

CƠ CHẾ HẤP THỤ CỦA GaN:Zn

Lê Thị Thanh Bình và Nguyễn Thanh Bình

Bộ môn Vật lý Đại cương, Khoa Vật lý

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên

Đại học Quốc gia Hà Nội

Tóm tắt:

Bằng phương pháp nghiên cứu phổ huỳnh quang kích thích, chúng tôi đã khảo sát các cơ chế hấp thụ của vật liệu GaN ở miền gần bờ hấp thụ. Các phép đo được thực hiện trong dải nhiệt độ từ 13K đến nhiệt độ phòng. Dải hấp thụ tại 357,83nm (3,46eV) được quy cho là hấp thụ exciton. Dải hấp thụ tại 372,64nm (3,328eV) tương ứng với cơ chế hấp thụ tạo cặp donor-acceptor. Từ đường fit năng lượng đỉnh phổ huỳnh quang kích thích theo nhiệt độ, các thông số nhiệt Varshni đã được xác định.

1. Mở đầu

GaN là vật liệu có nhiều triển vọng ứng dụng trong công nghệ chế tạo các linh kiện quang điện tử hoạt động ở miền gần cực tím vì nó là bán dẫn nhóm A^{III}B^{IV} với độ rộng vùng cấm cỡ 3,4eV tại nhiệt độ phòng. GaN có hai loại cấu trúc tinh thể tùy theo phương pháp chế tạo, đó là α -GaN tinh thể lục giác Wurzite và β -GaN tinh thể lập phương [1]. Để thu được α -GaN người ta thường sử dụng đế Sapphire, còn nếu sử dụng đế Si (100) có thể thu được β -GaN vì tinh thể GaN mặt trên sẽ tuân theo cấu trúc tinh thể của đế. GaN thường được chế tạo bằng các phương pháp như lắng đọng hoá học kim loại hữu cơ từ pha hơi (MOCVD), epitaxy từ kim loại hữu cơ (MOVPE), epitaxy từ pha hơi (VPE), epitaxy chùm phân tử (MBE)...

Các sai hỏng mạng hình thành trong quá trình chế tạo mẫu có ảnh hưởng lớn tới các tính chất quang và điện của GaN. Chính vì vậy các mẫu GaN được chế tạo bằng các phương pháp khác nhau có thể cho các giá trị năng lượng khác nhau đôi chút ứng với cùng một cơ chế chuyển mức điện tử [2].

Việc nghiên cứu tính chất quang của GaN và đặc biệt là quy luật phụ thuộc vào nhiệt độ T của các tính chất đó sẽ cho ta các thông số quan trọng đặc trưng cho các quá trình vật lý trong mẫu.

Trong bài này, chúng tôi sử dụng phương pháp đo phổ huỳnh quang kích thích để xác định các năng lượng hấp thụ bờ của GaN:Zn. Ưu điểm của phương pháp này là có thể sử dụng mẫu có hình dạng bất kỳ, độ dày bất kỳ.

2. Mẫu nghiên cứu và thực nghiệm

Các mẫu GaN được chế tạo bằng phương pháp Epitaxy HVPE trên đế Saphia và được pha tạp Zn. Các mẫu có kích thước cỡ $0,4 \times 0,4 \text{ mm}^2$, lớp GaN dày cỡ $200 \text{ }\mu\text{m}$. Các mẫu này chúng tôi nhận được từ phòng thí nghiệm của Trường Đại học Linköping Thụy Điển. Các nghiên cứu về tâm sâu DLTS và quang cộng hưởng từ ODMR đã được thực hiện ở Thụy Điển. Chúng tôi chỉ sử dụng các mẫu này trong nghiên cứu huỳnh quang và kích thích huỳnh quang ở dải bước sóng từ 300 nm đến 800 nm .

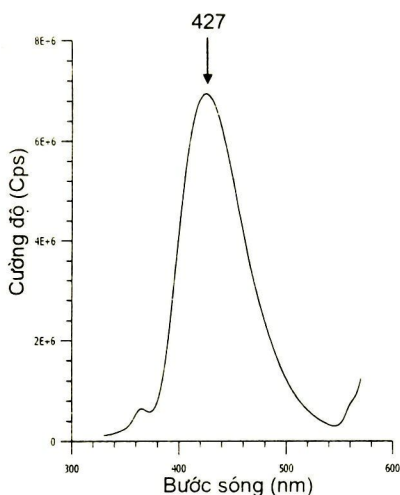
Các phổ huỳnh quang và kích thích huỳnh quang đều được đo trên hệ FL3-22 của trung tâm Khoa học Vật liệu Trường Đại học Khoa học Tự nhiên. Đây là một hệ sử dụng hai đơn sắc cách tử kép có độ phân giải $0,2 \text{ nm}$, bước sóng có thể thay đổi từ 250 nm đến 900 nm . Nguồn kích thích của hệ là đèn Xenon XF0R-450W.

Các phổ được khảo sát trong miền nhiệt độ từ 12K đến 300K nhờ hệ thống làm lạnh khép kín sử dụng máy nén khí He.

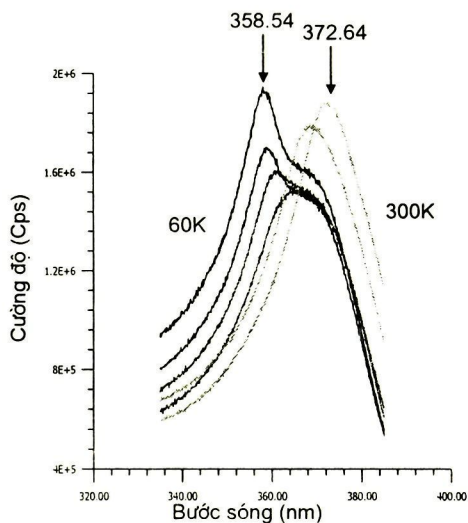
3. Kết quả và thảo luận

Trên hình 1 là phổ huỳnh quang của mẫu GaN:Zn tại nhiệt độ $T=300\text{K}$. Ngoài đỉnh nhỏ phía sóng ngắn, đối với mọi mẫu đều quan

sát được dải phổ xanh da trời có đỉnh tại 427nm. Tạp chất Zn trong mẫu đóng vai trò acceptor trong tái hợp D-A bức xạ dải huỳnh quang này [3]. Chúng tôi đã sử dụng đỉnh $\lambda_{em}=427$ nm trong phép đo phổ huỳnh quang kích thích. Phổ huỳnh quang kích thích là tín hiệu huỳnh quang lấy tại một vị trí bước sóng bức xạ xác định ($\lambda_{em}=const$) khi quét bước sóng kích thích. Do đó, vị trí cực đại của phổ huỳnh quang kích thích sẽ cho biết tại bước sóng kích thích nào tín hiệu huỳnh quang sẽ mạnh nhất, hay là mẫu sẽ hấp thụ mạnh nhất. Đỉnh phổ huỳnh quang kích thích sẽ tương ứng với đỉnh hấp thụ.



Hình 1: Phổ huỳnh quang $\lambda_{ex}=300$ nm tại nhiệt độ phòng



Hình 2: Phổ kích thích huỳnh quang $\lambda_{em}=427$ nm phụ thuộc vào nhiệt độ đo

Các phổ huỳnh quang kích thích của mẫu GaN:Zn tại bước sóng bức xạ $\lambda_{em}=427$ nm được biểu diễn trên hình 2. Ở nhiệt độ thấp (13,15K) có thể quan sát thấy một đỉnh hấp thụ AX tại $\lambda=357,83$ nm (3,465eV) và một vai phổ tại 370nm (3,35eV). Đỉnh này dịch chuyển đến 361,04nm (3,435eV) tại 120K. Khi nhiệt độ đo tăng đến 150K đỉnh AX tắt dần, trộn cùng với vai phổ thành một dải rộng có đỉnh tại 366nm (3,388eV). Khi nhiệt độ đo tiếp tục tăng đến 300K vai phổ lớn dần lên thành đỉnh D-A. Đỉnh D-A dịch chuyển về phía sóng dài khi nhiệt độ đo tăng. Tại 300K, đỉnh phổ ở bước sóng $\lambda=372,64$ nm

(3,328eV)... Đồng thời với sự dịch chuyển bước sóng, cường độ phổ tăng dần theo nhiệt độ.

Các kết quả nghiên cứu kích thích huỳnh quang của mẫu GaN: Zn được giải thích trên mô hình hai cơ chế hấp thụ: hấp thụ exciton và hấp thụ cặp D-A. Các acceptor hình thành từ tạp chất Zn trong GaN khi kết hợp với exciton tự do có thể trở thành exciton liên kết AX. Tại nhiệt độ thấp $T \sim 13K$, khi năng lượng kích thích đủ lớn exciton liên kết này được hình thành, năng lượng hấp thụ trong trường hợp này cỡ 3,465eV. Khi năng lượng kích thích nhỏ hơn, năng lượng hấp thụ chỉ đủ để tạo ra cặp D-A, do đó đỉnh hấp thụ 3,35eV được hình thành.

Khi nhiệt độ tăng lên, xác suất hình thành exciton liên kết giảm đi. Cường độ đỉnh hấp thụ AX giảm. Trong khi đó số acceptor không bị liên kết với exciton tăng lên, chúng làm tăng khả năng hấp thụ tạo ra cặp D-A. Kết quả là cường độ hấp thụ dải D-A tăng theo nhiệt độ như trên hình 2.

Bán độ rộng dải AX lớn cỡ 90meV có thể giải thích là ngoài cơ chế hấp thụ chủ yếu là AX, cơ chế hấp thụ vùng -vùng cũng đóng góp vào sự mở rộng dải phổ này.

Sự phụ thuộc của vị trí năng lượng đỉnh phổ AX theo nhiệt độ tuân theo công thức Varshni [4]:

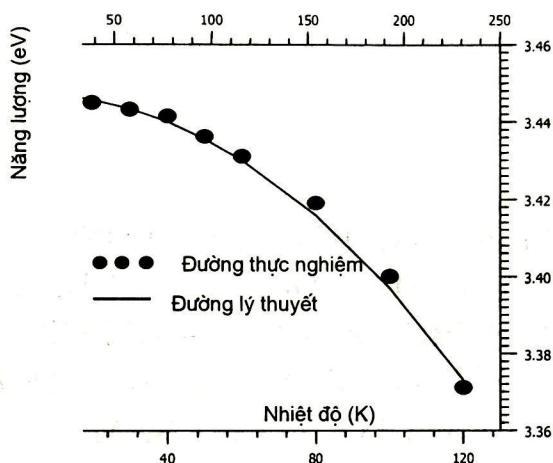
$$E(T) = E_0 - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (1)$$

trong đó: $E(T)$ - năng lượng chuyển mức ở nhiệt độ T ;

E_0 - năng lượng tương ứng ở 0K;

α, β - các hệ số nhiệt Varshni.

Hình 3 biểu diễn các điểm thực nghiệm và đường fit theo công thức Varshni. Từ đường fit các thông số nhiệt đã tính được là $\alpha = 18,08 \cdot 10^{-4}$, $\beta = -996K$, năng lượng $E_0 = 3.465eV$.



Hình 3: Sự phụ thuộc của năng lượng đỉnh hấp thụ vào nhiệt độ

IV. Kết luận

Phổ huỳnh quang kích thích của các mẫu GaN: Zn đã được khảo sát trong dải nhiệt độ từ 13K đến 300K. Quy luật phụ thuộc vào nhiệt độ của hai cơ chế hấp thụ exciton và hấp thụ cặp donor – acceptor đã được nghiên cứu. Các thông số nhiệt theo công thức Varshni đã được tính từ đường fit lý thuyết là $\alpha = 18,08 \cdot 10^{-4}$, $\beta = -996K$, năng lượng $E_0 = 3.465eV$.

Bài báo này được hoàn thành với sự hỗ trợ của đề tài Nghiên cứu cơ bản 421301 cấp Nhà nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. Petalas, S. Logothetidis and S. Bouladakis, Phys. Rev. B **52**, 11 (1995) 8082.
2. B. Monemar, Phys. Rev. B **12**, (1974) 676.
3. Lê Thị Thanh Bình, Nguyễn Thanh Bình, Nguyễn Ngọc Long, Đoàn Thị Liên, Báo cáo tại hội nghị Vật lý chất rắn toàn quốc lần thứ IV.
4. A. K. Viswanath, J. I. Lee, S. Yu, D. Kim, Y. Choi and C. H. Hong, J.App. Phys. **84**, (1998) 3848.