu suất của các bước xử lý thành bên lên sự giảm dòng rò gây ra bởi khắc mòn khô.

Tóm lại, sáng chế đã chứng minh các EQE đỉnh không phụ thuộc kích cỡ của các μ LED từ $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ đến $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ bằng cách sử dụng bước xử lý hóa học bằng KOH, sau đó là thụ động hóa thành bên ALD. Đối với các μ LED không được xử lý thành bên, EQE đỉnh bắt đầu giảm ở linh kiện có kích thước nhỏ hơn $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ và giảm đột ngột khoảng 30% từ việc co nhỏ kích thước linh kiện từ $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ đến $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. Các hệ số lý tưởng là 2,5 và 3,4 đối với các linh kiện đã được và không được xử lý thành bên, tương ứng. Các kết quả này cho thấy rằng sự kết hợp của xử lý hóa học bằng KOH cùng với thụ động hóa thành bên ALD có tác dụng làm giảm sự tái hợp không bức xạ SRH và sự tái hợp bề mặt gây ra bởi hư hại do plasma.

Các bước của quy trình

Fig.8 là lưu đồ thể hiện các bước quy trình được sử dụng theo một phương án của sáng chế.

Khối 800 thể hiện bước phát triển một hoặc nhiều lớp bán dẫn nitrua III trên đế sử dụng kỹ thuật phát triển bất kỳ.

Khối 801 thể hiện bước khắc mòn khô các lớp bán dẫn nitrua III trong quá trình chế tạo linh kiện, trong đó bước khắc mòn khô tạo ra các khuyết tật và các trạng thái bề mặt trên một hoặc nhiều thành bên của linh kiện, và các khuyết tật và các trạng thái bề mặt này đóng vai trò là các bẫy chất mang và làm tăng dòng rò và xác suất của sự tái

hợp không bức xạ của linh kiện. Theo một phương án, bước khắc mòn khô bao gồm khắc mòn khô bằng plasma và khắc mòn khô bằng plasma được thay đổi để tăng hiệu quả từ các bước xử lý hoá học được thực hiện và/hoặc các vật liệu điện môi được lắng đọng. Đồng thời, đối với chế tạo linh kiện, linh kiện tốt nhất là có một hoặc nhiều cạnh với độ dài nhỏ hơn 60 μm và/hoặc linh kiện có đường kính nhỏ hơn 40 μm .

Khối 802 thể hiện bước thực hiện một hoặc nhiều bước xử lý hoá học để loại bỏ hư hại khỏi các thành bên của linh kiện. Tốt hơn là, các bước xử lý hoá học bao gồm khắc mòn ướt sử dụng KOH, và linh kiện được bảo vệ trước khi thực hiện xử lý hóa học. Đồng thời, biên dạng của một hoặc nhiều thành bên của linh kiện có thể được thay đổi nhờ các bước xử lý hoá học.

Khối 803 thể hiện bước lắng đọng các vật liệu điện môi lên các thành bên của linh kiện để thụ động hóa các thành bên của linh kiện, và che phủ các khuyết tật và các trạng thái bề mặt, để làm giảm dòng rò của linh kiện được tạo ra bởi bước khắc mòn khô. Về vấn đề này, sự giảm dòng rò của linh kiện dẫn đến sự tăng hiệu năng của linh kiện.

Tốt hơn là, các vật liệu điện môi có suất điện trở cao hơn so với các lớp bán dẫn nitrua III của linh kiện, ví dụ, vật liệu điện môi may bao gồm SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , AlN , hoặc oxit hoặc nitrua cách điện khác. Yêu cầu chính của các vật liệu điện môi là ở dạng khối đặc và gần với tỷ lệ cân bằng với nồng độ tạp chất thấp, trong đó tạp chất có thể là hydro hoặc cacbon.

Ngoài ra, việc lắng đọng các vật liệu điện môi có thể được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp lắng đọng cung cấp sự bảo vệ thành bên bảo toàn hình dạng, ví dụ, việc lắng đọng vật liệu điện môi có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ALD. Các phương pháp điện môi khác, bao gồm phún xạ và lắng đọng chùm ion, cũng có thể được sử dụng

Hơn nữa, xử lý sau lắng đọng có thể được sử dụng để cải thiện chất lượng màng điện môi nhằm đạt được các kết quả tương tự. Ví dụ, chất lượng của vật liệu điện môi được lắng đọng bằng cách sử dụng phương pháp lắng đọng hơi hóa học tăng cường plasma (plasma-enhanced chemical vapor deposition - PECVD) được nâng cao sau khi ủ^[34,35].

Chất lượng của các vật liệu điện môi có thể được xác định không chỉ bằng các kỹ thuật xác định đặc tính quang học và vật liệu thông thường, chẳng hạn như quang phổ quang điện tử tia X (X-ray photoelectron spectroscopy - XPS) và sự thay đổi chỉ số khúc xạ, mà còn cả bằng kính hiển vi điện tử, ví dụ kính hiển vi quét điện tử và kính hiển vi điện tử truyền qua, để cung cấp thông tin về thành phần hóa học và giao diện vật liệu.

Lưu ý rằng các bước xử lý hoá học ở khối 802 có thể được thực hiện trước khi vật liệu điện môi ở khối 803 được lắng đọng, nhưng thứ tự có thể được đảo ngược với vật liệu điện môi ở khối 803 được lắng đọng trước khi bước xử lý hóa học ở khối 802 được thực hiện. Đồng thời, các quy trình chế tạo khác có thể được thực hiện trên linh kiện giữa các bước xử lý hóa học được thực hiện và bước các vật liệu điện môi được lắng đọng, hoặc giữa bước các vật liệu điện môi được lắng đọng và bước xử lý hóa học được thực hiện.

Khối 804 đại diện cho kết quả cuối cùng của phương pháp, cụ thể là linh kiện được chế tạo sử dụng phương pháp trên Fig.8. Tốt hơn là linh kiện có một hoặc nhiều cạnh có độ dài nhỏ hơn 60 μm hoặc linh kiện có đường kính nhỏ hơn 40 μm . Theo một phương án, linh kiện có kích thước từ 10x10 μm^2 đến 100x100 μm^2 và đỉnh EQE không phụ thuộc vào kích thước là từ 22% và 27%.

Tài liệu tham khảo

Các tài liệu công bố sau đây được kết hợp bằng cách viện dẫn ở đây:

- [1] Y. Lin, Y. Lu, W. Guo, C.-F. Lee, S.-W. Huang Chen, H.-C. Kuo, S. Liang, C.-W. Sher, T. Wu, and Z. Chen, Appl. Sci. 8, 1557 (2018).
- [2] Y. Huang, G. Tan, F. Gou, M.-C. Li, S.-L. Lee, and S.-T. Wu, J. Soc. Inf. Disp. 1 (2019).
- [3] J. Herrnsdorf, J.J.D. McKendry, S. Zhang, E. Xie, R. Ferreira, D. Massoubre, A.M. Zuhdi, R.K. Henderson, I. Underwood, S. Watson, A.E. Kelly, E. Gu, and M.D. Dawson, IEEE Trans. Electron Devices 62, 1918 (2015).
- [4] V.W. Lee, N. Twu, and I. Kymissis, Inf. Disp. (1975). 32, (2016).
- [5] Z. Gong, E. Gu, S.R. Jin, D. Massoubre, B. Guilhabert, H.X. Zhang, M.D. Dawson, V. Poher, G.T. Kennedy, P.M.W. French, and M.A.A. Neil, J. Phys. D. Appl. Phys. 41, (2008).

- [6] C.A. Bower, M.A. Meitl, B. Raymond, E. Radauscher, R. Cok, S. Bonafede, D. Gomez, T. Moore, C. Prevatte, B. Fisher, R. Rotzoll, G.A. Melnik, A. Fecioru, and A.J. Trindade, *Photonics Res.* 5, A23 (2017).
- [7] J. Day, J. Li, D.Y.C. Lie, C. Bradford, J.Y. Lin, and H.X. Jiang, *Appl. Phys. Lett.* 99, 2 (2011).
- [8] R.-H. Kim, D.-H. Kim, J. Xiao, B.H. Kim, S.-I. Park, B. Panilaitis, R. Ghaffari, J. Yao, M. Li, Z. Liu, V. Malyarchuk, D.G. Kim, A.-P. Le, R.G. Nuzzo, D.L. Kaplan, F.G. Omenetto, Y. Huang, Z. Kang, and J.A. Rogers, *Nat. Mater.* 9, 929 (2010).
- [9] R.X.G. Ferreira, E. Xie, J.J.D. McKendry, S. Rajbhandari, H. Chun, G. Faulkner, S. Watson, A.E. Kelly, E. Gu, R. V. Penty, I.H. White, D.C. O'Brien, and M.D. Dawson, *IEEE Photonics Technol. Lett.* 28, 2023 (2016).
- [10] K.A. Bulashevich and S.Y. Karpov, *Phys. Status Solidi - Rapid Res. Lett.* 10, 480 (2016).
- [11] J.-T. Oh, S.-Y. Lee, Y.-T. Moon, J.H. Moon, S. Park, K.Y. Hong, K.Y. Song, C. Oh, J.-I. Shim, H.-H. Jeong, J.-O. Song, H. Amano, and T.-Y. Seong, *Opt. Express* 26, 11194 (2018).
- [12] N. Li, K. Han, W. Spratt, S. Bedell, J. Ott, M. Hopstaken, F. Libsch, Q. Li, and D. Sadana, *Nat. Photonics* (2019).
- [13] F. Olivier, S. Tirano, L. Dupré, B. Aventurier, C. Langeron, and F. Templier, *J. Lumin.* 191, 112 (2017).
- [14] D. Hwang, A. Mughal, C.D. Pynn, S. Nakamura, and S.P. DenBaars, *Appl. Phys. Express* 10, 032101 (2017).
- [15] P. Tian, J.J.D. McKendry, J. Herrnsdorf, S. Watson, R. Ferreira, I.M. Watson, E. Gu, A.E. Kelly, and M.D. Dawson, *Appl. Phys. Lett.* 105, (2014).
- [16] S.S. Konoplev, K.A. Bulashevich, and S.Y. Karpov, *Phys. Status Solidi Appl. Mater. Sci.* 215, 1700508 (2018).
- [17] F. Olivier, A. Daami, C. Licitra, and F. Templier, *Appl. Phys. Lett.* 111, (2017).
- [18] J. Kou, C.-C. Shen, H. Shao, J. Che, X. Hou, C. Chu, K. Tian, Y. Zhang, Z.-H. Zhang, and H.-C. Kuo, *Opt. Express* 27, 643 (2019).

- [19] M.S. Wong, D. Hwang, A.I. Alhassan, C. Lee, R. Ley, S. Nakamura, and S.P. DenBaars, *Opt. Express* 26, 21324 (2018).
- [20] W. Chen, G. Hu, J. Lin, J. Jiang, M. Liu, Y. Yang, G. Hu, Y. Lin, Z. Wu, Y. Liu, and B. Zhang, *Appl. Phys. Express* 8, (2015).
- [21] S.-W. Huang Chen, C.-C. Shen, T. Wu, Z.-Y. Liao, L.-F. Chen, J.-R. Zhou, C.-F. Lee, C.-H. Lin, C.-C. Lin, C.-W. Sher, P.-T. Lee, A.-J. Tzou, Z. Chen, and H.-C. Kuo, *Photonics Res.* 7, 416 (2019).
- [22] Y. Yang and X.A. Cao, *J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanom. Struct.* 27, 2337 (2009).
- [23] D. Hwang, A. Mughal, M.S. Wong, A.I. Alhassan, S. Nakamura, and S.P. DenBaars, *Appl. Phys. Express* 11, (2018).
- [24] X.A. Cao, S.J. Pearton, A.P. Zhang, G.T. Dang, F. Ren, R.J. Shul, L. Zhang, R. Hickman, and J.M. Van Hove, *Appl. Phys. Lett.* 75, 2569 (1999).
- [25] J.M. Lee, K.M. Chang, S.W. Kim, C. Huh, I.H. Lee, and S.J. Park, *J. Appl. Phys.* 87, 7667 (2000).
- [26] D. Zhuang and J.H. Edgar, *Mater. Sci. Eng. R Reports* 48, 1 (2005).
- [27] B. Tang, J. Miao, Y. Liu, H. Wan, N. Li, S. Zhou, and C. Gui, *Nanomaterials* 9, 319 (2019).
- [28] D. Li, M. Sumiya, S. Fuke, D. Yang, D. Que, Y. Suzuki, and Y. Fukuda, *J. Appl. Phys.* 90, 4219 (2001).
- [29] D. Zhu, J. Xu, A.N. Noemaun, J.K. Kim, E.F. Schubert, M.H. Crawford, and D.D. Koleske, *Appl. Phys. Lett.* 94, 1 (2009).
- [30] S.W. Lee, D.C. Oh, H. Goto, J.S. Ha, H.J. Lee, T. Hanada, M.W. Cho, T. Yao, S.K. Hong, H.Y. Lee, S.R. Cho, J.W. Choi, J.H. Choi, J.H. Jang, J.E. Shin, and J.S. Lee, *Appl. Phys. Lett.* 89, (2006).
- [31] A.T. Ping, A.C. Schmitz, I. Adesida, M. Asif Khan, Q. Chen, and J.W. Yang, *J. Electron. Mater.* 26, 266 (1997).
- [32] H.S. Yang, S.Y. Han, K.H. Baik, S.J. Pearton, and F. Ren, *Appl. Phys. Lett.* 86, 1 (2005).
- [33] K. Kishino and K. Yamano, *IEEE J. Quantum Electron.* 50, 538–547 (2014).

[34] S. Miyajima, J. Irikawa, A. Yamada, M. Konagai, Appl. Phys. Express 3, 012301 (2010).

[35] G. Dingemans, M.C.M. van de Sanden, and W.M.M. Kessels, Electrochemical and Solid-State Letters, 13 (3) H76-H79 (2010).

Hiệu quả đạt được

Các μ LED là ứng viên hứa hẹn nhất cho các ứng dụng hiển thị trong tương lai, mà có thể mang lại màn hình với độ phân giải siêu cao và tiết kiệm năng lượng hơn so với công nghệ màn hình hiện tại. Để tạo ra các màn hình hiển thị với μ LED, cần có hàng chục đến hàng trăm triệu μ LED và mỗi μ LED phải hiệu quả nhất có thể. Nói cách khác, μ LED phải có công suất ánh sáng cao và dòng rò nhỏ. Bằng cách sử dụng sáng chế, mỗi μ LED có thể hiệu quả hơn bằng cách giảm dòng rò và tăng công suất phát sáng. Các μ LED với các phương pháp xử lý được mô tả theo sáng chế có sự phát sáng đồng đều, hiệu suất công suất phát sáng cao, và các đặc tính điện áp-dòng điện với dòng rò siêu nhỏ. Sáng chế có thể mang lại lợi ích về hiệu suất μ LED để cung cấp màn hình với hiệu quả năng lượng cao.

Kết luận

Phần này kết thúc mô tả về phương án được ưu tiên của sáng chế. Phần mô tả ở trên về một hoặc nhiều phương án của sáng chế đã được trình bày cho mục đích minh họa và mô tả. Phần mô tả này không được dự kiến là thể hiện toàn bộ hoặc giới hạn sáng chế đối với hình thức chính xác được tiết lộ. Nhiều sửa đổi và biến thể có thể được thực hiện dựa trên mô tả ở trên. Dự kiến rằng phạm vi của sáng chế được giới hạn không phải ở phần mô tả chi tiết này, mà là ở các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp chế tạo điốt phát quang kích cỡ micro có dòng rò siêu nhỏ bao gồm các bước:

phát triển một hoặc nhiều lớp bán dẫn nitrua III trên đế;

khắc mòn khô các lớp bán dẫn nitrua III trong quá trình chế tạo linh kiện, trong đó việc khắc mòn khô tạo ra các khuyết tật và các trạng thái bề mặt trên một hoặc nhiều thành bên của linh kiện, các khuyết tật và các trạng thái bề mặt đóng vai trò là các mẫu mang điện tích, và các khuyết tật và các trạng thái bề mặt làm tăng dòng rò của linh kiện và xác suất của sự tái hợp không bức xạ trong linh kiện;

thực hiện một hoặc nhiều bước xử lý hoá học để loại bỏ hư hại trong các thành bên của linh kiện; và

lắng đọng một hoặc nhiều vật liệu điện môi trên các thành bên của linh kiện để thụ động hóa các thành bên của linh kiện, và để che các khuyết tật và các trạng thái bề mặt, để làm giảm dòng rò của linh kiện tạo ra bởi bước khắc mòn khô.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các bước xử lý hoá học được thực hiện trước khi các vật liệu điện môi được lắng đọng.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó các quy trình chế tạo khác được thực hiện trên linh kiện giữa các bước xử lý hóa học được thực hiện và bước các vật liệu điện môi được lắng đọng.

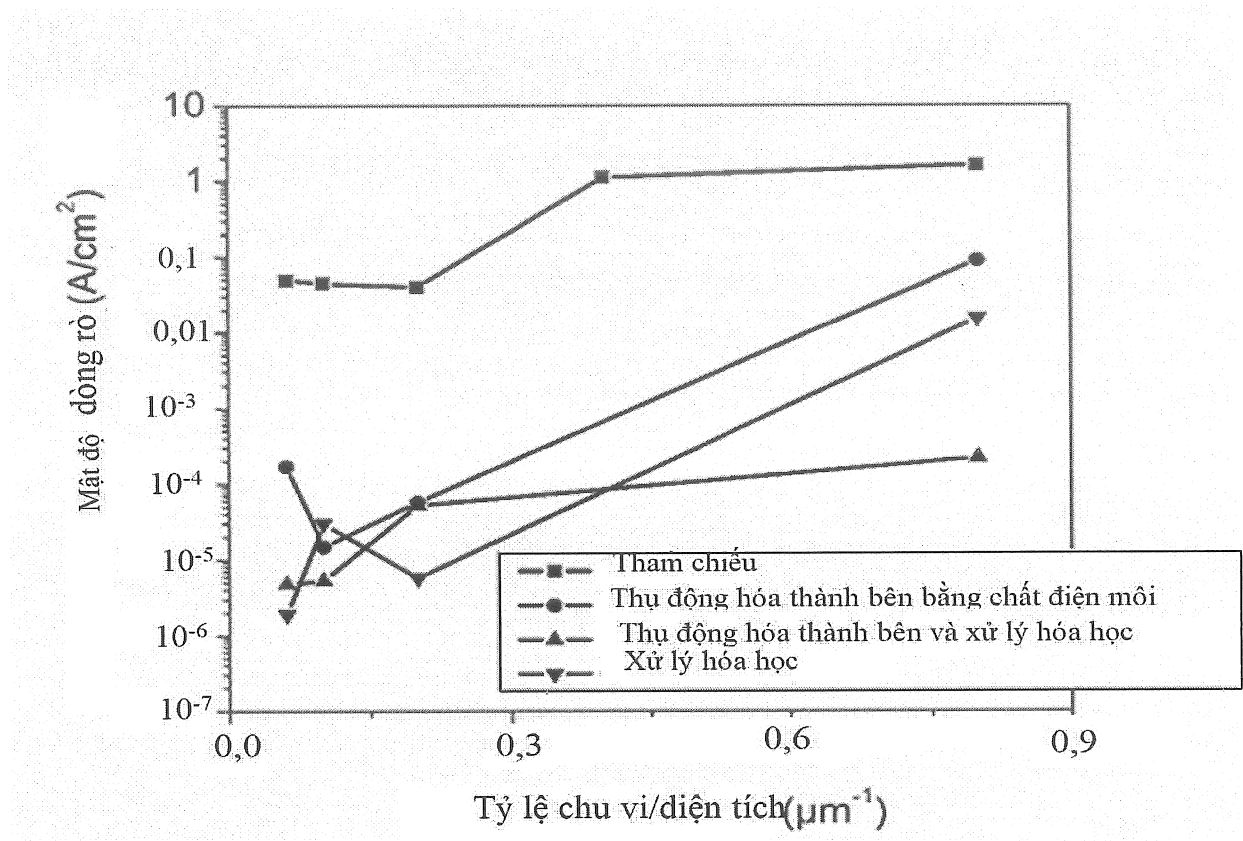
4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các vật liệu điện môi được lắng đọng trước khi các bước xử lý hoá học được thực hiện.

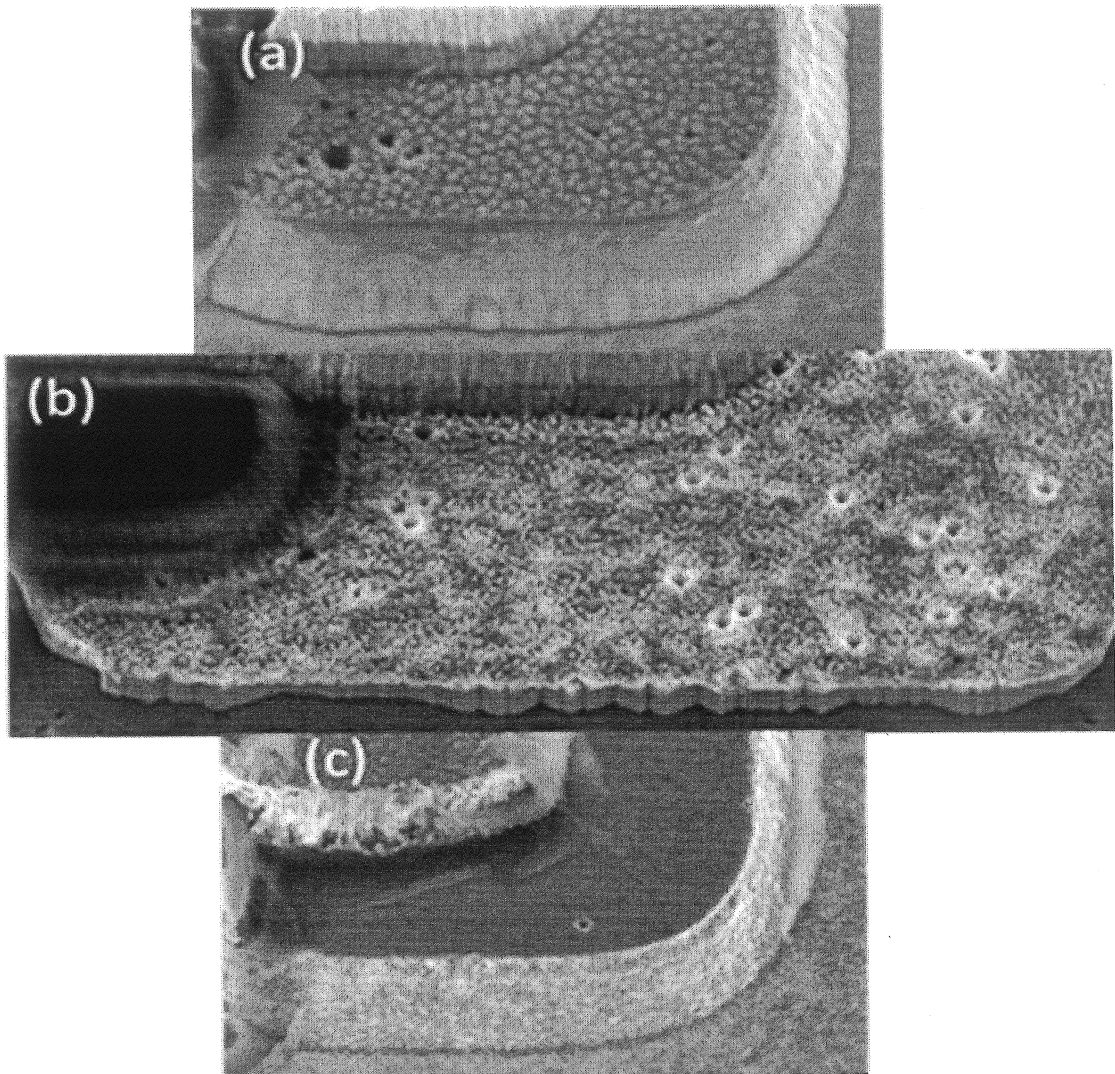
5. Phương pháp theo điểm 4, trong đó các quy trình chế tạo khác được thực hiện trên linh kiện giữa các bước mà vật liệu điện môi được lắng đọng và bước xử lý hóa học được thực hiện.

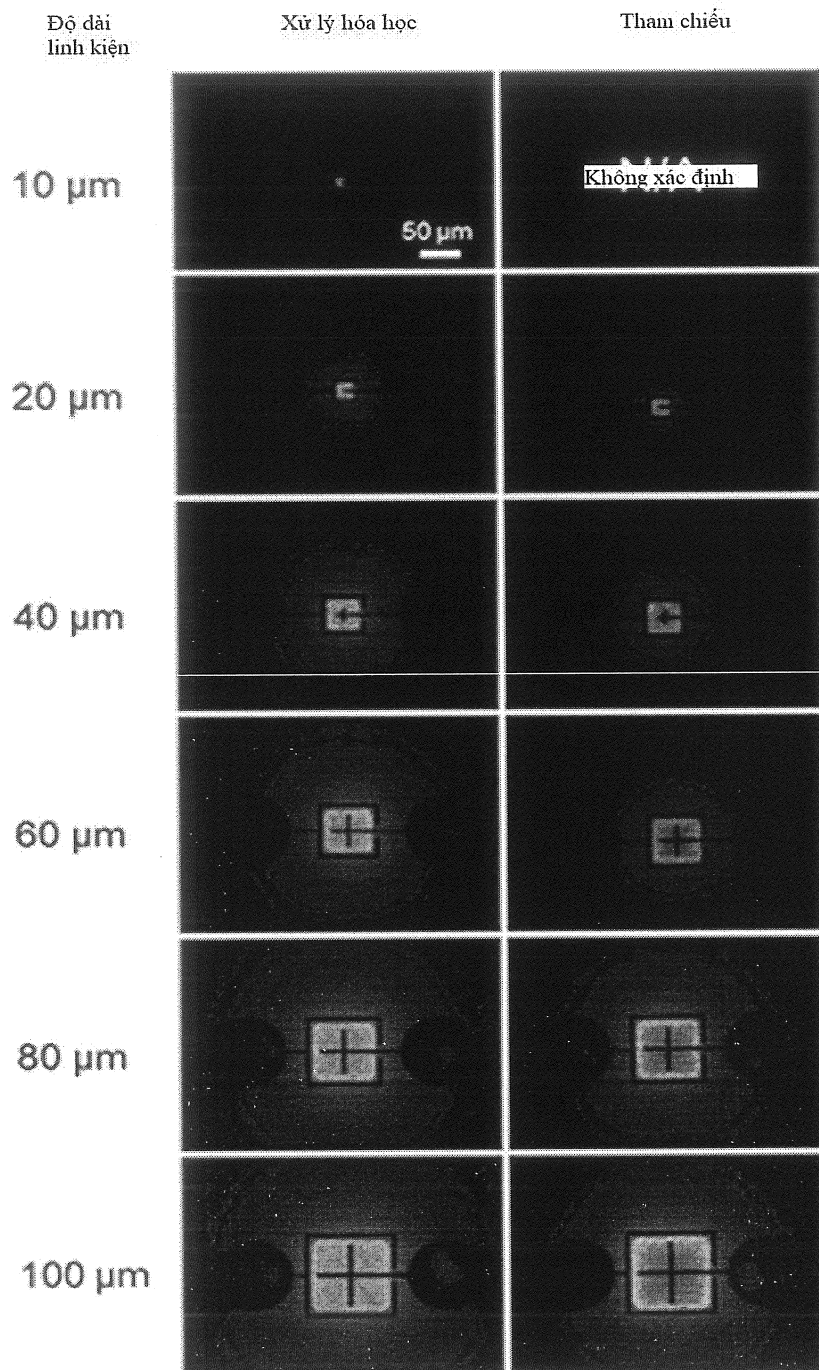
6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước khắc mòn khô bao gồm khắc mòn khô bằng plasma và khắc mòn khô bằng plasma được thay đổi để tăng hiệu quả từ các bước xử lý hoá học được thực hiện và/hoặc các bước mà vật liệu điện môi được lắng đọng.

7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các bước xử lý hoá học bao gồm khắc mòn ướt sử dụng kali hydroxit (KOH).

8. Phương pháp theo điểm 1, trong đó linh kiện được bảo vệ trước khi các bước xử lý hoá học được thực hiện.
9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó biên dạng của một hoặc nhiều thành bên của linh kiện được thay đổi nhờ các bước xử lý hoá học.
10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các vật liệu điện môi có điện trở suất cao hơn so với các lớp bán dẫn nitrua III.
11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vật liệu điện môi bao gồm SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , AlN , hoặc oxit hoặc nitrua khác điện khác.
12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước lắng đọng các vật liệu điện môi được thực hiện sử dụng phương pháp lắng đọng cung cấp tính che phủ thành bên bảo toàn hình dạng.
13. Phương pháp theo điểm 12, trong đó bước lắng đọng các vật liệu điện môi được thực hiện sử dụng lắng đọng lớp nguyên tử (atomic layer deposition - ALD).
14. Phương pháp theo điểm 1, trong đó sự giảm dòng rò của linh kiện dẫn đến sự tăng hiệu năng của linh kiện.
15. Linh kiện được chế tạo sử dụng phương pháp theo điểm 1.

**FIG. 1**

**FIG. 2**

**FIG. 3**

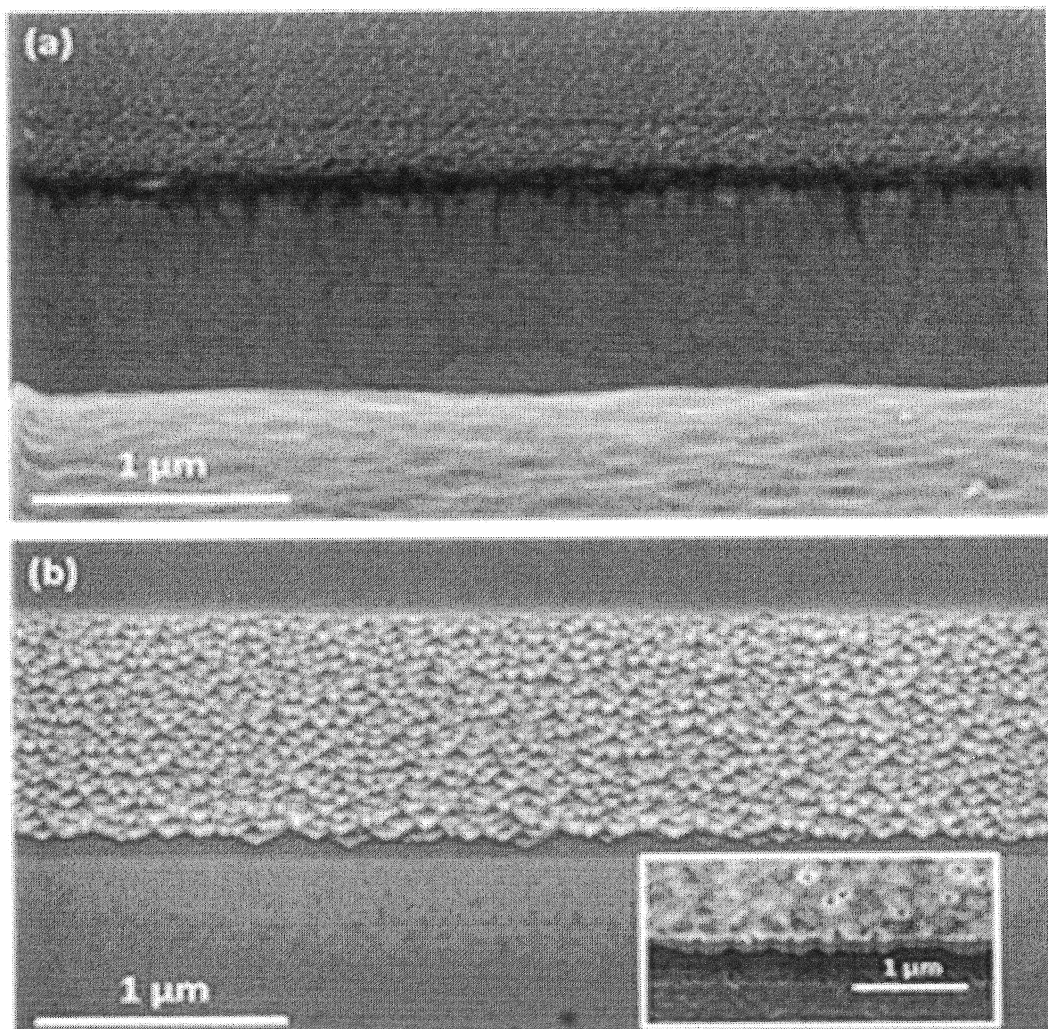
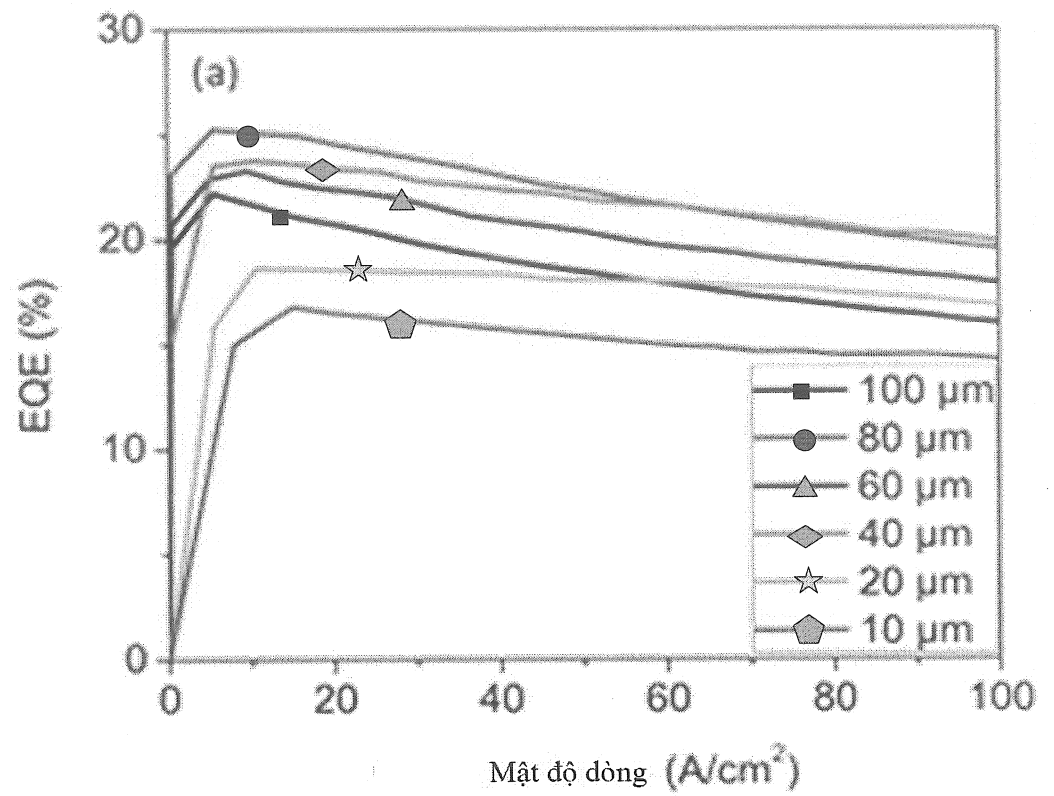
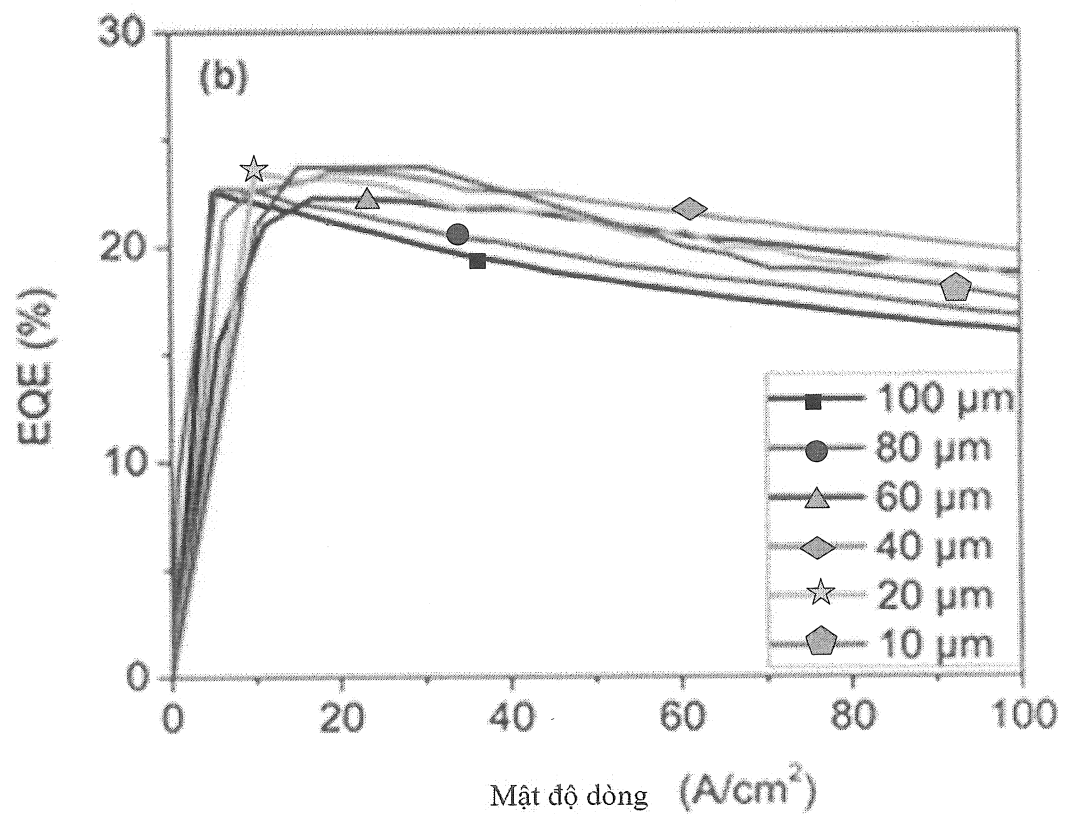
**FIG. 4**

FIG. 5(a)**FIG. 5(b)**

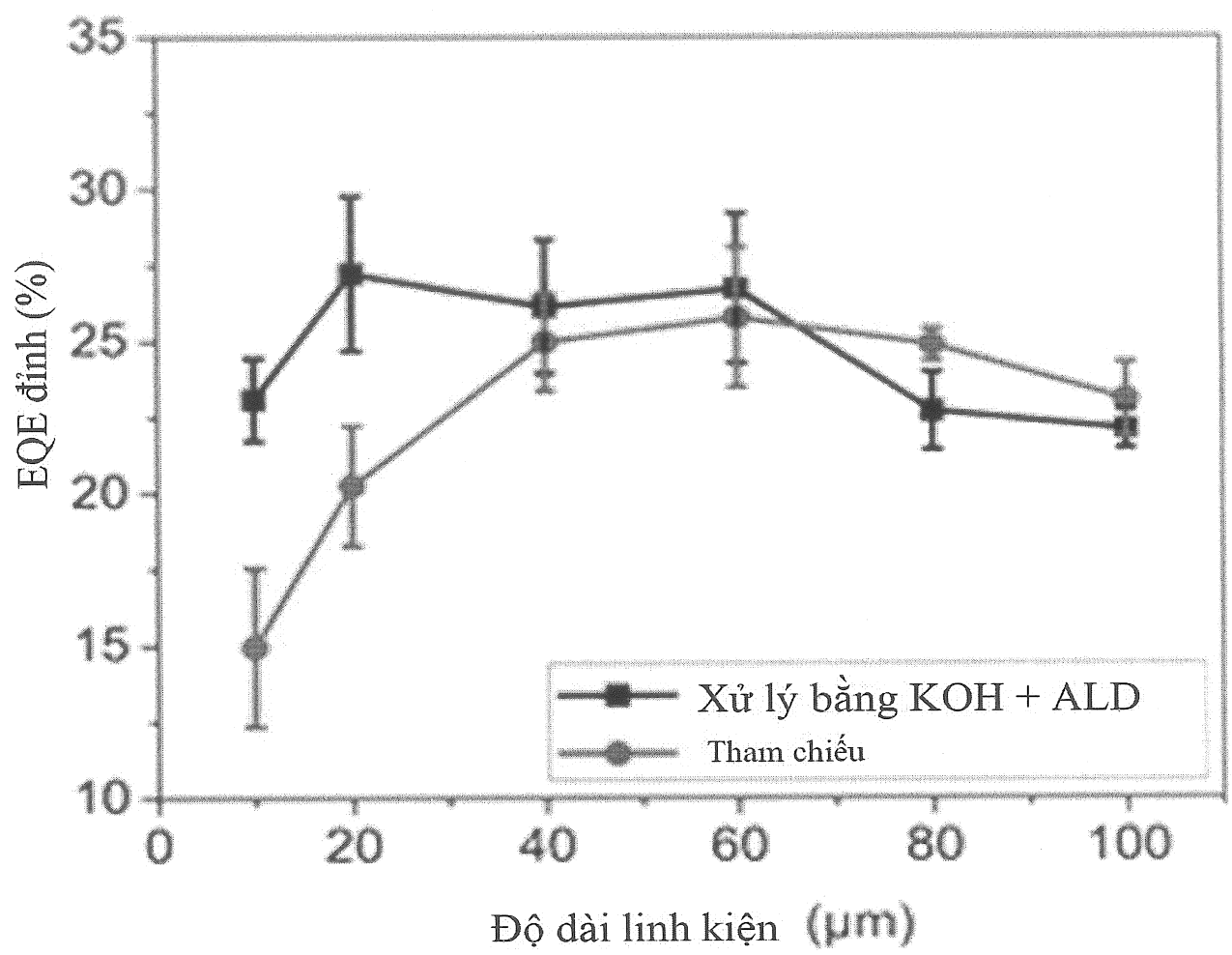
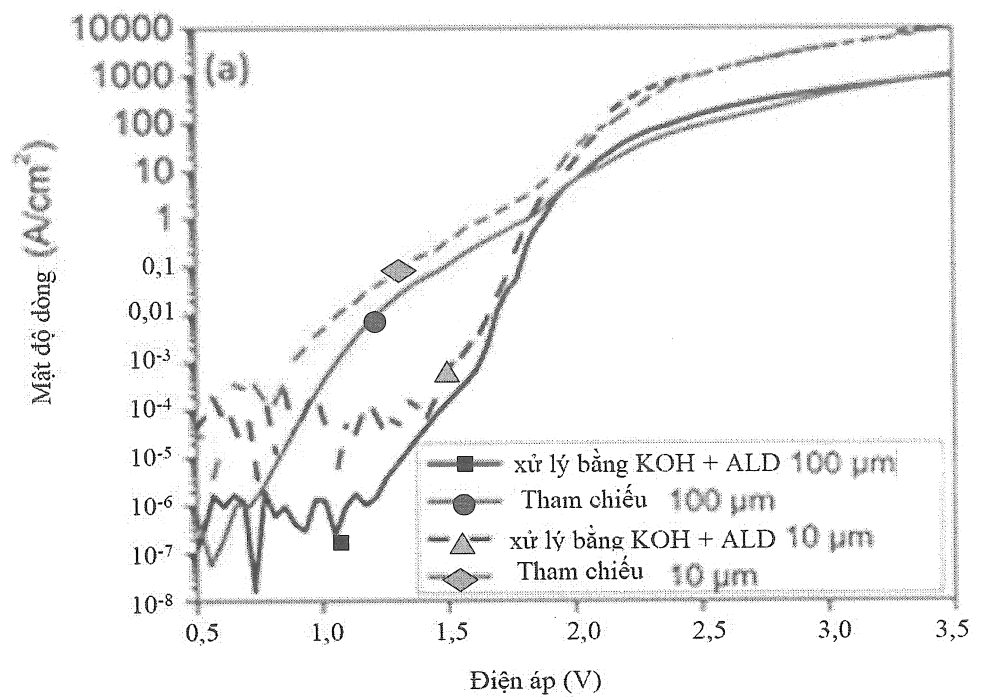
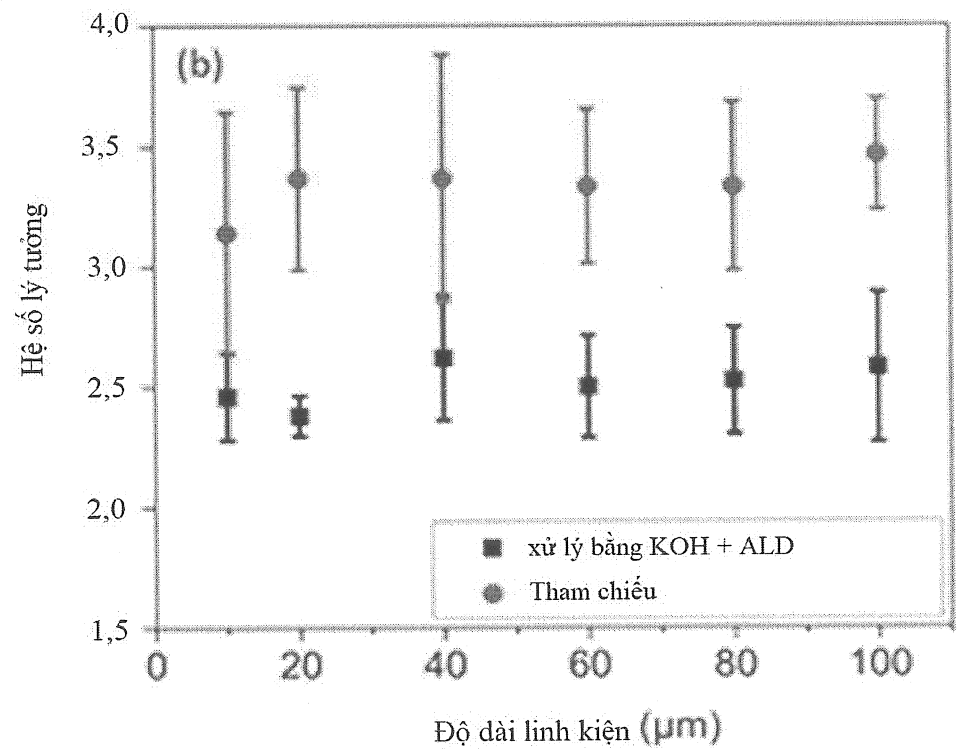
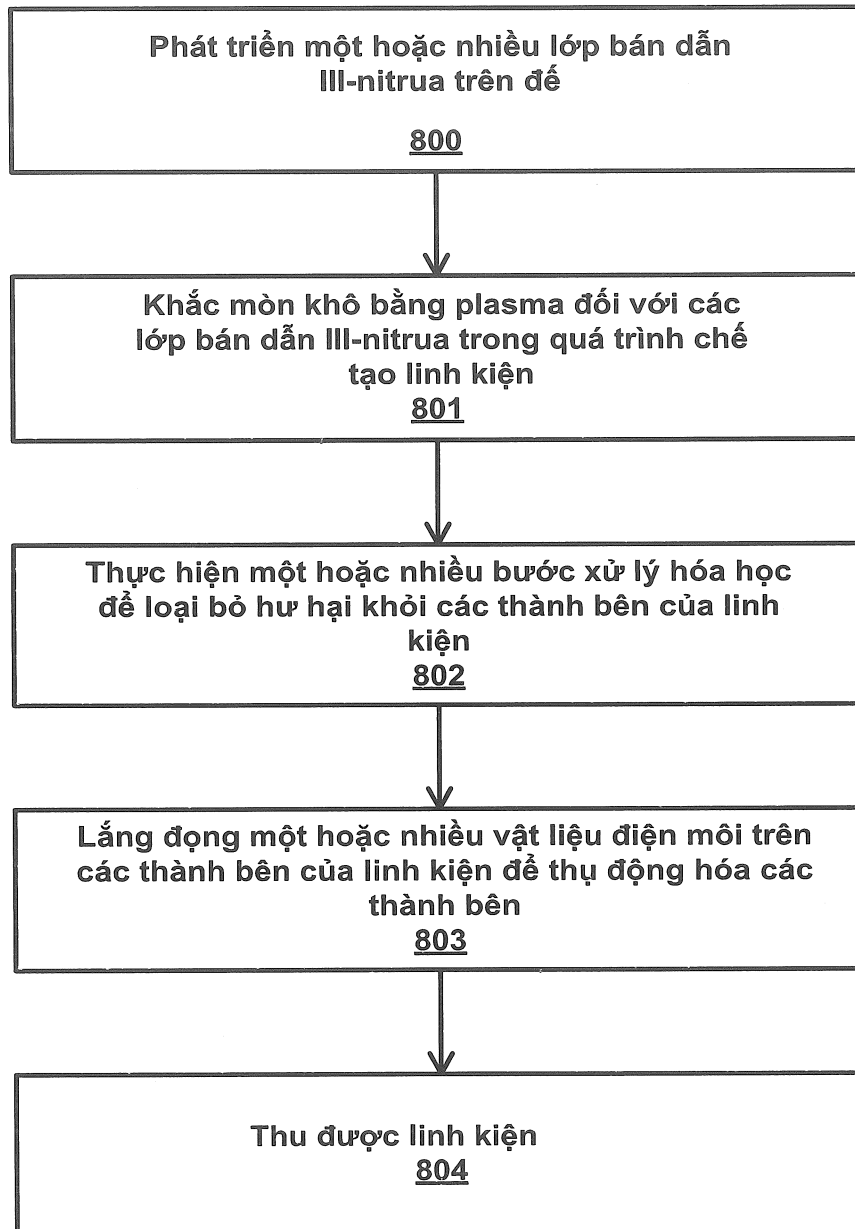
**FIG. 6**

FIG. 7(a)**FIG. 7(b)**

**FIG. 8**