

NGHIÊN CỨU PHỔ HUỖNH QUANG CỦA VẬT LIỆU $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$

N. T. Thục Hiền, T. T. Loan, L. T. Thanh Bình, L. Hồng Hà

Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG Hà nội

Màng epitaxy $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ loại p với $x = 0.18$ đã được nghiên cứu nhờ phổ quang huỳnh quang (PL). Phổ PL được đo ở nhiệt độ thấp từ 11K đến 55K. Đã khảo sát sự thay đổi cường độ và vị trí đỉnh theo nhiệt độ cũng như sự thay đổi phổ PL theo năng lượng ánh sáng kích thích từ đó thảo luận về nguồn gốc của các đỉnh phát xạ.

1. MỞ ĐẦU

Các bán dẫn bán từ được tạo nên khi pha các nguyên tử kim loại chuyển tiếp như Co, Ni, Fe, Mn với lớp vỏ 3d chưa lấp đầy vào các bán dẫn chủ yếu là nhóm II □ VI. $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ là một bán dẫn bán từ điển hình; nó thu hút nhiều công trình nghiên cứu về các tính chất quang từ mạnh xảy ra do tương tác trao đổi của điện tử và lỗ trống với các ion từ. Khả năng ứng dụng của các bán dẫn bán từ, đặc biệt là $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, làm các linh kiện phát quang, các cảm biến từ □ hứa hẹn nhiều triển vọng mới [1].

Trong bài báo cáo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu phổ huỳnh quang (PL) nhiệt độ thấp của mẫu màng $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ loại p với $x = 0.18$ được chế tạo bằng phương pháp epitaxy trên đế GaAs.

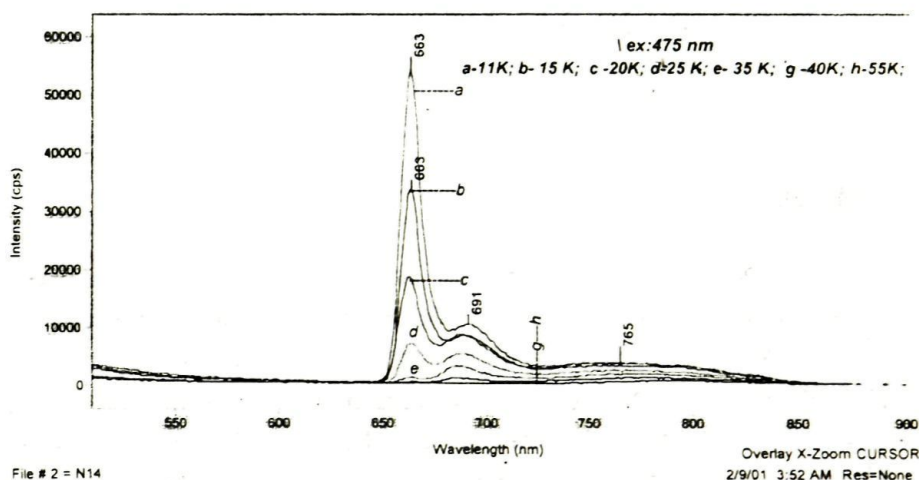
2. THỰC NGHIỆM

Phổ PL được đo trên hệ huỳnh quang và huỳnh quang kích thích FL 3 - 32 (USA) có độ phân giải 0.2 nm. Hệ được dùng cách tử kép có

1200 vạch/mm. Đèn xenon với công suất 450W được dùng làm ánh sáng kích thích. Nhiệt độ được điều khiển và hạ xuống đến 11K nhờ chu trình kín He và có độ ổn định là 0.1K. Phổ PL được xác định trong miền bước sóng từ 400 nm đến 900 nm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

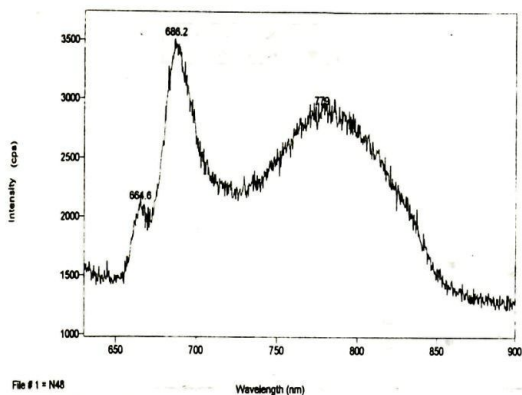
Phổ PL của mẫu màng epitaxy $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ loại P với $x = 0.18$ đo ở các nhiệt độ khác nhau khi kích thích ánh sáng có bước sóng 475 nm ($E_{\text{kt}} > E_g$) được vẽ trên đồ thị hình 1. Đồ thị cho thấy ở 11K phổ PL gồm hai vạch phân biệt và một dải rộng ứng với các đỉnh 663 nm, 691 nm và 765 nm (các vạch này được ký hiệu lần lượt là L_1 , L_2 và L_3). ở 11K vạch L_1 rất mạnh, vạch L_2 nhỏ hơn và vạch L_3 là một đám rộng với cường độ yếu.



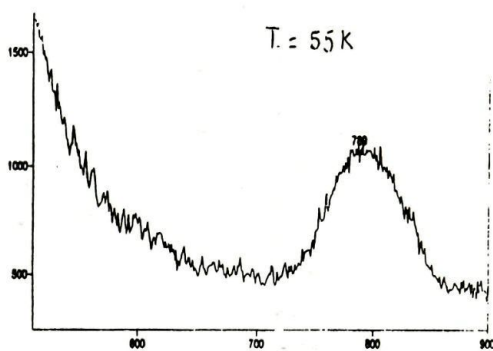
Hình 1: Phổ PL của màng $\text{Cd}_{1-0.18}\text{Mn}_{0.18}\text{Te}$ kích thích bởi ánh sáng 475 nm

Khi nhiệt độ tăng, cường độ của các vạch đều giảm nhưng sự giảm rất khác nhau. Vạch L_1 giảm rất nhanh khi nhiệt tăng đến 30K, sau đó giảm rất chậm. Đến 35K vạch L_1 trở thành nhỏ hơn L_2 và đến 55K, trên phổ PL chỉ quan sát thấy đám L_3 (hình 2a, 2b).

Vạch L_1 có độ rộng phổ hẹp, vị trí đỉnh dịch chuyển nhỏ về phía năng lượng thấp khi nhiệt độ tăng. Đồ thị sự phụ thuộc vị trí đỉnh vào nhiệt độ có dạng đường thẳng.

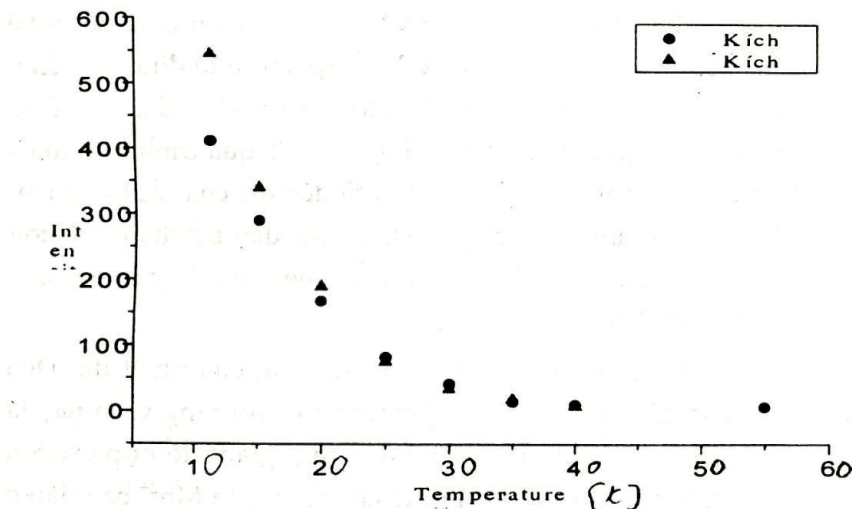


Hình 2a: Phổ PL ở 35K

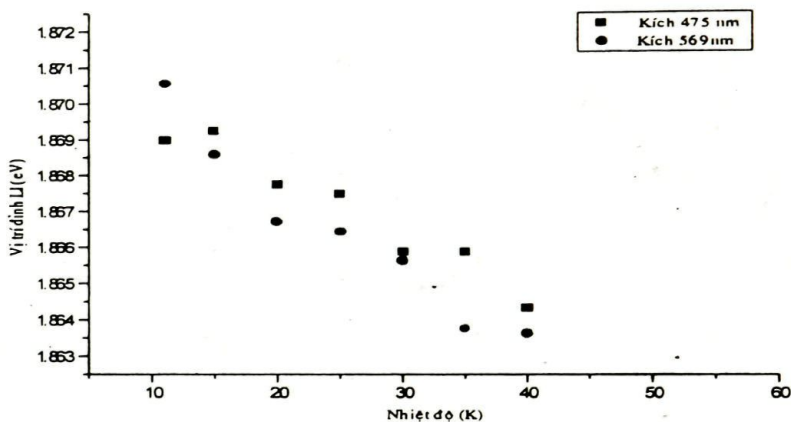


Hình 2b: Phổ PL ở 55K

Trên hình 3 và hình 4 là đồ thị phụ thuộc cường độ vạch và vị trí đỉnh vào nhiệt độ ứng với hai bước sóng kích khác nhau.



Hình 3: Sự phụ thuộc cường độ vạch L₁ vào nhiệt độ



Hình 4: Sự phụ thuộc vị trí đỉnh L_1 vào nhiệt độ

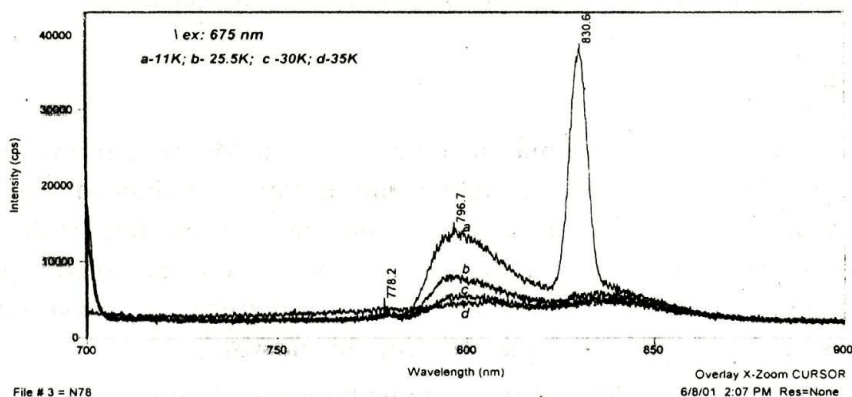
Các phép tính để khớp với đường cong trên đồ thị ở hình 3 cho thấy L_1 không phải là chuyển mức ứng với exciton tự do. Với các đặc trưng trên, cùng với các nhận định của [2, 3, 4] chúng tôi cho rằng vạch L_1 là do sự tái hợp phát xạ của exciton định xứ trên ion từ Mn^{2+} (polaron từ định xứ). Thời gian sống của exciton và thời gian tái định hướng spin Mn^{2+} thay đổi theo nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng, quá trình này được xem là quá trình kích thích nhiệt của exciton từ các trạng thái định xứ bởi từ đến dải của các trạng thái exciton tự do. Vì vậy với nhiệt độ tăng, vạch L_1 dần dần trở thành exciton tự do và cường độ của nó giảm chậm hơn nhiều. Điều này thấy rõ sự giảm chậm của cường độ trên 30K ở đồ thị hình 3.

Vạch L_2 hẹp, có cường độ giảm theo sự tăng của nhiệt độ. Dựa vào sự phân tích của các tác giả [2, 3, 4] chúng tôi cho rằng vạch này là kết quả của sự tạo thành Polaron từ liên kết xung quanh tổ hợp exciton liên kết (A^0, X). Polaron từ được tạo ra như sau: Các spin Mn^{2+} ban đầu ở pha thuận từ ($0 < x < 0.2$) trong bán dẫn loại P. Do tác dụng quang, exciton liên kết với acceptor trung hoà. Tổ hợp này tương tác với các spin Mn^{2+} ở xung quanh do tương tác trao đổi. Kết quả là exciton tác dụng lên ion từ làm spin của chúng định hướng theo hướng của spin exciton, tức polaron từ exciton được tạo thành.

Dải L_3 khi kích thích bằng bước sóng 475 nm ($E_{kt} > E_g$) cho thấy đỉnh rất tù ứng với năng lượng cỡ 1,6 eV (hình 1). Có rất nhiều quan điểm về vạch này. Một số tác giả cho rằng vạch này liên quan đến lớp vỏ

$3d^5$ của ion từ Mn^{2+} , một số khác cho rằng vạch này là kết quả của sự tái hợp phát xạ của điện tử dẫn với acceptor trung hoà (e, A^0), một số khác lại cho rằng nó là kết quả của sự tái hợp donor - acceptor trung hoà [3, 6].

Để làm sáng tỏ nguồn gốc của dải L_3 , chúng tôi đã tiến hành kích thích mẫu bằng ánh sáng có năng lượng nhỏ hơn độ rộng vùng cấm ($E_{kt} < E_g$) của $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Kết quả cho thấy phổ PL của dải L_3 thay đổi rõ rệt so với khi kích thích bởi năng lượng $E_{kt} > E_g$ đã đưa ra ở hình 1 trước đây. Trên hình 5 là phổ PL của dải L_3 được kích thích ở bước sóng 675 nm. ($E_{kt} < E_g$).



Hình 5: Phổ PL khi kích thích tại bước sóng 675 nm

Đồ thị trên hình 5 cho thấy ở 11K vùng phổ PL ứng với vạch L_3 phân tách làm ba đỉnh rõ rệt: 1.44 eV, 1.56 eV, và 1.6 eV. Các đỉnh này được đánh dấu lần lượt là L_{31} , L_{32} và L_{33} . Vạch L_{31} (1.44 eV) có cường độ mạnh và rất hẹp. Cường độ của vạch thay đổi rất mạnh theo nhiệt độ nhưng vị trí đỉnh hầu như không thay đổi. Vạch L_{32} (1.56 eV) có dạng phân bố Maxwell $\square$ Boltzman và có sự giảm cường độ chậm hơn so với L_{31} khi nhiệt độ tăng. Ngoài ra, vị trí vạch hầu như cũng không thay đổi theo nhiệt độ. Vạch L_{33} có cường độ rất nhỏ so với L_{31} và L_{32} nên không xét đến.

Một điều lý thú là cường độ hai đỉnh L_{31} và L_{32} có sự cạnh tranh nhau. Khi kích thích ở bước sóng 664 nm thì cường độ vạch L_{31} giảm nhưng cường độ vạch L_{32} lại tăng. Dải L_3 có thể liên quan đến lớp vỏ $3d$ của các ion từ Mn^{2+} nhưng cũng có thể liên quan đến sự phát xạ của đế GaAs. Để có thêm thông tin về hai dải này, chúng tôi đã tiến hành thay đổi cường độ ánh sáng kích thích và nhận thấy rằng cường độ của các đỉnh đều tăng với cường độ kích thích nhưng vị trí của đỉnh không thay

đối. Ngoài ra, khi đo phổ huỳnh quang kích thích ứng với các vạch L_{31} và L_{32} chúng tôi thấy rằng phổ huỳnh quang kích thích của chúng hoàn toàn khác nhau. Phổ huỳnh quang kích thích của đỉnh L_{31} quét từ 400 nm tới 800 nm không thấy cấu trúc ở vùng sóng ngắn gần bờ hấp thụ mà tín hiệu lớn nằm ở miền sóng dài từ 700 nm đến 800 nm. Ngược lại tín hiệu phổ huỳnh quang kích thích ứng với đỉnh L_{32} tương ứng miền hấp thụ của $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Từ đó có thể cho rằng đỉnh L_{32} tương ứng với chuyển mức trong $Cd_{1-x}Mn_xTe$ có thể liên quan đến lớp vỏ 3d của ion Mn^{2+} còn chuyển mức L_{31} liên quan đến exciton trong đế GaAs.

4. KẾT LUẬN

Phổ huỳnh quang của mẫu màng epitaxy $Cd_{1-x}Mn_xTe$ loại p với $x = 0.18$ đo ở nhiệt độ thấp đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy sự phát xạ ở gần vùng hấp thụ cơ bản có chứa tương tác của exciton tự do và exciton liên kết với các ion từ Mn^{2+} . Ở vùng xa bờ hấp thụ cơ bản, phổ huỳnh quang gồm các vạch liên quan đến chuyển mức của exciton trong đế GaAs và chuyển mức liên quan đến lớp 3d của Mn^{2+} .

Tuy nhiên đây chỉ là những kết quả bước đầu. Các kết quả trên sẽ được khẳng định hơn khi được bổ sung thêm các phép đo huỳnh quang và huỳnh quang phân giải thời gian dưới tác dụng của từ trường.

Các tác giả chân thành cảm ơn GS Yasuko Oka, trường Đại học Tohoku, Nhật Bản đã cung cấp mẫu đo và xin cảm ơn Trung tâm Khoa học Vật liệu thuộc Khoa Vật lý trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà nội đã tạo điều kiện đo đạc trên hệ huỳnh quang của Trung Tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Y. Oka, K. Yanata, J. Lumines. 70 (1996) 35 - 47.
2. A. Golnik, J. Ginter and J.A.C, J. Phys. c 16, (1983), 6073.
3. Y. R. Lee, A. K. Ramdas and R. L. Aggarwai App. phys. Lett 38 (1996) 19607
4. Phạm Văn Bền, luận án phó tiến sĩ toán lý (1992).
5. M. Bugajski, Phys Rev. 38 (1988), 10512.
6. J. A. Goj, R. Plane and G. Fishman, Sol. Stat. Comm. 29 (1979), 435.