

www.mientay.vn.com

BÀI TẬP QUANG PHỔ LASER TRÊN LỚP CAO HỌC QUANG I NT K18

Bài 1: Một d ch chuyển b c x c phép c a m t ion quang cho tr c trong ch t r n có th i gian s ng là 10ns. Hãy xác nh m r ng ng u c a nó và giá tr t i nh $g(v)$ c a d ng v ch ph ng u và không ng u.

Gi i

Theo h th c b t nh Heisenberg: $\Delta v \cdot \Delta t \leq \frac{1}{2}\pi$

\Rightarrow m r ng ng u c a d ch chuyển b c x :

$$\Delta v \approx \frac{1}{2\pi \cdot \Delta t} = \frac{1}{2.3,14 \cdot 10^{-9}} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-9}} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ (Hz)} = 16 \text{ (MHz)} \quad (\text{Nh c: } 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz})$$

Giá tr t i nh c a d ng v ch ph ng u c xác nh d a vào công th c ng vi n Lorentzian:

$$g(v) = \frac{\frac{\Delta v}{2\pi}}{(v - v_0)^2 + \left(\frac{\Delta v}{2}\right)^2}$$

T i $v = v_0$:

$$g(v_0) = \frac{\frac{\Delta v}{2\pi}}{(v_0 - v_0)^2 + \left(\frac{\Delta v}{2}\right)^2} = \frac{\frac{\Delta v}{2\pi}}{\left(\frac{\Delta v}{2}\right)^2} = \frac{\Delta v}{2\pi} \cdot \frac{4}{(\Delta v)^2} = \frac{2}{\pi \cdot \Delta v}$$

$$= \frac{2}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 10^7} = \frac{2}{5,024 \cdot 10^7} \approx 4 \cdot 10^{-8} \text{ (Hz}^{-1}\text{)}$$

Giá tr t i nh c a d ng v ch ph không ng u c xác nh d a vào công th c ng vi n Gaussian:

$$g(v) = \frac{2}{\Delta v} \left(\frac{\ln 2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\left(\frac{v-v_0}{\Delta v/2}\right)^2 \cdot \ln 2}$$

T i $v = v_0$:

$$g(v_0) = \frac{2}{\Delta v} \left(\frac{\ln 2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\left(\frac{v_0-v_0}{\Delta v/2}\right)^2 \cdot \ln 2} = \frac{2}{\Delta v} \left(\frac{\ln 2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^0 = \frac{2}{\Delta v} \left(\frac{\ln 2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{2}{1,6 \cdot 10^7} \left(\frac{0,693}{3,14}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 0,4698 = 5,8725 \cdot 10^{-8} \text{ (Hz}^{-1}\text{)}$$

Bài 2: Một phép đo Quang phát quang của vật liệu kh i bán d n CdS có r ng vùng c m $E_g = 2,42(eV)$. Có hai ngu n laser là: laser Ar^+ ($\lambda_1 = 514,5 \text{ nm}$) và laser He-Ne ($\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$). Laser nào s cho k t qu ph phát quang t th n n u công su t c a 2 laser nh nhau? Gi i thích vì sao?

Gi i

N u công su t c a hai laser nh nhau, thì laser Ar^+ ($\lambda_1 = 514,5 \text{ nm}$) s cho k t qu ph phát quang t th n laser He-Ne ($\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$).

Gi i thích:

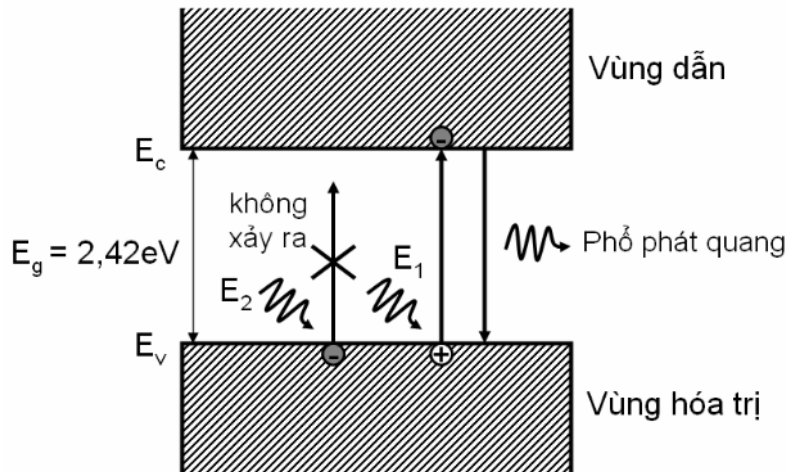
N ng l ng t ng ng c a hai ngu n laser là:

$$+ \text{Laser } Ar^+ (\lambda_1 = 514,5 \text{ nm}): E_1 = \frac{1240}{\lambda_1(\text{nm})} = \frac{1240}{514,5} = 2,4101(eV)$$

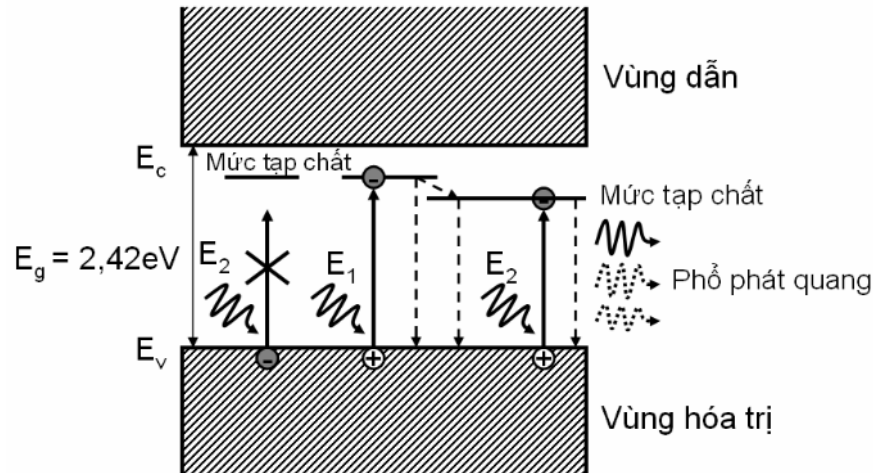
$$+ \text{Laser He-Ne} (\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}): E_2 = \frac{1240}{\lambda_2(\text{nm})} = \frac{1240}{632,8} = 1,9595(eV)$$

M t khác, r ng vùng c m E_g c a v t li u kh i bán d n CdS là: $2,42eV$.

* N u bán d n CdS là tinh kh i t, t c là không b pha t p và không b l n t p ch t, thì v i hai ngu n laser trên, ch có ngu n laser Ar^+ (xem nh $E_1 \approx E_g$) m i có kh n ng kích thích các i n t th c hi n d ch chuy n t vùng hóa tr lên vùng d n, khi các i n t tái h p m i phát ra b c x , ây chính là ph phát quang c tr ng cho v t li u CdS mà ta s ghi nh n c. Còn v i ngu n laser He-Ne thì n ng l ng photon t i không b h p thu (do $E_2 < E_g$), do v y không cho ph phát quang c tr ng cho CdS.



* N u bán d n CdS không tinh kh i t, t c là b pha t p ho c b l n t p ch t, dùng hai ngu n laser trên u s cho bi t thông tin v các t p ch t đ a vào ph phát quang. Tuy nhiên, ngu n laser có n ng l ng cao h n (ây là laser Ar^+) s cho bi t nhi u thông tin h n vì nó có kh n ng kích thích i n t nh y lên các m c sâu h n mà i v i ngu n laser n ng l ng th p h n không th nào kích thích c.



Tóm lại, với hai nguồn laser có công suất như nhau, nguồn laser có năng lượng cao hơn sẽ cho kết quả phát quang tốt hơn.

Bài 3: Dùng nguồn laser Ar^+ ($\lambda = 400 \text{ nm}$) kích thích một môi trường để phát quang. Công suất của laser $P = 100 \mu\text{W}$. Giả sử hiệu suất phát quang $\eta = 0,1$; hằng số hình học $k_g = 10^{-3}$ và công suất phát quang có thể phát hiện là 10^3 photon/giây . Xác định mật độ quang tử thiểu số cần có để quang phát quang.

Giải

(Ghi chú thêm: Theo giả thiết: $\lambda = 400 \text{ nm}$; $P = 100 \mu\text{W}$; $\eta = 0,1$; $k_g = 10^{-3}$; $(I_{em})_{min} = 10^3 \text{ photon/giây}$)

Năng lượng của mỗi photon là:

$$E_0 = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})} = \frac{1240}{400} = 3,1(\text{eV}) = 3,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}(\text{J}) = 4,96 \cdot 10^{-19}(\text{J})$$

Công suất ánh sáng là:

$$I_0 = \frac{P}{E_0} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{4,96 \cdot 10^{-19}} \approx 2 \cdot 10^{14}(\text{photon/giây})$$

Mật độ quang tử thiểu số cần có để quang phát quang:

$$(OD)_{min} = \frac{(I_{em})_{min}}{\eta I_0 k_g} = \frac{10^3}{0,1 \cdot 2 \cdot 10^{14} \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-8}$$

L I G I I M T S C Â U H I T R O N G C Á C T H I Q U A N G P H L A S E R

1/

a> Quang phổ laser (Hình phổ, Bước sóng, Phân cực và Tán xạ) cung cấp cho ta những thông tin gì? Giải thích vì sao quang phổ laser lại có dạng là hàm Lorentzian hoặc là hàm Gaussian.

b> Một đặc trưng của bước sóng của một ion quang trong vật rắn có thể ngắn đến 10ns. Xác định mối liên hệ giữa bước sóng và giá trị điện trường cần để duy trì bước sóng và không ngừng.

Giải

a> Quang phổ laser (Hình phổ, Bước sóng, Phân cực và Tán xạ) cung cấp cho ta những thông tin:

* V m t nh tính:

+ i v i ch t bán đ n, cho bi t r ng vùng c m c a ch t bán đ n, t ó bi t c v t li u phân tích là ch t bán đ n gì (H p thu, B c x).

+ Cho bi t s hi n đ i n c a các t p ch t, các sai h ng, khuy t t t có trong m u (H p thu, b c x).

+ C u trúc hóa h c, thành ph n hóa h c, tr ng thái liên k t, tr ng thái dao ng phân t hay nguyên t c a m u (Tán x).

+ Tr ng thái b m t, c u trúc b m t, các liên k t trên b m t c a m u (Ph n x).

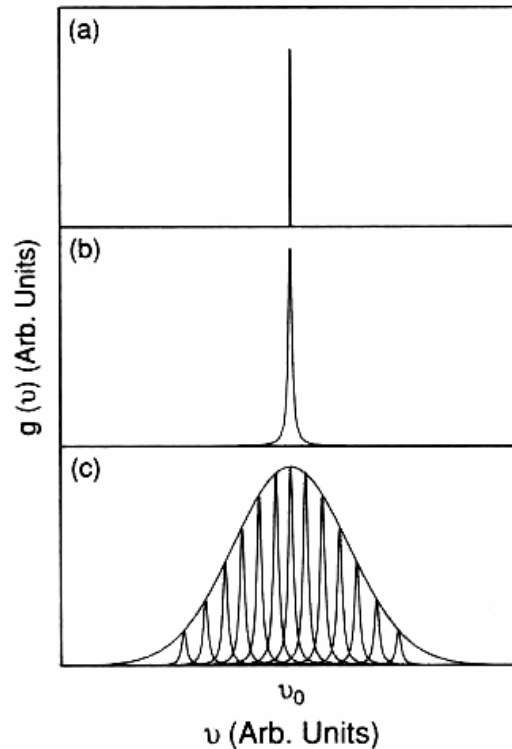
* V m t nh l ng:

+ N ng t p ch t, m t khuy t t t, sai h ng có trong m u (H p thu, B c x).

+ Lo i c u trúc, thành ph n ph n tr m hay hàm l ng c a ch t hóa h c có trong m u v à m c liên k t phân t hay nguyên t hay m c dao ng c a phân t (Tán x).

+ M c liên k t, g gh , b ám đnh b m t c a m u (Ph n x).

Gi i thích Quang ph laser l i có d ng là hàm Lorentzian ho c là hàm Gaussian:



Ta bi tr ng, ph xu thi n là do s đ ch chuy n b c x c a i n t t m t m c n ng l ng cao v m c n ng l ng th p h n (hay s đ ch chuy n h p thu t m t m c n ng l ng th p lên m c n ng l ng cao h n). nh ph lý t ng là l v ch th ng (hình a). Tuy nhiên, trong th c t , nh ph không ph i là m t v ch th ng mà luôn có m t m r ng nh t nh (m r ng Lorentzian (hình b) hay m r ng Gaussian (hình c)). i u này có th c gi i thích t nguyên lý b t nh Heisenberg:

$$\Delta\nu \cdot \Delta t \leq \frac{1}{2}\pi$$

T c là m c n ng l ng càng cao thì th i gian s ng c a i n t trên m c ó càng th p và ng c l i. Nói cách khác, m i m c n ng l ng không ph i là m t m c duy nh t mà là g m nhi u m c

nh sát nhau, v i m c n ng l ãng càng cao thì s tách m c này càng nhi u. Vì v y mà Quang ph laser ghi nh n c luôn có l m r ng nh t nh, có d ãng là hàm Lorentzian ho c là hàm Gaussian.

b> (Gi ãng bài 1 trang 1 BÀI T P QUANG PH LASER TRÊN L P)

2/ *Nêu nh ãng u i m khi dùng ngu n sáng laser kích thích trong các phép o quang ph .*

Gi i

Ngu n sáng laser có 4 tính ch t n i b t, ó là: c ãng l ãn, ãn s c cao, tính nh h ãng cao và có tính k t h p. Khi dùng ngu n sáng laser kích thích trong các phép o quang ph s có nh ãng u i m sau:

+ Vì ngu n sáng laser có c ãng l ãn nên phát quang t m u c ãng có c ãng l ãn, d ãng ghi nh n, c b i t là i v i nh ãng h p ch t phát quang y u.

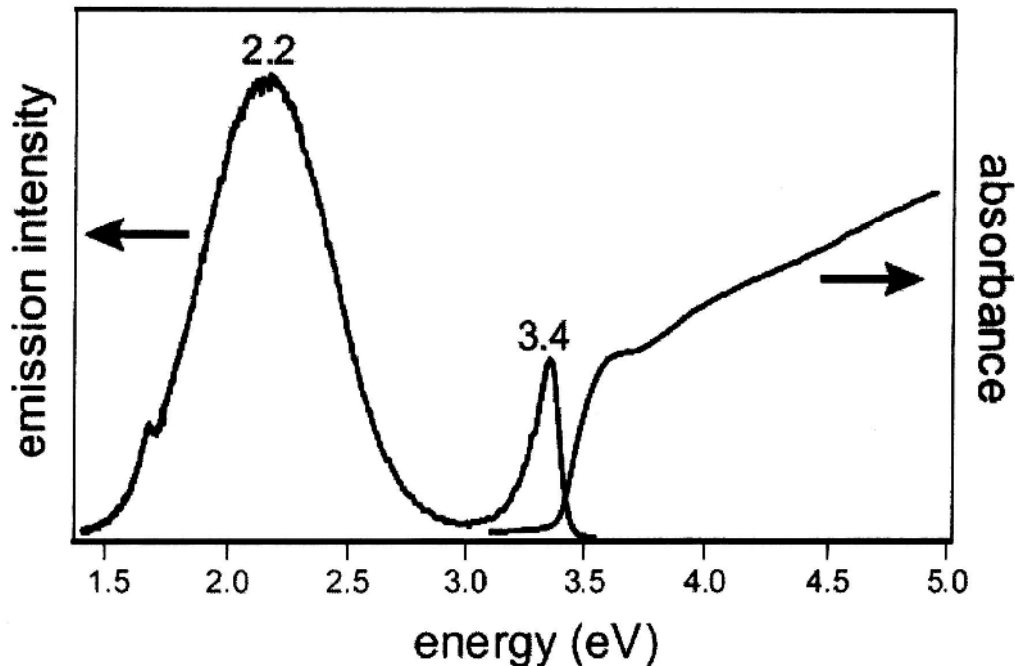
+ Vì ngu n sáng laser có tính ãn s c cao nên d ãng th c h i n tr p h trong tr ãng h p ph c a laser xu t h i n trong ph c a m u v t ghi nh n c.

+ c b i t tính k t h p v ãng không gian và th i gian c a ngu n sáng laser giúp cho ph ghi nh n có ph ãn gi i t t, d ãng ph ãn b i t hai nh ph sát nhau, ãng th i, có th phát h i n c nh ãng quá trình x y ra r t nhanh (ví d h i n t ãng h p thu 2 photon,...).

+ Tính nh h ãng c a ngu n laser t o i u k i n thu n l i khi thao tác, b trí, i u ch nh h quang h c khi o c, tránh hao phí, m t mát.

Nói chung, s ãng ngu n sáng laser kích thích giúp t ãng ãng k ãng chính xác trong các phép o quang ph .

3/ *T p h Quang phát quang v i ngu n kích thích laser ($\lambda = 300 \text{ nm}$) và ph h p thu c a tinh th nano ZnO trong ethanol, b i t r ãng r ãng vùng c m c a v t l i u kh i ZnO là 3,37 eV. Hã y b i n lu n k t qu t p h trên.*



Gi i

Ngu n laser kích thích ($\lambda = 300 \text{ nm}$) t ãng ãng v i n ãng l ãng 4,13 eV.

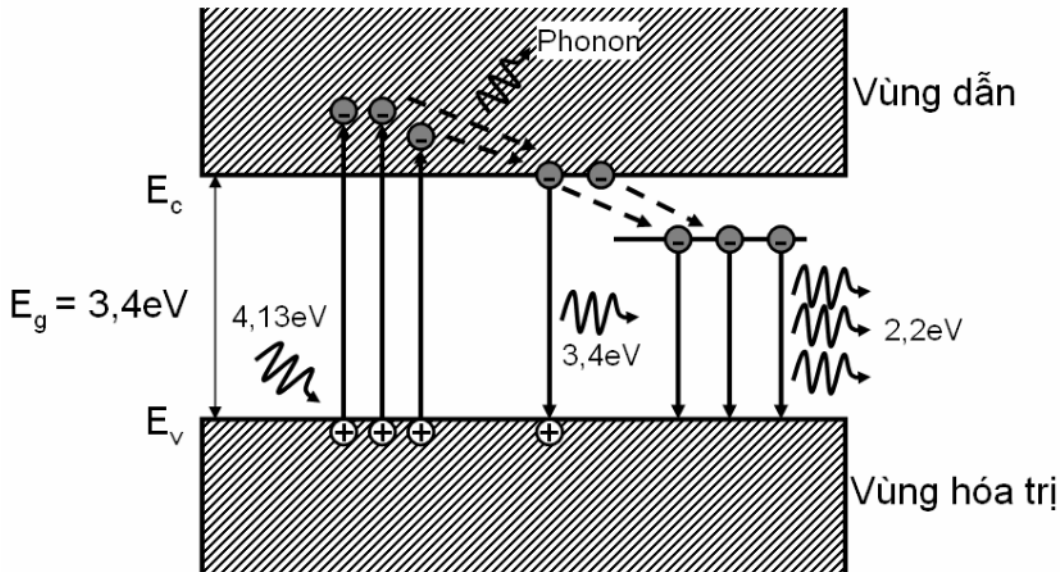
+ Trích từ, tiếp thu (từ bên phải), nếu kéo dài thì thì giao điểm của nó với trục hoành sẽ cho biết rằng vùng cấm của tinh thể nano ZnO. Giá trị này vào khoảng 3,45 eV, tương đương với vùng cấm của vật liệu khối ZnO ($E_g = 3,37$ eV). Như vậy, vì có thu nhận kích thước tinh thể ZnO nên mức năng lượng vùng cấm.

+ Từ bên trái thì năng lượng phát quang. Ta có thể thấy 2 mức phát xạ hai vị trí năng lượng khác nhau là 2,2 eV và 3,4 eV, trong đó, mức 2,2 eV cao hơn mức 3,4 eV, tức là có mức 2,2 eV lớn hơn mức 3,4 eV.

- Mức 3,4 eV từ năng lượng dịch chuyển nội tại của vùng dẫn về vùng hóa trị. Dịch chuyển này cho biết rằng vùng cấm của tinh thể nano ZnO là 3,4 eV. Ta thấy giá trị này nhỏ hơn giá trị vùng cấm thu được từ tiếp thu (3,45 eV). Sự khác biệt này có thể là do hiệu ứng dịch chuyển Stokes, mức phát xạ chuyển sang cho phonon (dao động mạng tinh thể) nên phát quang luôn bị dịch về phía năng lượng thấp tiếp thu.

- Mức 2,2 eV từ năng lượng dịch chuyển nhỏ hơn năng lượng vùng cấm, tức là dịch chuyển có sự tham gia của mức tiếp thu (hay mức bẫy do sai hỏng hoặc khuyết tật trong) nên mức vùng cấm. Mặt khác, cùng các mức này lại nhỏ hơn nhỏ so với mức 3,4 eV nên có thể nói rằng mức tiếp thu (hay sai hỏng) là năng lượng nhỏ, làm cho dịch chuyển vùng-tiếp thu giữ vai trò chủ yếu trong dịch chuyển vùng-vùng.

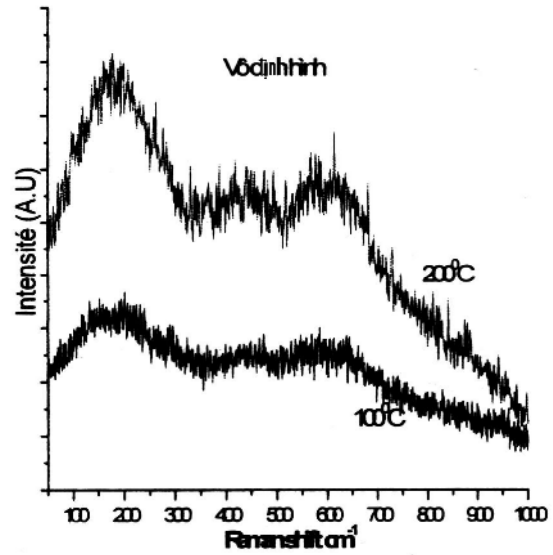
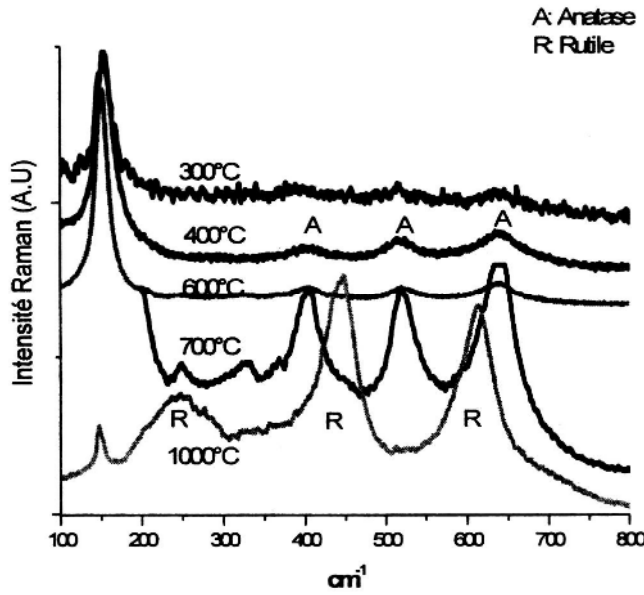
Các quá trình tiếp thu và phát quang có thể biểu diễn bằng sơ đồ như sau:



4/ Về cấu trúc của TiO_2 có các dạng như sau trong thực tế, vì cấu trúc tinh thể của nó có các dạng sau: vô định hình, Brookite, Anatase, Rutile (xem phần tham khảo bên dưới). Tùy thuộc vào mục đích ứng dụng, ví dụ như dạng vô định hình có thể ứng dụng trong truyền dẫn sóng quang, dạng anatase có thể ứng dụng trong xúc tác quang, ứng dụng trong xử lý môi trường, dạng Rutile có thể ứng dụng trong công nghệ pin, v.v...

Tính chất Raman khảo sát theo nhiệt độ của mẫu TiO_2 theo phương pháp sol-gel. Hãy bình luận kết quả tính chất Raman.

Các dạng cấu trúc tinh thể của TiO_2



Các dạng cấu trúc của tinh thể TiO₂

TiO₂ Band Gap

Anatase: 3.2 eV

Rutile: 3.02 eV

Brookite: 2.96 eV

S. Banerjee, 2006

Giới

+ nhiệt độ 100°C đến 300°C, mẫu kết tinh dạng vô định hình.

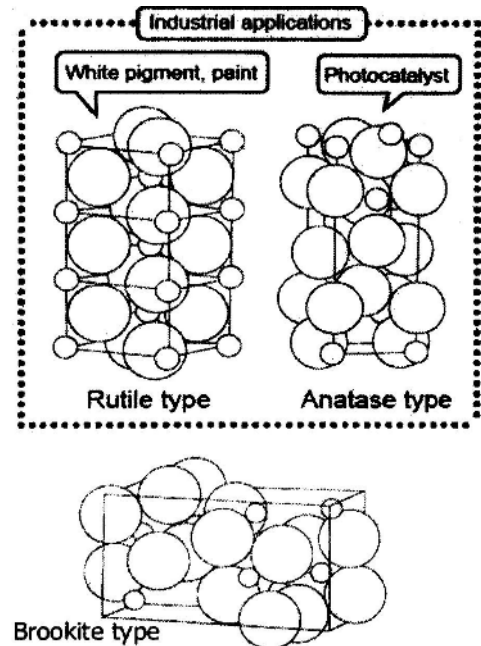
+ Khi nung ở nhiệt độ 400°C, xuất hiện các đỉnh phản xạ cho cấu trúc anatase

+ 600°C, vẫn có những phản xạ cho cấu trúc anatase nhưng cường độ yếu hơn, thể hiện một phần cấu trúc anatase bắt đầu

+ ở 700°C, bên cạnh các phản xạ của cấu trúc anatase, còn xuất hiện thêm các phản xạ thể hiện cấu trúc rutile như ví dụ trong hình. Như vậy, ở 700°C, mẫu thể hiện cấu trúc hỗn hợp anatase và rutile.

+ 1000°C, thể hiện các phản xạ cho cấu trúc rutile có cường độ mạnh.

Kết luận:



Muối TiO_2 nhiệt độ 300°C thì hình cấu trúc vô định hình; từ 400°C đến 1000°C thì hình cấu trúc có trật tự của anatase hay cấu trúc hỗn hợp của anatase và rutile; trên 1000°C , có sự chuyển đổi hoàn toàn từ cấu trúc anatase sang cấu trúc rutile.

5/ Một laser Ar^+ hoạt động tia bức xạ 488 nm , khoảng cách giữa 2 gương là $1,5 \text{ m}$ và bước sóng của ánh sáng là $\nu = 5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$. Xác định số tách tần số giữa ánh sáng mode kế nhau và xác định số mode N .

Giải

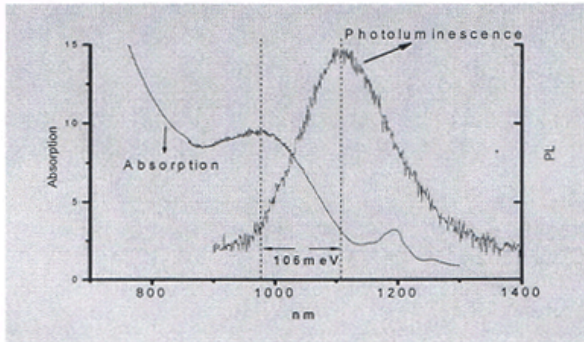
Số tách tần số giữa ánh sáng mode kế nhau được tính theo công thức:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 1,5} = 10^8 \text{ (Hz)} = 100 \text{ (MHz)}$$

Số mode N :

$$N = \frac{\delta\nu}{\Delta\nu} = \frac{5 \cdot 10^9}{10^8} = 50$$

6)



Từ phổ thực nghiệm hấp thụ và quang phát quang của một chất nano bán dẫn PbS, giải thích vì sao phổ quang phát quang lại bị dịch về phía năng lượng thấp hơn so với phổ hấp thụ?

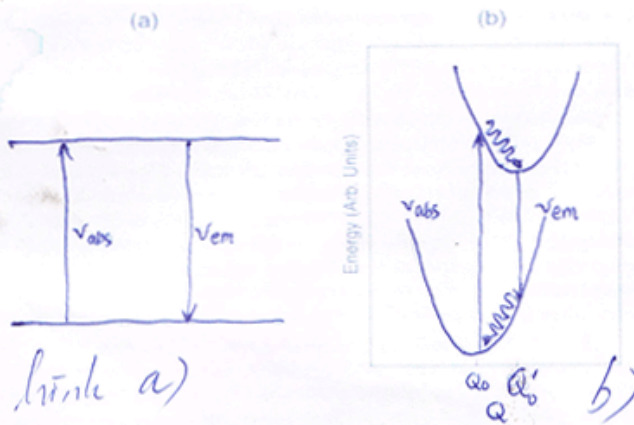


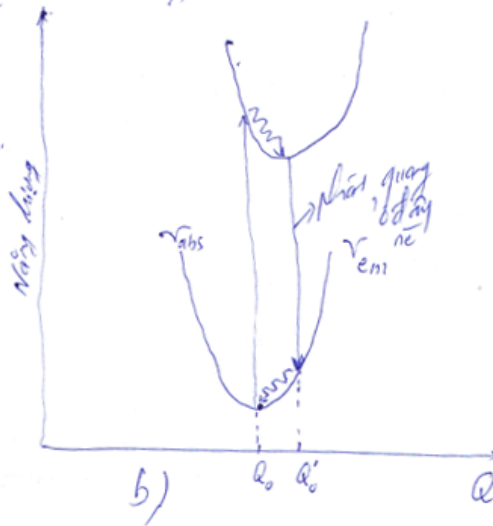
Figure 1.10 (a) The absorption and emission energies for a two-level system (rigid lattice).
 (b) The absorption and emission energies showing the Stokes shift (vibrating lattice).

Giải thích phổ phát quang bị dịch về phía năng lượng thấp

Hãy xét hệ hai mức được biểu diễn trong hình (a) ứng với một ion quang học trong một mạng tinh thể ion. Hai mức năng lượng này là hệ quả của việc ion quang học và các ion lân cận của nó được đặt ở các vị trí cố định (mạng cứng). Tuy nhiên, chúng ta biết rằng các ion trong chất rắn dao động xung quanh vị trí cân bằng của chúng, do đó khoảng cách giữa các ion thay đổi theo thời gian, dao động quanh các vị trí cân bằng. Vì thế, chúng ta phải xét vai trò của các ion lân cận trong dịch chuyển quang học của hai mức năng lượng. Để làm điều đó, chúng ta giả sử một khoảng cách

và các ion lân cận của nó thay đổi một lượng nhỏ

tọa độ đơn giản Q , và các zôn lân cận tuân theo một
 dao động điều hòa. Hai mức năng lượng sẽ trở thành
 các vùng parabol như trong hình (b). Trên tinh thể
 của cách tiếp cận này, chúng ta sẽ biên luận vùng
 các vị trí cân bằng của các trạng thái cơ bản và
 trạng thái kích thích có thể khác nhau và các
 dịch chuyển điện tử xuất hiện như được biểu
 diễn trong hình (b). Bốn bước có thể được xem
 xét. Thứ nhất, một electron ở trạng thái cơ bản
 được đưa lên trạng thái
 kích thích mà không có
 sự thay đổi của Q_0 (Vị
 trí cân bằng ở trạng thái
 cơ bản). Sau đó, electron
 nằm ở trạng thái điện tử
 ứng với vị trí cực tiểu
 của nó Q'_0 , vị trí cân
 bằng của nó trong trạng
 thái kích thích. Sự lữ
 không bức xạ kèm theo sự phát phonon. Từ
 vị trí cân bằng Q'_0 , sự phát quang được tạo
 ra do sự nhảy của electron từ trạng thái kích
 thích đến trạng thái cơ bản, mà không có bất
 kỳ thay đổi nào trong tọa độ không gian,



tức là $Q = Q_0$

Cuối cùng, electron phục hồi vào trạng thái địa phương với cực tiểu của trạng thái có bán với vị trí cân bằng Q_0 . Một quá trình của 4 quá trình này là sự phát xạ xuất hiện tại tần số ν_{em} , với hiệu ứng độ chênh lệch năng lượng $\Delta = h\nu_{abs}$
 $- h\nu_{em}$ là thuyết đo sự dịch chuyển Stokes.