

www.mientay.vn.com



Laser bán dẫn



Phần I: Sơ lược Vật lý Laser

I. Lịch sử của Laser

II. Các khái niệm cơ bản trong vật lý Laser

III. Nguyên lý phát xạ Laser

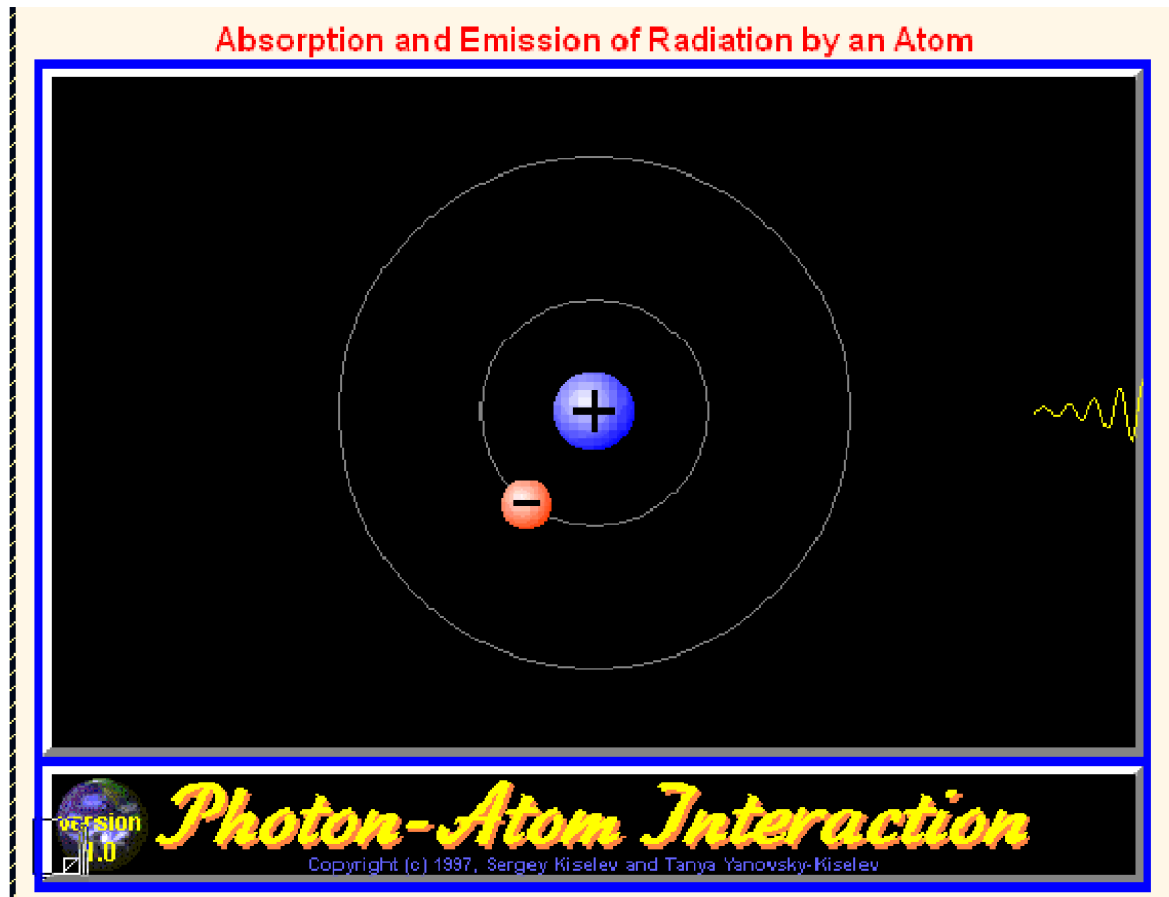
IV. Máy phát Laser trong thực tế

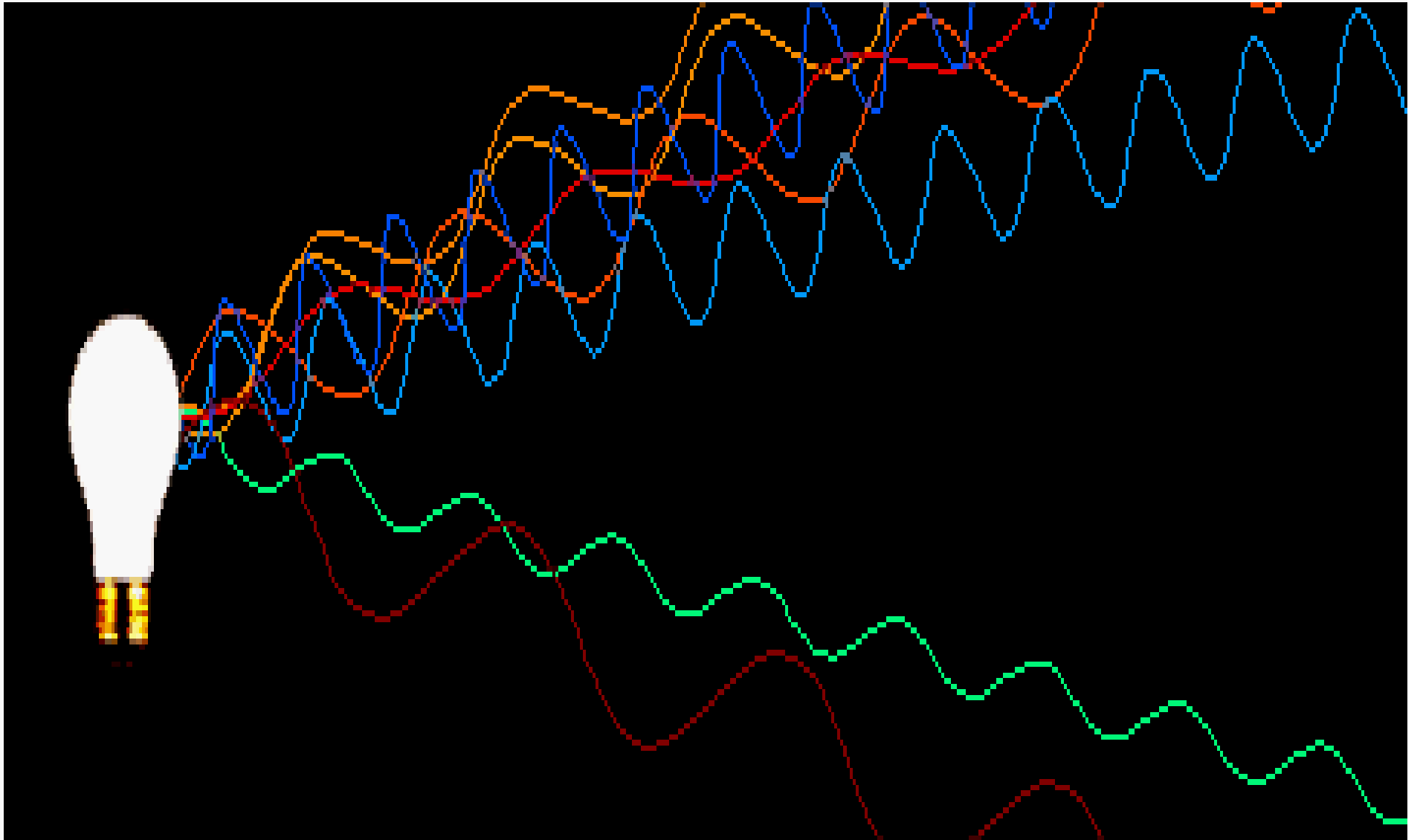
V. Phân loại Laser

VI. Mô phỏng máy phát Laser khí

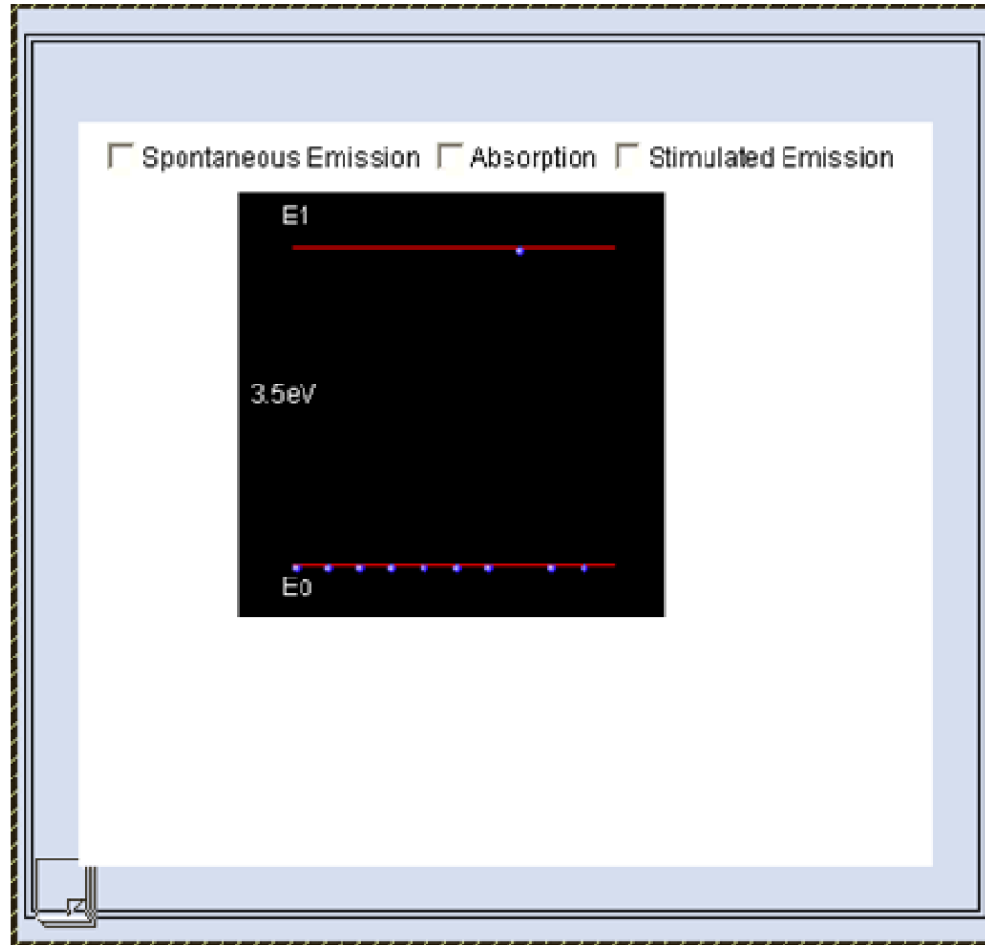
I. Lịch sử của Laser

- Hiện tượng phát xạ phát trong các nguyên tử sáng thông thường.



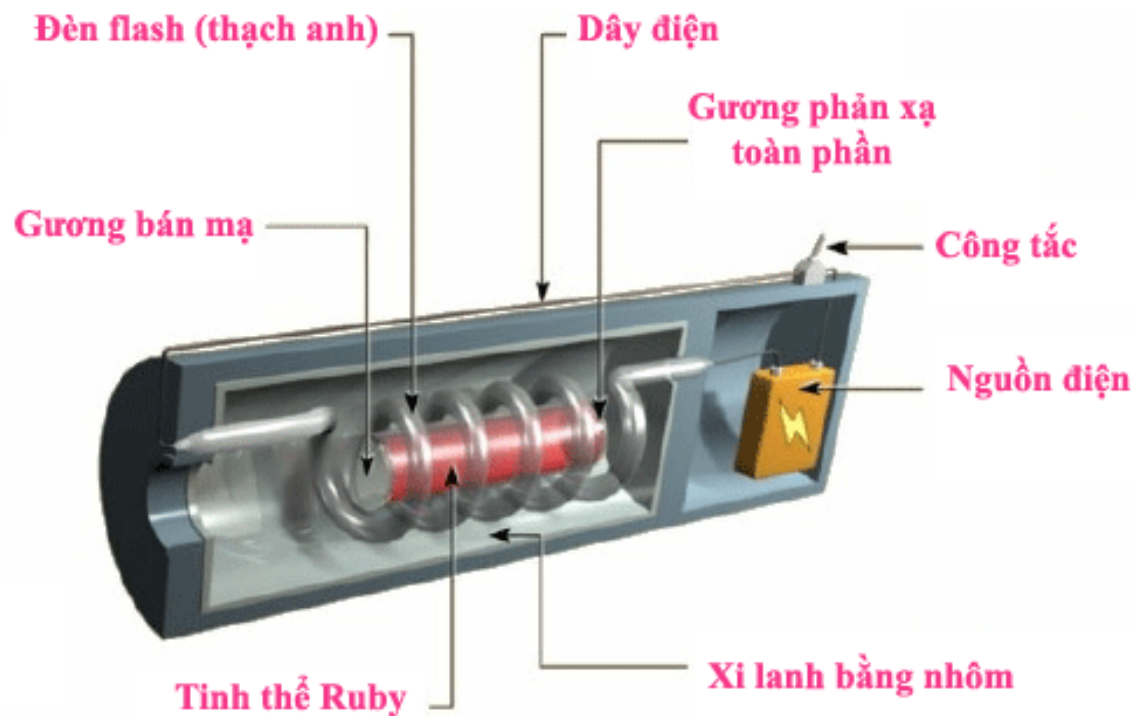


- Năm 1917, Einstein đã tiên đoán hiện tượng phát xạ cảm ứng.

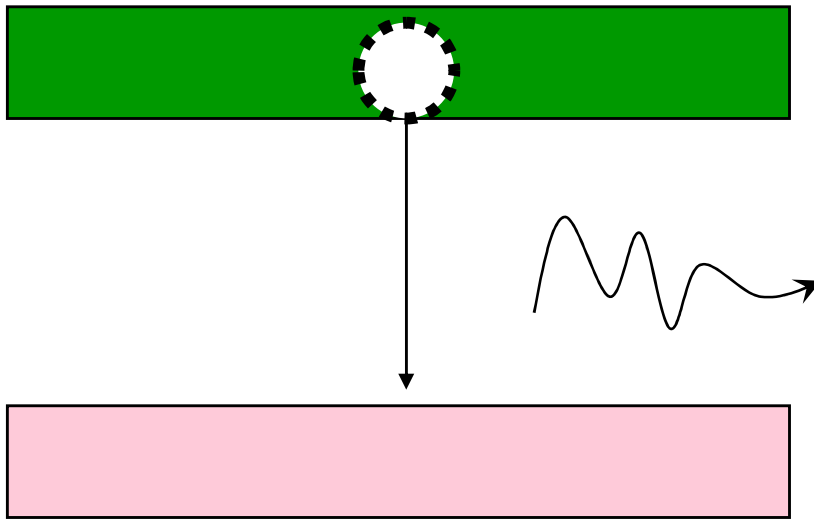


- Năm 1958, các nhà khoa học Mỹ (Townes và Schawlow) và Nga (Basov và Prokhorov) công bố công trình về cách tạo ra nguồn sáng thích hợp nguyên lý phát xạ cảm ứng.

- Năm 1960, T.H.Maiman đã chế tạo ra laser đầu tiên hoạt động theo nguyên lý này.
- LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation): sử dụng khuếch đại ánh sáng bằng cách phát xạ có chọn lọc.

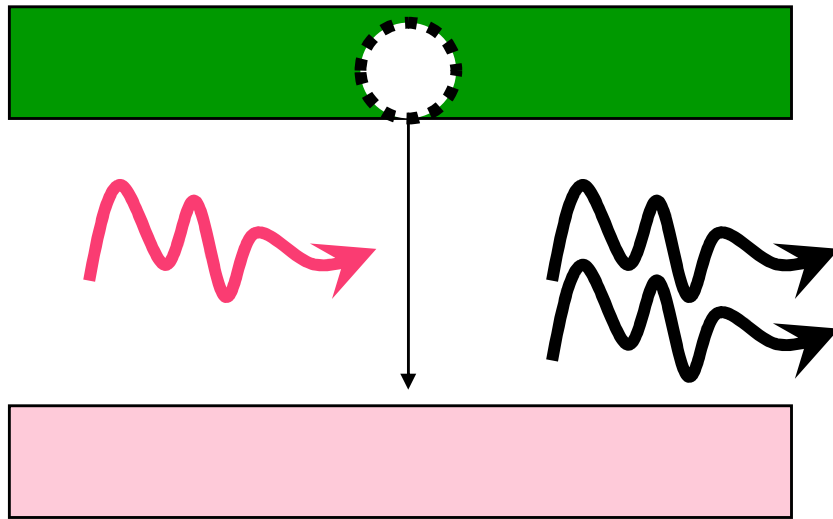


II. Các khái niệm cơ bản trong vật lý Laser

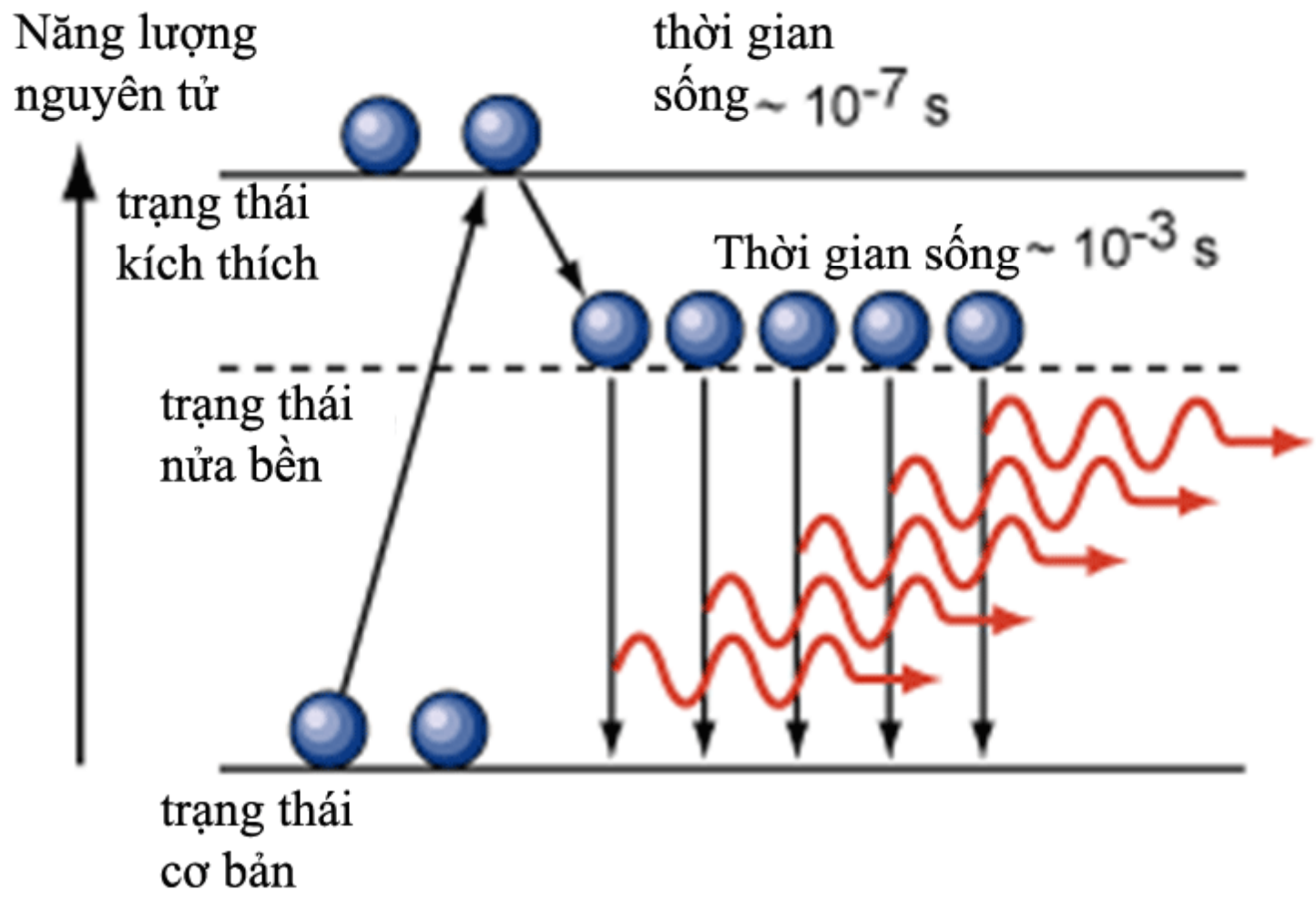


Phát xạ tự phát là phát xạ xảy ra một cách ngẫu nhiên khi nguyên tử ở mức năng lượng cao chuyển về mức năng lượng thấp.

Phát xạ cảm ứng là phát xạ xảy ra khi nguyên tử chuyển từ mức năng lượng cao về mức năng lượng thấp do sự có mặt của một photon cảm ứng.



- Môi trường hoạt tính là môi trường bao gồm các nguyên tử mà trong cấu trúc của chúng có sẵn các mức năng lượng nên hấp thụ hoặc có khả năng phát ra các mức năng lượng nên. Môi trường hoạt tính có khả năng phát ra bức xạ Laser.
- Ví dụ điển hình 3 mức:

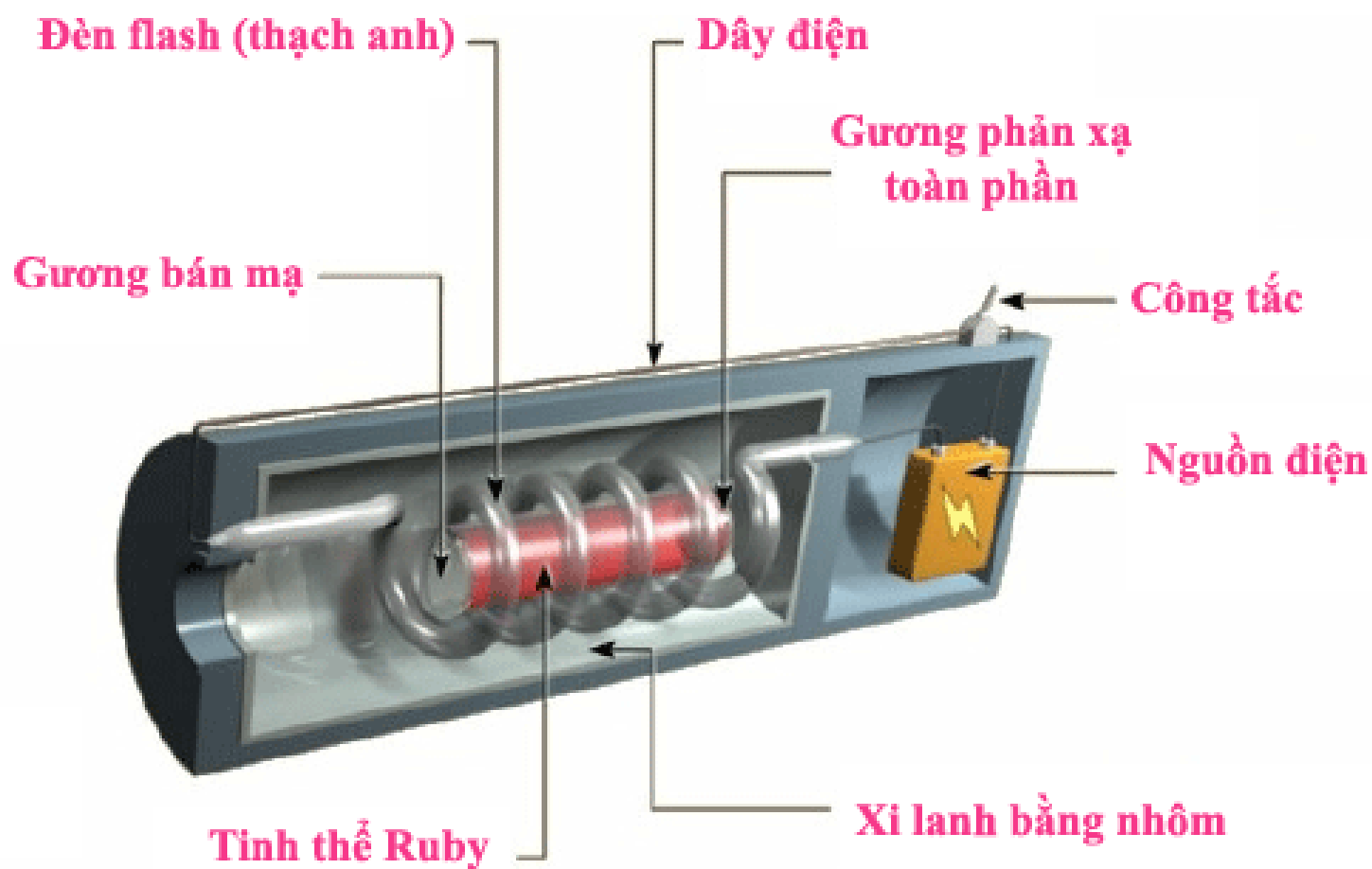


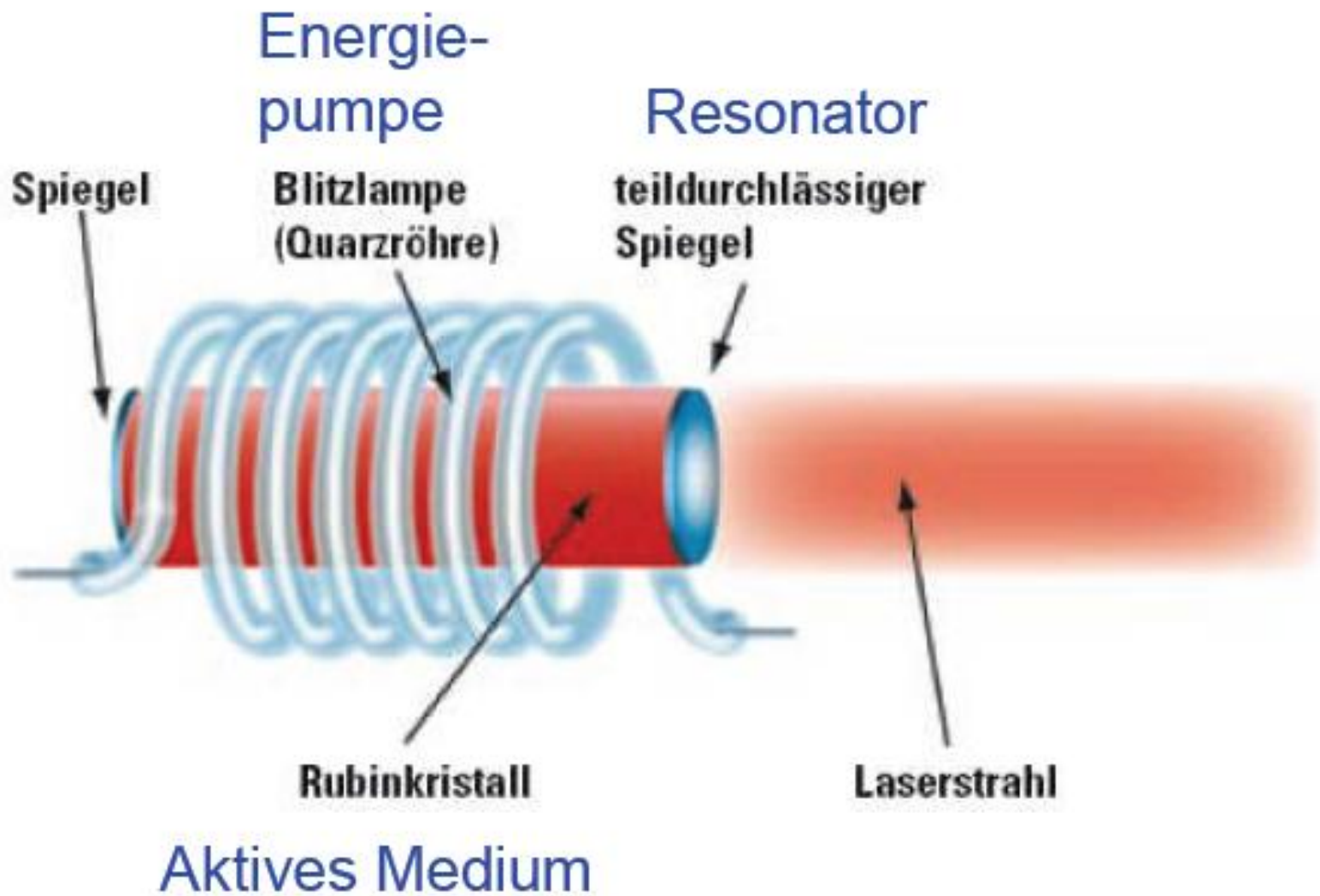
- Môi trường magnetron là môi trường chứa các nguyên tử trạng thái kích thích và trong các nguyên tử kích thích này số electron mức năng lượng cao nhiều hơn số electron mức năng lượng thấp.
- Bơm là dùng một tác nhân nào đó kích thích các nguyên tử tạo ra môi trường magnetron.

III. Nguyên lí phát b c x Laser

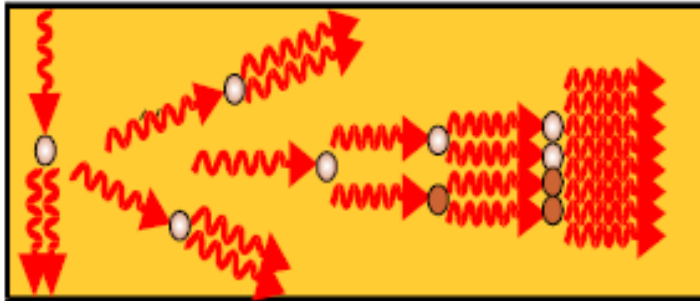
- C n có m t môi tr ãng ho t tính.
- Dùng các ph ãng pháp b m ãng làm cho môi tr ãng ó tr ãng thành môi tr ãng có m t ãng o l ãng.
- C n dùng m t c c u ãng khu ch ãng i b c x phát ra. C c u ãng này g ãng i là bu ãng c ãng h ãng ãng.

Ví dụ về buồng cộng hưởng của máy phát Laser Ruby

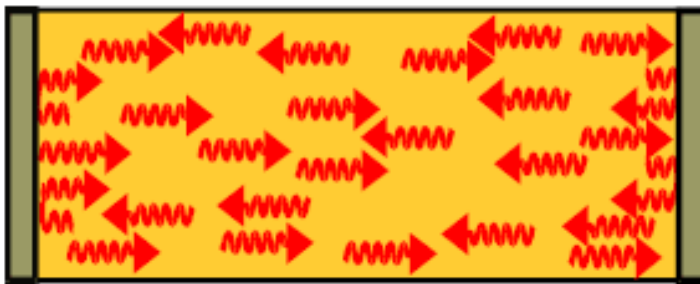




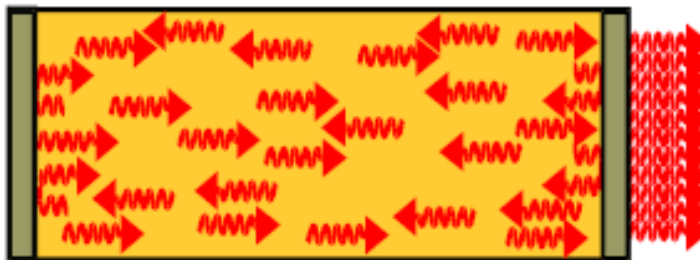
Bu ñg c ñg h ñg



Hiệu ứng thác
bức xạ cảm ứng



Phản hồi bằng
cách phản xạ qua
gương của buồng
cộng hưởng



Đầu ra của
chùm Laser

V. Phân loại Laser

VI. Mô phỏng máy phát Laser

Lasers (4.06)

File Options Help

One Atom (Absorption and Emission) Multiple Atoms (Lasing)

Configure your atom's electronic energy levels

Energy (eV)

Lifetime

Legend

Atom

Photon

Energy Levels

Two Three

Options

Enable mirrors

Reset All

Help!

View Picture of Actual Laser

Lamp Control

Laser Power

Internal Power

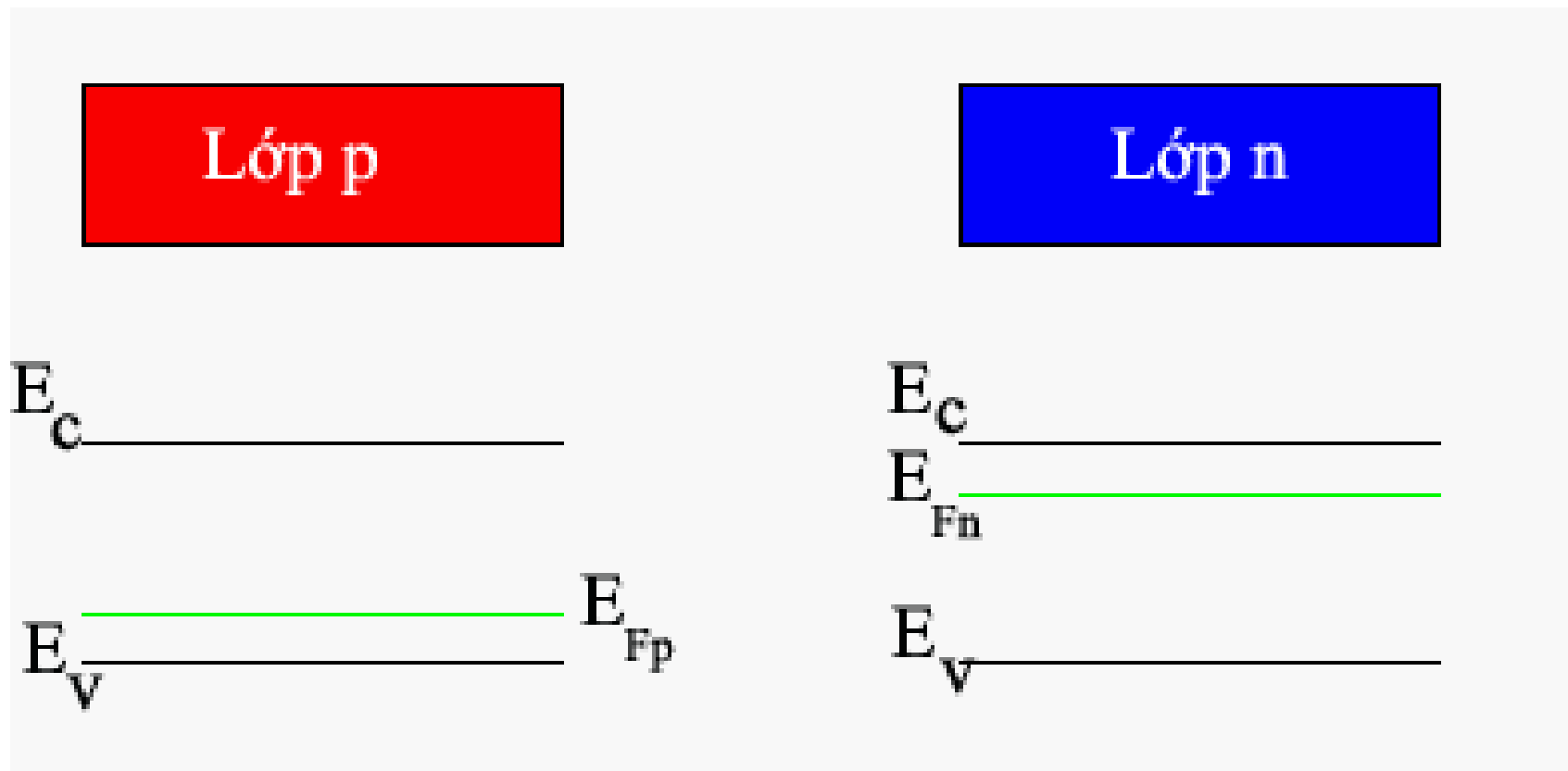
Output Power

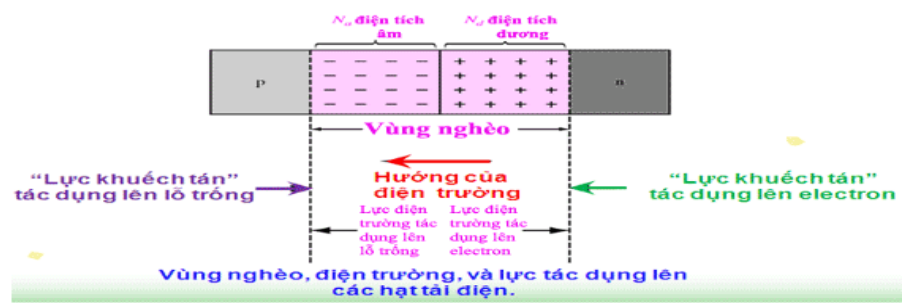
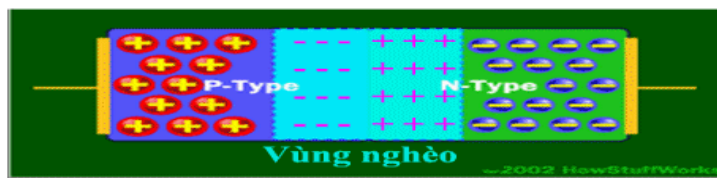
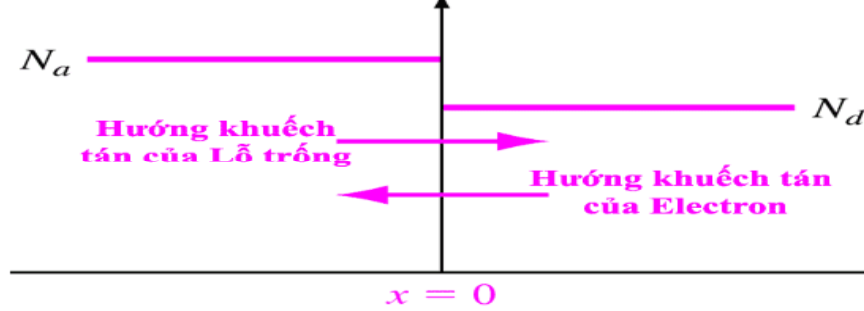
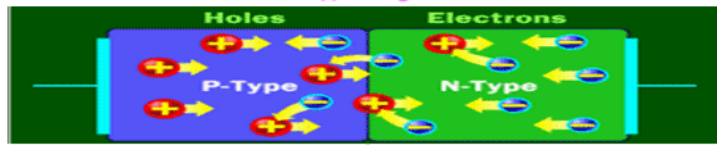
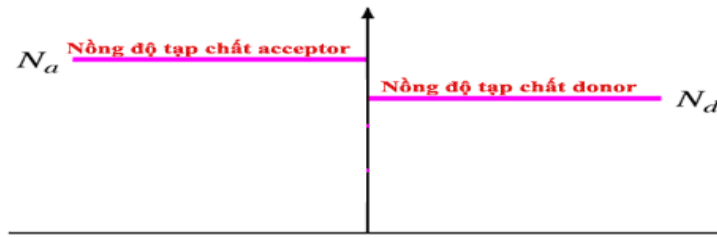
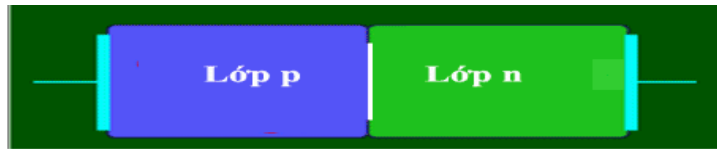
Lasing Danger!

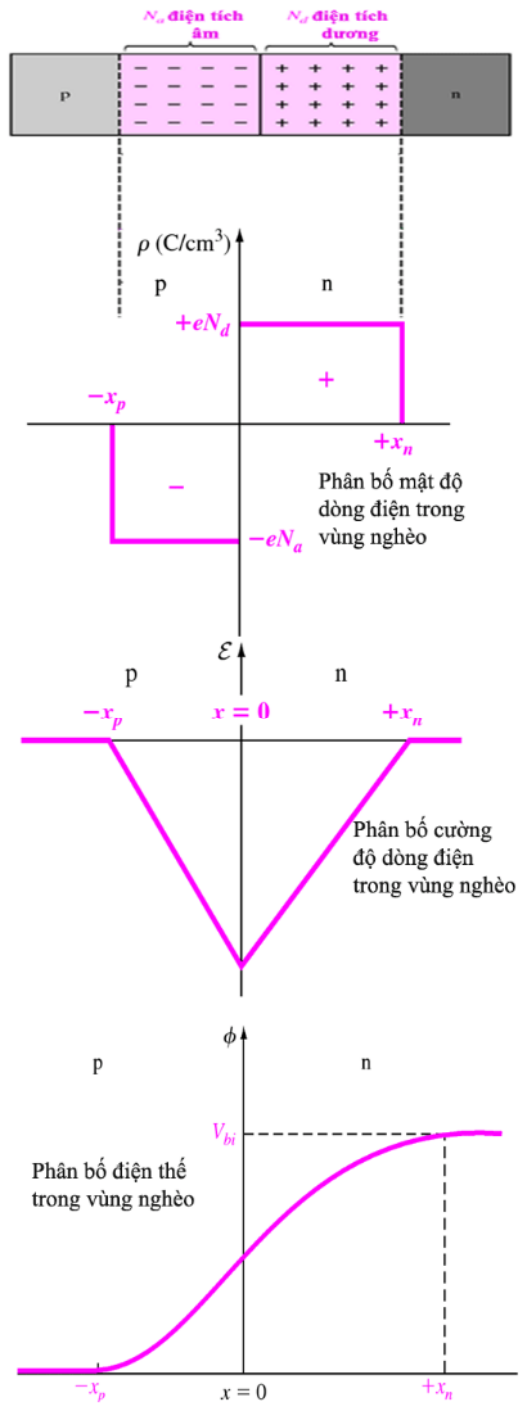
PHẦN II: LASER BÁN DẪN

1. Sơ lược về tiếp xúc p-n của bán dẫn thẳng
2. Lý thuyết tiếp xúc p-n của bán dẫn suy biến GaAs
3. Nguyên công nghệ của laser bán dẫn
4. Tiếp xúc thẳng
5. Tiếp xúc dẹt kép

1. Sơ lược về tiếp xúc p-n của bán dẫn thường

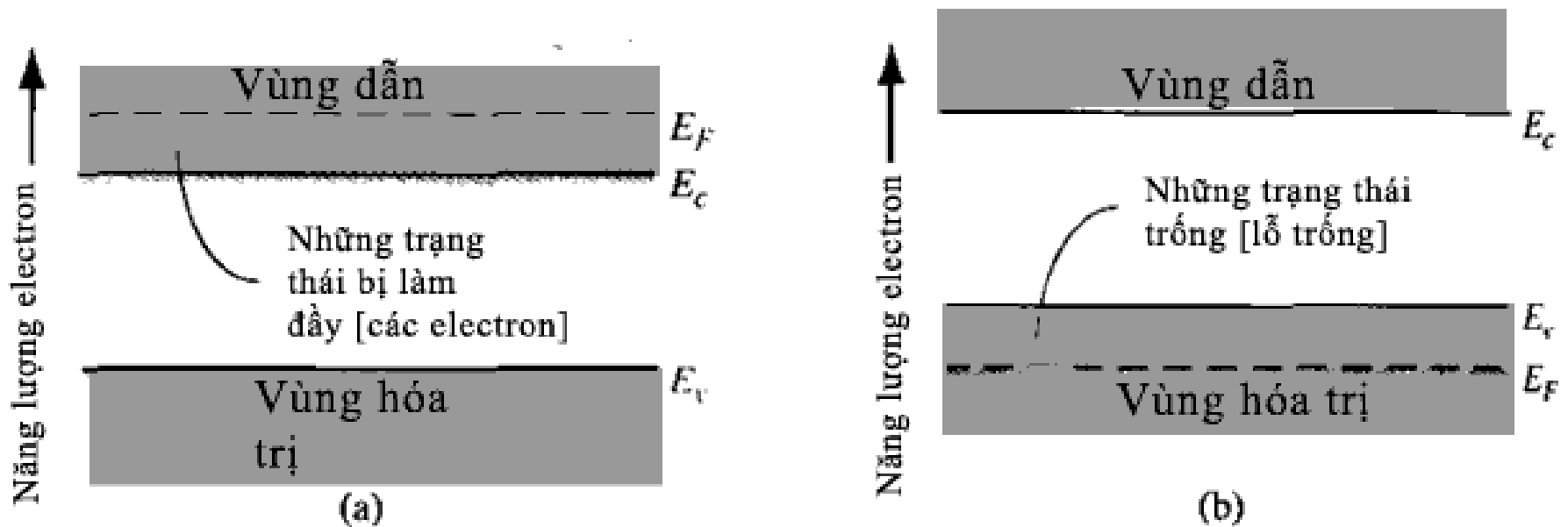






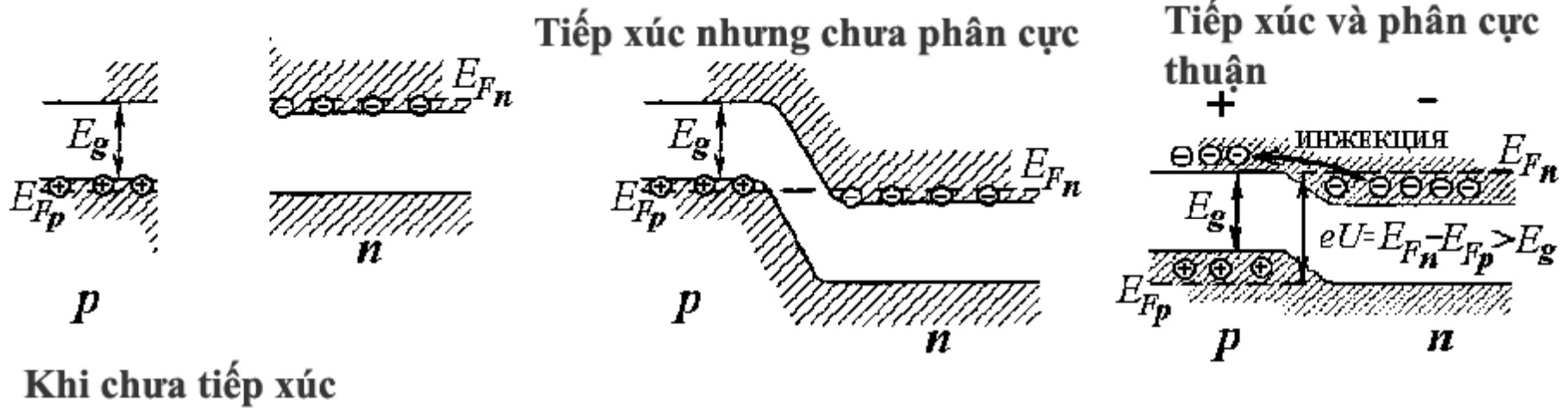
nh ng

2. Lớp tiếp xúc p-n của bán dẫn suy biến GaAs



Hình 4.11| Giản đồ vùng năng lượng đơn giản hóa của bán dẫn suy biến [a] loại n và [b] loại p

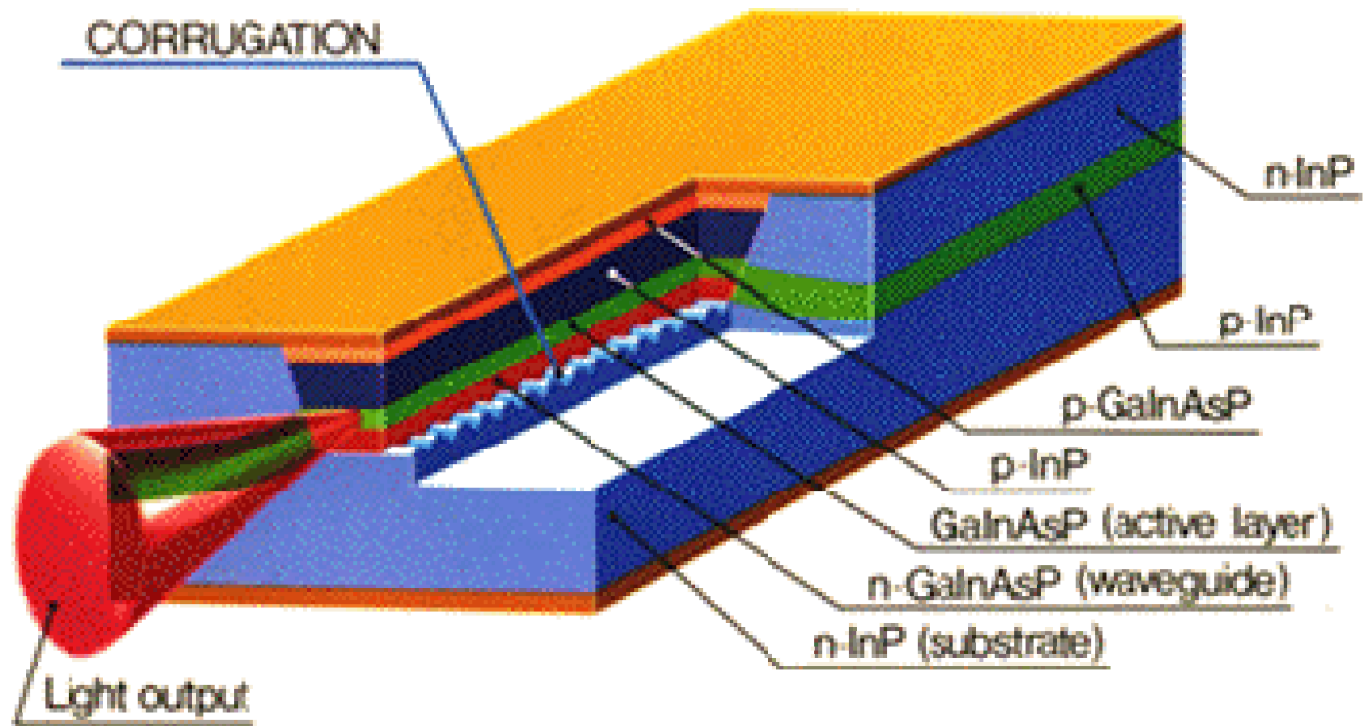
Giải đồ năng lượng Laser Bán dẫn tiếp xúc p-n dùng vật liệu GaAs



3. Bu ñg c ñg h ñg c a Laser bán d ñ

3.2 Laser bán dẫn hình tích phân tán

- Sử dụng cách t Bragg bằng cách làm nh n
l p biên phân cách giữa hai l p bán dẫn c u
thành laser.



DFB LASER STRUCTURE

LASER BÁN DẪN



c i m chung



Ph ng pháp kích thích laser bán d n



Phun dòng qua l p ti p xúc p-n



Kích thích b ng chùm i n t



B m quang h c

1. Đặc điểm chung



Ưu điểm:

- _ Kích thước rất nhỏ
- _ Hoạt động có ích rất lớn
- _ Có khả năng tạo dãy sóng phát xạ riêng



Nhược điểm:

- _ Bị nhiễu xạ và nhiễu kém
- _ Công suất phát phụ thuộc rất lớn vào nhiệt độ

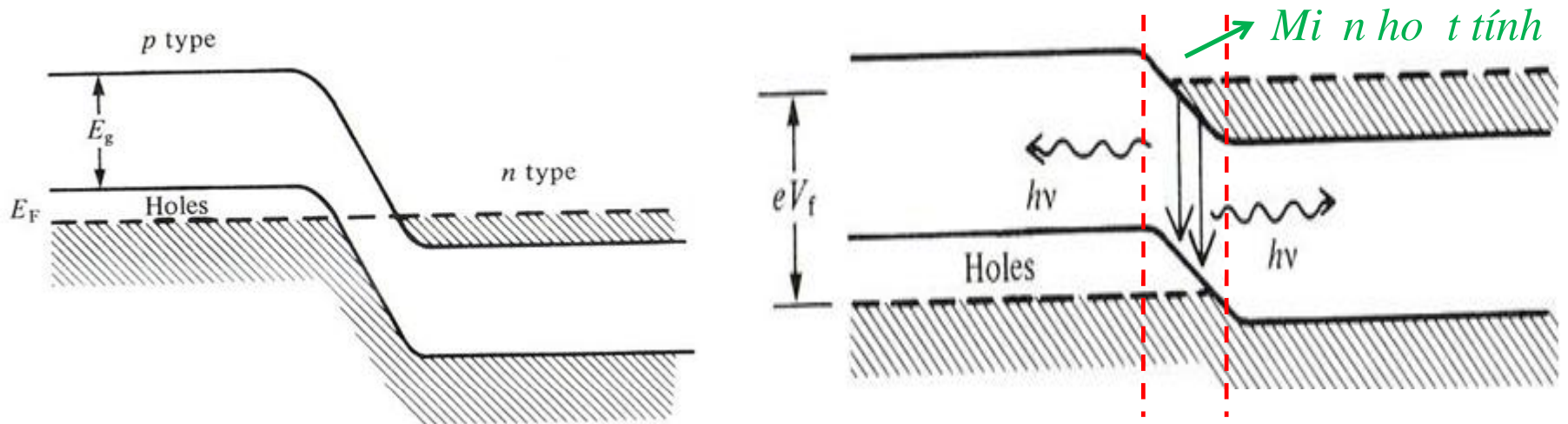
Thành phần hợp kim cacbon chất bán dẫn



biên độ dài sóng bước sóng laser

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n



Không có trường ngoài

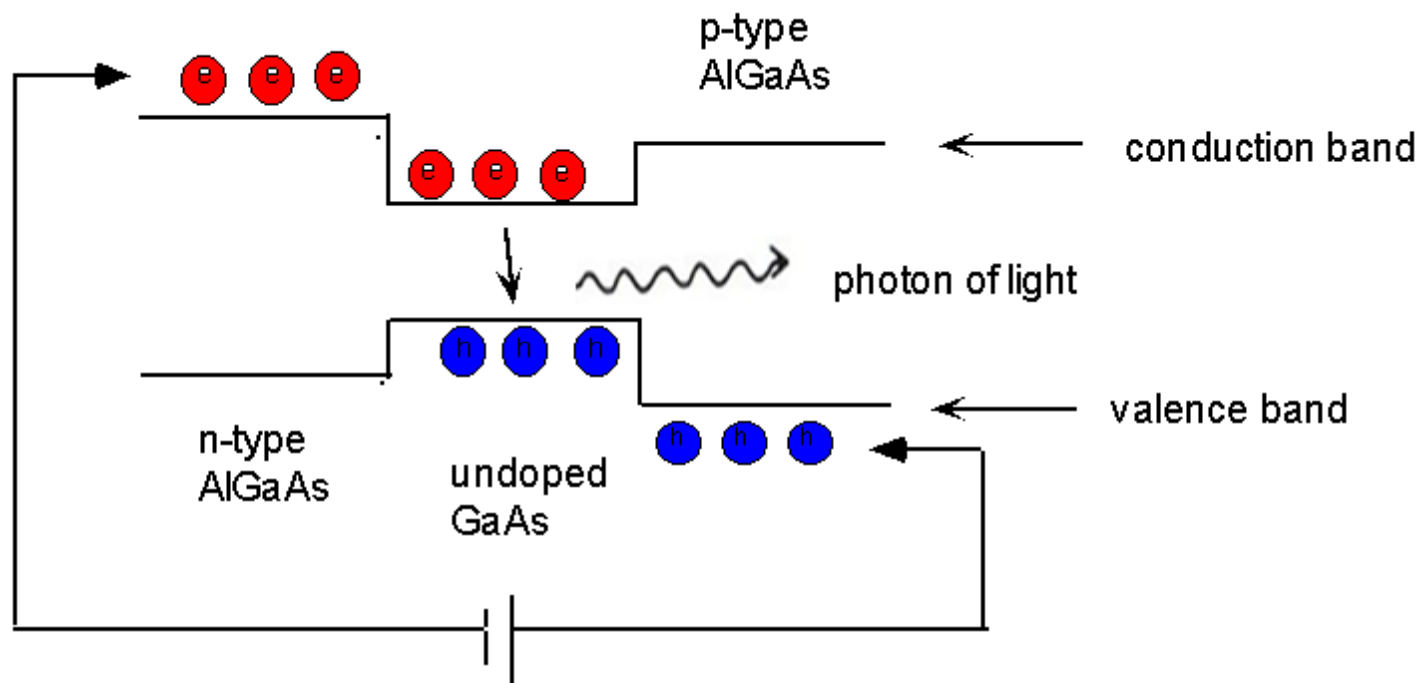
Khi có trường ngoài

— Mi n ho t tính ch a ng th i i n t và l tr ng
 có dày $\sqrt{D\tau}$ (dài khu ch tán)

→ b c x có t n s $\Delta E < h\nu < (\mu_C - \mu_V)$ c khu ch i
 khi i qua mi n này.

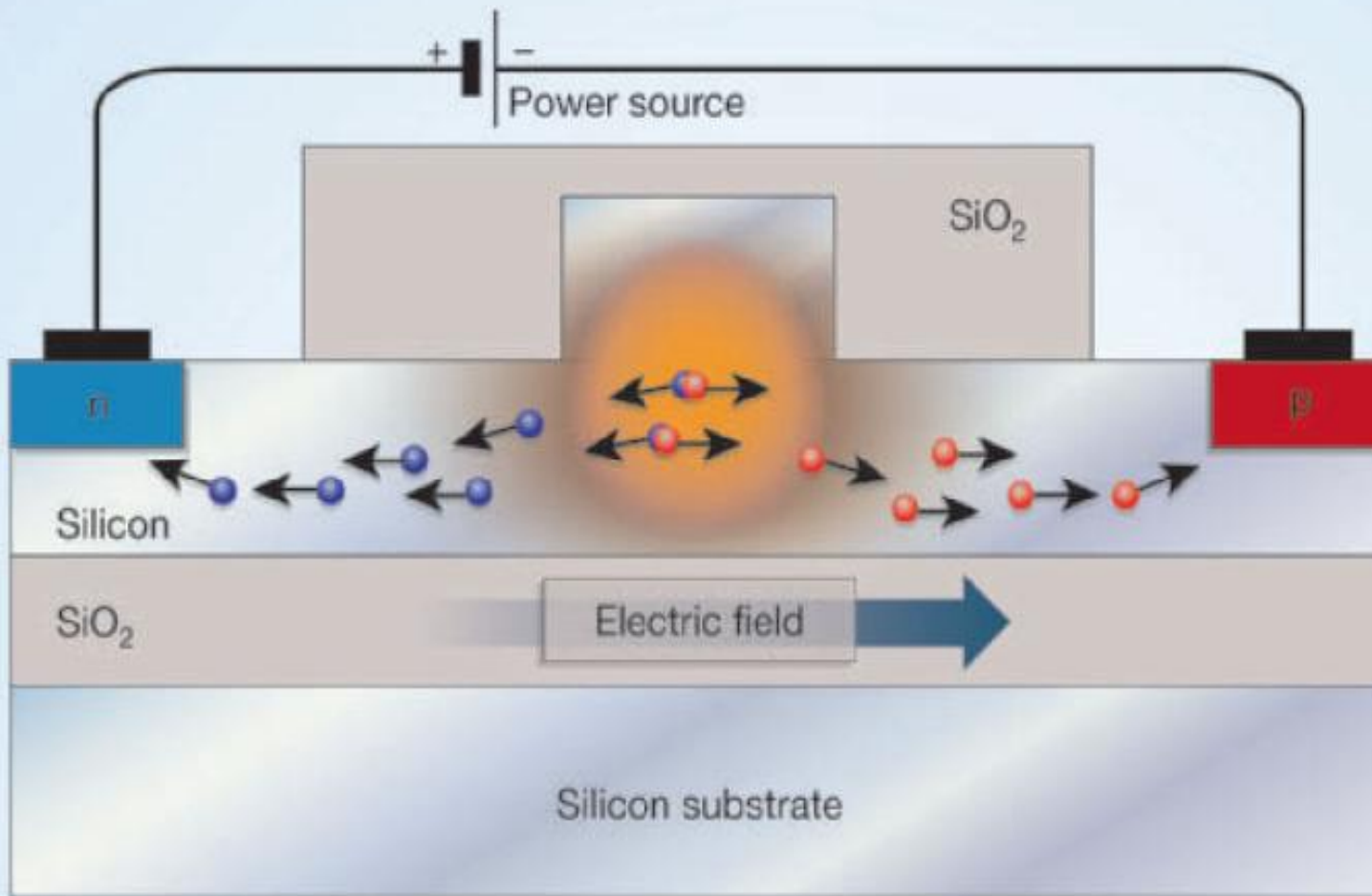
2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n



2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n



2. Ph ng pháp kích thích laser bán d n

2.1 Phun dòng qua l p ti p xúc p-n

☀ Tính ch t nh h ng

_ Tính ch t nh h ng c a chùm laser ch y u do nhi u x .

_ m r ng c a chùm tia: $\Omega = \frac{2\lambda}{d}$

_ S phân b c ng b c x theo góc do nhi u x :

$$I(\theta) \sim \frac{\sin^2 \left[\left(\frac{\pi d}{\lambda} \right) \theta \right]}{\theta^2}$$

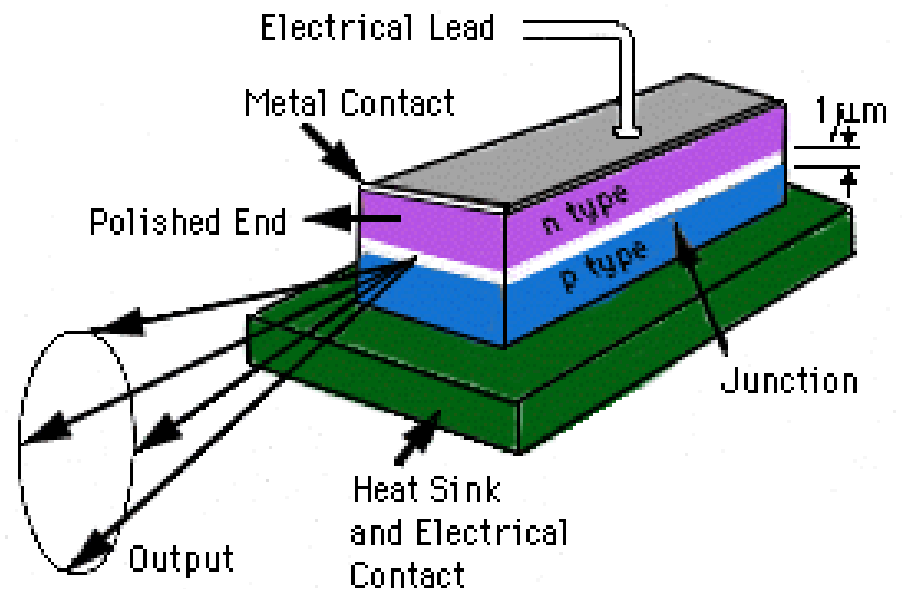


Diagram of Semiconductor Laser

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n



điều kiện kích

Hệ số khuếch đại quang môi trường hoạt tính

$$G = G_n + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{r_1 r_2}$$

hệ số khuếch đại
quang


Khoảng cách
giữa 2 gương




máy phát laser kích khi: $G \geq G_n$

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n

 Laser bán dẫn làm việc theo chế độ liên tục nhiệt phòng

Dùng Diode cấu trúc kép:
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(p) \\ \text{GaAs} - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(n) \end{array} \right.$$

 $n_{\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}} < n_{\text{GaAs}}$: laser phát xạ trung trong lớp GaAs
(trong miền khuếch đại)

 Kích thước miền hoạt tính nhỏ  khuếch đại tăng lên

 lớp GaAs có tạp Sn  tăng nhiệt độ

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.1 Phun dòng qua tiếp xúc p-n



Tóm tắt:

- _ Hệ thống có ích lợi.
- _ Kích thước nhỏ.
- _ Phương pháp chế tạo đơn giản.



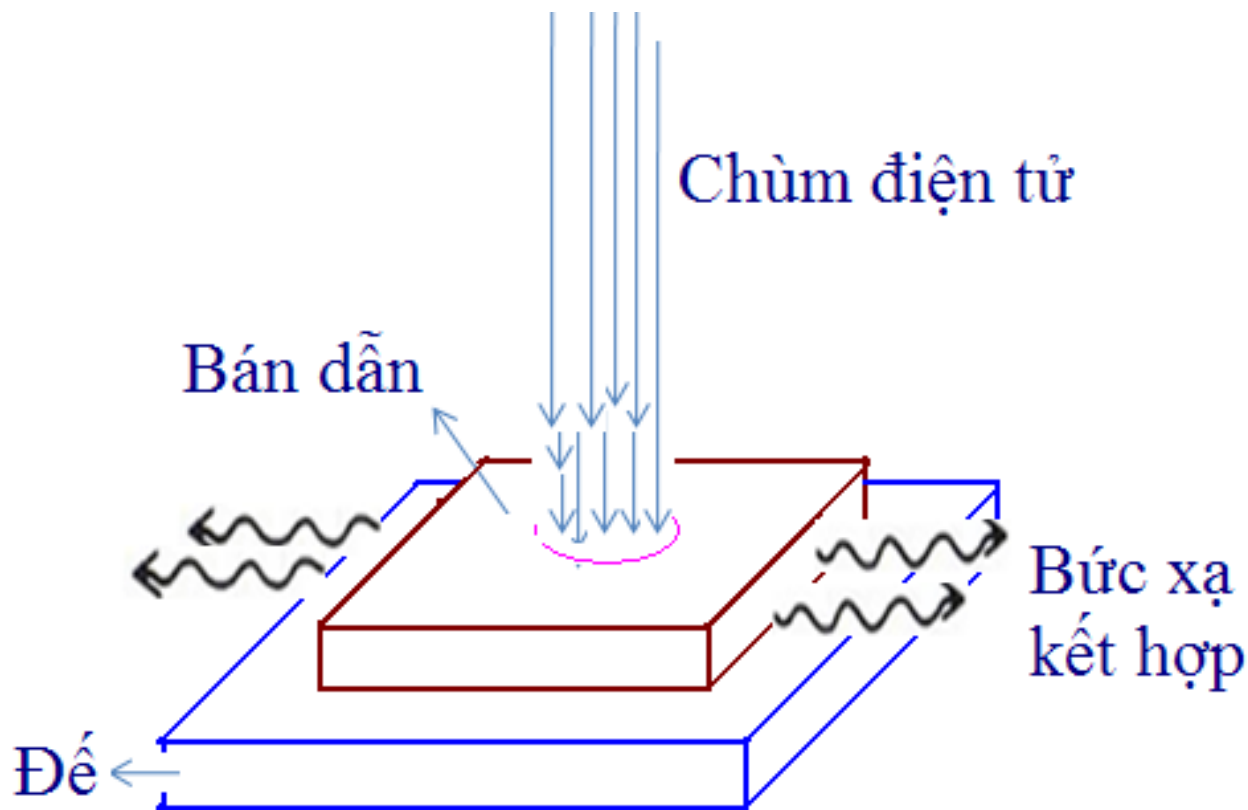
Nhược điểm:

- _ Do kích thước nhỏ nên công suất không lớn.
- _ Khó khăn trong chế tạo tiếp xúc p-n có E_g lớn.
- _ Không nhận được chùm laser trong dãy sóng ngắn.

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.2 Kích thích bằng chùm điện tử

_ Kích thích: chùm điện tử nhanh, năng lượng $\sim 50\text{keV}$



2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.2 Kích thích bằng chùm i n t

i n t *m t n n g l* *n g* khi “oanh t c” lên bán d n



i n t t vùng HT lên các m c cao c a VD: $E > \Delta E$



Nguyên t c a m n g tinh th



i n t *m i t* vùng HT lên VD



Quá trình chuyển *i n t* lên VD c phát tri n nh
“thác l ”

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.2 Kích thích bằng chùm tia hồng ngoại

Mở rộng trong thác lũ để có thể phát xạ laser.

Kích thích có năng lượng $\geq 3\Delta E$

Tái hấp thụ ra khi hồng ngoại và laser tích tụ ở vùng.

Mất dòng quang học lớn:

→ s hồng ngoại và laser ở vùng lớn

→ tham số liên quan: $(\mu_c - \mu_v) \geq \Delta E$

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.2 Kích thích bằng chùm điện tử

— xuyên sâu cao điện nhanh vào trong bán dẫn:

$$\ell = 0,11\rho^{-1}\left(\sqrt{1 + 22,4E_0^2} - 1\right)$$

E_0 : năng lượng điện (MeV) ρ : mật độ vật chất (g/cm^3)

 Ưu điểm:

— Bức xạ và hiệu suất cao.

— Công suất phát lớn.

 Nhược điểm:

— Hiệu suất điện có ích thấp (~20%)

— Chiều dài xung cao dòng điện nhiễu

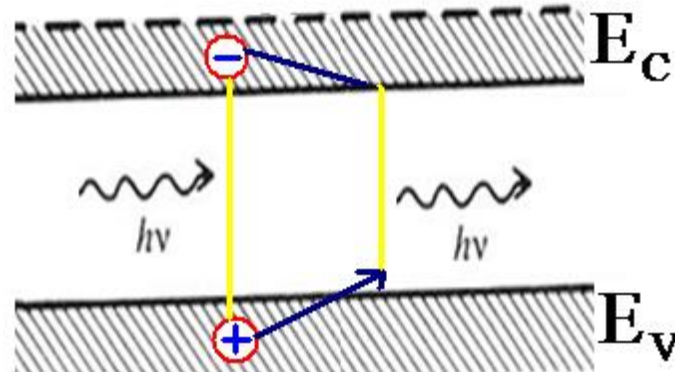
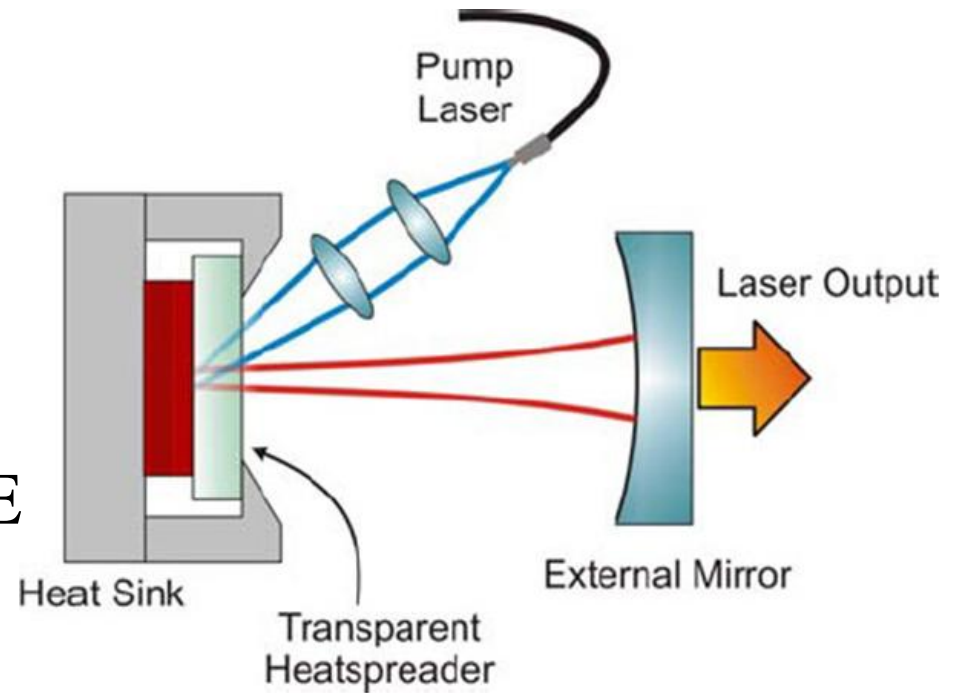
2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.3 Bơm quang học:

 **Kích thích một photon**

_ Dòng ánh sáng kích thích có cường độ lớn

_ Năng lượng photon: $h\nu > \Delta E$



2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

2.3 Bơm quang học:



Kích thích hai photon

_ Năng lượng 1 photon: $h\nu \geq \frac{1}{2} \Delta E$

→ *hợp thành năng lượng 2 photon*

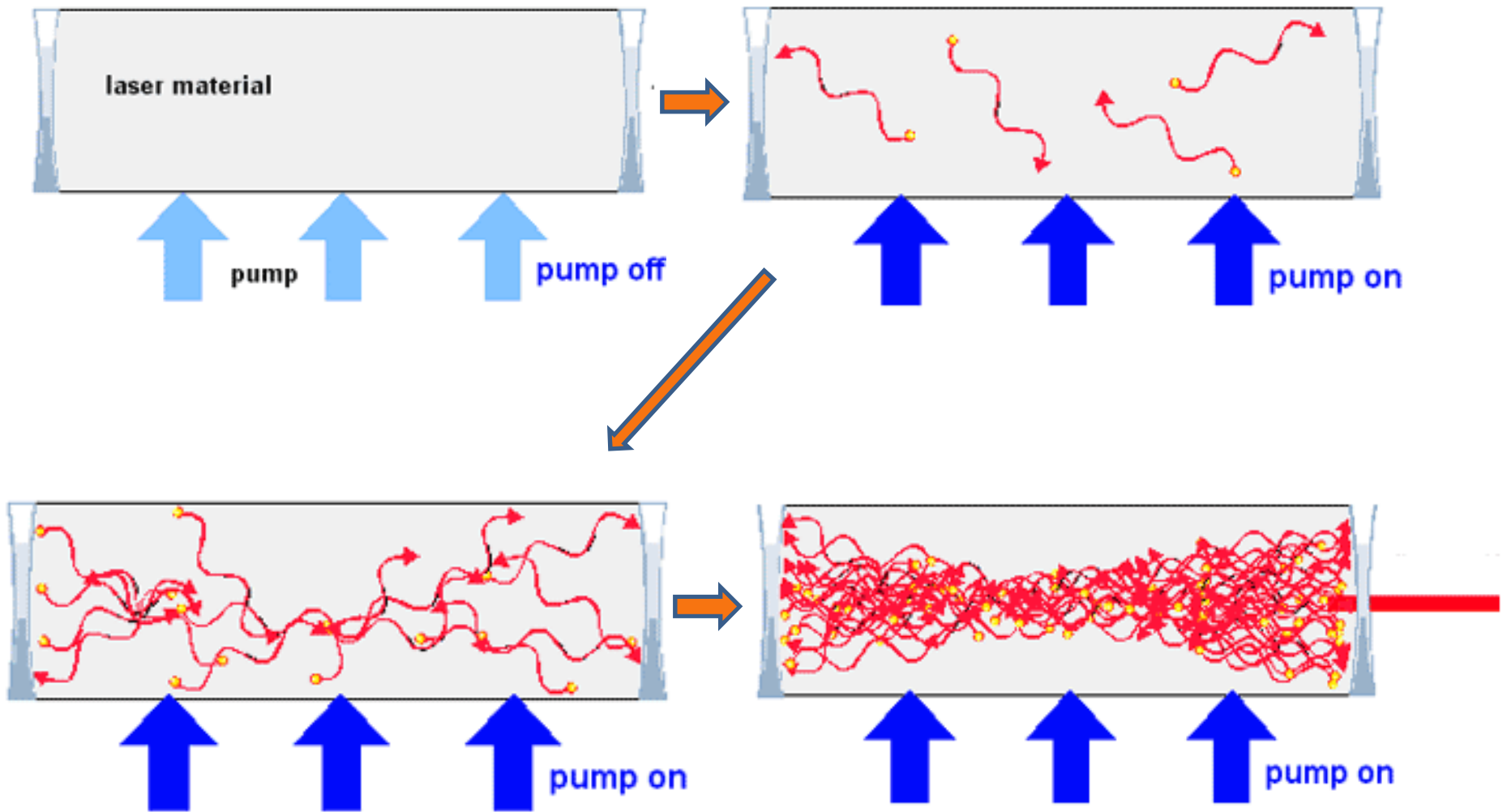
_ Ví dụ laser GaAs: dùng laser Nêô kim loại (đường xuyên sâu cấu trúc : 0,3mm ; hiệu suất có ích: 1%).

Nhận xét:

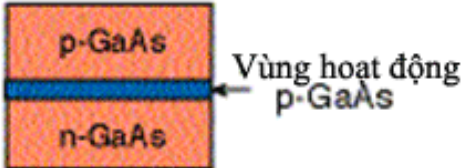

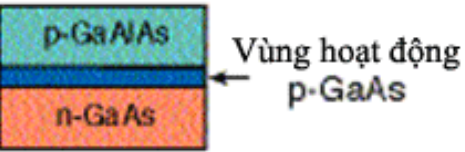

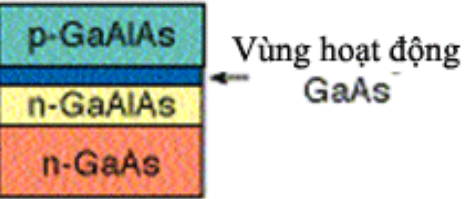

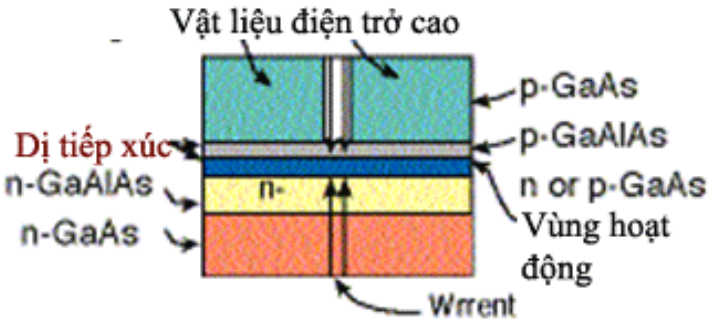
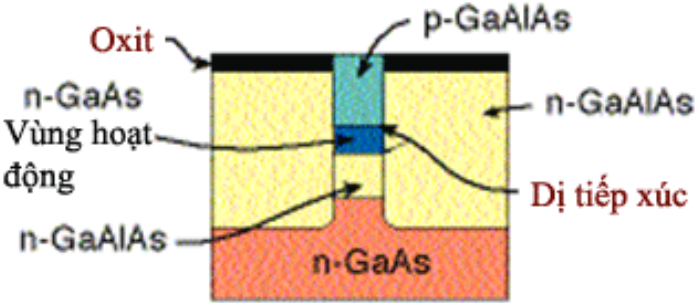
_ Nguồn bơm phải có cường độ rất lớn. (Laser GaAs: cường độ cấu trúc bơm: 16MW/cm²)

2. Phương pháp kích thích laser bán dẫn

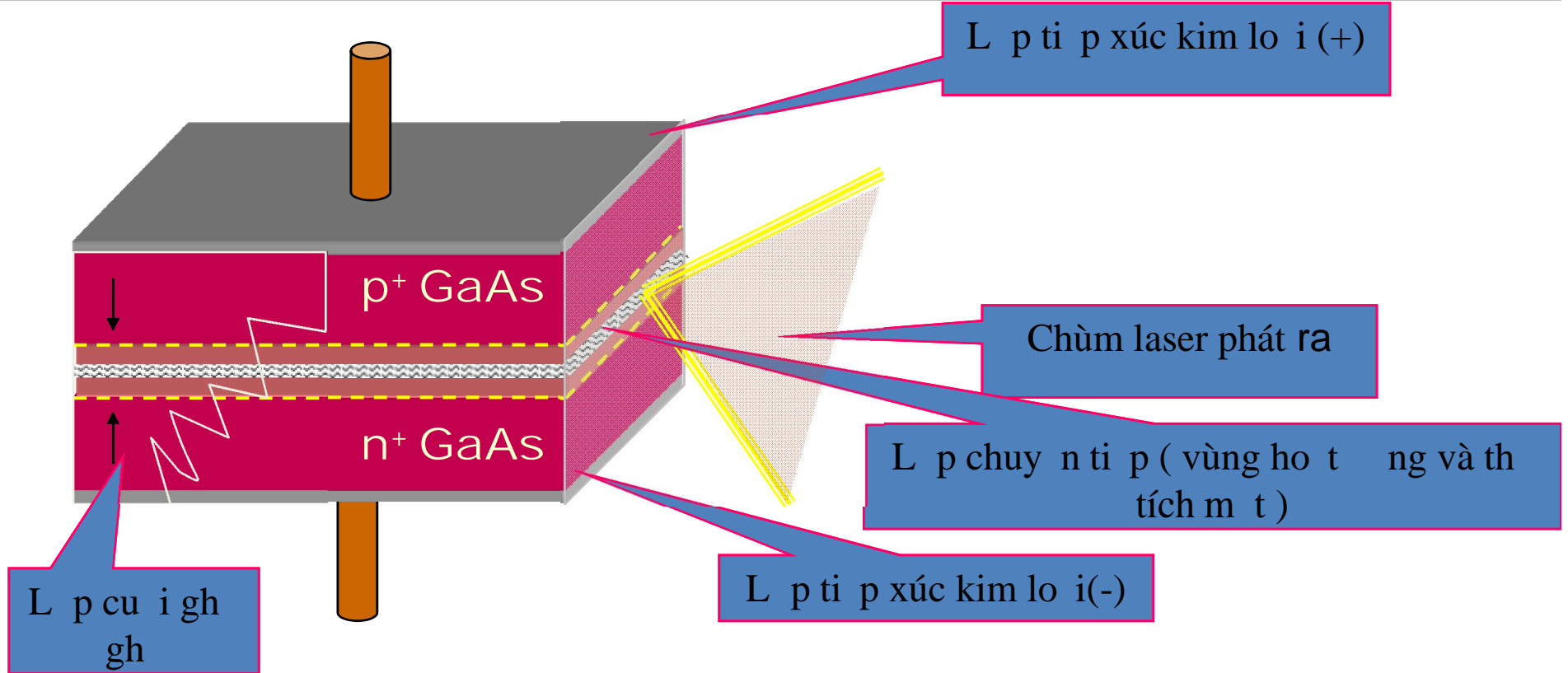
2.3 Bơm quang học:



PHẦN II: LASER BÁN DẪN

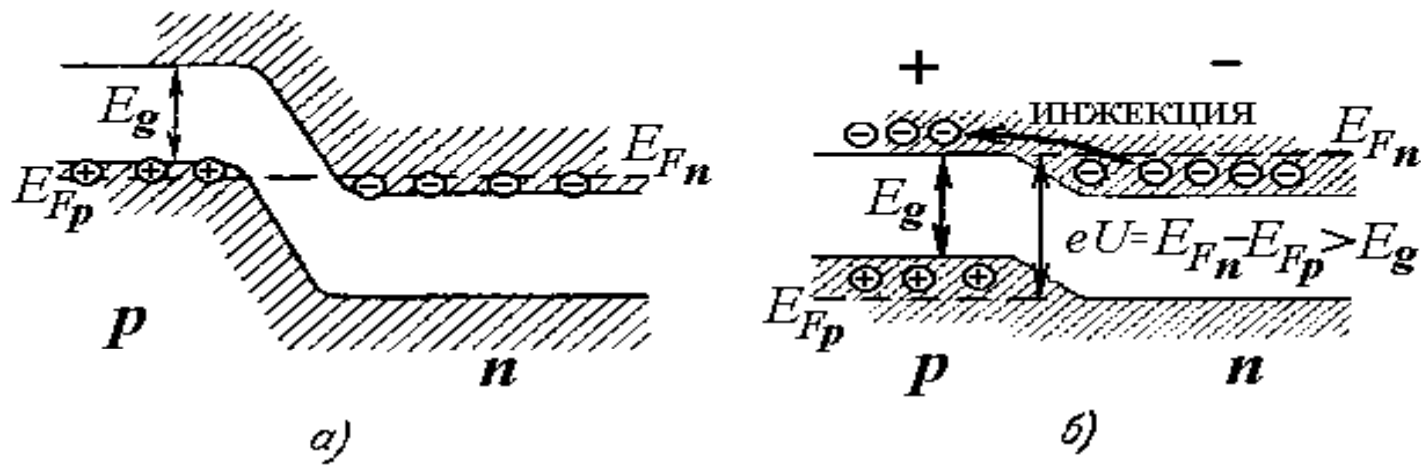
Loại Laser	Cấu trúc	Giam cầm bức xạ
Tiếp xúc đồng thể		 <p>Giam cầm ít trong mặt phẳng tờ giấy</p>
Tiếp xúc đơn dị thể		 <p>Giam cầm tốt ở một phía vuông góc với mặt phẳng tờ giấy</p>
Tiếp xúc nhị dị thể		 <p>Giam cầm tốt ở cả hai phía vuông góc với mặt phẳng tờ giấy</p>
Hình dạng chùm đầu ra được điều khiển bằng độ khuếch đại		
Dị tiếp xúc bị chôn vùi (Hình dạng chùm đầu ra được điều khiển bằng hệ số khúc xạ)		<p>Giam cầm bức xạ tốt ở cả những mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng vuông góc</p>

Structure of a laser diode GaAs 1 p ti p xúc ứng th

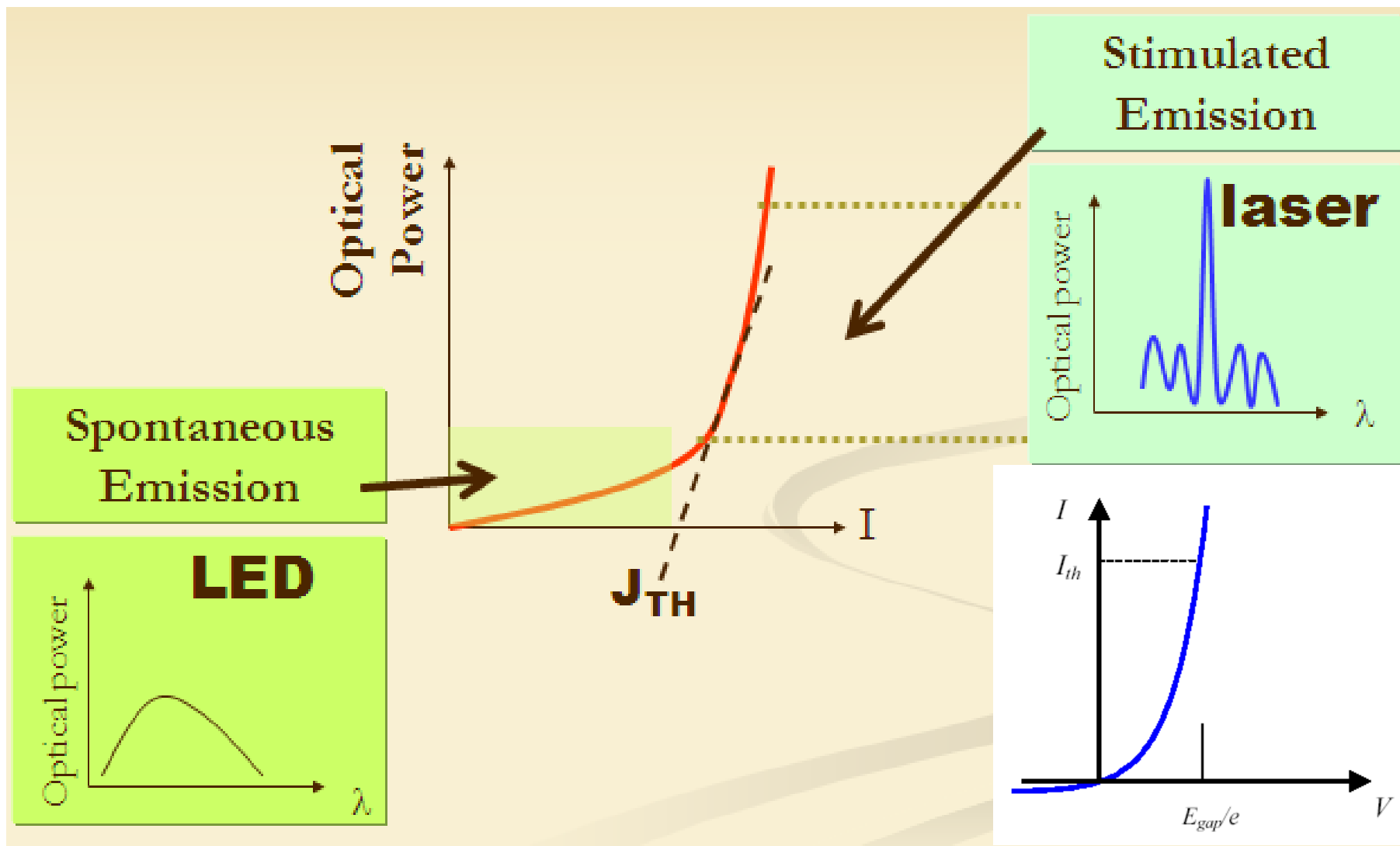


- H t t i trong vùng ho t tính t ng h s khúc x c a GaAs
- S t ng h s khúc x ch ~ 0.02 , nên ko t t làm b ph n i n môi d n sóng
- Là chùm tia do ó có th thoát ra ngoài th tích m t
- B m mãnh li t là c n thi t phát laser
- Dòng ng ng cho ho t ng b m v t 400Amm^{-2}

Vùng năng lượng của tiếp xúc đồng thể



Công & mật dòng quang

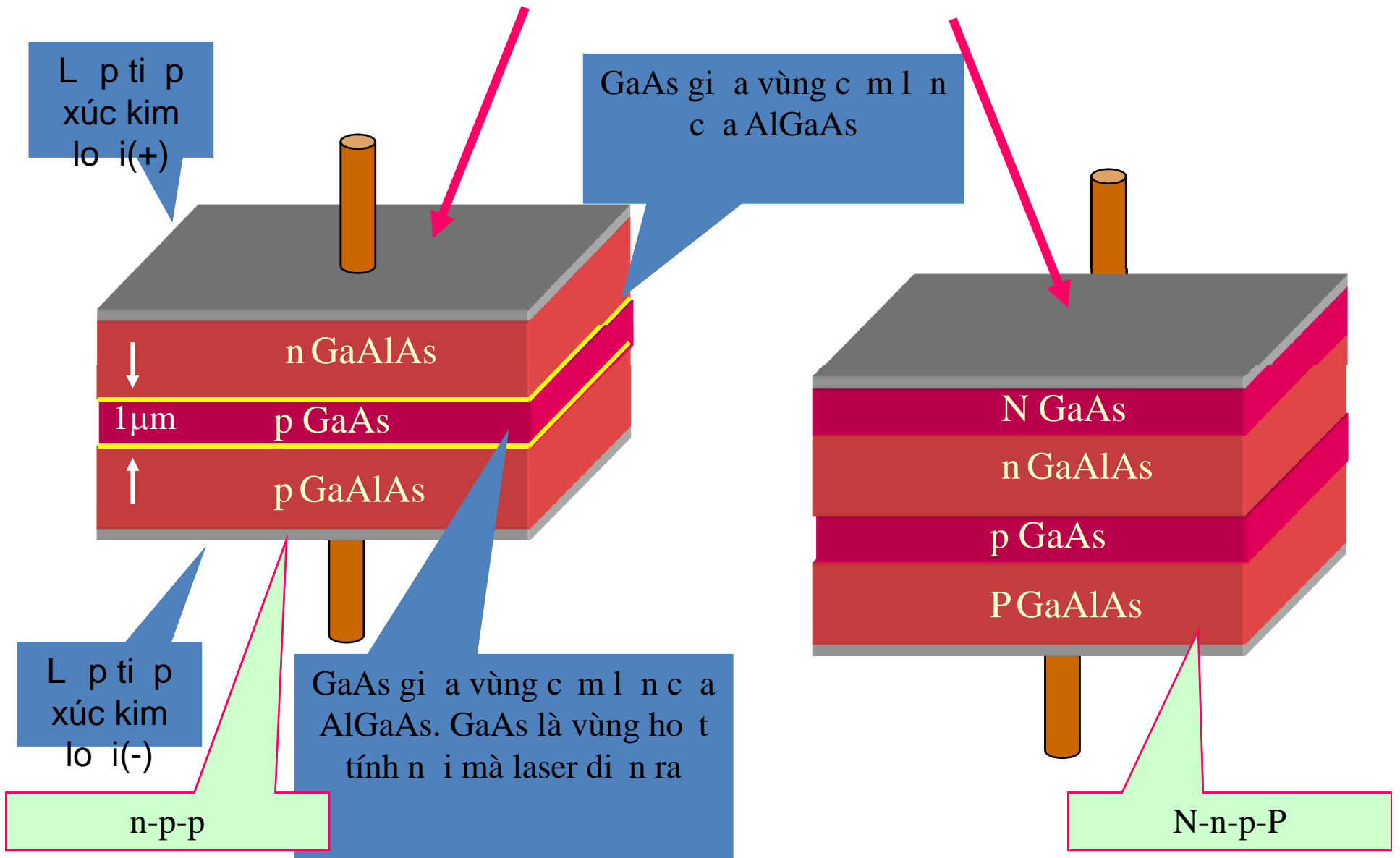


Kết luận về laser tia p-xúc ngắn

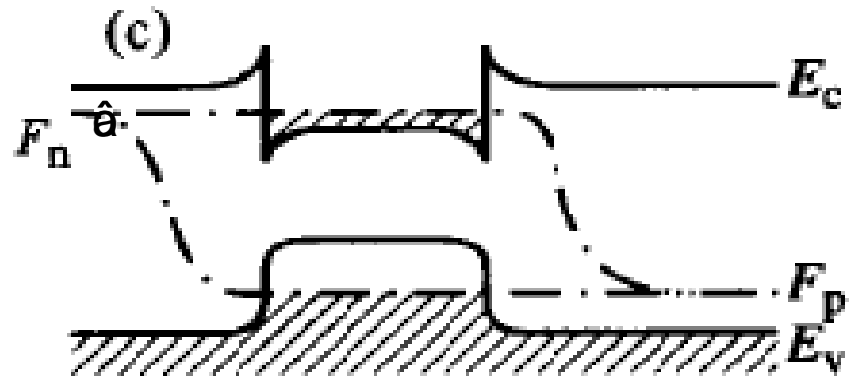
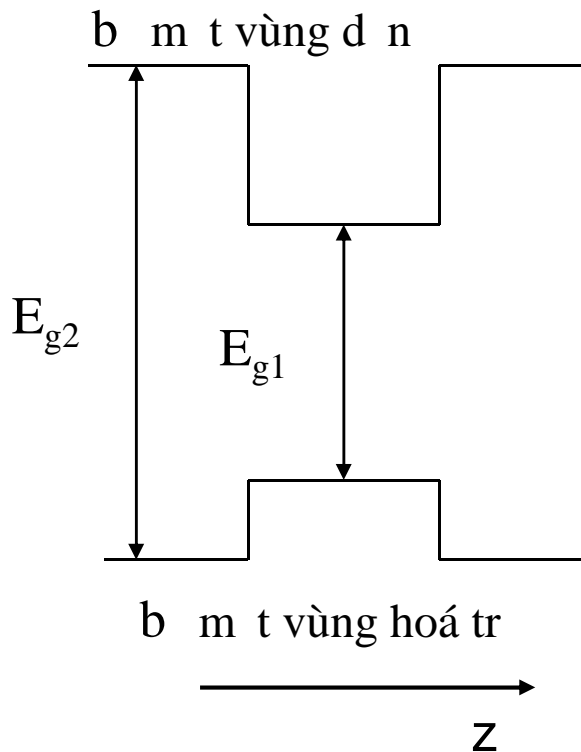
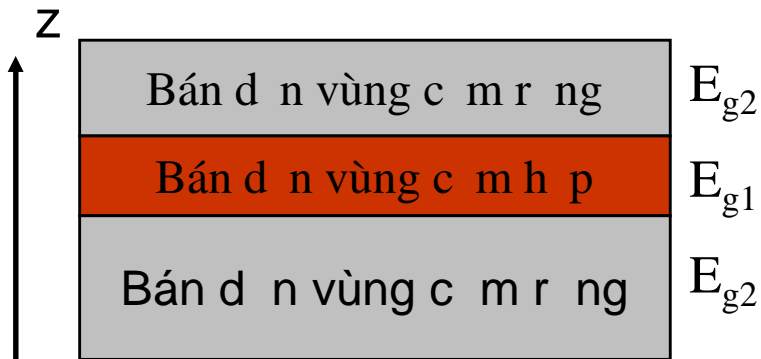
- Vốn chính về laser tia p-xúc ngắn là một dòng ngắn cao, J_{th} là quá cao cho ứng dụng thực tế
- J_{th} tăng theo nhiệt độ, quá cao thì nhiệt độ phòng, chỉ làm việc chập chờn
- Laser tia p-xúc ngắn có đặc tính quang học nghèo, ít giảm giá trị
- Nếu muốn J_{th} thấp: tăng thời gian phát xạ kích thích và hiệu suất quang học
- Có J_{th} :
 - Giảm giá trị trong 1 vùng hẹp
 - Tạo nên sóng đi trong môi trường quanh vùng khuếch đại quang học (tăng mật độ photon phát xạ kích thích) → sẽ giảm giá trị photon
- Làm thế nào để đạt được điều này?

Laser diode cấu trúc d-th

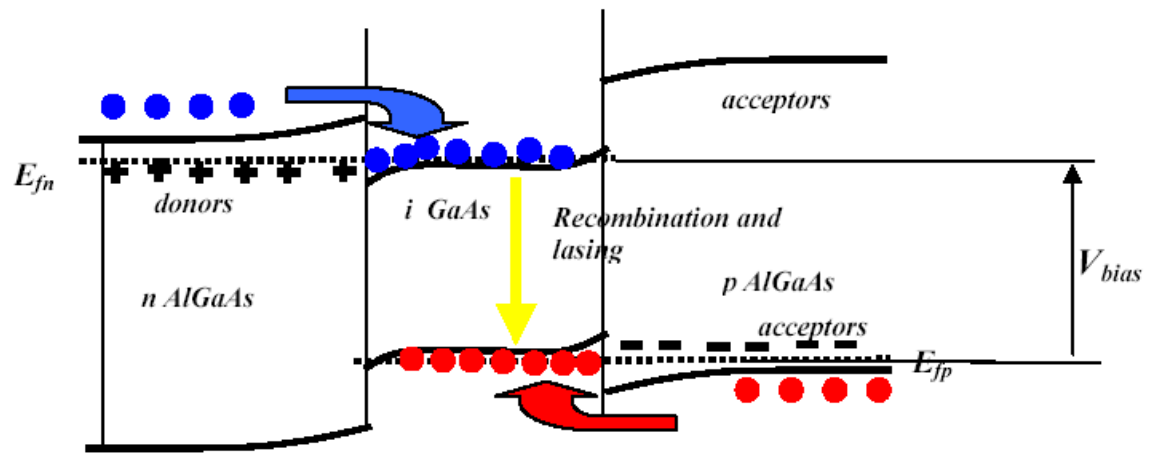
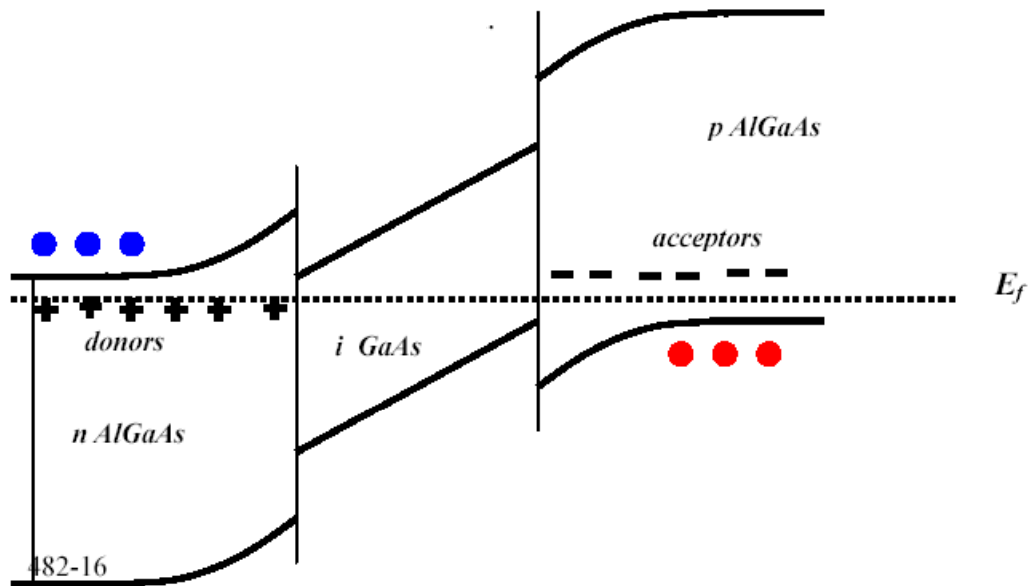
Laser cấu trúc dẹt kép



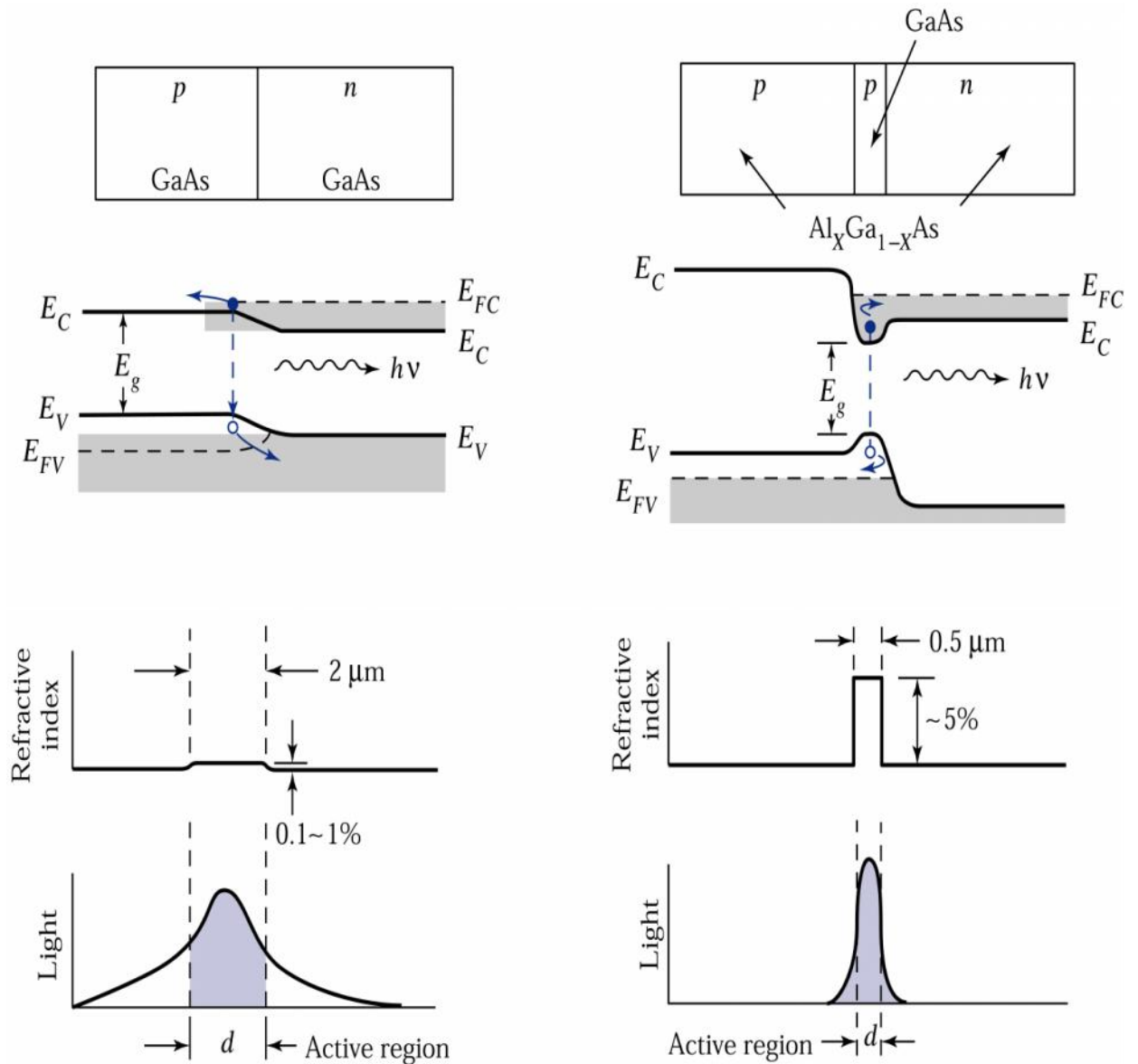
Lớp chuyển tiếp kép



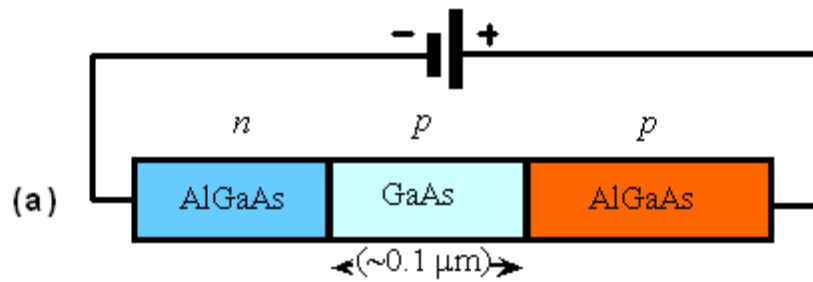
L p chuy n ti p d th kép d i phân c c thu n



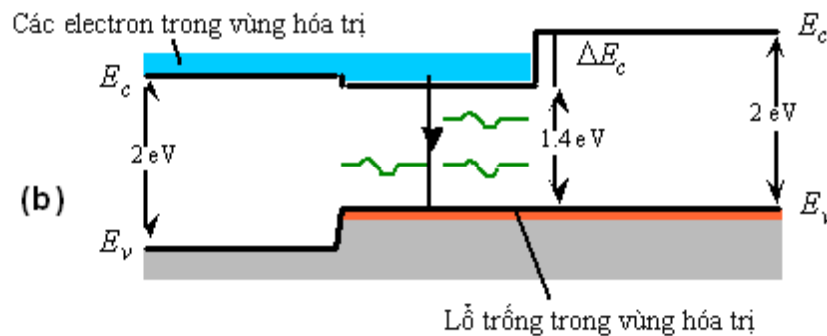
Hình vẽ so sánh các tính chất của laser bán dẫn (a) và diode laser kép (b). Laser bán dẫn có hệ số khúc xạ thay đổi ít hơn 1%, còn diode laser kép là 5%. Sự giam giữ photon thể hiện hình ảnh cụ thể



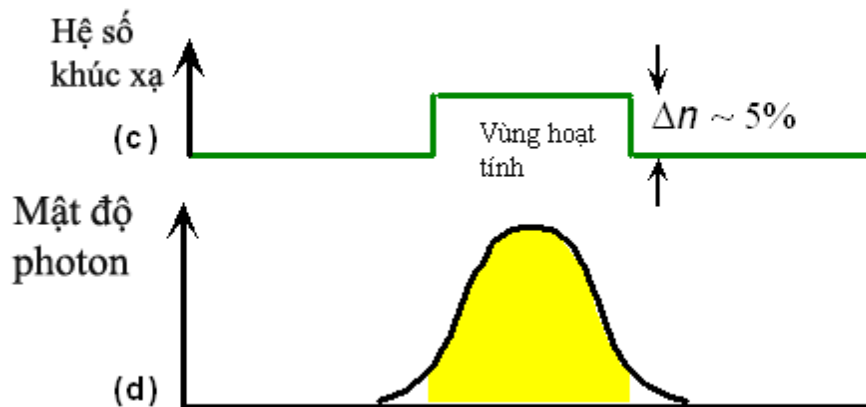
Laser tiếp xúc dị thể kép



(a) Diode tiếp xúc dị thể đơn có hai lớp tiếp xúc giữa các bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau (GaAs và AlGaAs).



(b) Sơ đồ vùng năng lượng đơn giản hóa ở chế độ phân cực thuận. Sự tái hợp lại phát Laser xảy ra trong lớp p-GaAs, *lớp hoạt tính*



(c) Vật liệu có độ rộng vùng cấm càng lớn thì hệ số khúc xạ càng nhỏ

(d) Lớp AlGaAs giam giữ photon

S giam gi h t t i và photon

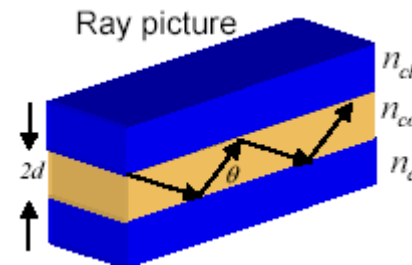
- N-Ga_{1-x}Al_xAs|p-GaAs|P-Ga_{1-x}Al_xAs

N|L p ho t tính|P

- GaAs and GaAlAs:

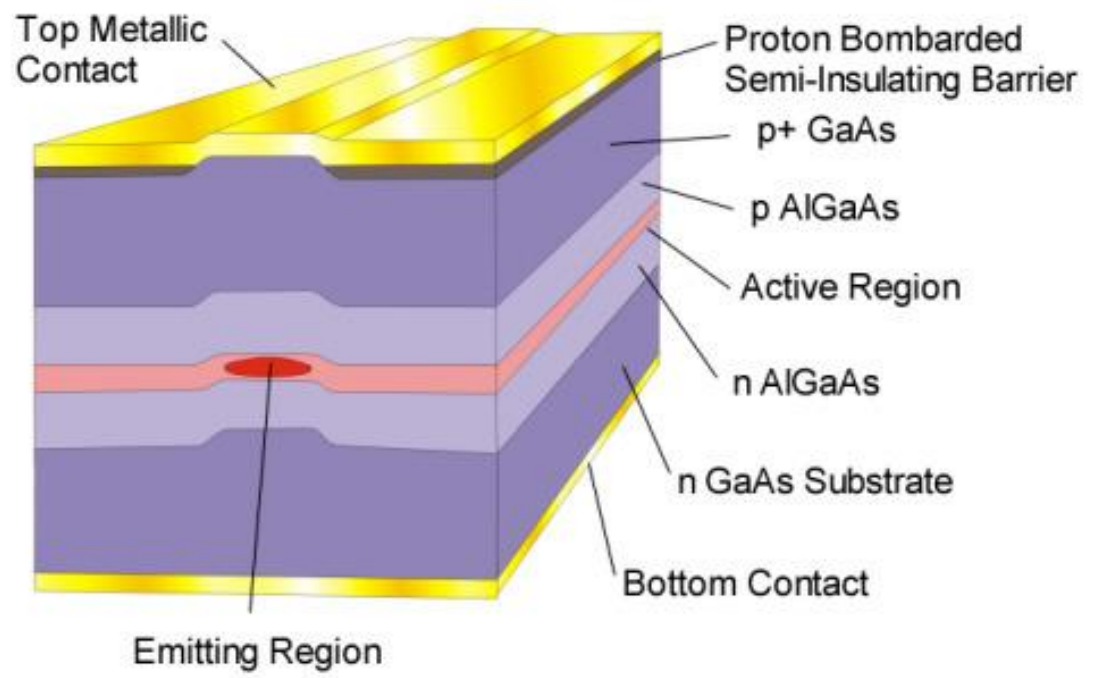
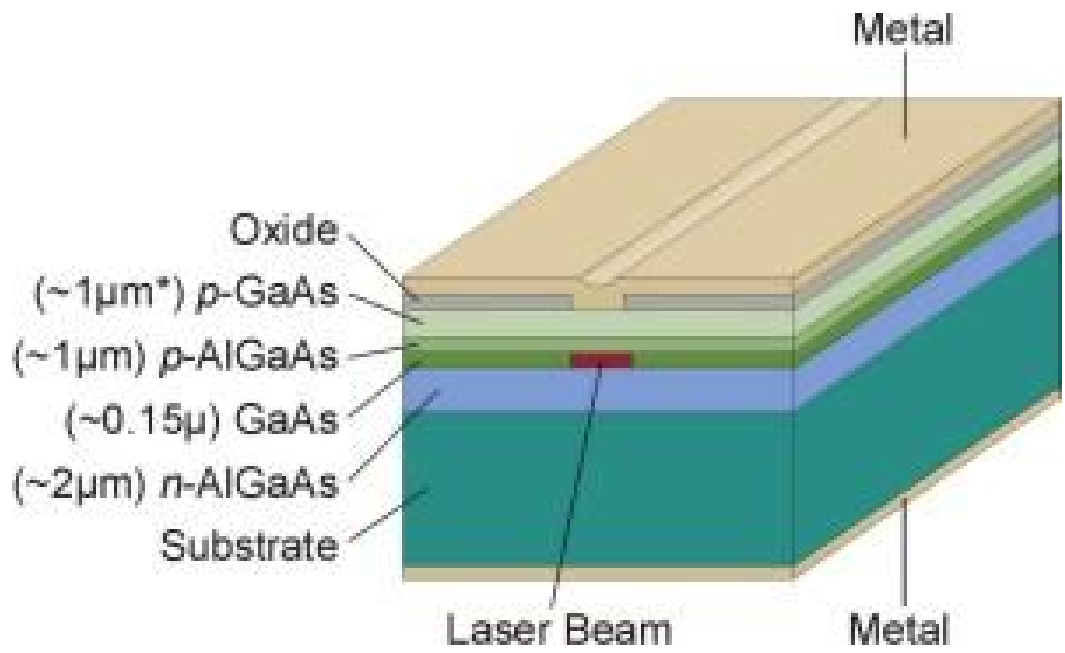
1. Có h s khúc x khác nhau

- $n_{\text{GaAlAs}} < n_{\text{GaAs}}$



2. Có E_g khác nhau E_g (GaAlAs) > E_g (GaAs)

- r ng vùng c m khác nhau → t o rào ng n e và h khu ch tán t GaAs sang GaAlAs → giam gi h t t i
- S khác nhau v h s khúc x → d n sóng (giam gi photon)
- E_g (GaAlAs) > E_g (GaAs) → Photon sinh ra trong in GaAs s không b h p th b i GaAlAs.



H s khúc xạ & s giam giữ sóng

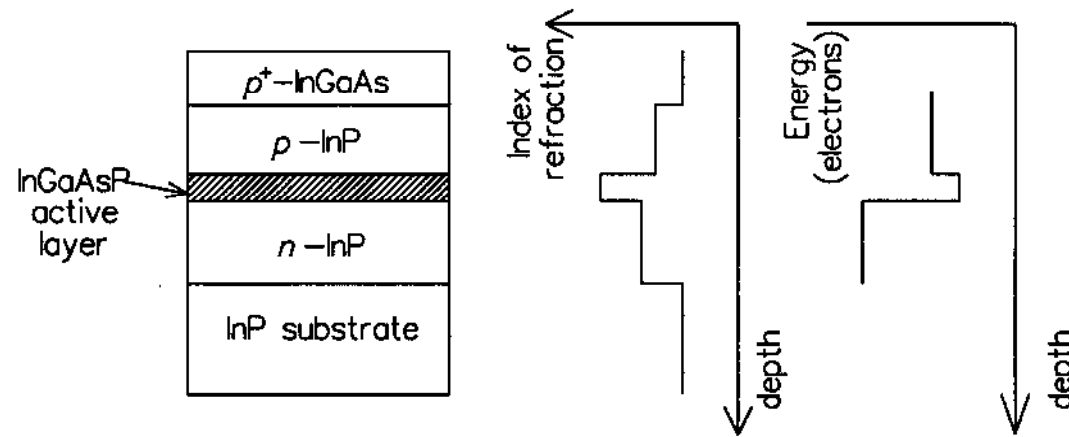


Figure 5.2 Typical diode structure consisting of four layers on a substrate, index of refraction variation through the layers, and energy well for electrons.

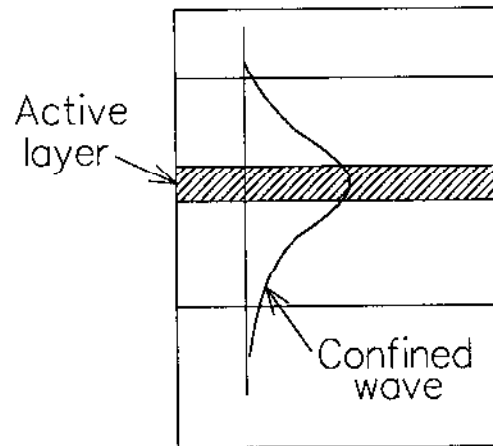
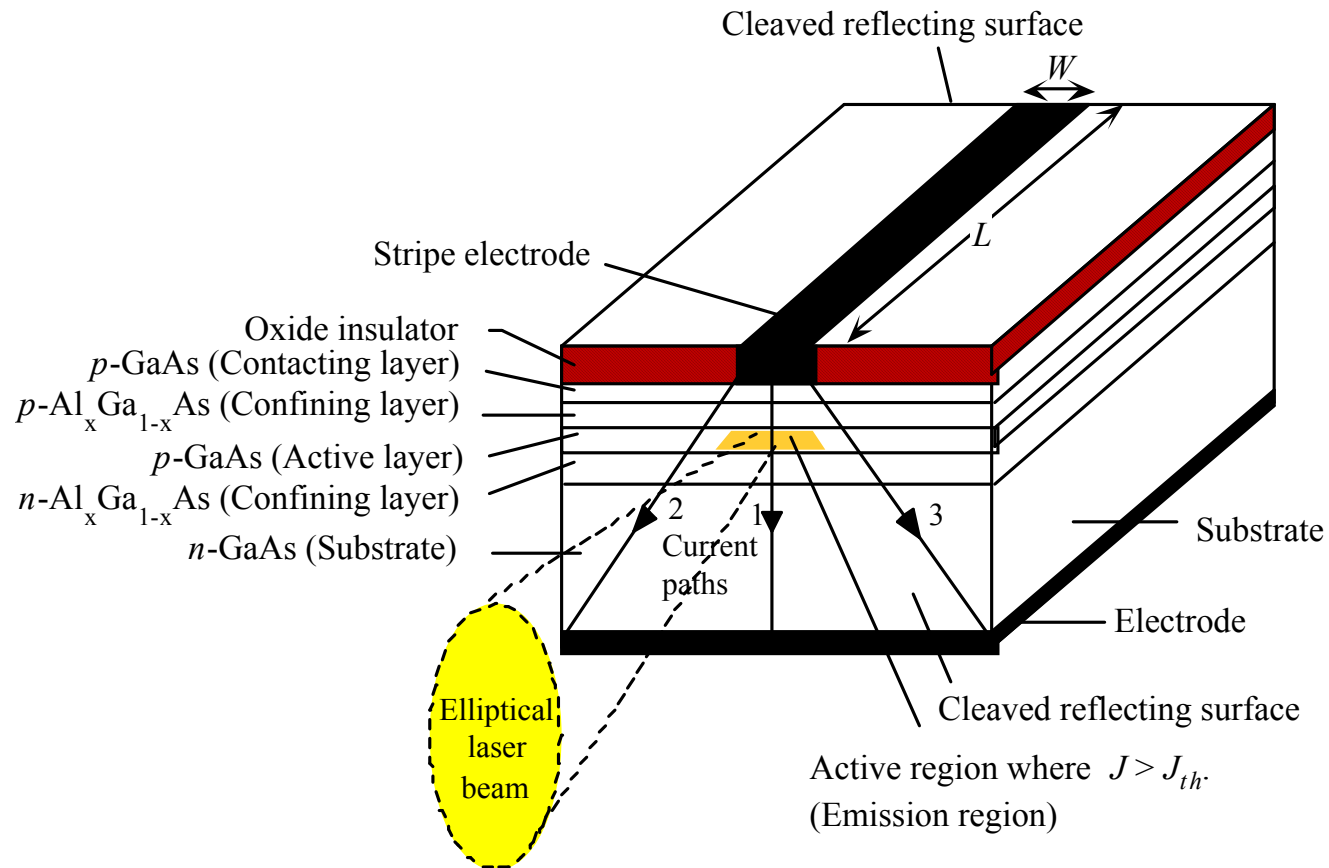


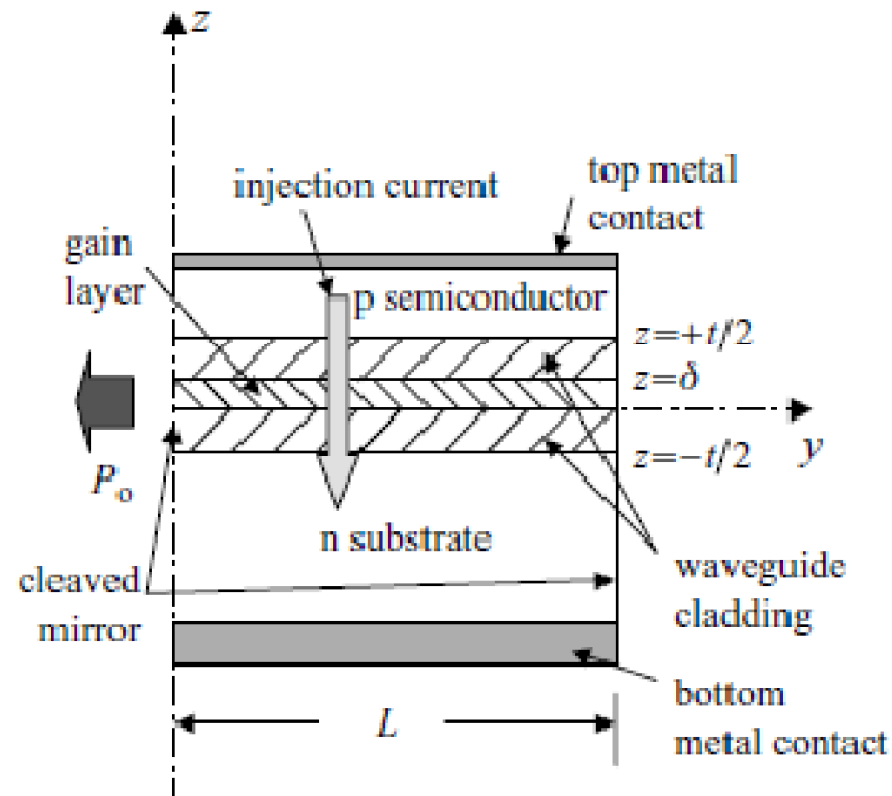
Figure 5.3 Side view of an optical field confined in the vertical direction. The portion of the field lying outside of the active region is less than it would be in the absence of any confinement.

Laser phát xạ c nh

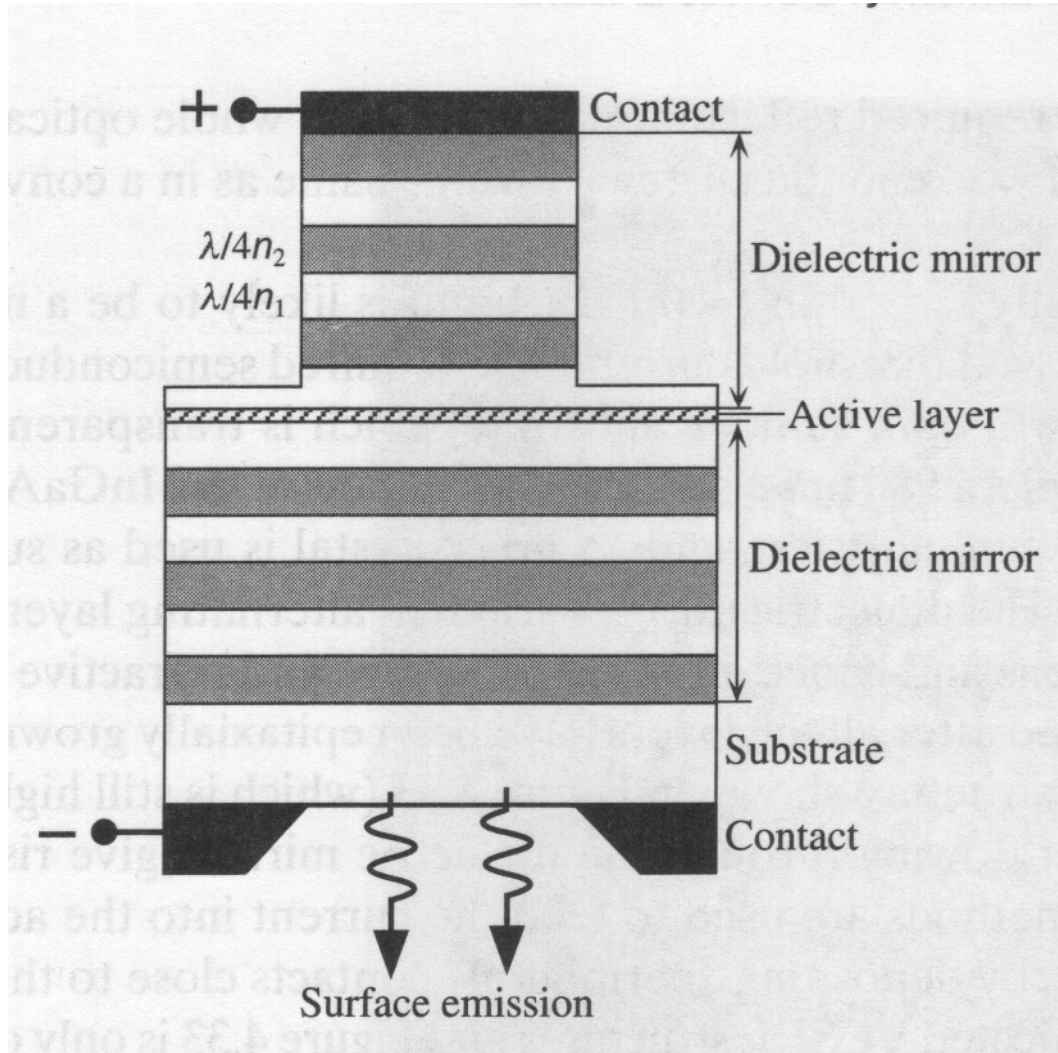


Schematic illustration of the the structure of a double heterojunction stripe contact laser diode

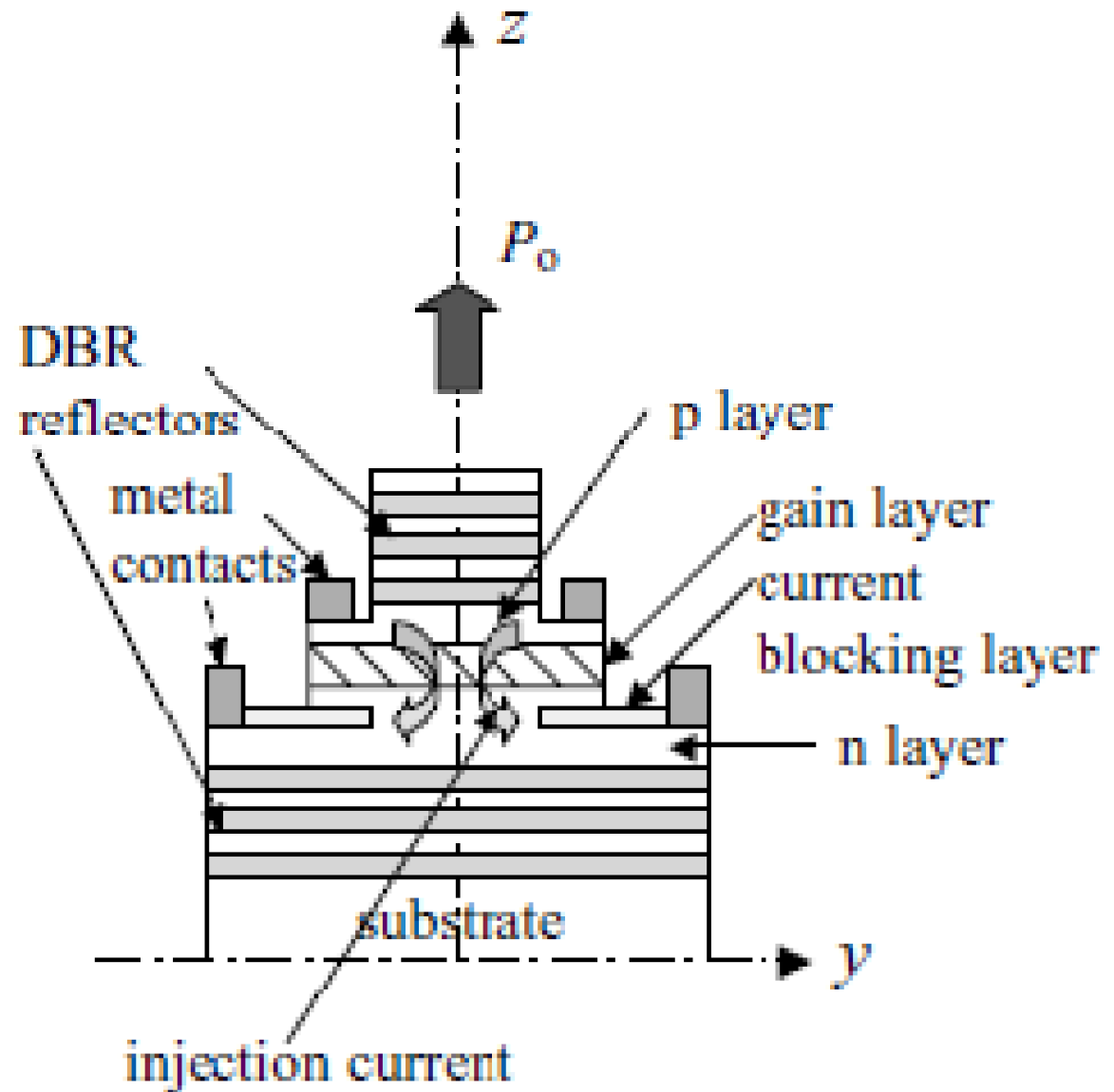
Laser phát xạ c nh



Laser phát xạ mặt (VCSEL)

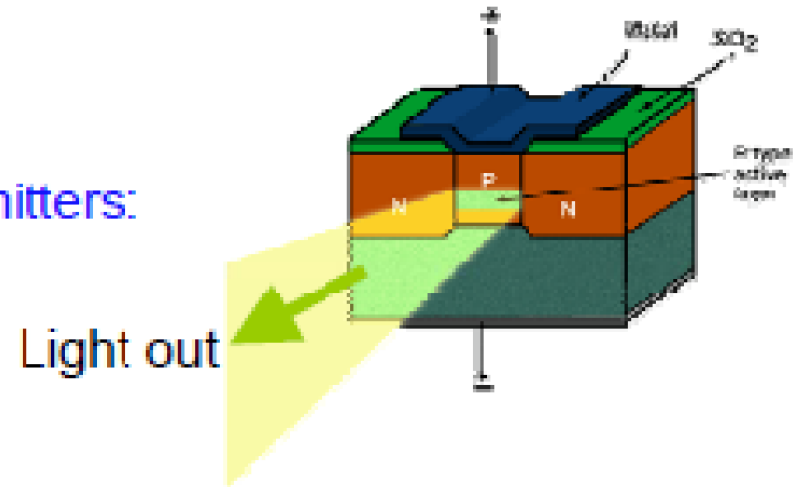


Laser phát xạ mặt

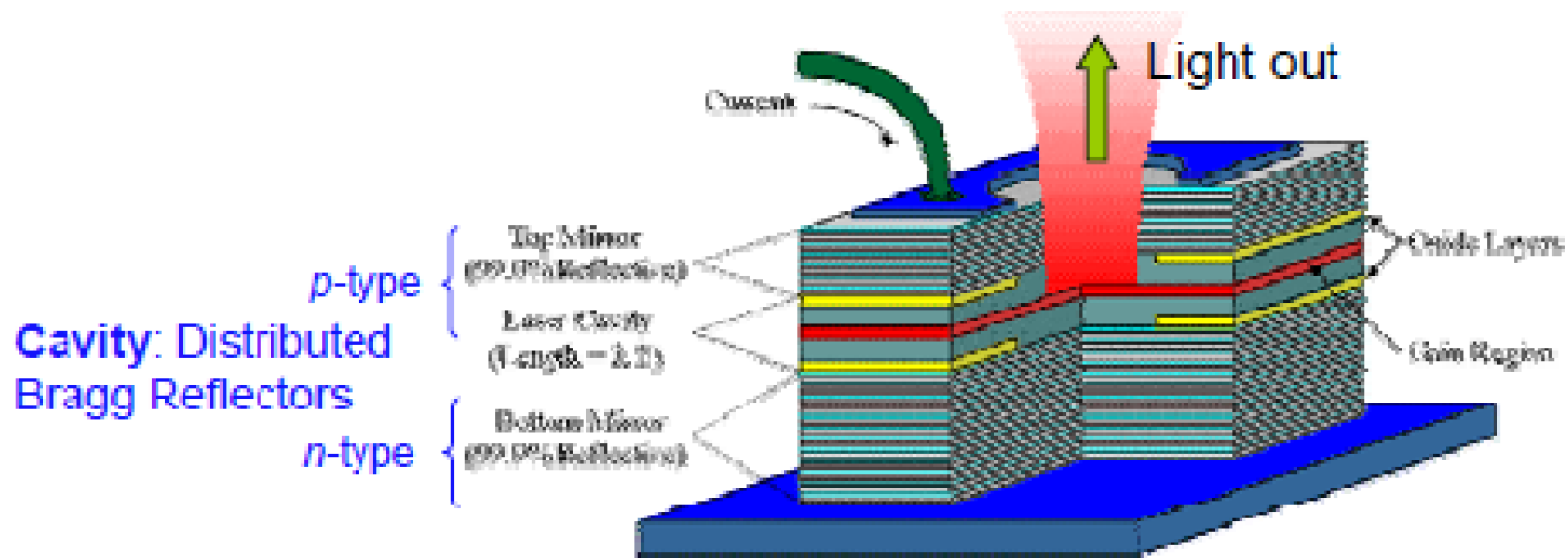


VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser

Ordinary LEDs and LDs are edge emitters:

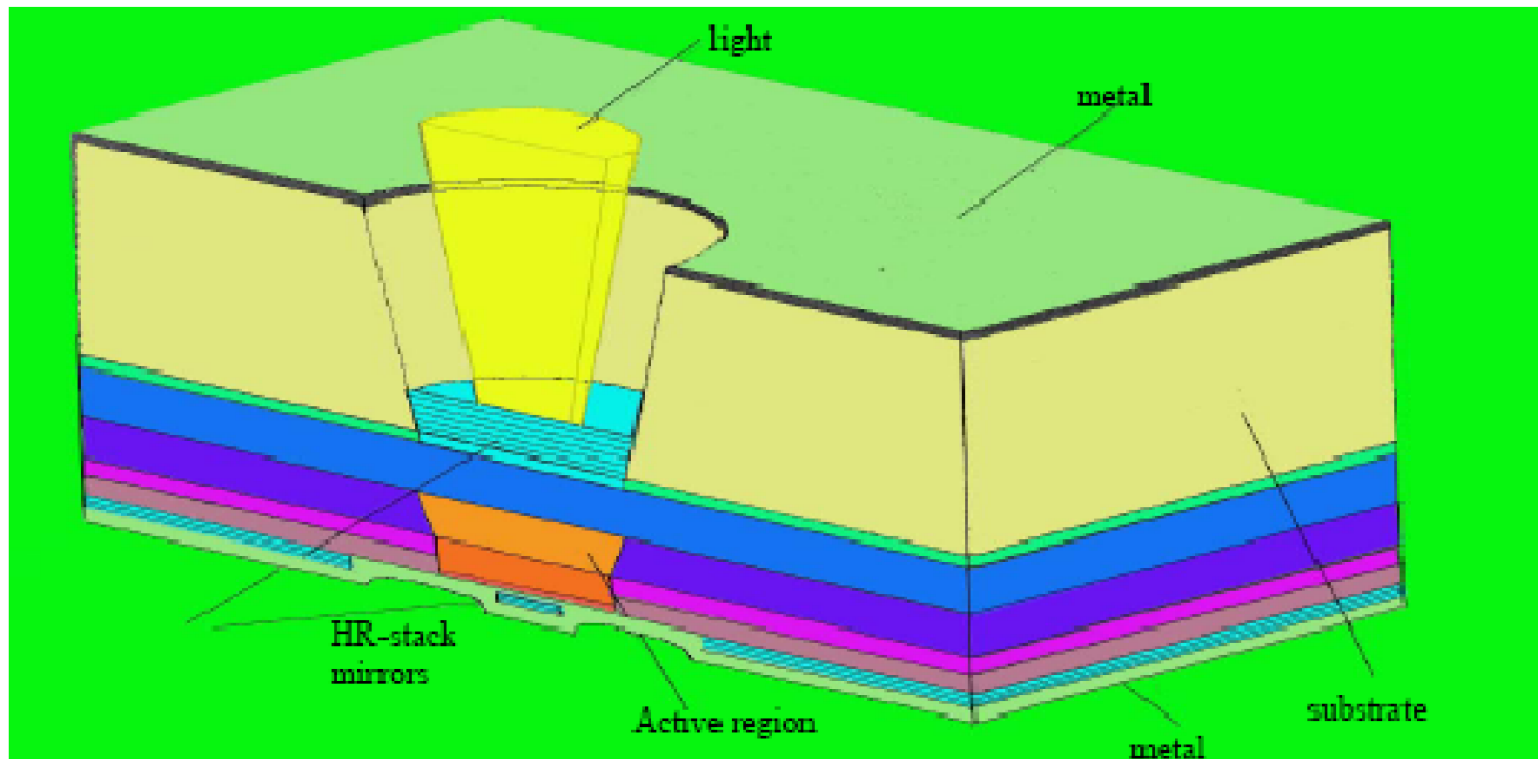


A much more convenient structure is the VCSEL (pronounced as *vixel*)



Laser phát xạ mặt

VCSEL



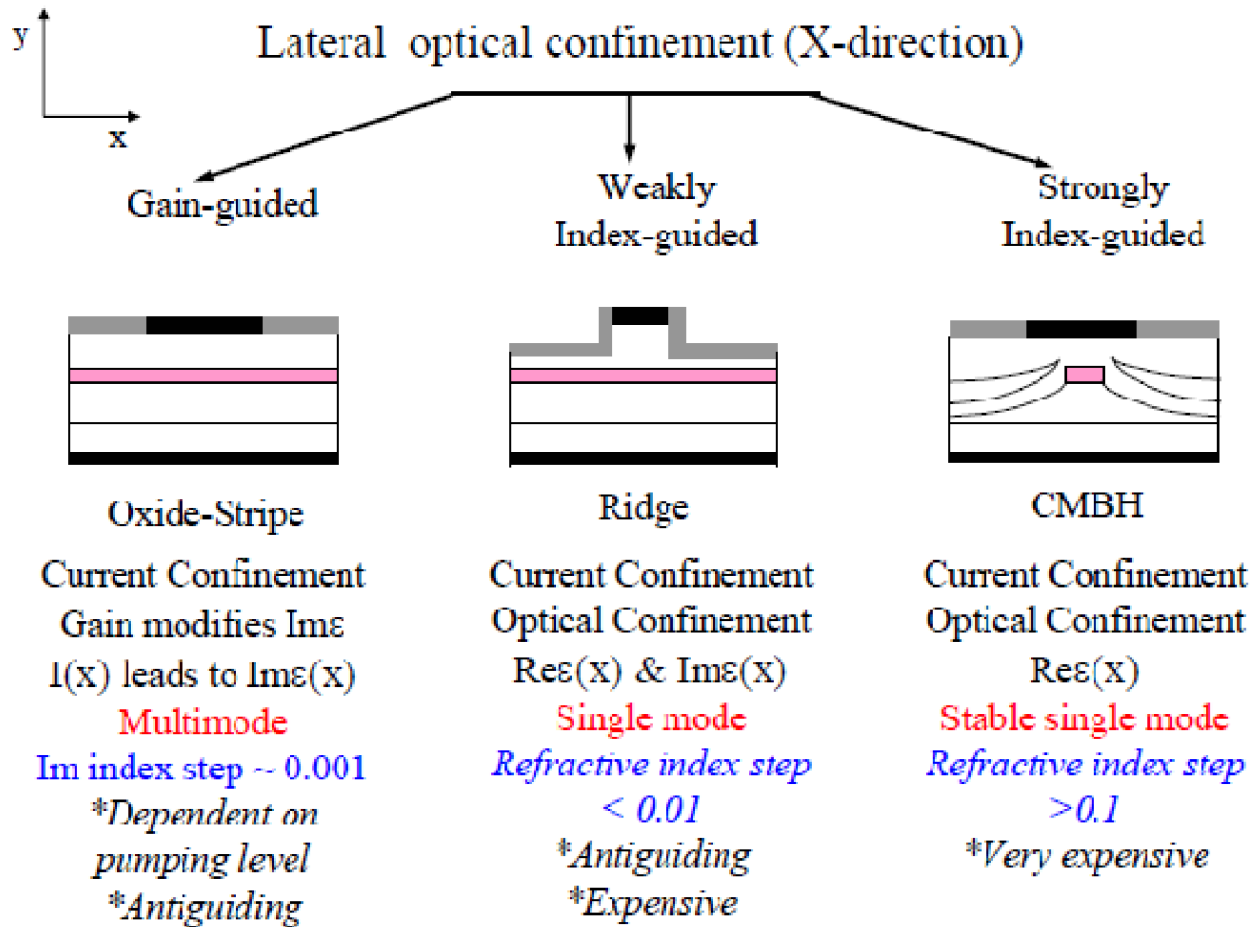
VCSEL consists of a vertical laser cavity defined by the active region surrounded by high-reflector(HR) stacks that comprise the mirrors.

Light emission occurs through the top surface.

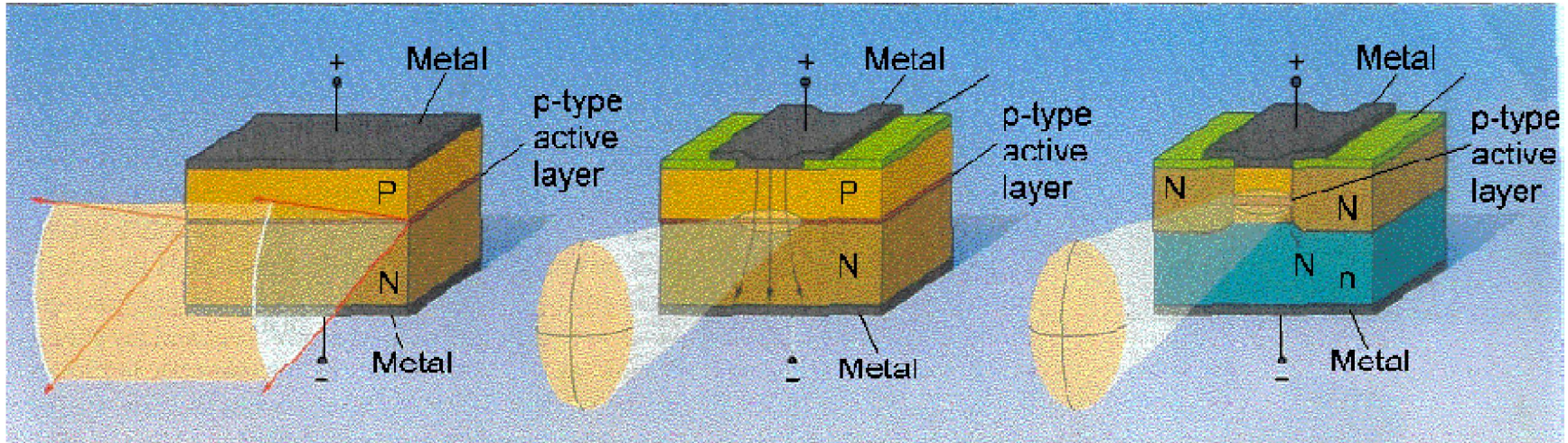
u i m c a VCSEL

- Cấu trúc cấu trúc trong cấu trúc hình ảnh 2 chiều.
- Dòng điện có thể có khả năng tăng cao.
- Sự phát xạ và gain như là hình ảnh photo detector làm dãn dài như hình ảnh và tập trung lại bó sáng.
- Chùm tia phát ra hình tròn và phân tán thấp thì cần cho sự chính xác quang học.
- Giá thành thấp vì thiết bị hoàn chỉnh và kiểm tra dễ dàng hơn.
- Diện tích nhỏ như diode laser phát xạ.
- Vận tốc truyền cao mà tiêu tán nhiệt thấp.
- **c tính dòng của VCSEL**
- Phát ra bước sóng 850 nm và 1300 nm.
- Vật liệu chủ yếu thông dụng: GaAs, AlGaAs, GaInNAs
- Thách thức về các kỹ thuật làm sao cho VCSEL có công suất cao.

Gain guided & index guided



Diode Lasers



Double-heterostructure architecture is common to diode laser (left). Two stripe

geometries are used: gain-guided (middle) and index-guided (right Widebandgap

p-and n-type semiconductor are represented by P and N, respectively.

Current flows through gain-guided structure as shown by arrows; notice beam shapes produced by all three structures)

Gain guided & Index guided

Heterojunction LD – Guiding type

❖ Gain guided

: current density is not uniform laterally

current confined within paths 2 and 3

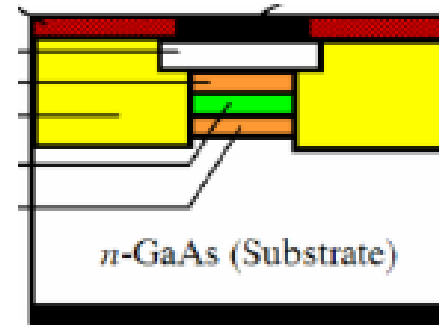
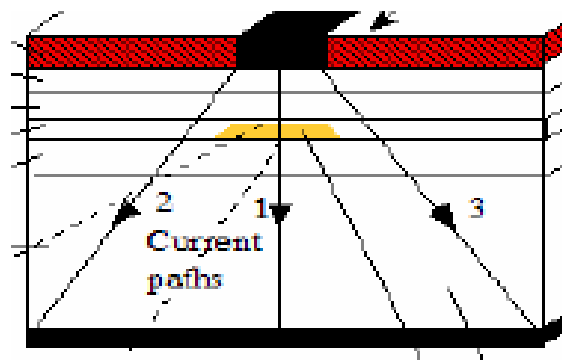
optical gain highest where the current density greatest

❖ Index guided

: active layer buried within a wider BG materials → buried DH structure

active layer is surrounded by lower index → behaves as a waveguide

optical power is confined to the waveguide



Laser Diode with buried heterostructure (BH)

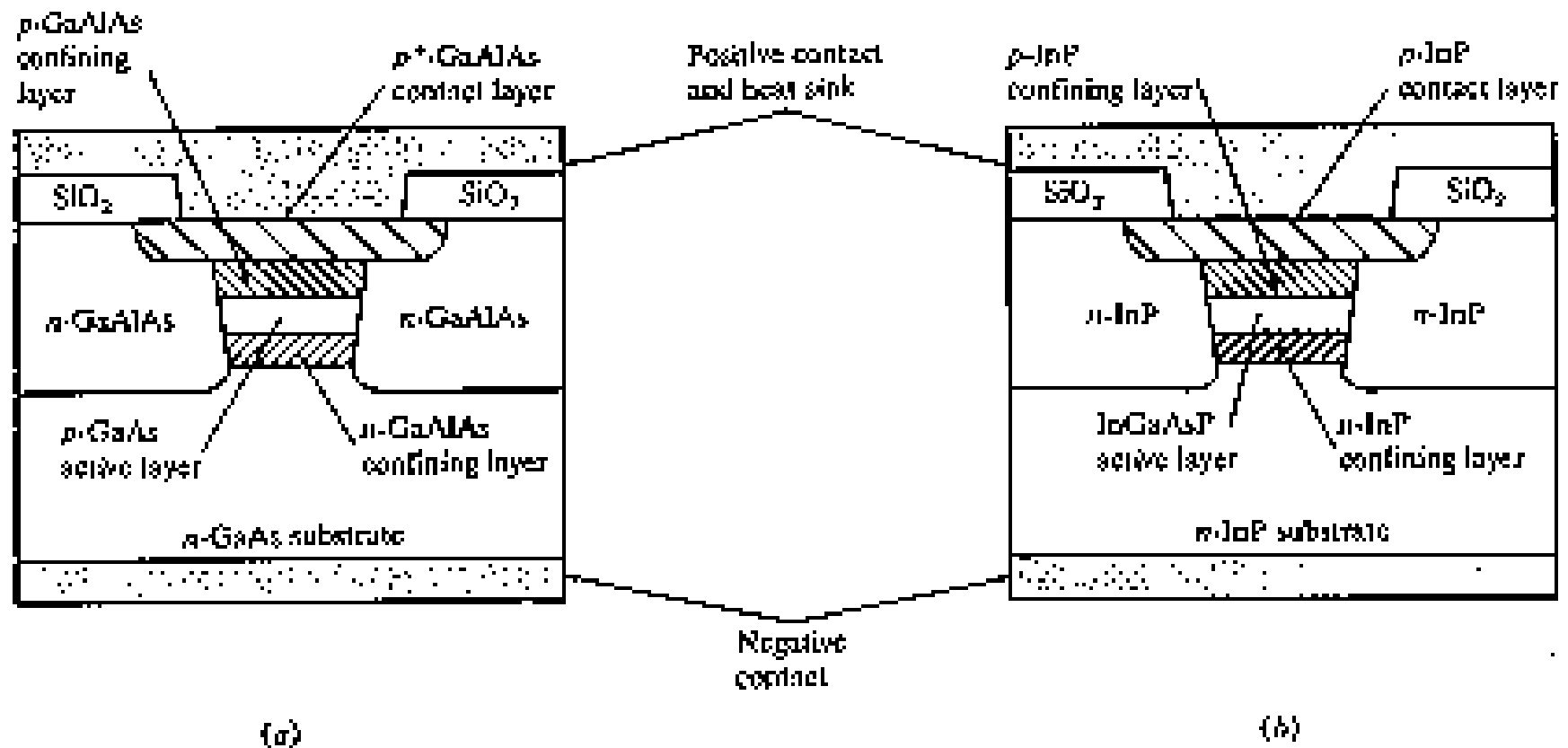
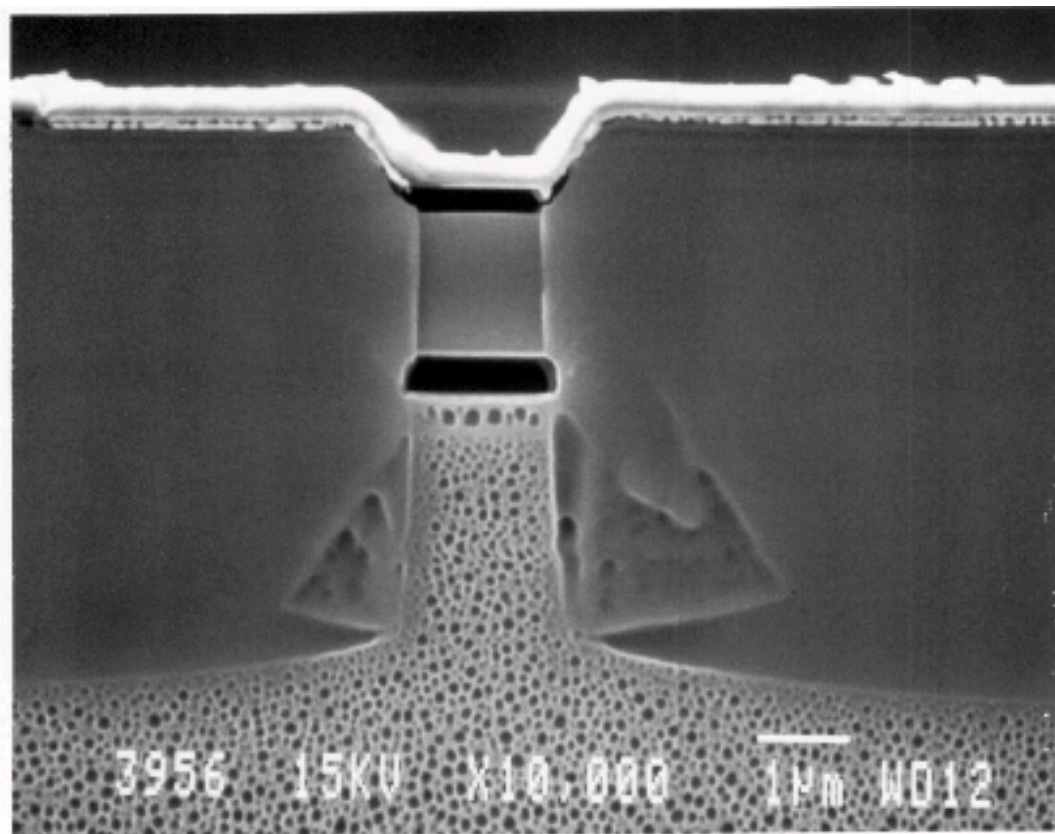


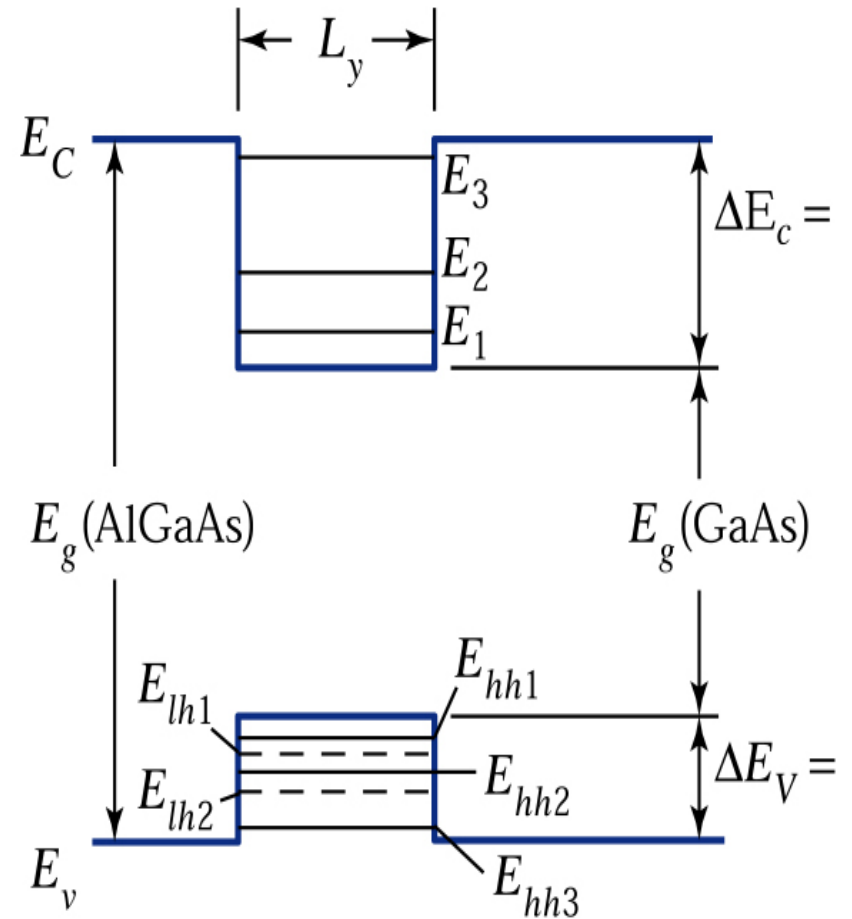
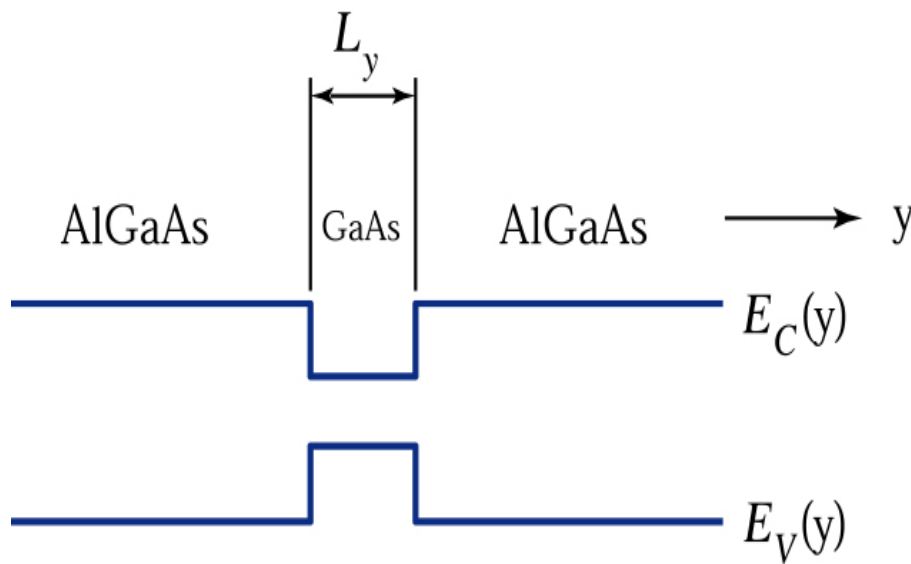
FIGURE 4-23

(a) Short-wavelength (800–900 nm) GaAlAs and (b) long-wavelengths (1300–1600 nm) InGaAsP buried-heterostructure laser diodes.

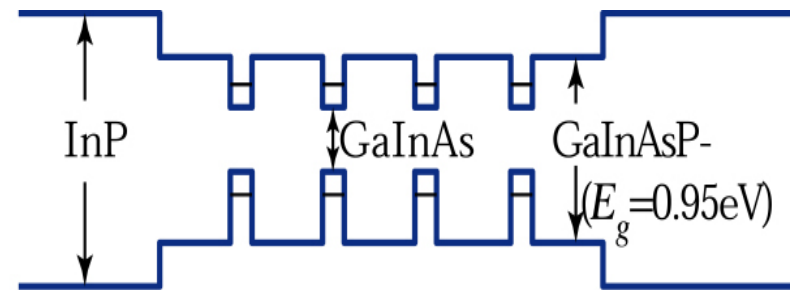
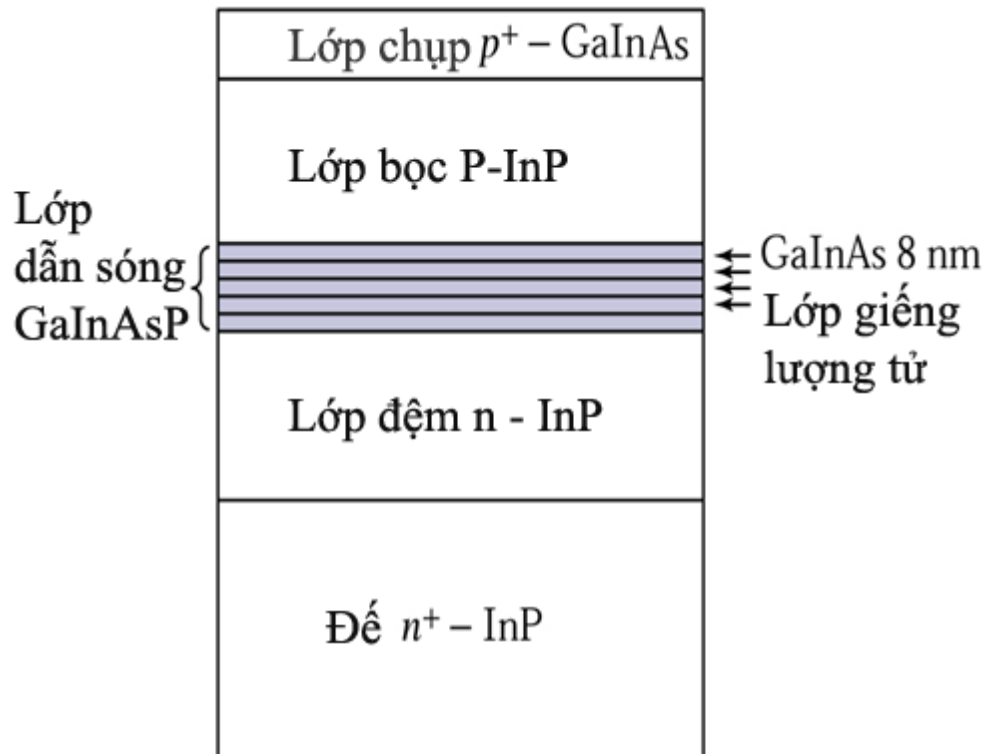
Laser cấu trúc d th chôn



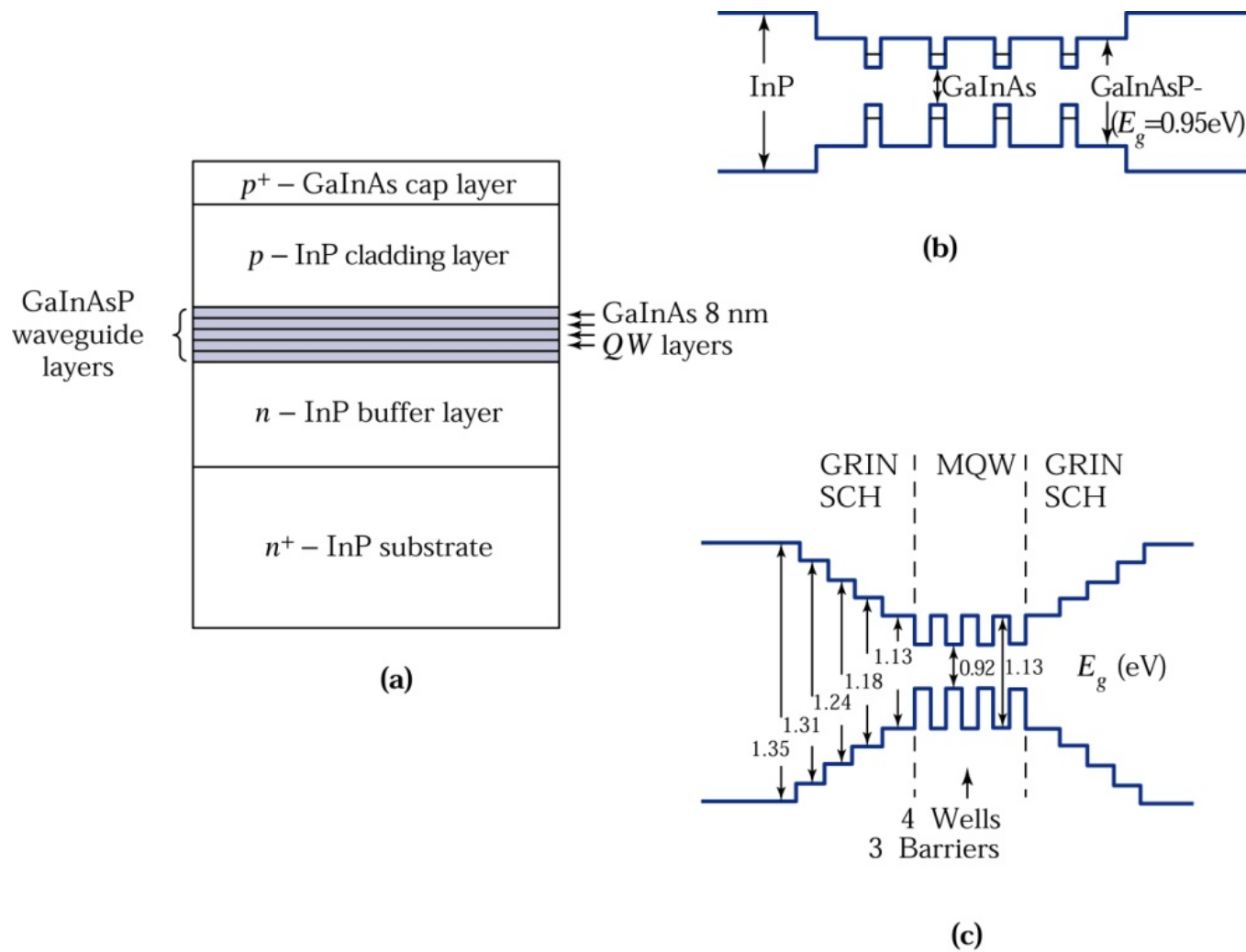
Laser heterostructure



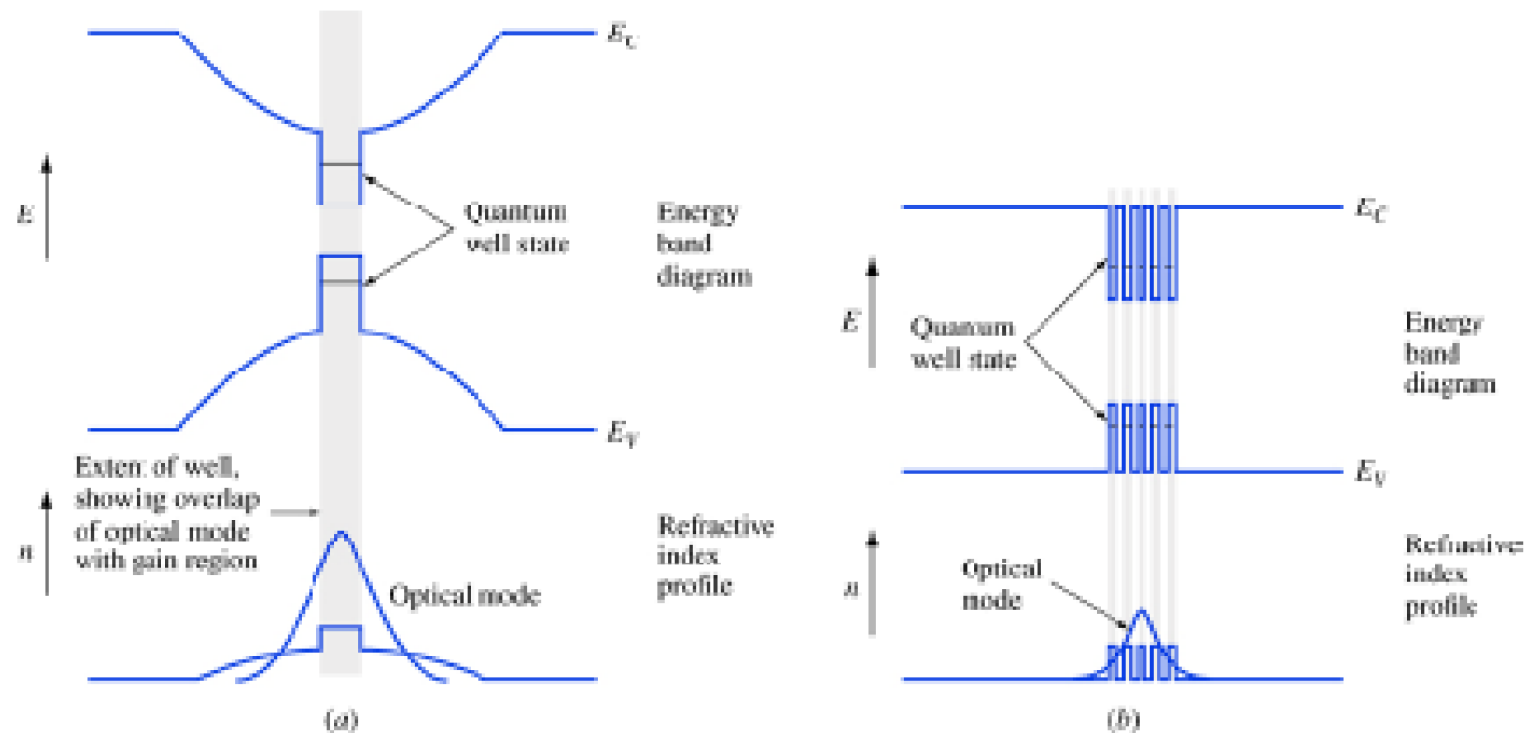
Laser nhũ h 1 ng t



MQW Laser – GRN-SCH Structure



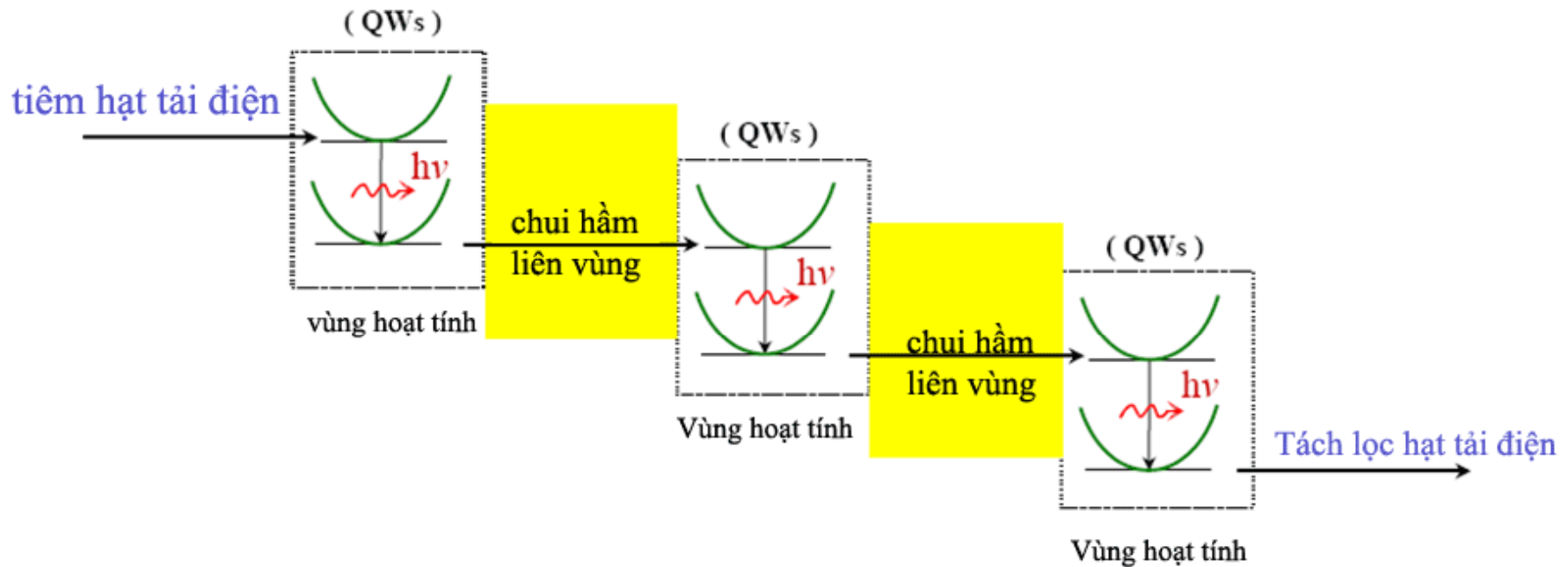
Advanced LASER Wavelength Design



(a) A GRINSCH structure helps funnel the carriers into the wells to improve the probability of recombination. Additionally, the graded refractive index helps confine the optical mode in the near-well region. Requires very precise control over layers due to grading. Almost always implemented via MBE

(b) A multiple quantum well structure has improves carrier capture. Sometimes the two are combined to give a "digitally graded" device where only two compositions are used but the well thicknesses are varied to implement an effective "index grade"

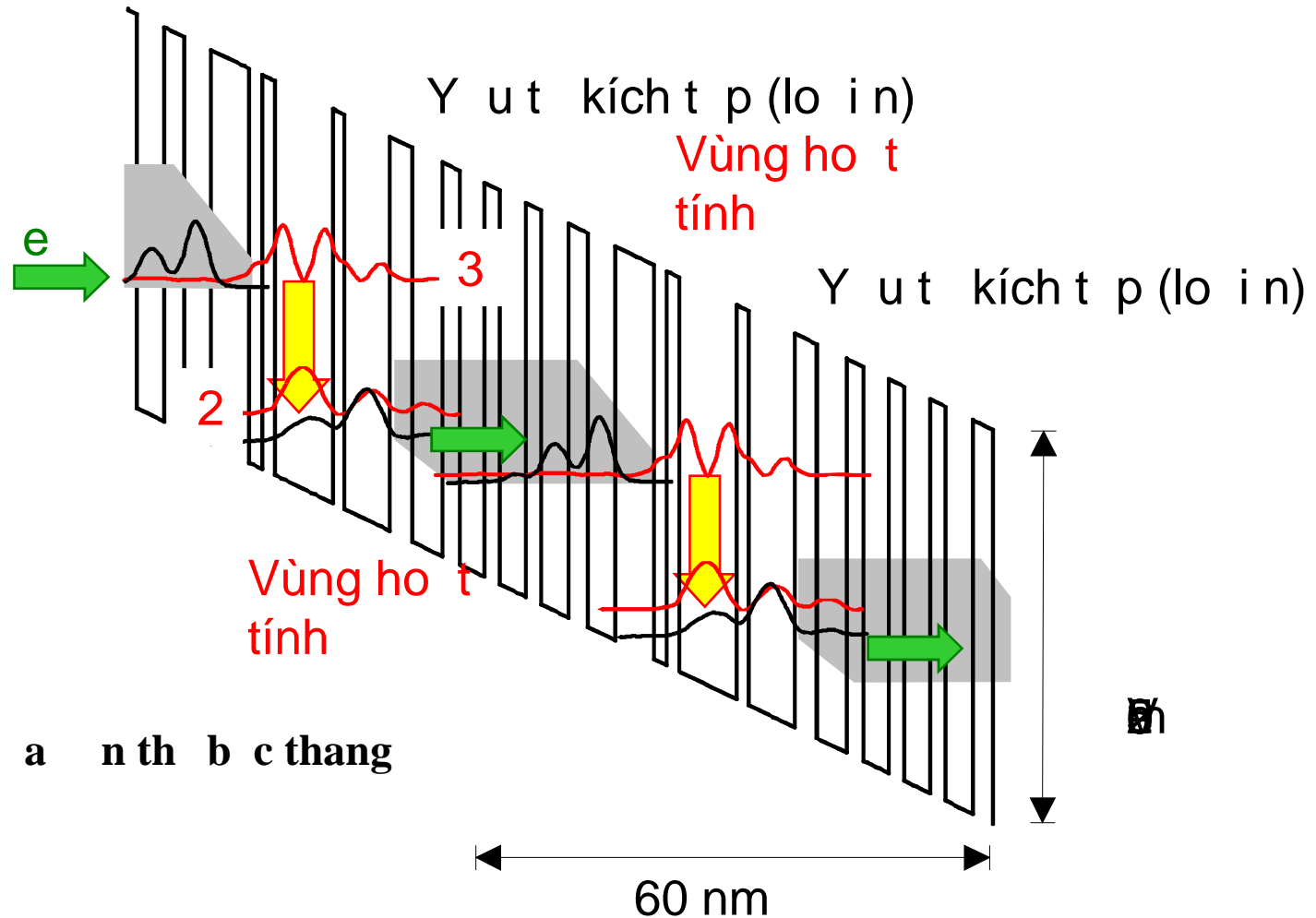
Laser giếng lượng tử xếp tầng liên vùng dưới



Xếp tầng \Rightarrow Hiệu suất lượng tử vượt hơn 100% và sử dụng điện áp phân cực hiệu quả
 \Rightarrow Hiệu suất bờ dốc cao, độ khuếch đại vi phân lớn

Tán xạ photon nhanh \Rightarrow mật độ dòng ngưỡng tương đối cao (thông thường $>1 \text{ kA/cm}^2$)

QC lasers



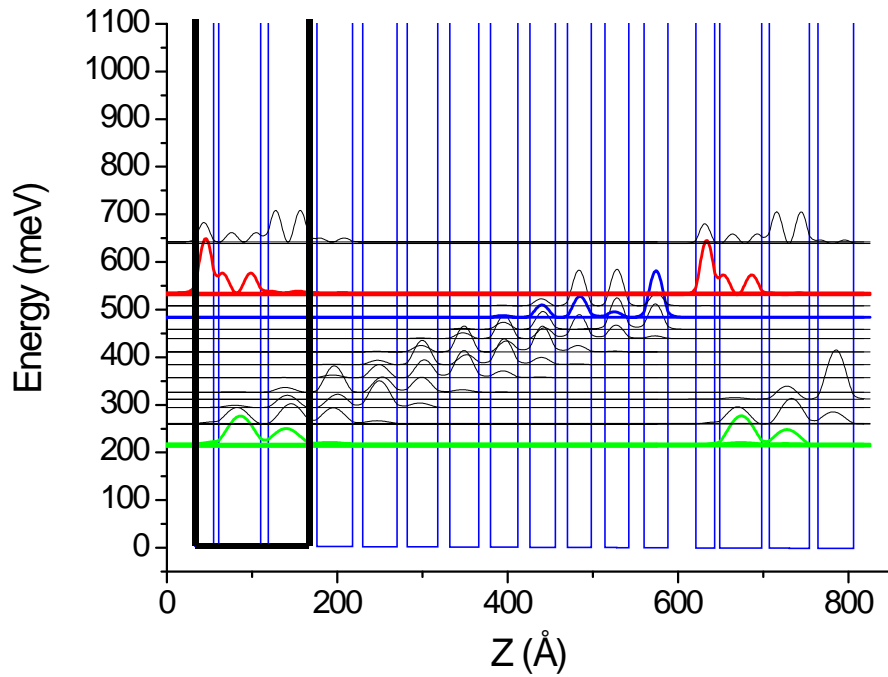
T h r n g c a n t h b c t h a n g

- i u k h i n t h i g i a n s n g b n g: phonon, h i u n g c h u i h m; c n t $32 > t2$

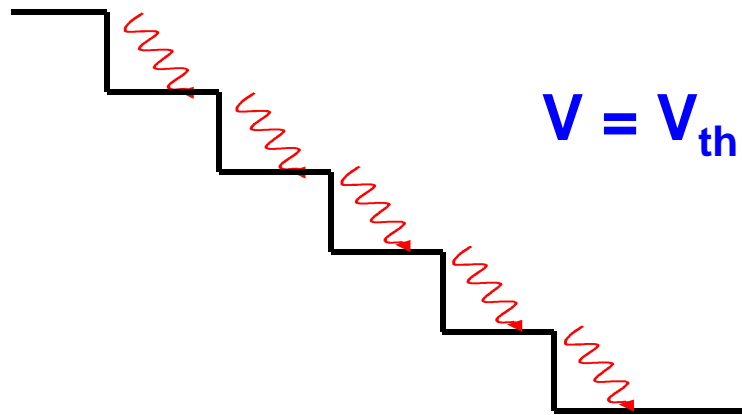
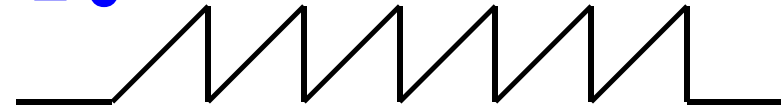
$$E_{21} = E_{\text{phonon}}$$

$$k_{w,j} l_{w,j} + k_{b,j} l_{b,j} = \pi$$

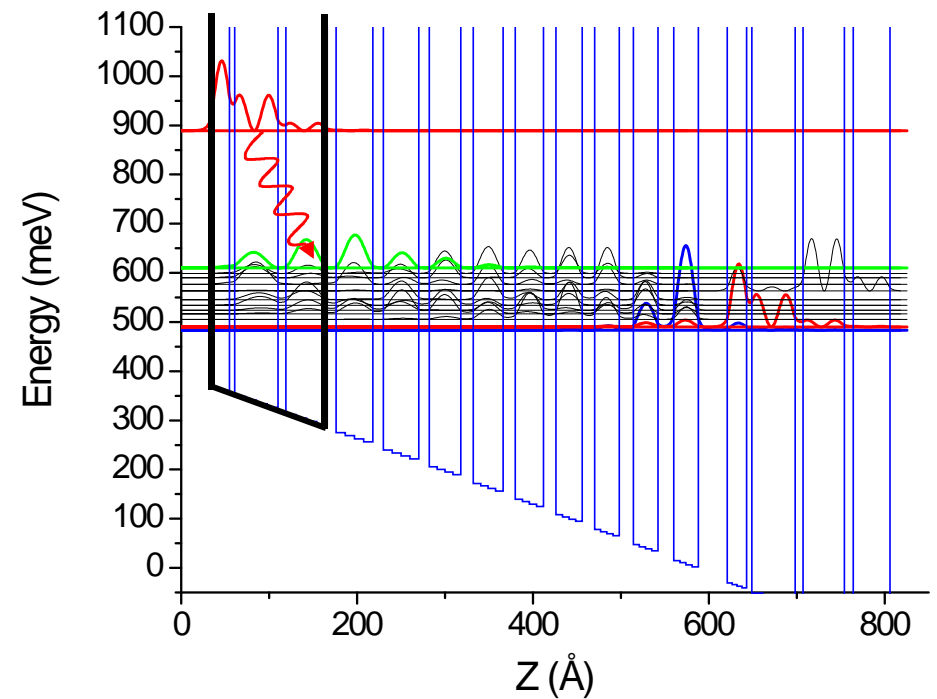
From sawtooth to staircase potential



$V = 0$

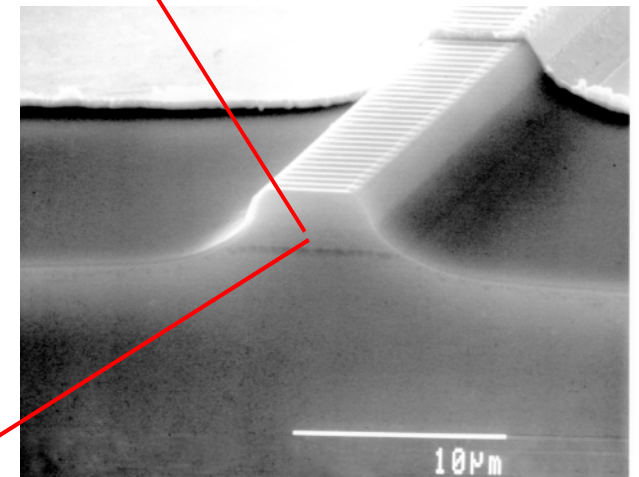
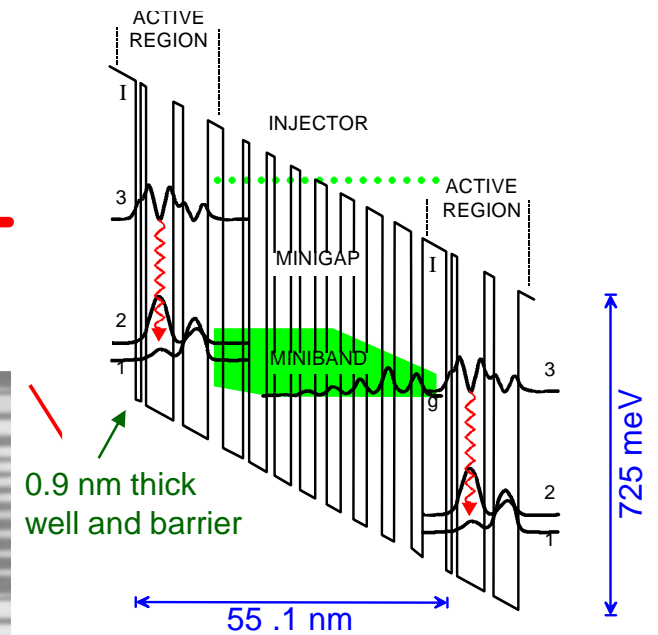
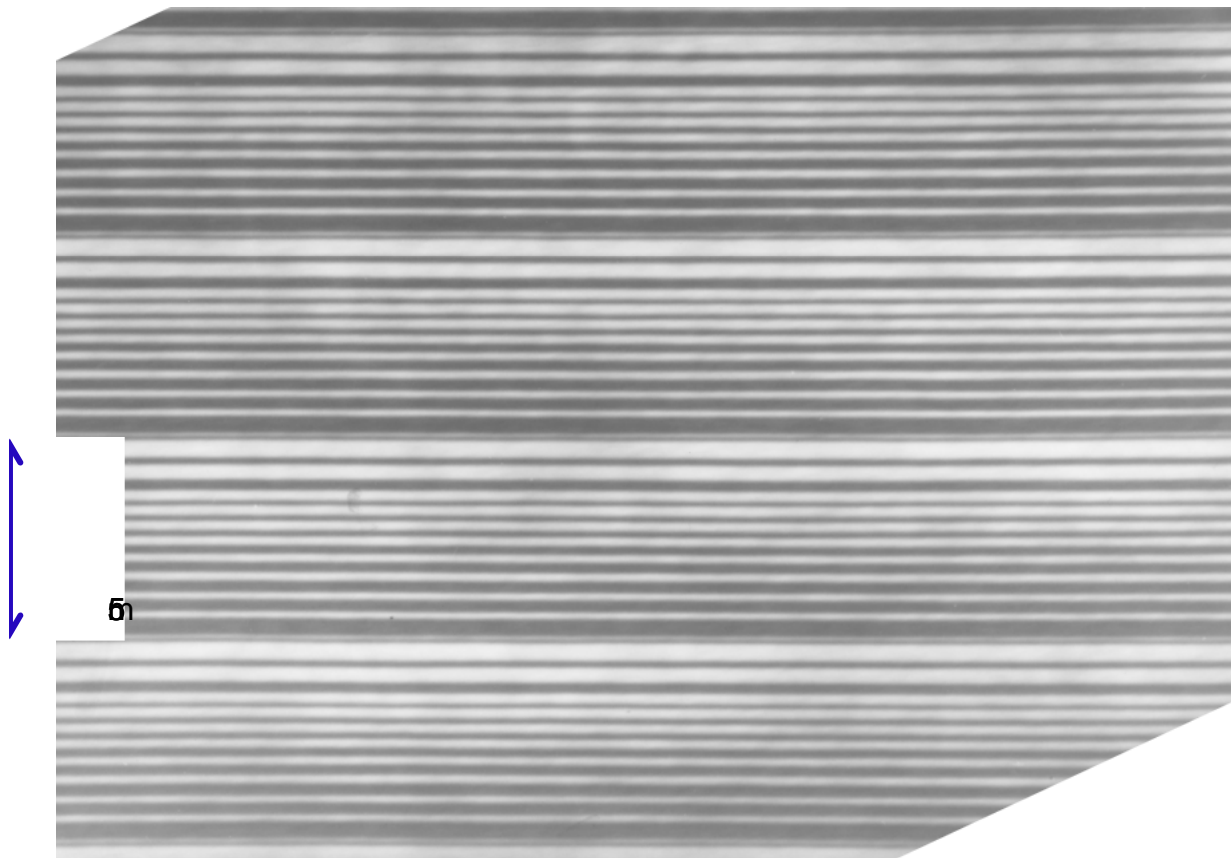


$V = V_{th}$

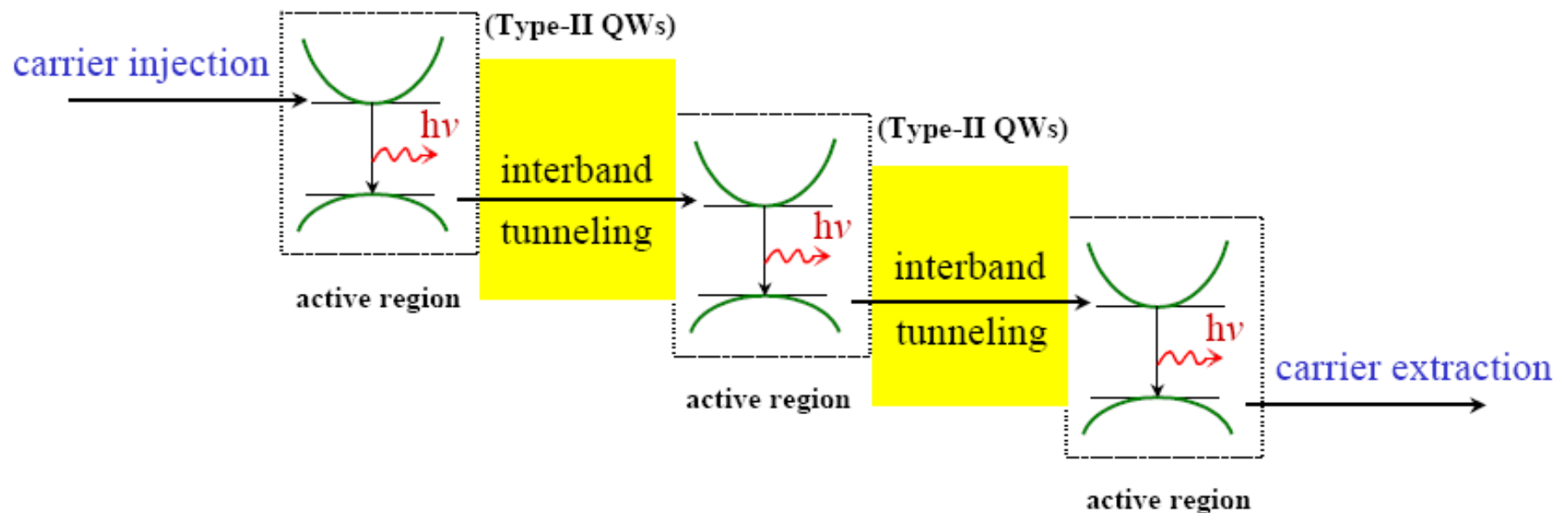


Phương pháp chế tạo: MBE hoặc MOCVD

nh TEM / SEM

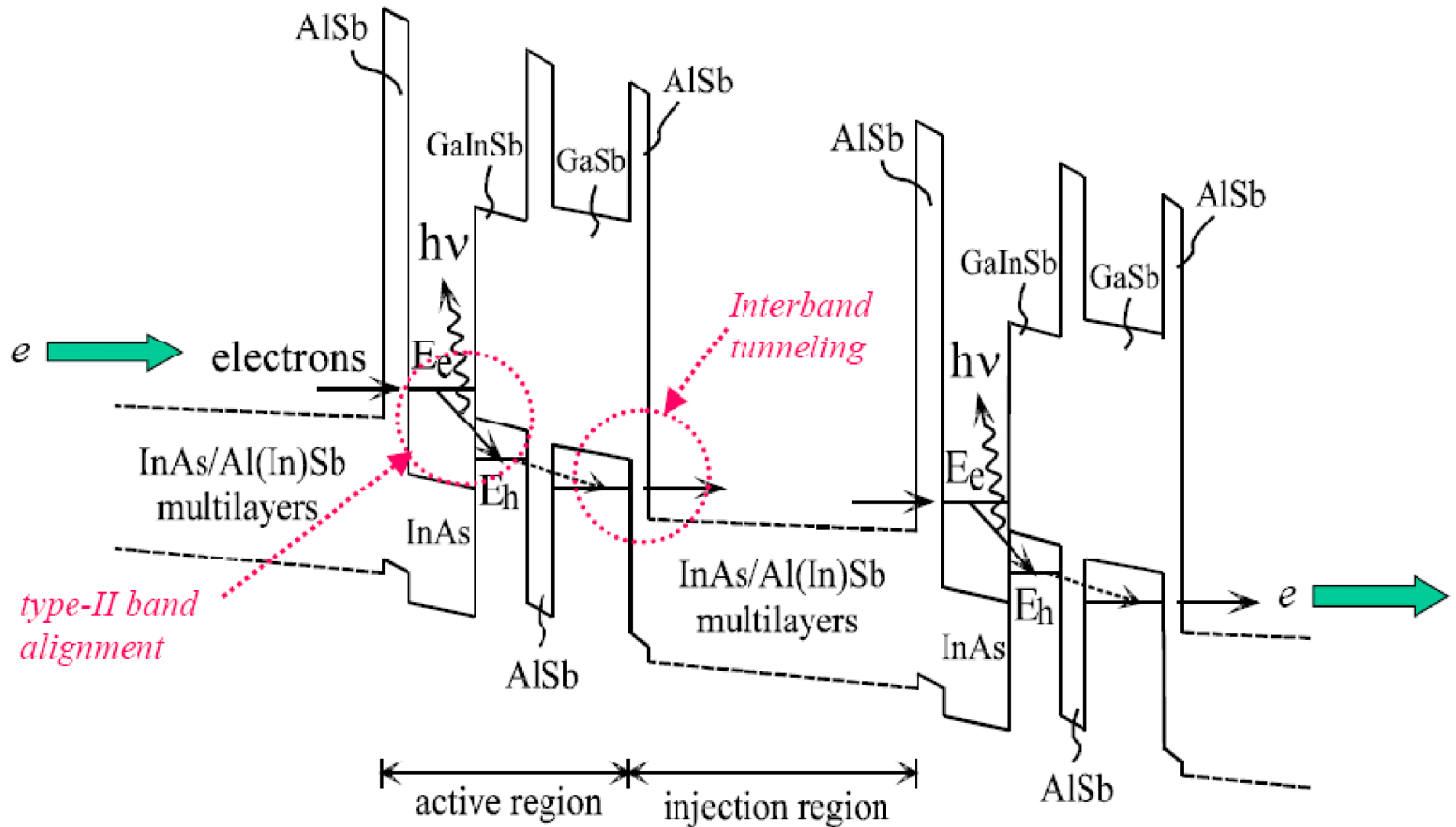


Type-II Interband Cascade Lasers



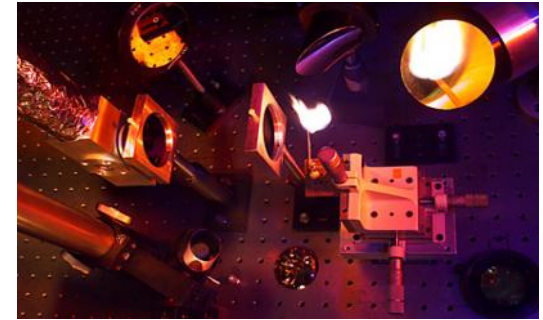
low threshold current, high efficiency, high output power

Type-II Interband Cascade Design -- An Example



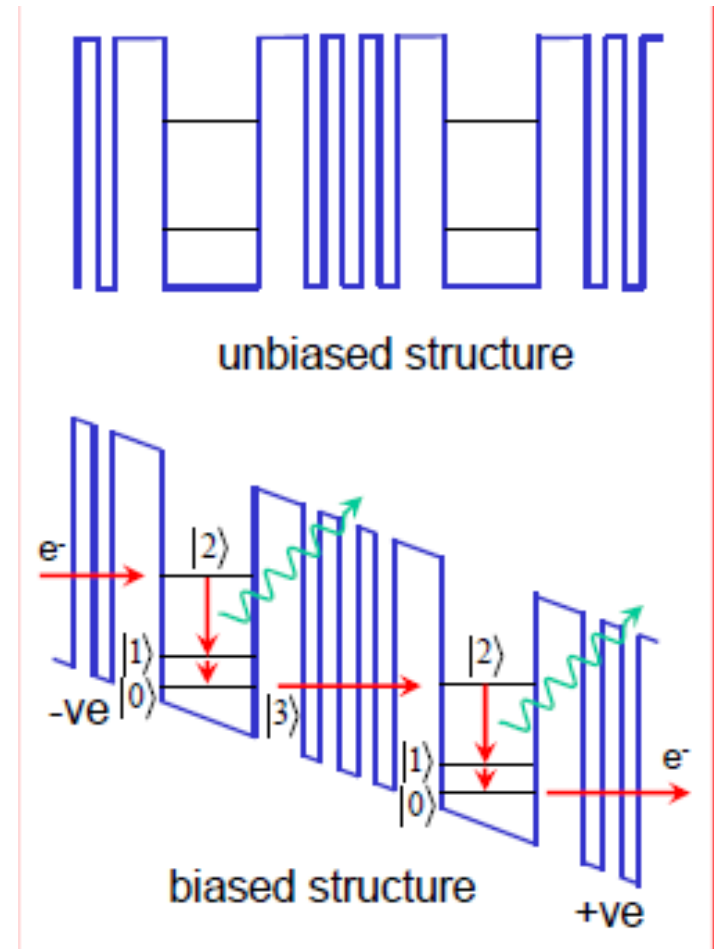
Điều gì làm cho QC-laser trở nên đặc biệt?

- Sản phẩm trong vi mạch bán dẫn phát ra
 - Dây lập quy trình bán dẫn phát ra
- Ứng dụng trong cảm biến khí học ngoại trung/ xa
- Công suất quang học cao $\sim 1W$, hoạt động ở nhiệt độ phòng
 - Electron có dòng điện ngược
- Quá trình ngắn gọn và chi phí thấp
 - Không có các dao động nhiệt
- Phân cực ngang thu nhận hiệu suất cao trong ghép ánh sáng mặt phẳng
 - Vì laser
- Hệ thống có thể tích hợp vào chip



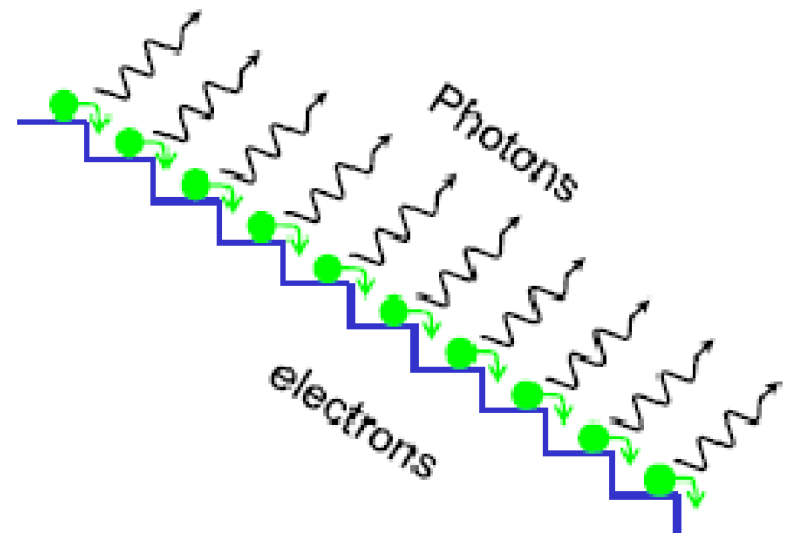
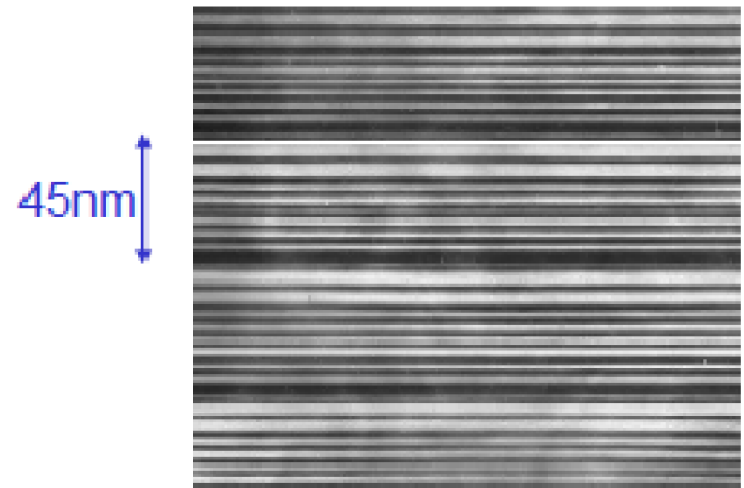
Laser gi ng l ng t t ng b c

- a s bán d n ch a ti p xúc p-n phân c c thu n n i mà electron s tái h p v i l tr ng phát ra b c x .
- Tuy nhiên, QC laser ho t ng theo c ch chuy n d ch liên vùng d i trong gi ng l ng t .
- Khó kh n là b m cho h th ng, v n này c gi i quy t b ng cách phân c c i n cho c u trúc cho phép electron chui h m t gi ng này n gi ng ti p theo.
- ây là laser 4 m c v i m c th p nh t c a gi ng này là m c cao nh t c a gi ng ti p theo.
- Chuy n d ch gi a nh ng m c 1 và 0 có s tham gia c a phonon – làm cho quá trình này nhanh h n nhi u so v i d ch chuy n gi a m c 1 và 2.



QC Laser

- Loại laser bán dẫn mini – c phát minh tại phòng thí nghiệm Bell vào năm 1994.
- Cấu trúc bán dẫn- m t chu i các giếng lượng tử và hàng rào. Có thể giảm từ 80 đến 800 l p riêng r .
- Trong mỗi chu i, nh ng electron thực hiện chuyển động giữa nh ng vùng d i c a giếng lượng tử , phát ra m t photon.
- Với 80 hoặc hơn 8 giếng lượng tử mini electron phát ra 80 photon – hiệu suất cao – trong laser bán dẫn thế hệ mini electron chỉ gây ra m t s phát xạ photon.
- B ắc sóng 3-27 m (h ồng ngoại i) công suất lên đến 1W (ho t năng ch xung) t i nhi t phòng.

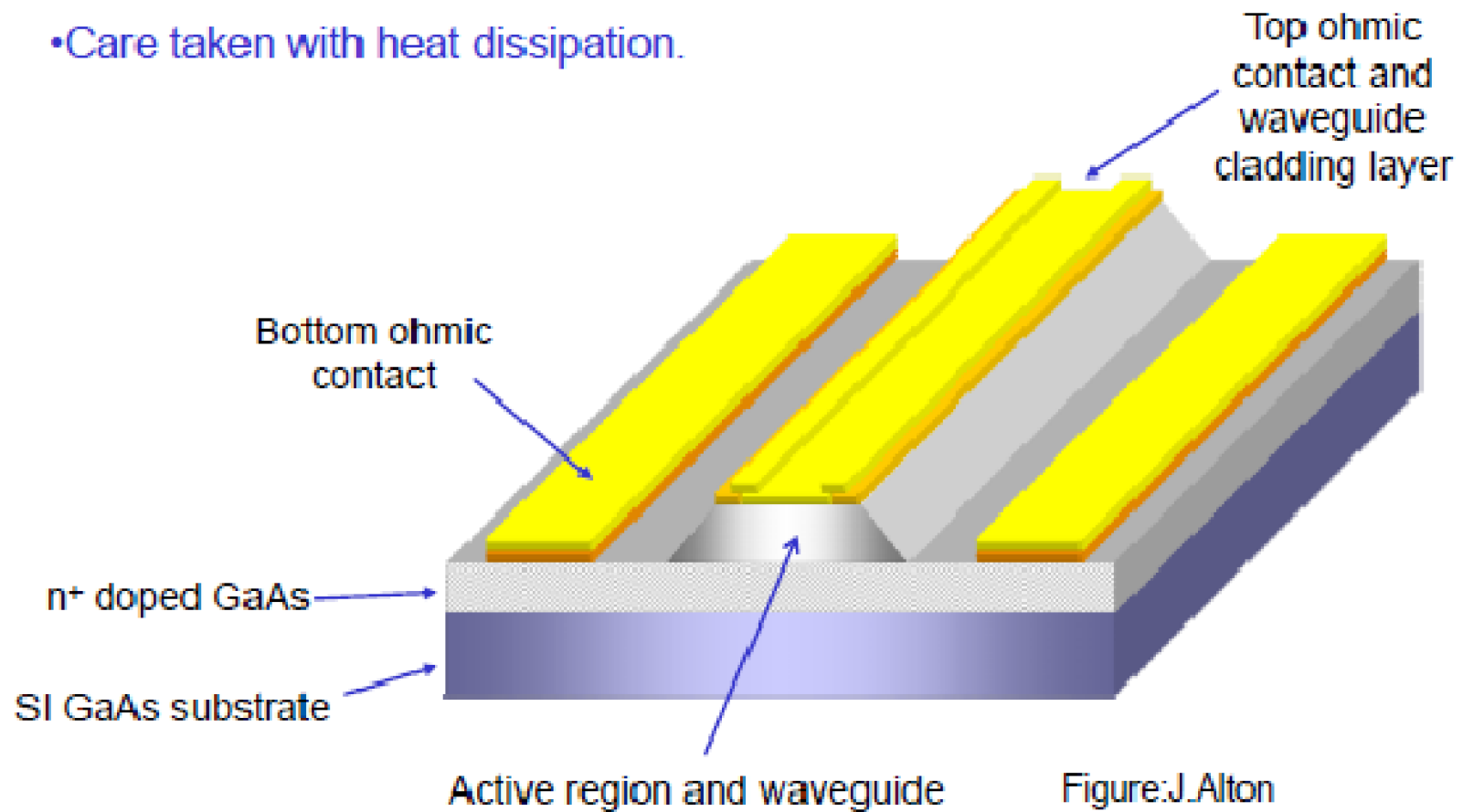


Laser l ng t t ng b c THz

- K t n m 2002 quá trình phát tri n nhanh c a laser l ng t t ng b c t n s Thz - b c sóng lên n $150\mu\text{m}$
- C u trúc gi ng l ng t GaAs/AlGaAs – s chia tách m c n ng l ng c i u ch nh b ng r ng gi ng l ng t .
- i u ch nh r ng hàng rào và th i gian chui h m cho phép i u khi n chính xác th i gian s ng c a tr ng thái – cho phép o l n m t
- C u trúc gi ng l ng t c l p l i 100 l n – 1 electron qua thi t b t o ra 100 photon –hi u su t cao.

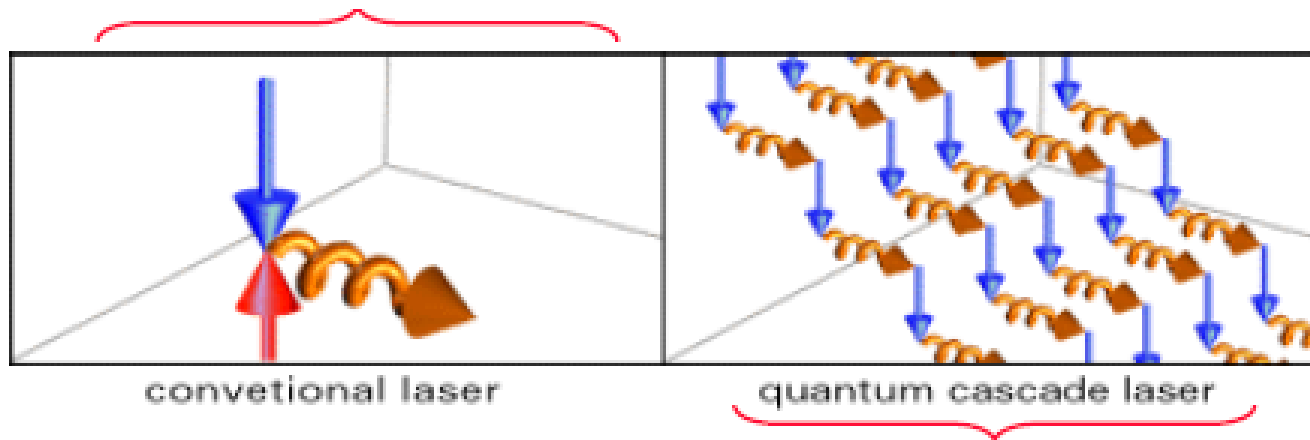
THz Qc laser

- Ohmic contacts made to top and bottom of device.
- Care taken with heat dissipation.



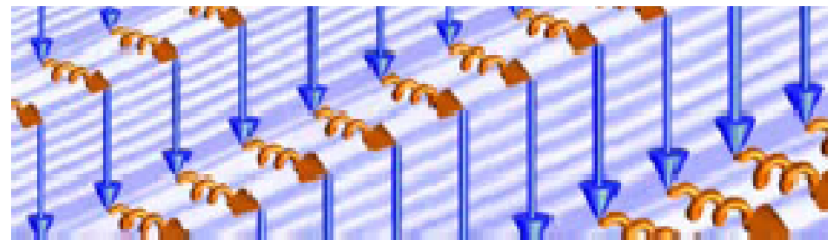
QC Laser và laser thông thường

- Một cặp electron – lỗ trống khi tái hợp sẽ phát ra một bức xạ
- Sẽ tham gia cascade electron và lỗ trống: thì tiếp tục
- Bức xạ có cường độ khi biến đổi vùng cấm của vật liệu
- Một electron có thể phát nhiều photon (~10)
- Đó là thì tiếp tục
- Bức xạ được thu vào trong gương phản xạ (thì tiếp tục)
- Năng lượng được thu vào sẽ ghép
- Có thể tới tens THz (không thể của laser thông thường)
- Lý tưởng cho việc phát hiện, theo dõi ô nhiễm hóa học v.v....



Laser gi ng l ng t t ng b c (QC)

- QC Laser đ a trên chuy n d ch n i vùng (liên vùng d i) c a electron bên trong m t gi ng l ng t .
- Không gi ng các thi t b bán d n phát quang khác, b c sóng phát ra không ph thu c vào r ng vùng c m mà ph thu c vào dày c a các l p thành ph n.
- Ý t ng c kh i x ng t 1971, do Kazarinov và Suris (Ioffe) ã th a nh n s o l n m t b ng cách phun dòng chui h m.
- N m 1994, Faist và Capasso (Bell) in 1994 ã ch t o QC laser u tiên.



Ref: Lucent-web

Single Mode Lasers

Approaches to single mode lasers

- Reduce L so that $\Delta\lambda$ is greater than width of gain spectrum VCSEL
- Make α_m a strong function of λ DFB and DBR
- Make width of gain spectrum narrow quantum dot or gas lasers

