

[www.mientay.vn.com](http://www.mientay.vn.com)

# PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH QUANG-PHÁT QUANG TRONG B M T VÀ M T PHÂN CÁCH

(Photoluminescence In Analysis Of Surfaces And Interfaces)

## Nội dung trình bày

1/ Giới thiệu phương pháp.

2/ Ưu điểm-hạn chế.

3/ Phương pháp quang- phát quang:

3.1. Kích thích quang phát quang.

3.2. Phát quang phát quang.

3.3 Cường độ quang phát quang

# Phương pháp quang phát quang trong phân tích b m t và m t phân cách

u i m

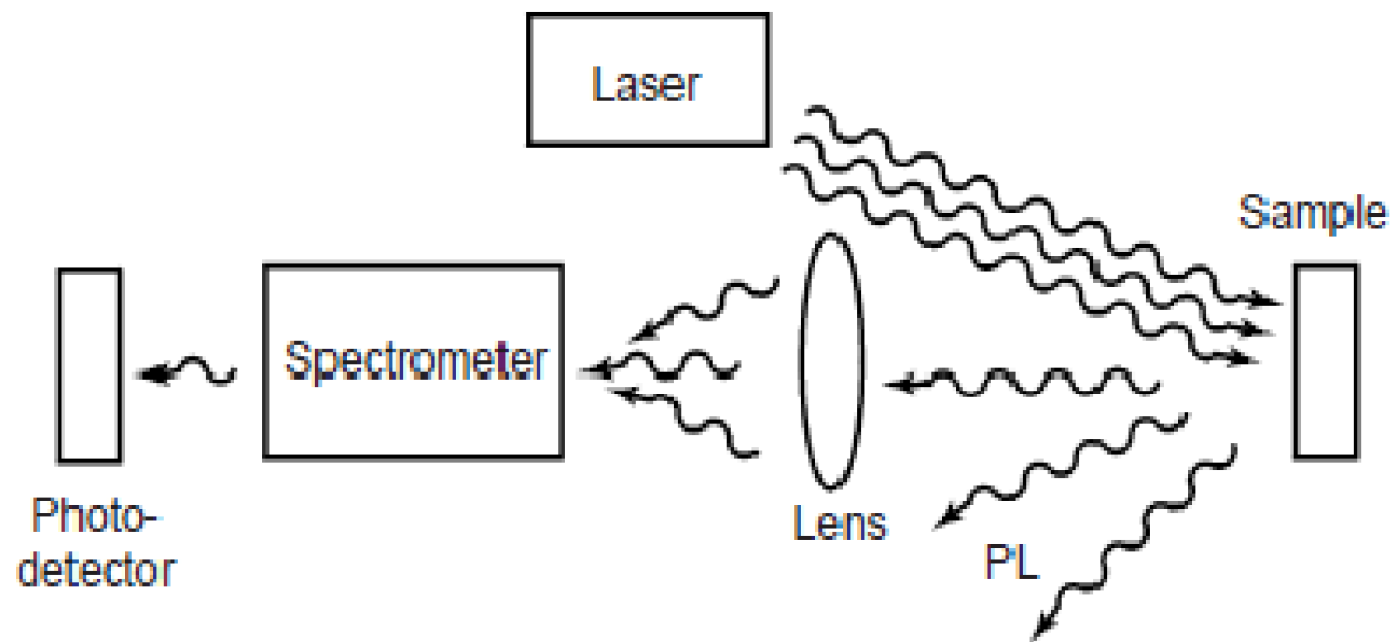


- Phát hiện sai hỏng, tạp chất trên b m t và m t phân cách.
- Có nh y cao.
- Không phá h y m u.
- Phân tích PL theo th i gian là r t nhanh

H n ch



PL phụ thu c vào kh  
n ng b c x c a v t li u.



**Figure 1** Typical experimental set-up for PL measurements.

Hình 1: S b trí TN h o PL

# I. S kích thích quang phát quang

1. Nguyên lý kích thích

2. Các kích thích.

xuyên sâu

Địch chuyển Stokes

$\lambda$  nh

$\lambda$  Phù hợp

xuyên sâu  
càng lớn

Xác  
xuất  
tái  
hợp  
lên.

hợp thành  
mức năng  
giảm.

Xác xuất tái hợp  
giảm.

- Ph PL & năng lượng kích thích :

Bán dẫn sạch



Ph PL không phụ thuộc vào  $E_{kt}$

Bán dẫn có sai hỏng, tạp chất

bổ sung.



Ph PL thay đổi khi  $E_{kt}$  thay đổi.

- Dịch chuyển Stoke :

Đến phân cách giữa các lớp bán



l dây heterostructure (QWs)

đẫn có cấu trúc d'.

Khi có kích thích.



Sinh ra các hạt tải điện và ánh sáng phát xạ.



Dịch chuyển Stoke



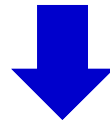
Tổn hao PL

## 2. Công kích thích

Công ánh sáng tới  $\xrightarrow{a/h}$  Mật độ e/h c kích thích quang.

- Mật độ trạng thái m t phân cách :

**Khi năng h t t i t h p :**



Phép o b chi p h i b i sai h ng và t p ch t.



Tái h p Schockley-Read-Hall  
(SRH)



T c tái h p  $\sim$  n



**Khi mật độ hạt tải cao:**

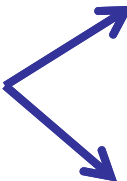


Xảy ra thêm hiện tượng tái hợp Auger



Tốc độ tái hợp  $\propto n^3$

- Vận tốc tái hợp có thể phân cách: S

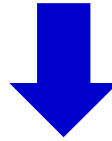
+ S  $\rightarrow$   $\notin$   B dẫy các tạp quang học.  
Mật độ hạt tải.

+ S  $\rightarrow$   $\in$   $\rightarrow$  Trạng thái tự nhiên của mẫu, chỉ có một phân cách.

Nếu có 2 mật độ phân cách tham gia vào quá trình PL  $\rightarrow S = S_1 + S_2$

**K t l u n:**

T ñ ng PL  $\longleftrightarrow$  Gi m s tái h p không b c x



xác ñ h S

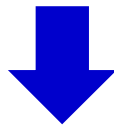
M u ph i t y ê u c u

Thi t b máy móc tinh vi

- S ph thu c c a tín hi u PL vào c ã ng kích thích trên  
l c u trúc d th InGaAsP/InP

ng PL  $\longrightarrow$  T l tuy n tính v i công su t kích thích

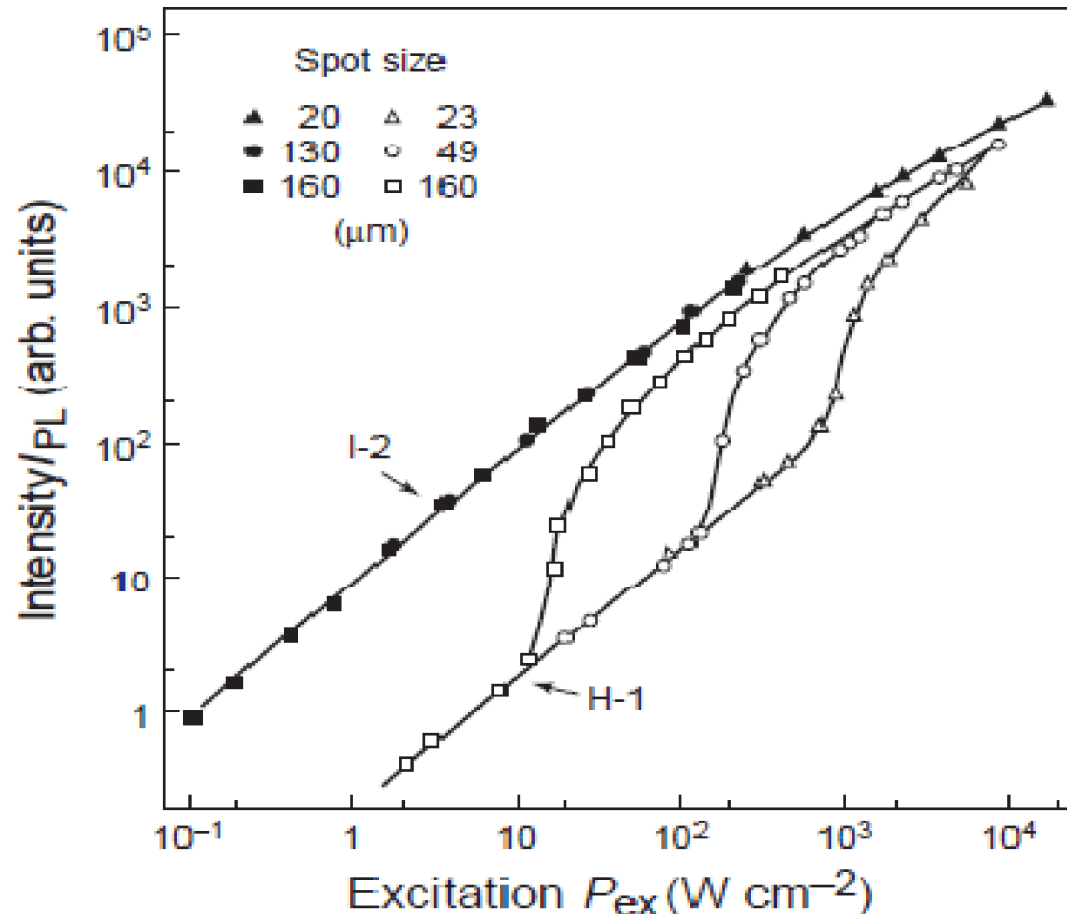
Nh ã ng qua thí nghi m vài m u nghi ên c u



l kích thích m c trung bình thì ã ng PL l i t ã ng v t



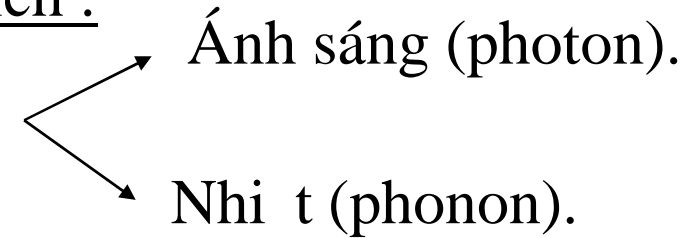
Hình 2



Hình 2: Cường độ PL phụ thuộc vào công suất kích thích của hai mẫu khác nhau (Komiyu).

- Công suất kích thích :

Khi kích thích vào mức u



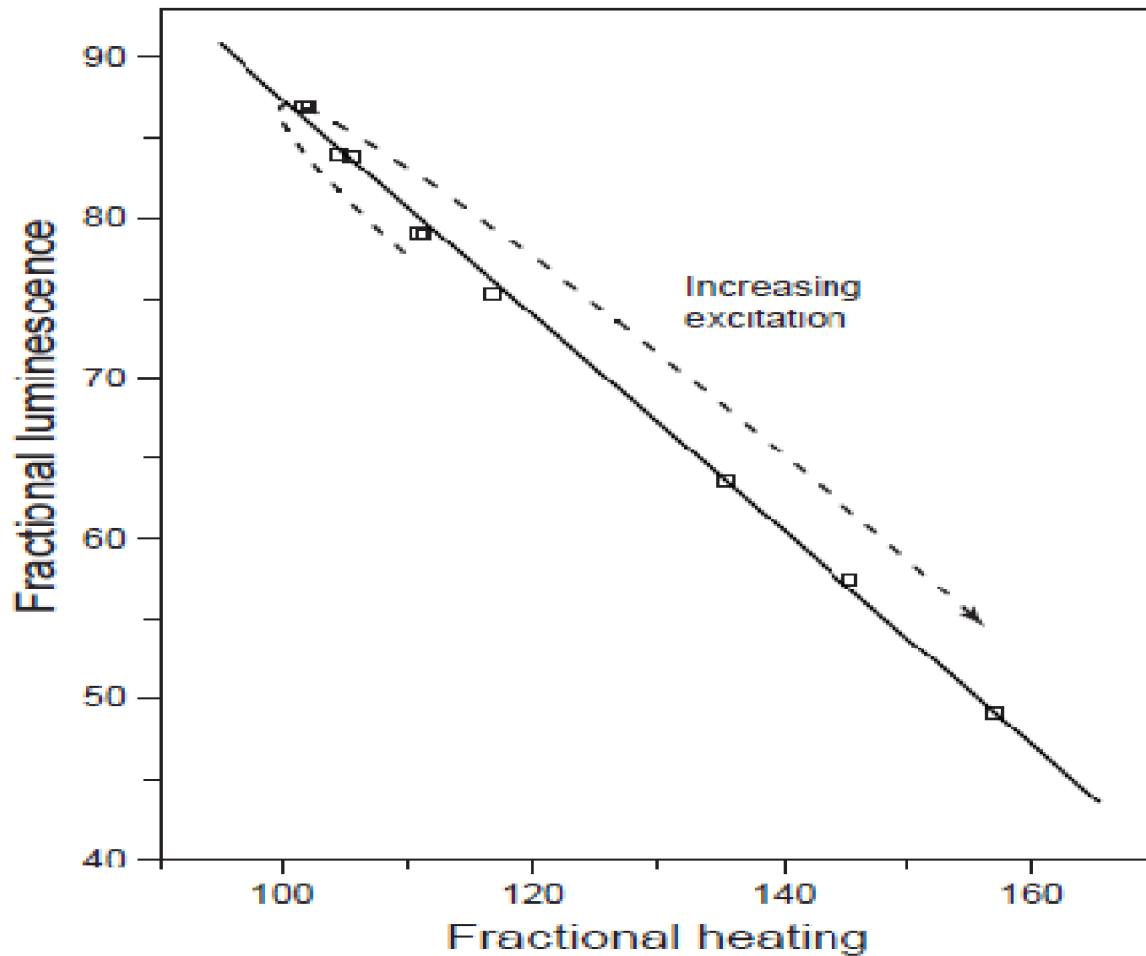
Ánh sáng (photon).  
Nhiệt (phonon).

$\Rightarrow$  Tỉ lệ PL  $\Leftrightarrow$  Giảm nhiệt.

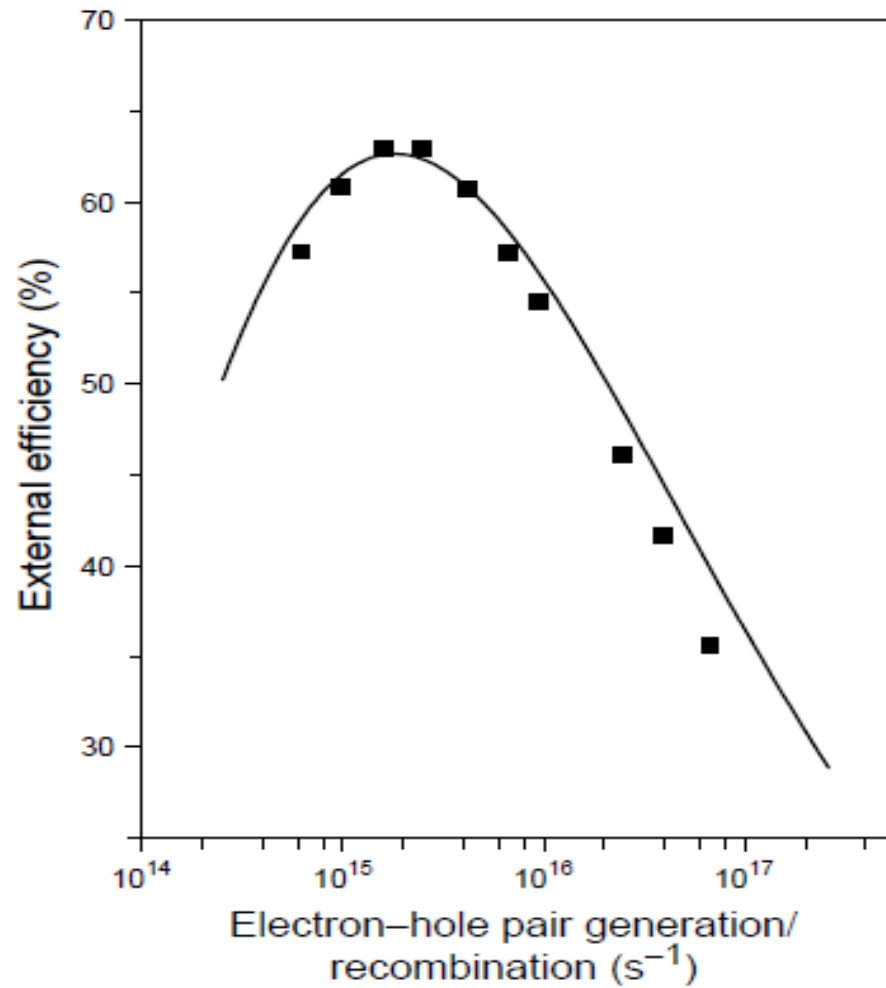
$\Rightarrow$  {  
Cường ánh sáng phát ra  
S biến thiên nhiệt  
}  $\longrightarrow$  Công suất kích thích.



o công suất bức xạ tùy t i trên c u trúc d th InGaAs/InP. (Hình 3)



- **Hình 3:** Mối quan hệ giữa nhiệt độ và hiệu suất phát quang và thay đổi nhiệt độ, *increasing excitation*

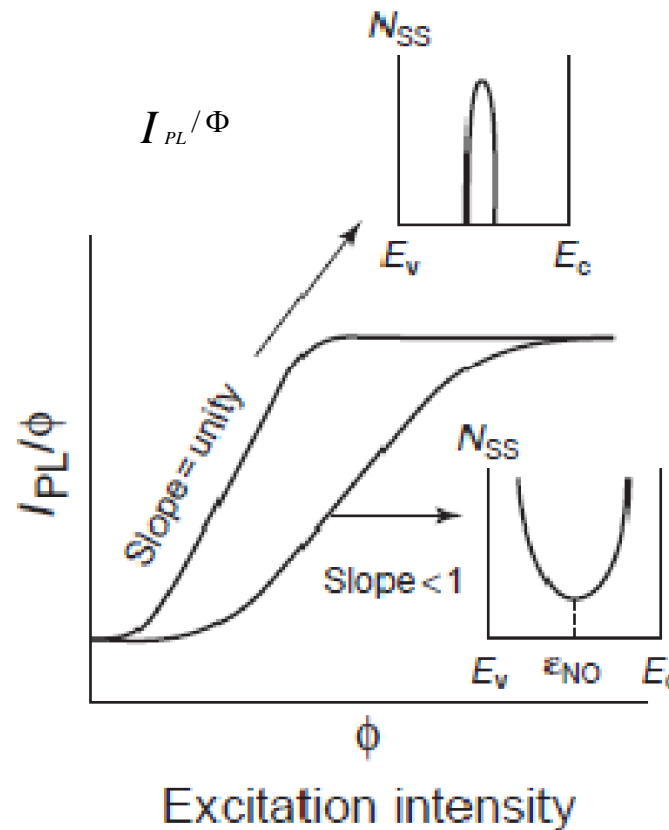


**Hình 4:** Sự phụ thuộc của hiệu suất phát xạ nội tại vào tốc độ phát sinh/tái hợp các cặp e-h trong trạng thái bền

- **PP PLS3:** ảnh giá s ph thu c c a  $I_{PL}$  vào  $I_{ex}$ .

Khi tái h p b chi ph i b i các b y tr ng thái bão hòa.  $\rightarrow I_{PL} \sim I_{ex}^2$

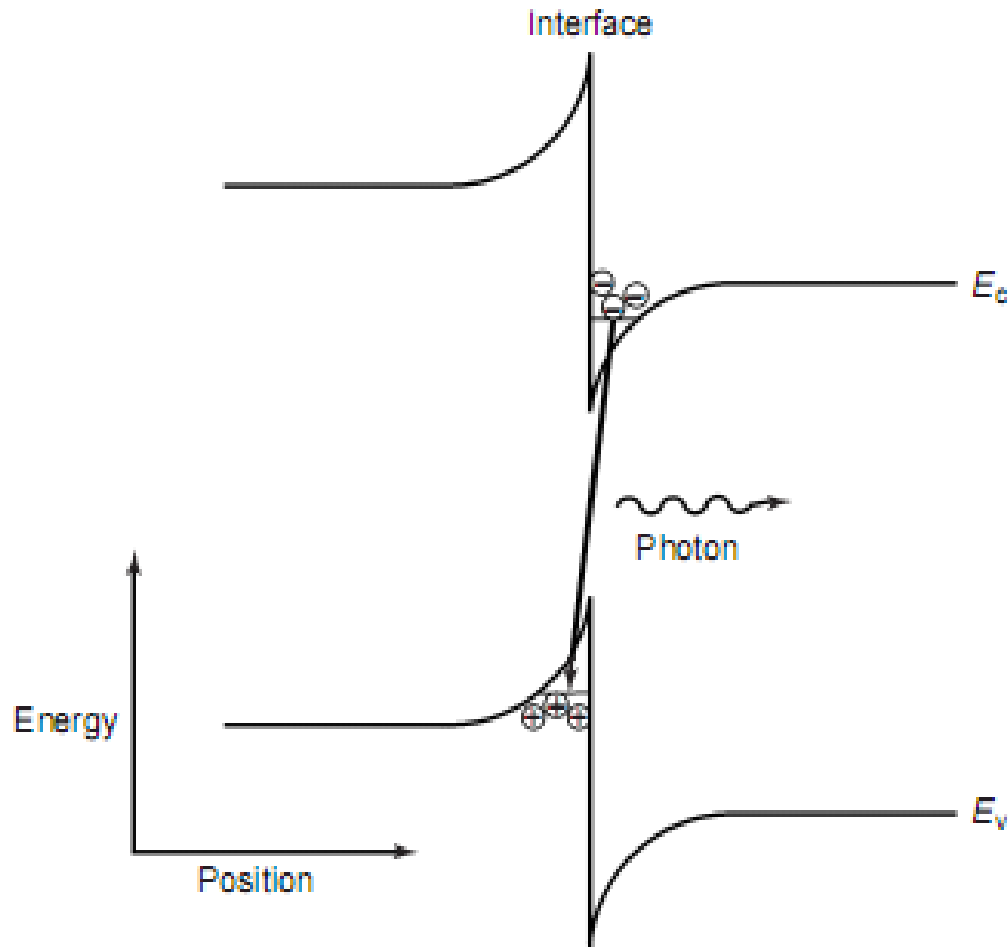
Khi tái h p b c x chi m a s .  $\rightarrow I_{PL} \sim I_{ex}$



Hình 5 : S ph thu c hi u su t PL vào  $I_{ex}$  cho hàm m t tr ng thái có d ng hình ch U t ng ng.



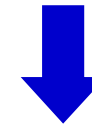
ng v i vùng d n nh nh t & vùng hóa tr l n  
nh t



**Figure 6** Type II band alignment where electrons and holes collect on opposite sides of a semiconductor interface. The small QWs that form near the interface lead to a substantial excitation-dependent blueshift in the PL. (Vignaud )



Các e và h b b t vào các h .

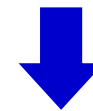


T ng kích thích s tích  
l y h t t i s t ng lên.



NL giảm gi , và NL

dipole



**Blueshift ph thu c vào  
kích thích trong PL**

## II. Phổ quang phát quang :

### ❖ Mục ích

- + Phát hiện những sai hỏng vật liệu chất.
- + Xác định nồng độ thành phần cấu tạo của hợp kim chất bán dẫn.
- + Phát hiện dấu hiệu của các giếng hoặc rào ô-mat phân cách

## 1. Các vị trí nh ph PL :

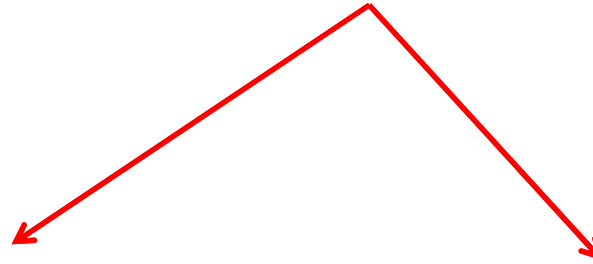
Sai h ng  
và t p ch t



Phá v tr t t tu n hoàn c a m ng tinh th

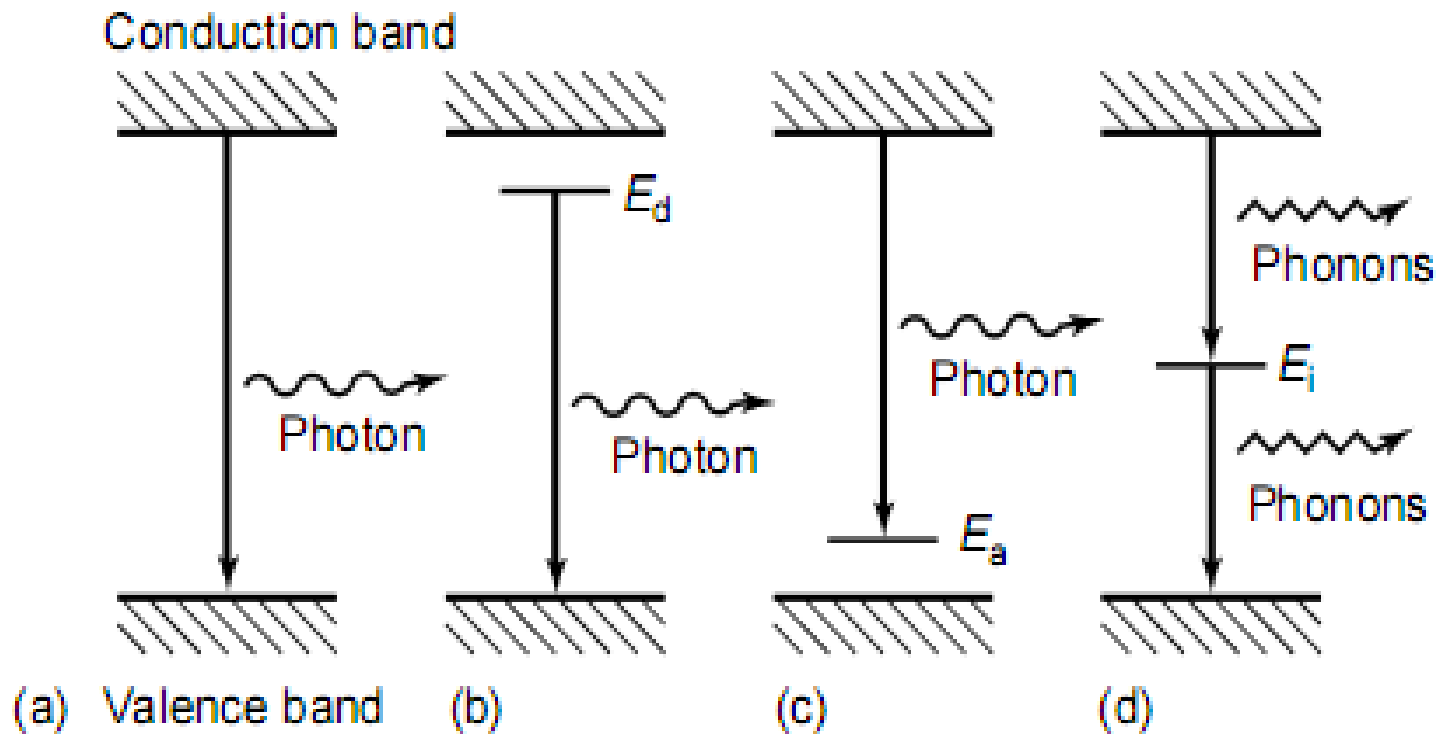


Các m c n ng l ng vùng c m (các b y).



M c donor  $E$

M c acceptor  $E_a$

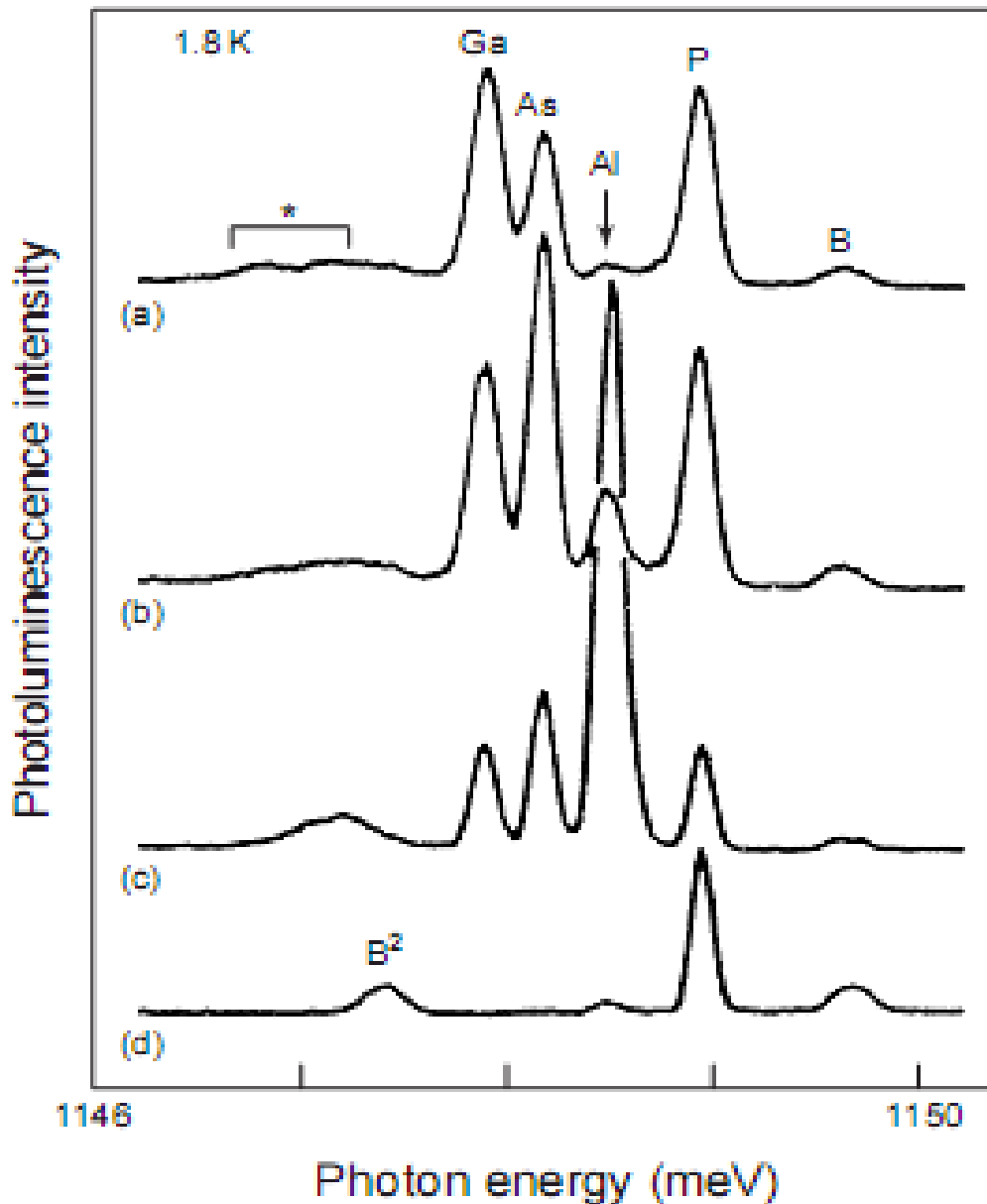


**Figure 7** (a–c) Radiative recombination paths: (a) band-to-band; (b) donor to valence band; (c) conduction band to acceptor. (d) Nonradiative recombination via an intermediate state.

Khi các hạt tải điện tái hợp bức xạ → Phát ra bức xạ .

Năng lượng chuyển hóa thành nhiệt hay phát xạ.

↓  
← Phân tích ánh sáng phát ra.



Hình 8:

(a-c): Ph PL c a 3 m u Si epitaxi

(d) : Ph PL c a ch t n n.



Ch ra các ng ph có

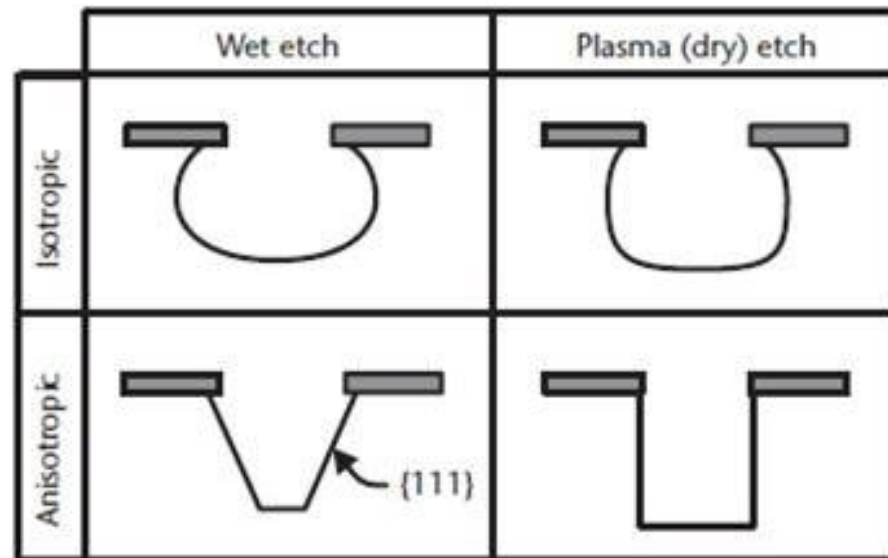
liên quan n t p ch t

Ga, As, Al, P và B.

Figure 8 PL spectra of three epitaxial Si samples (a-c) and the substrate material (d) showing spectral lines associated with Ga, As, Al, P, and B impurities. <sup>(20)</sup>

❖ Kỹ thuật khắc mòn:

Là kỹ thuật loại bỏ vật liệu chọn lọc bằng phản ứng hóa học hay bắn phá ion



Ph ng pháp n mòn ion ph n ng (RIE ): (Radiation Ion Etching)

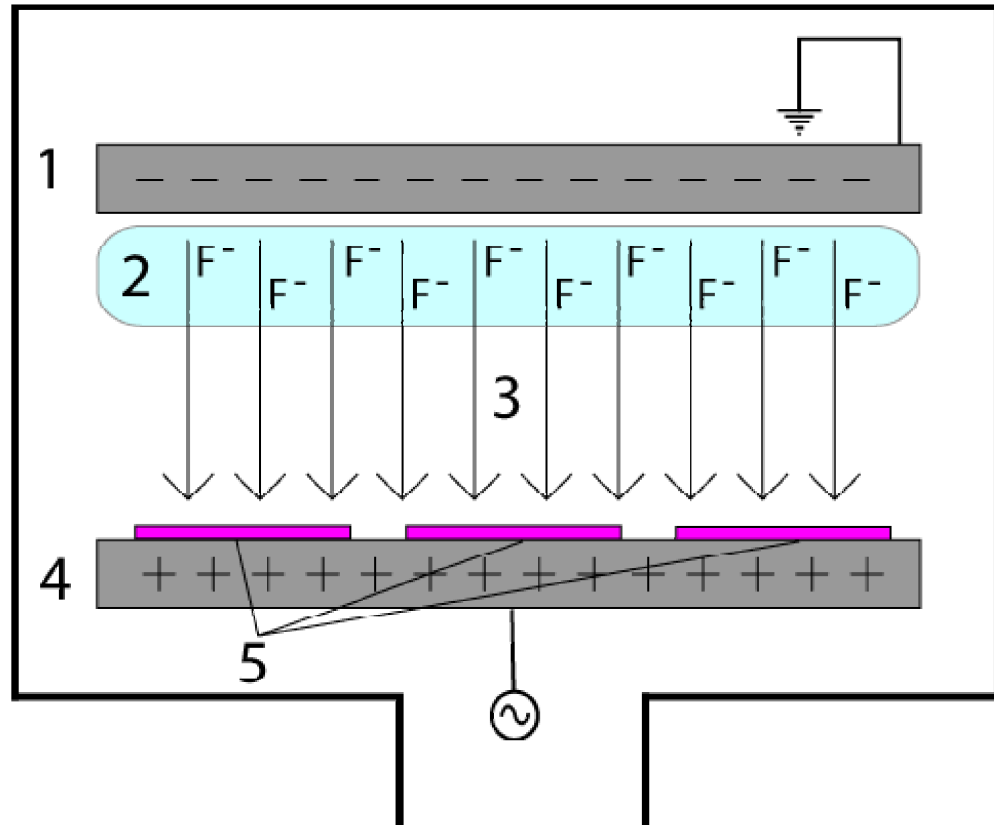
Ph ng pháp mô t s k th p c a công c plasma v i s

d ng khí ph n ng.

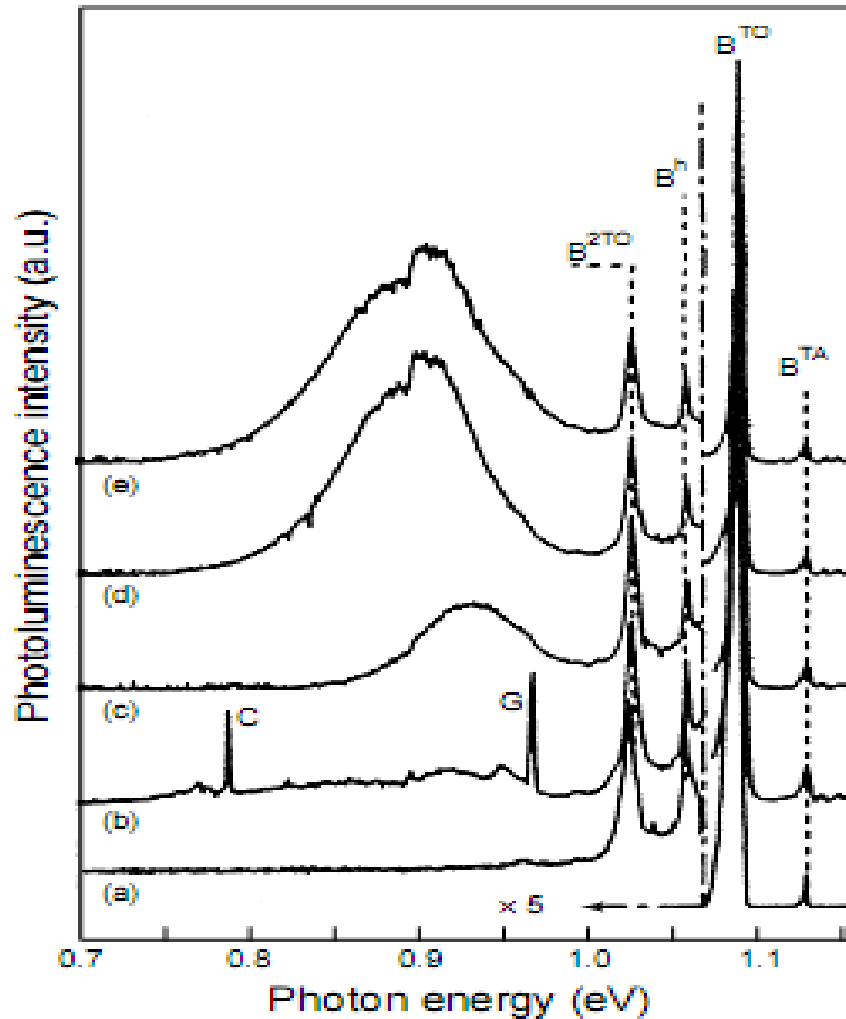


Khí ion c t ng t c b i tr ng i n t r i b n phá vào  
l p v t l i u c n n mòn

Two electrodes (1 and 4)  
that create an electric field  
(3) meant to accelerate ions  
(2) toward the surface of  
the samples (5).



Dùng phổ PL để nghiên cứu tác động của những plasma khác nhau lên bề mặt tinh thể



*Phân tích phổ PL là rất hữu dụng trong việc xác định và hiểu khi nào các sai hỏng do RIE gây ra.*

**Figure 9** PL spectra of B-doped Si after the following plasma exposures: (a) 80% He-20% HBr; (b) CF<sub>4</sub>; (c) Ar; (d) Ar-D<sub>2</sub>; (e) D<sub>2</sub>.<sup>(22)</sup>



Nỗ dầy của mẫu :

Ghép hai mảng không cân xứng  
trong cấu trúc dò thể InGaAs/ GaAs

o dầy của lớp InGaAs

M ãng

V ãt quá

dày t ãi h ãn.

Trãng thãi cãng

S ãi ch ãm ãng

Phãt x ãi sãu

Quan sãt PL sãu trong  
hã InGaAs/ GaAs

o phãnhõ lãmoã hãm củã nõã  
dãy lớp InGaAs

Cõng nõã củã phãt xãi sãu tãng nhanh khi lớp nõãit nõãdãy tũũ hãin

❖- Dùng PL để nghiên cứu đặc tính của lớp bao phủ tinh thể có kích thước nano :

Sử dụng ph PL nghiên cứu đặc tính của lớp mạ CuSe trên tinh thể CdSe có kích thước nano.

Tinh thể CdSe không có lớp bao phủ → Cho PL rộng và dải vùng cảm

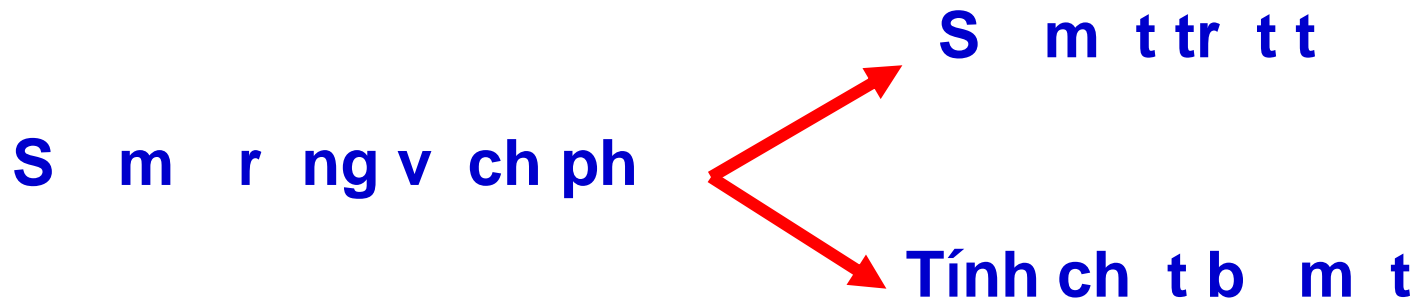
Tăng 1 lớp mạ CuSe trên lớp CdSe → PL rộng và dải vùng cảm giảm nên nhiều vùng thời tăng nên PL vùng biên.

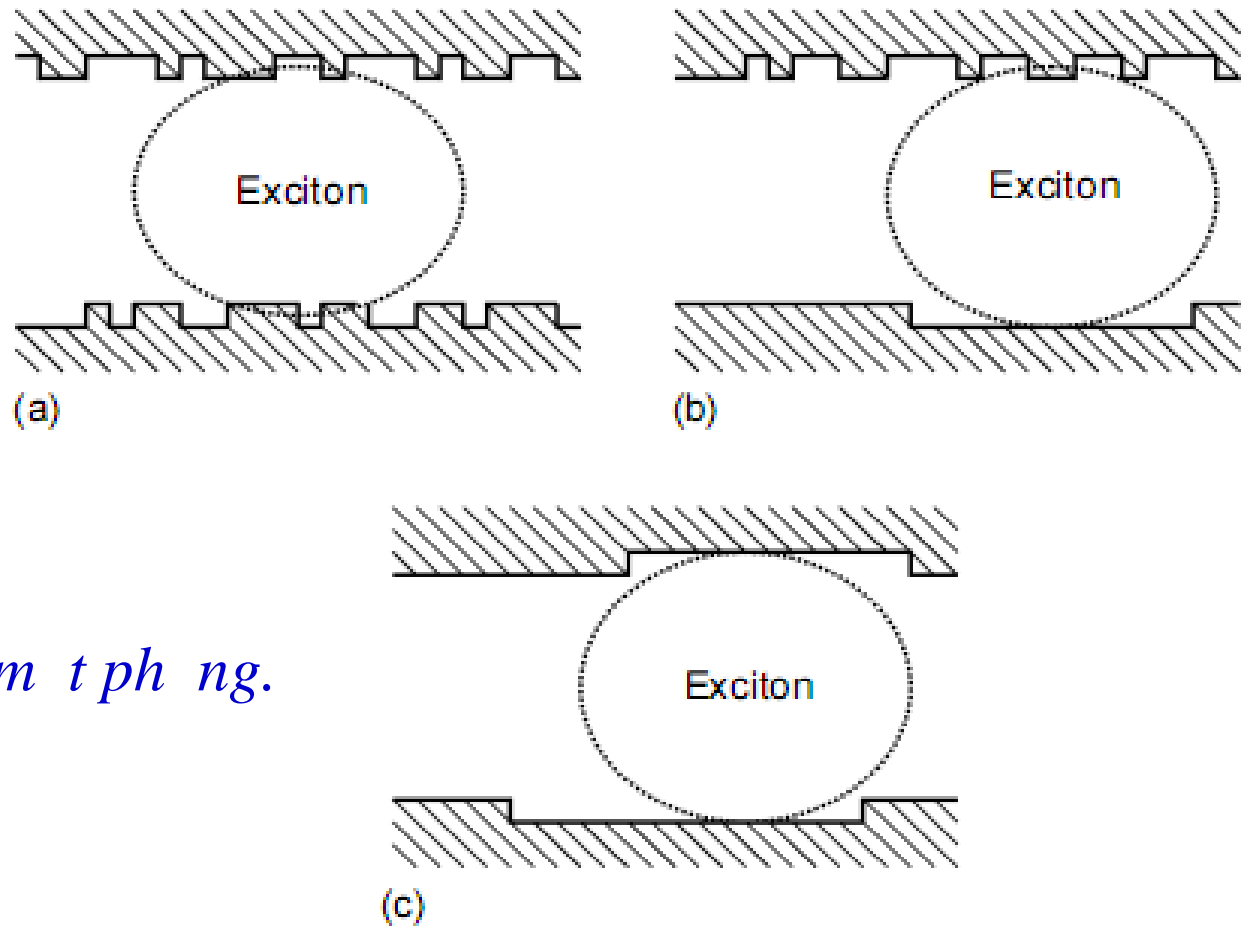
## 2. Trạng thái và sự tách rời PL:

### ❖ Sự mờ nhạt và phân rã:

❑ Trạng thái gần gũi các mô tả phân cách có xu hướng tạo ra sự mờ nhạt và phân rã trong hình ảnh.

❑ Sự mờ nhạt là do những rung động không bị tắt dần bên trong hình ảnh.





*(a) 2 m t nhám.*

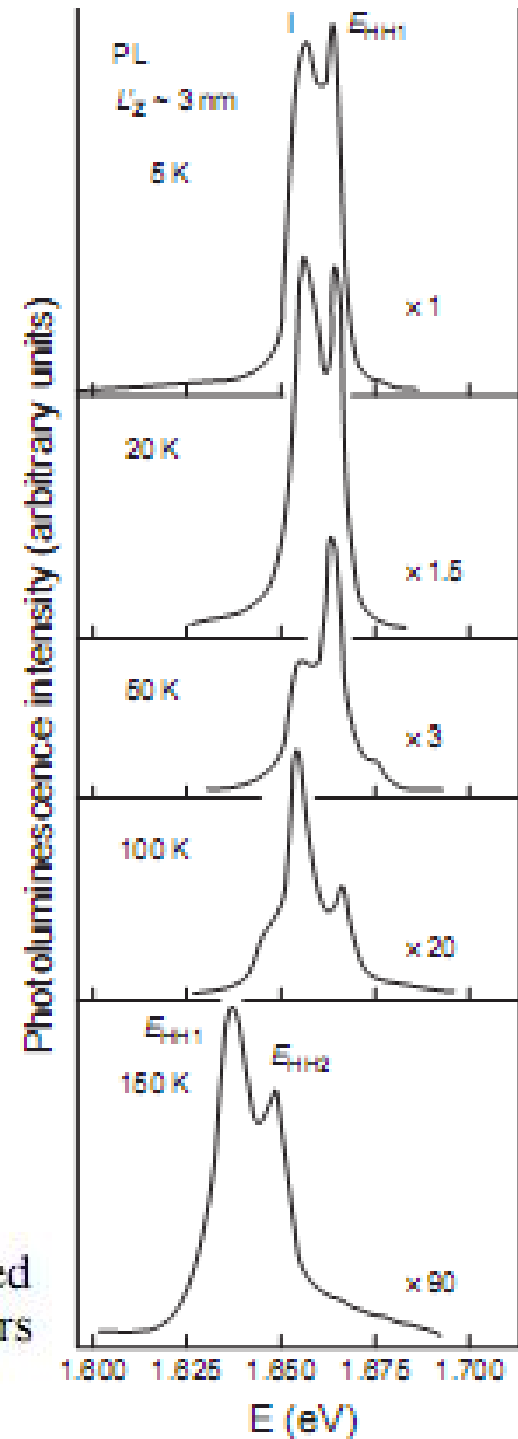
*(b) 1 m t nhám, 1 m t ph ng.*

*(c) 2 m t ph ng.*

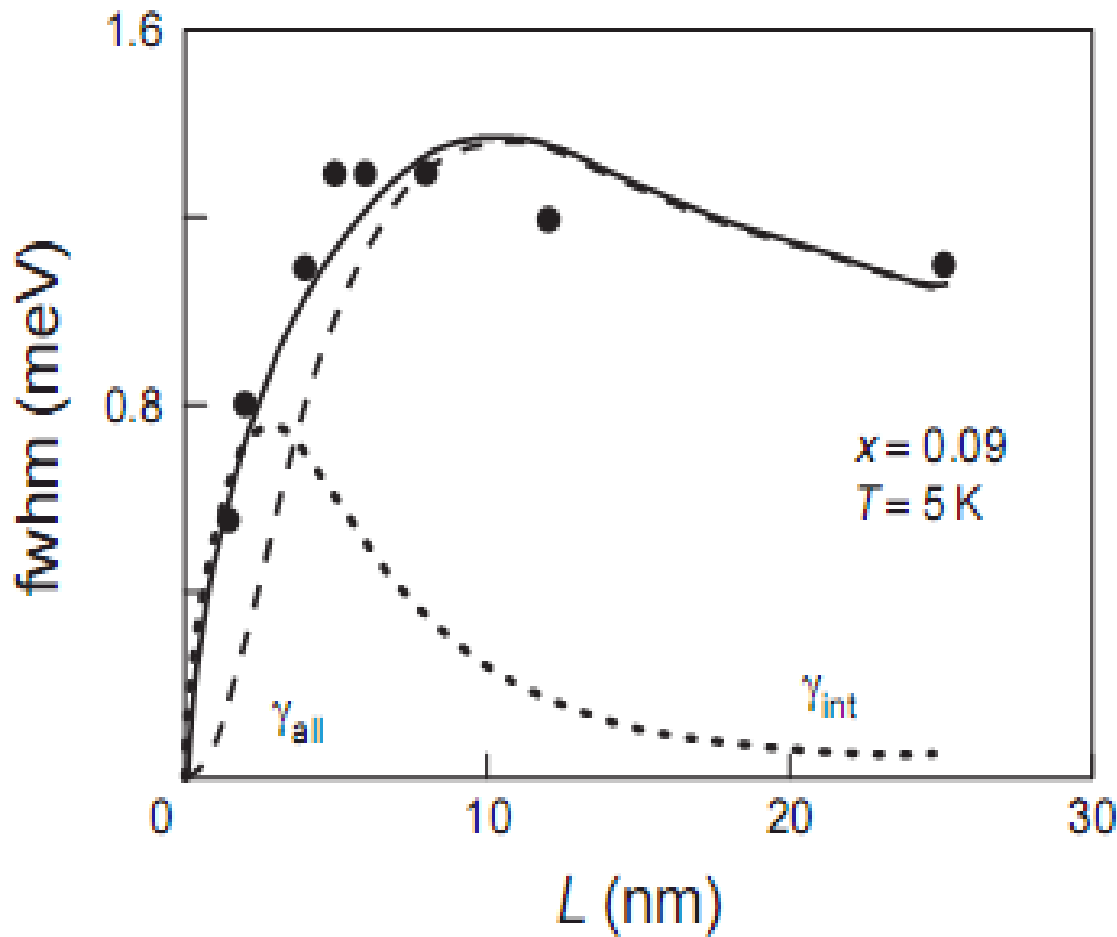
**Figure 10** Models of interface structure relative to the size of the exciton wavefunction: (a) two rough interfaces; (b) one smooth and one rough interface; (c) two smooth interfaces.

Hình 10: Mô hình c a c u trúc b m t có liên quan v i kích th c c a hàm sóng exciton.

❖- S tách ph :



**Figure 11** PL spectra of a GaAs/AlGaAs single QW measured at the temperatures indicated. The peak labeled I disappears with increasing temperature, whereas  $E_{HH2}$  rises steadily.<sup>(10)</sup>



Hình 12 :  
 r ng  
 bán r ng  
 ph ph  
 thu c vào  
 r ng h  
 l ng t .

**Figure 12** Experimental (dots) and theoretical (solid line) full width at half-maximum (fwhm) of the exciton recombination line in InGaAs/GaAs QWs. Interface roughness ( $\gamma_{int}$ , dotted line) and alloy disorder ( $\gamma_{all}$ , dashed line) contributions to the theoretical result are shown separately.<sup>(30)</sup>

## 3. Công nghệ quang phát quang

Tín hiệu PL  $\rightarrow$  có thể phân tích các tính chất vật lý phân cách trong các chất bán dẫn.

3.1 Spectroscopy cathodoluminescence – ánh sáng phát quang

3.2 Spectroscopy không gian – spectroscopy ánh sáng phát quang phân cách

3.3 Spectroscopy thời gian – tái hợp phát quang

### 3.1 Sự phụ thuộc của thế áp vào – điện thế b m t

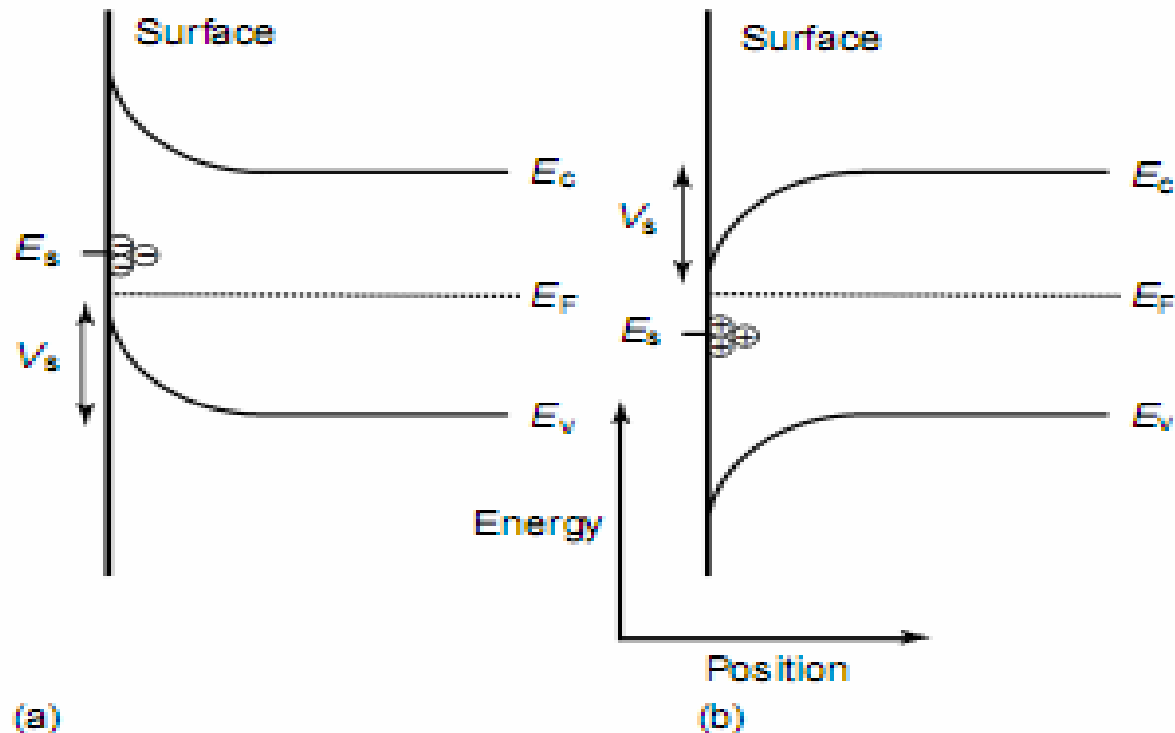
Mặt ngoài của bất kỳ lõi bán dẫn nào cũng xuất hiện các khuyết tật → tạo ra các mức năng lượng m t ngoài (các trạng thái b m t)

Các trạng thái m t ngoài này sẽ làm cho trạng thái n ng tu n hoàn của mạng tinh thể bị vi phạm

Các trạng thái b m t sẽ có thể thêm i n t hay b m t b t i n t → làm uốn cong vùng dẫn và vùng hóa trị khu vực gần b m t v t li u → xuất hiện vùng i n tích không gian gần b m t v t li u.



Vùng năng lượng b u n công ng v i i n th b m t  $V_s$

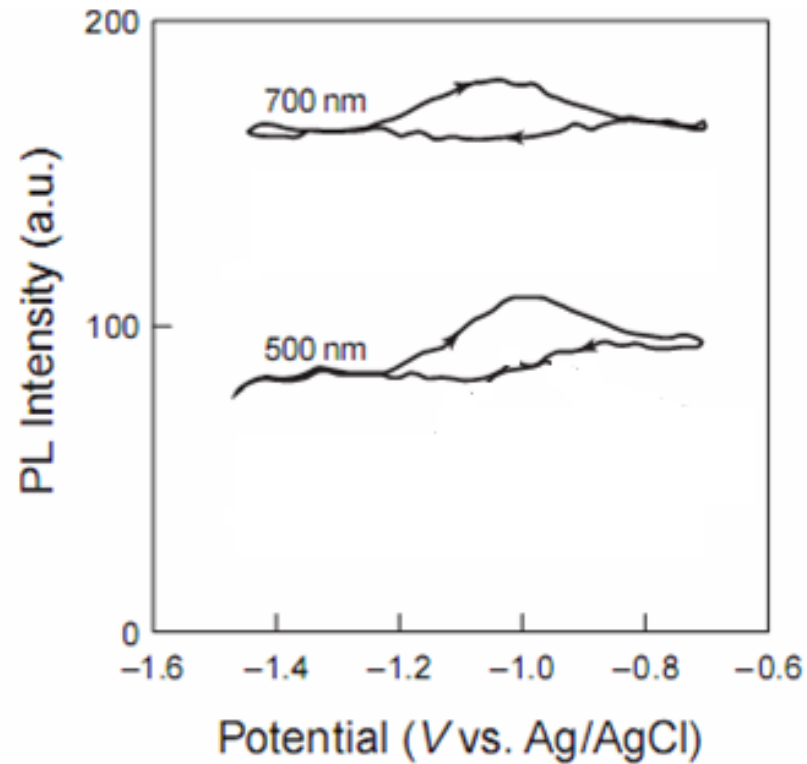


**Figure 13** (a) When electrons accumulate in surface levels (denoted  $E_s$ ), the conduction and valence bands bend upward near the surface. (b) Accumulation of holes bends the bands downward. The magnitude of the effect is characterized by the surface potential  $V_s$ .

B m t s ch  $\rightarrow$  m t tr ng thái b m t th p : c ng PL cao

M t tr ng thái b m t l n : c ng PL gi m do có vùng i n tích không gian l n k th p v i s tái h p b m t .

$\rightarrow$  o c ng PL có th xác nh c s thay i tr ng thái b m t c a v t li u



p- GaAs trong dd  
NaOH 1M

Thế biến mô tả ( liên quan đến vùng điện tích không gian ) thay đổi khi có sự kích thích ( chiếu sáng ) làm thay đổi cường độ PL

→ Sự gia tăng cường độ PL chứng tỏ có sự tồn tại trạng thái biến mô tả

## 3.2 Sự phát quang không gian – sự đồng nhất mặt phân cách

Cho PL bằng cách quét kích thích quang lên bề mặt mẫu, sau đó thu tín hiệu quang trường  $\mu\text{m}$ .

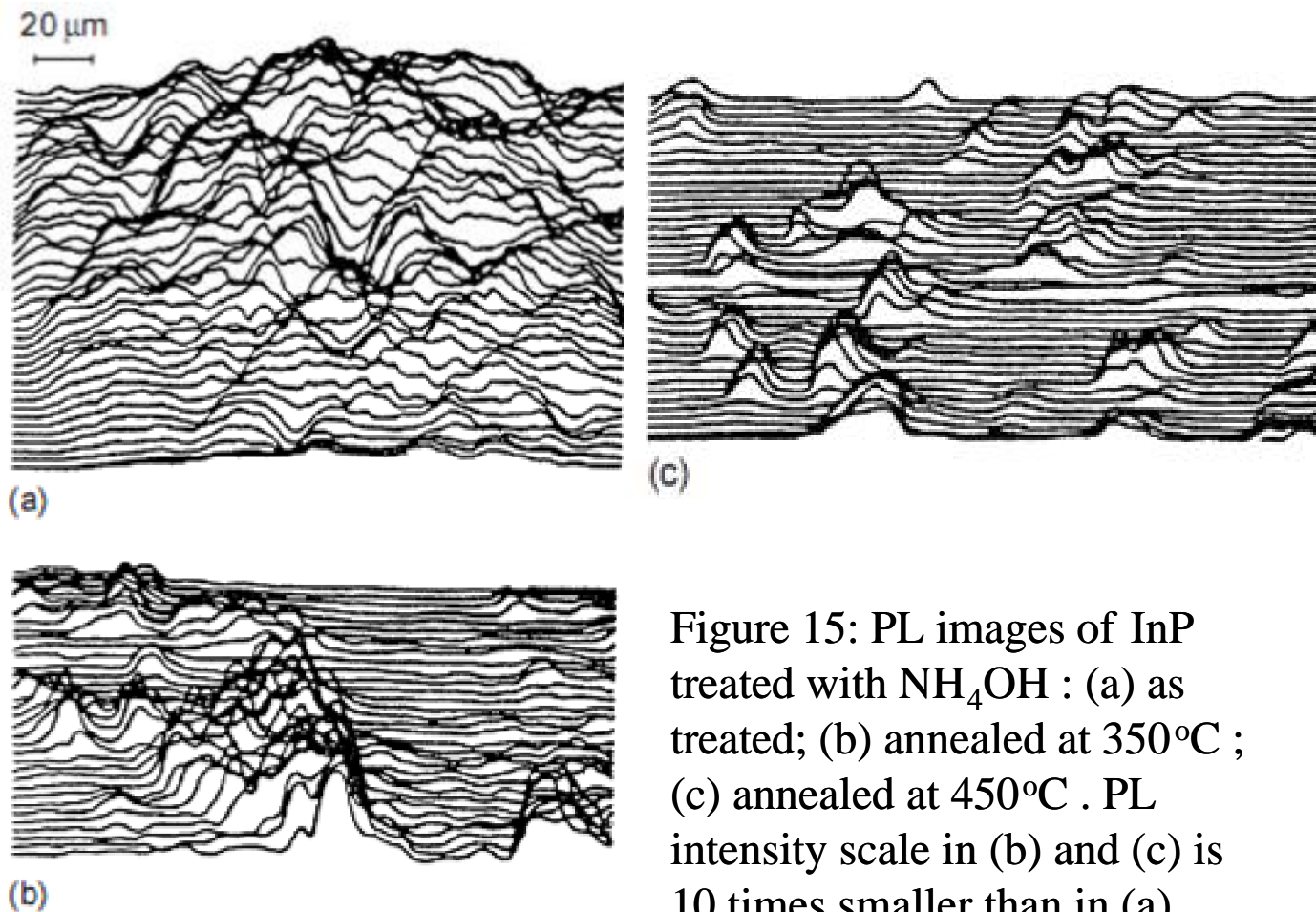


Figure 15: PL images of InP treated with  $\text{NH}_4\text{OH}$  : (a) as treated; (b) annealed at  $350^\circ\text{C}$  ; (c) annealed at  $450^\circ\text{C}$  . PL intensity scale in (b) and (c) is 10 times smaller than in (a)

S ph thu c kh ng gian c a ph PL cho ta ánh giá c s ng  
nh t v thành ph n c a h p kim

So sánh s phát tri n c a InP/Si v i InP/InP

- S l ch m ng c a InP/Si làm gi m tín hi u PL
- ng su t làm m r ng peak PL c a InP/Si

### 3.3 S ph thu c th i gian – t c tái h p

- Khi mẫu được kích thích bằng một xung laser ngắn, nồng độ hạt tải phụ thuộc mạnh vào thời gian . V× xung laser có thể nhỏ hơn thời gian tái hợp trung b×nh → hạt tải được sinh ra hầu như là tức thời
- Phép đo độ phân giải PL được sử dụng để xác định thời gian sống của hạt tải và để nhận biết các cơ chế tái hợp khác nhau của vật liệu.
- Thời gian sống của hạt tải thu được bằng cách theo dõi nh÷ng tín hiệu PL sau khi kích thích xung.

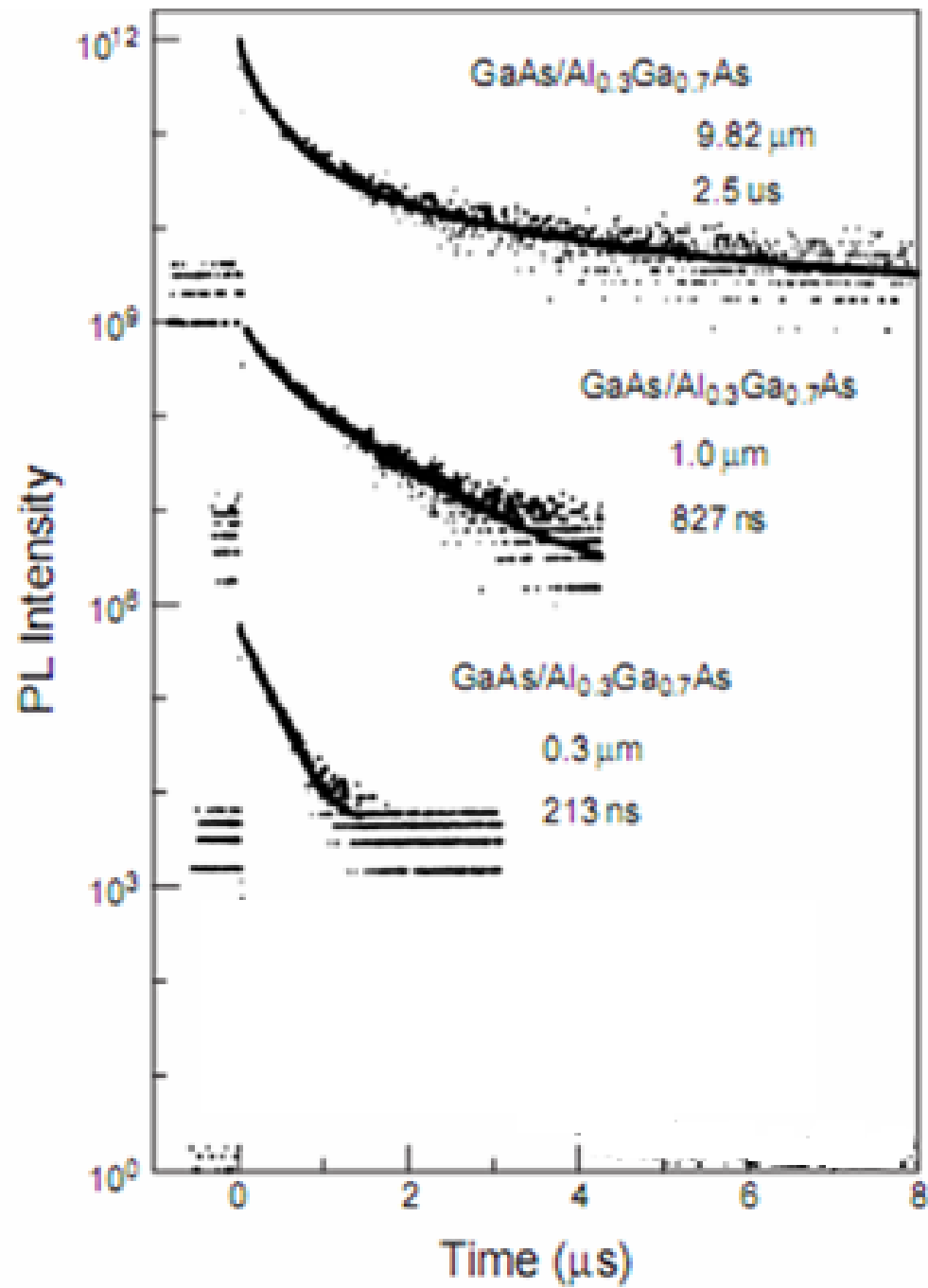
- Có ba cơ chế chung cho sự tái hợp trong chất bán dẫn : Sự chuyển SHR qua trạng thái trung gian, s bức xạ và tán xạ Auger. Thời gian sống của hạt tải không cân bằng:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{2S}{d} + \frac{B}{N}n + Cn^2$$

- Khi mức kích thích được tăng lên, bỏ qua tán xạ Auger
- Giả sử nồng độ hạt tải riêng nhỏ  $\rightarrow$  ở mức kích thích thấp, bức xạ tỷ lệ với  $n$  là yếu

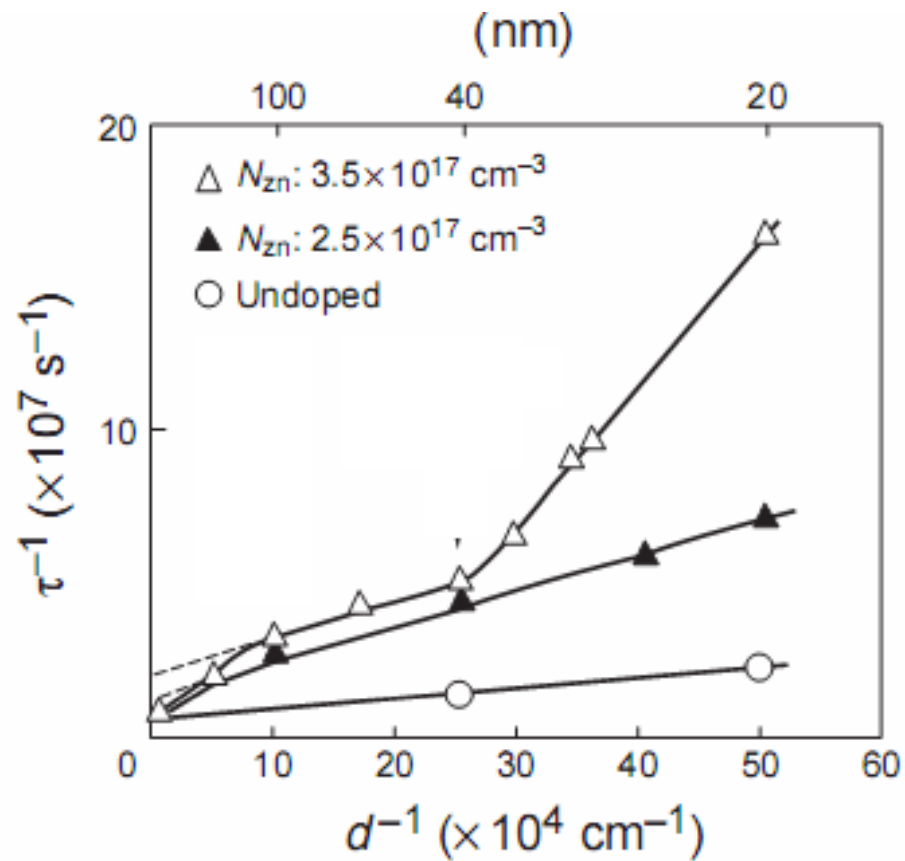
$$\tau = \frac{d}{2S} \rightarrow \text{không phụ thuộc cường độ kích thích, chỉ phụ thuộc vào}$$

bước dài p phân cách



$$\tau = \frac{d}{2S}$$





**Figure 18** Recombination rate vs. the reciprocal of the active layer thickness in Zn-doped AlGaInP/GaInP double heterostructures. Symbols representing different doping levels are specified in the plot.<sup>(46)</sup>