

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

BÁN DẪN & MÁY PHÁT
LƯỢNG TỬ

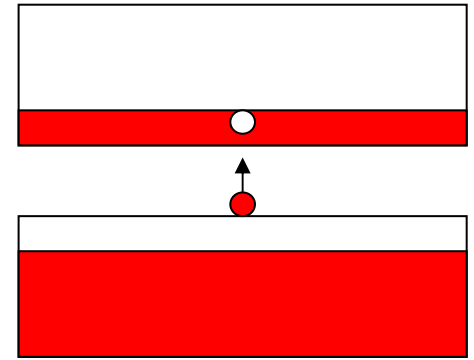
1. DẪN ĐIỆN CỦA TÍNH THỂ BÁN DẪN

Vùng năng lượng:
Si 4 điện tử hoá trị

$$n_i = p_i \sim e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$



$T=0K$

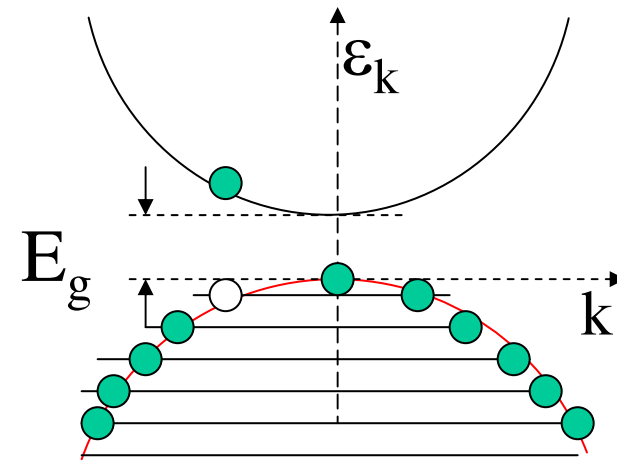


$k_B T > E_g$

Lỗ: Trạng thái trống trong vùng hoá trị điền đầy gần hết:

$$m_h = -m_e; \vec{v}_h = \vec{v}_e;$$

$$\varepsilon_h = -\varepsilon_e; \vec{k}_h = -\vec{k}_e; e_h > 0$$

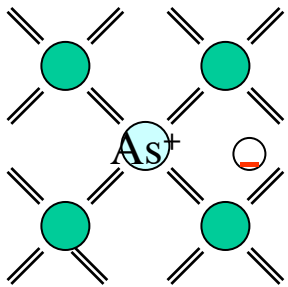


2. BÁN DẪN TẠP CHẤT

Liên kết đồng hoá trị

*1 nguyên tử dùng chung 8 điện tử hoá trị với 4 nguyên tử khác:
Si, Ge, C mạng kim cương*

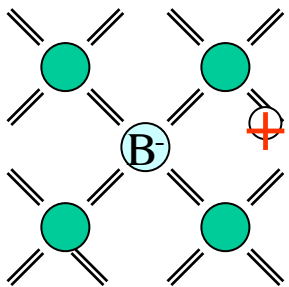
$$n = N_d^{1/2} e^{-\frac{E_d}{2kT}}$$



Tạp thuộc nhóm 5:
P, As, Sb



V Hoá trị



Tạp thuộc nhóm 3:
B, Al, Ga, In



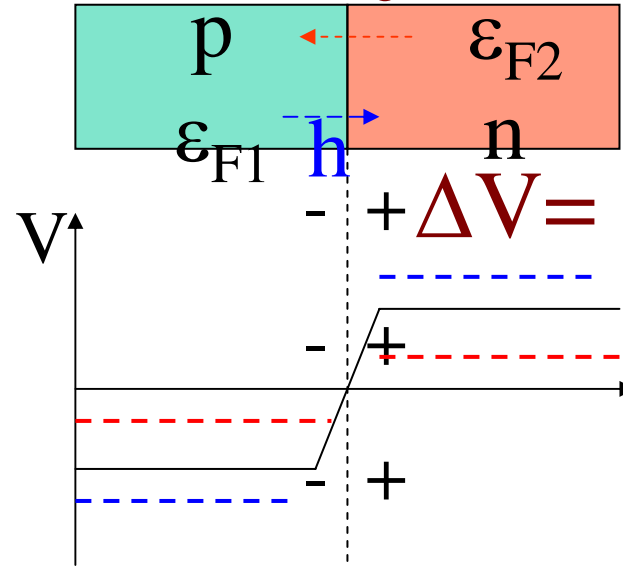
V Hoá trị

$$p = N_a^{1/2} e^{-\frac{E_a}{2kT}}$$

3. CHUYỂN TIẾP p-n_e

Dòng phát sinh có J_{ng} của điện tử từ n \rightarrow p tái hợp với lỗ

\rightarrow Dòng tái hợp có J_{nr}



$$+\Delta V = (\epsilon_{F2} - \epsilon_{F1})/e$$

$$J_{ng} + J_{nr} = 0$$

$$J_{nr}(V_{ngh}) = J_{nr}(0) \cdot \exp(-e|V|/k_B T)$$

$$J_{ng}(V_{ngh}) = J_{ng}(0) \cdot \exp(e|V|/k_B T)$$

$$J_{ng} + J_{nr} \neq 0$$

Thế nghịch: p(-) n(+)

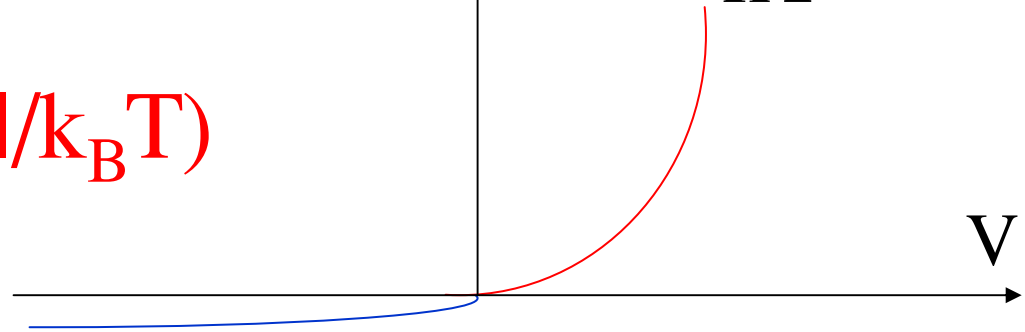
Thế thuận: p(+) n(-)

$$J_{nr}(V_{th}) = J_{nr}(0) \cdot \exp(e|V|/k_B T)$$

$$J_{ng}(V_{th}) = J_{ng}(0)$$

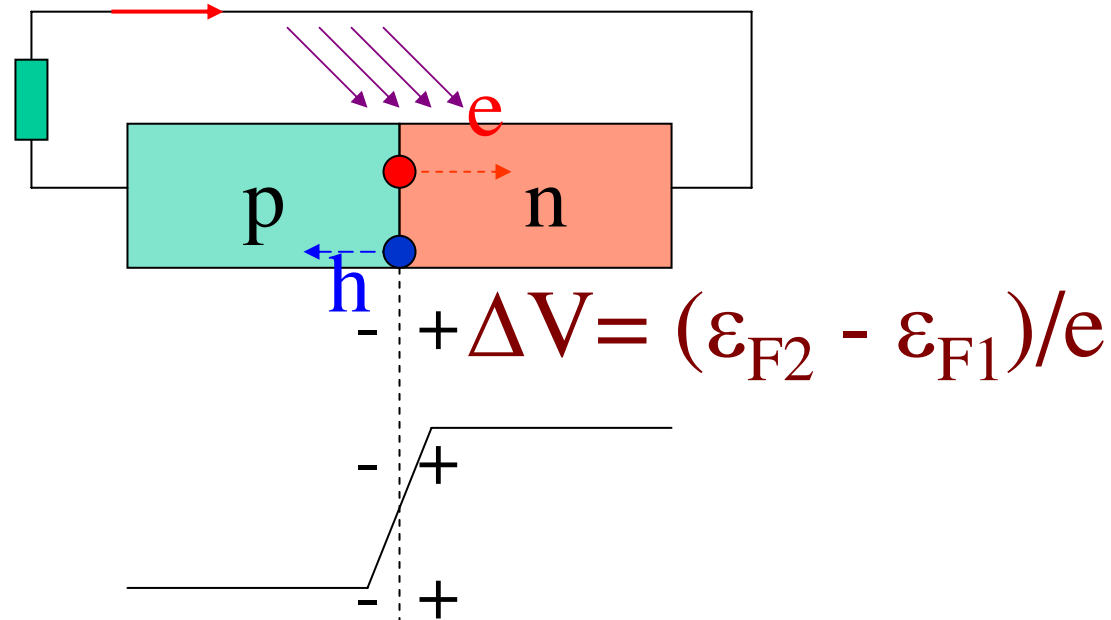
$$J_{ng} + J_{nr} \neq 0$$

$$I = I_0 \cdot [\exp(\frac{eV}{kT}) - 1]$$



Hiệu ứng chỉnh lưu

PIN MẶT TRỜI



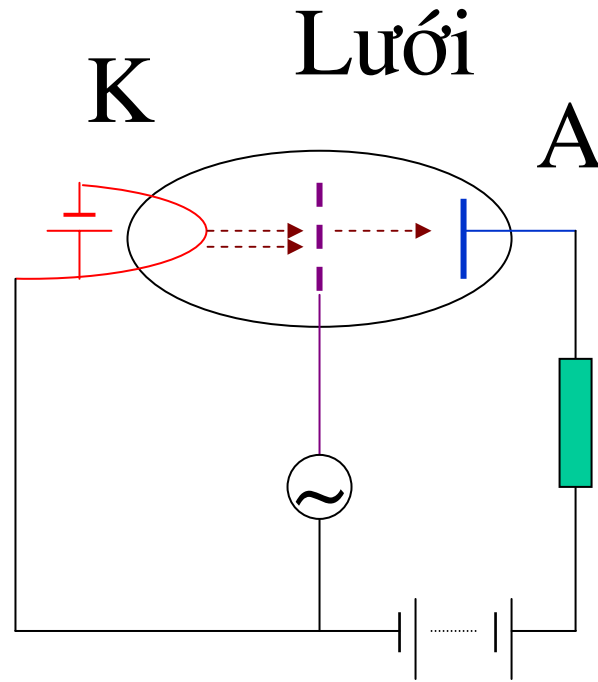
Chiếu ánh sáng phù hợp lên chuyển tiếp p-n
Lỗ (h) và điện tử (e) sinh ra.

Lỗ bị đẩy về bên trái (thế âm)

Điện tử bị đẩy về bên phải (thế dương)

=> Dòng quang điện => Pin mặt trời

ĐÈN ĐIỆN TỬ 3 CỰC



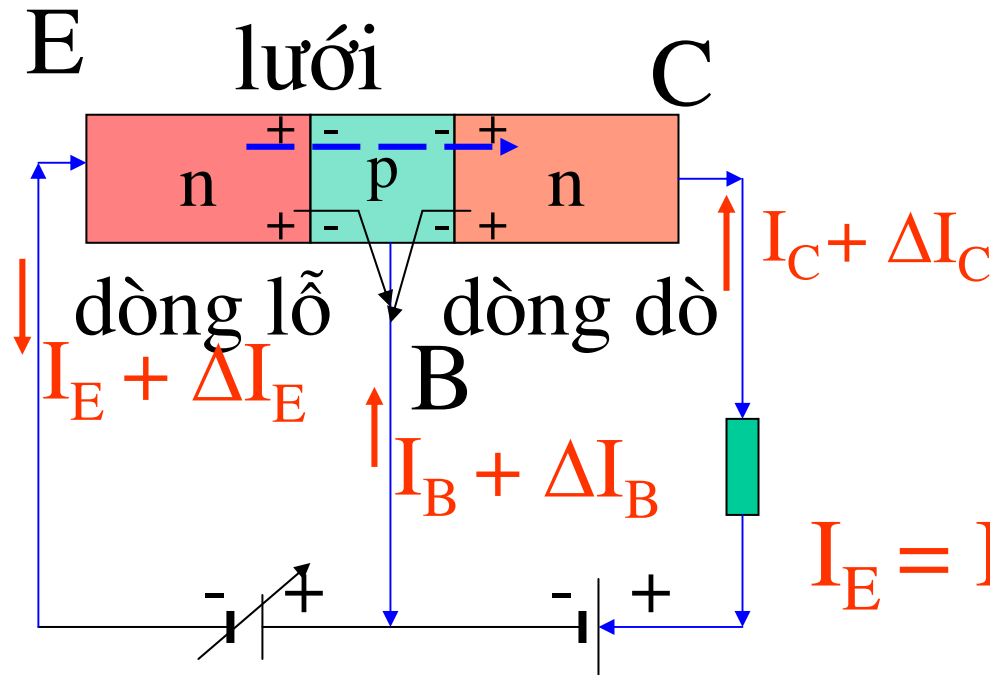
Điện áp trên lưới thay đổi ít

-> số điện tử từ K->A thay đổi mạnh

-> dòng qua điện trở thay đổi mạnh

4. TRANSISTOR

dòng điện tử



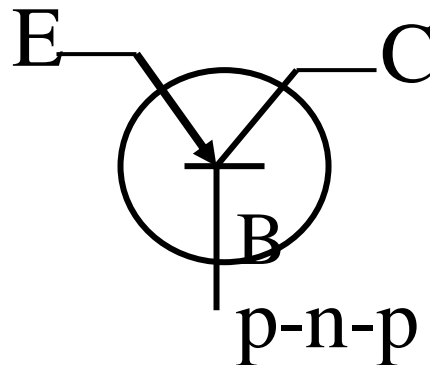
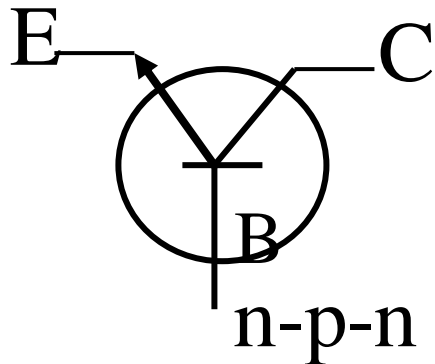
$$\Delta U_{BE} \implies \Delta I_B$$

$$\implies \Delta I_E \dashrightarrow \Delta I_C$$

$$I_E = I_B + I_C \text{ với } I_B \ll I_C$$

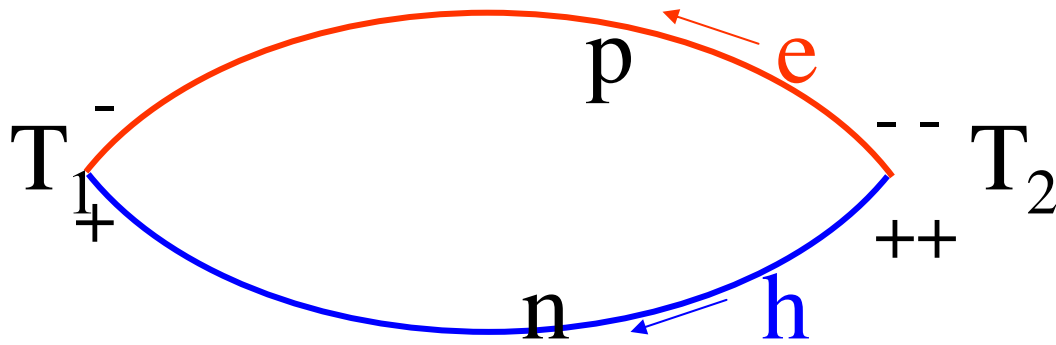
$$U_{BE} + \Delta U_{BE} \quad U_{BC} + \Delta U_{BC}$$

Hệ số khuếch đại dòng



$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

5. HIỆU ỨNG NHIỆT ĐIỆN



$$T_1 < T_2$$

e và h khuếch tán
sang phía bên kia
phụ thuộc vào
nhiệt độ

Sự xuất hiện Suất điện động do chênh lệch nhiệt độ gọi là hiện tượng nhiệt điện

6. LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

6.1. *Phát xạ tự nhiên*: Độc

lập với nhau, không có kết

hợp về pha, định hướng và độ kích thích

phân cực Thời gian hệ ở trạng thái kích

thích $\Delta t \sim h / \Delta E \sim 10^{-8} - 10^{-9} \text{s}$

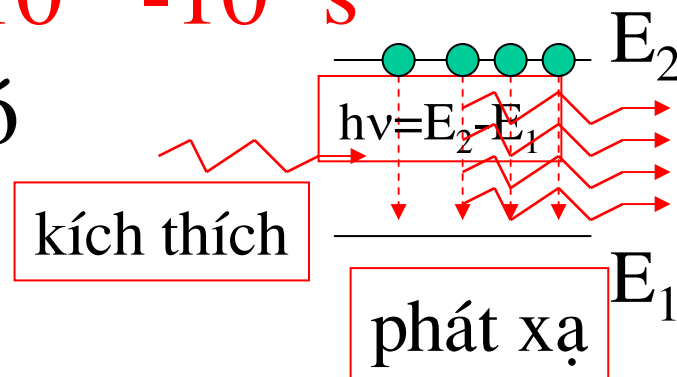
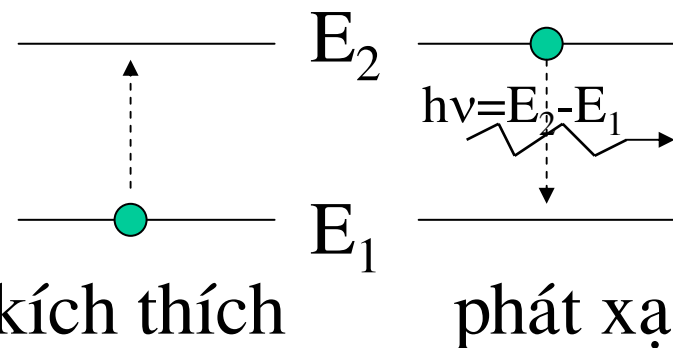
6.2. *Phát xạ cảm ứng*: Khi có

kích thích từ bên ngoài bức

xạ cảm ứng có cùng hướng,

cùng tần số, độ phân cực,

kết hợp triệt để giữa phát xạ và kích thích



6.3. TRẠNG THÁI HỆ

Nguyên tử = hạt; Mức năng lượng $E_2 > E_1$. N-tổng số hạt của hệ

$$N_1 \sim e^{-\frac{E_1}{kT}} \quad N_2 \sim e^{-\frac{E_2}{kT}}$$

Xác suất hấp thụ

$$P_1 \sim N_1 \sim e^{-\frac{E_1}{kT}}$$

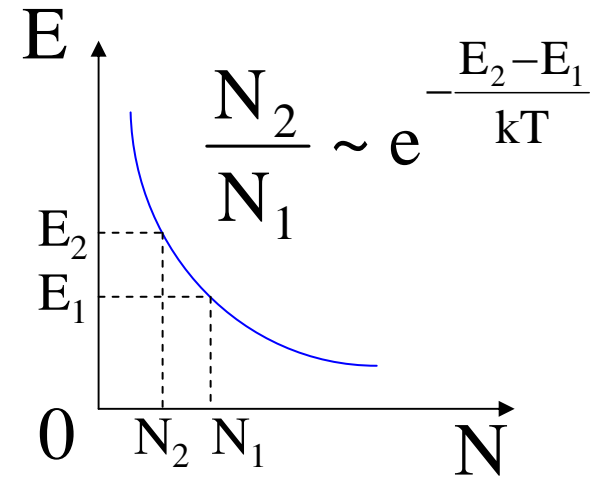
Xác suất phát xạ từ mức E_2

$$P_2 \sim N_2 \sim e^{-\frac{E_2}{kT}}$$

Tại $T=300\text{K}$, $\nu = 3 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ tức $\lambda = 10^{-6}\text{m}$ thì

$$P_2/P_1 = e^{-48} \ll 1$$

Muốn $P_1 = P_2$ (phát xạ cảm ứng = hấp thụ cảm ứng) thì $T = \infty$ vì $E_2 > E_1$



6.4. TRẠNG THÁI ĐẢO MẬT ĐỘ HẠT, PHÂN BỐ BOLZTMAN MỞ RỘNG

Để có phát xạ cảm ứng thì $P_2 > P_1$ hay $N_2 > N_1$

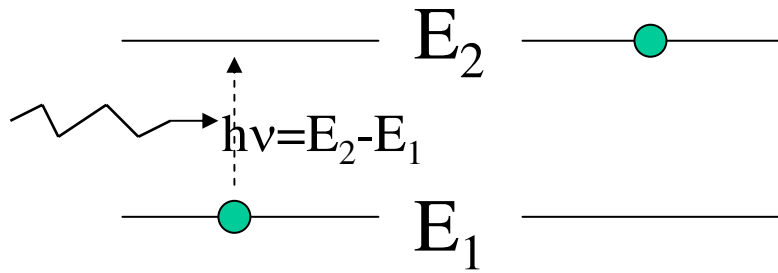
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} \quad \ln \frac{N_2}{N_1} = -\frac{E_2 - E_1}{kT} > 0$$

Nên $T < 0$

Phân bố mở rộng Boltzman $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$
 $T > 0$ cân bằng nhiệt động lực
 $T < 0$ đảo mật độ hạt

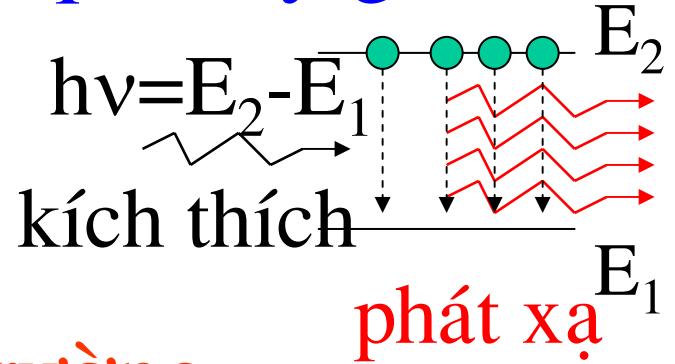
Để đảo được mật độ hạt thì trạng thái cân bằng nhiệt động bị phá vỡ

Môi trường đảo mật độ hạt là **môi trường kích hoạt**

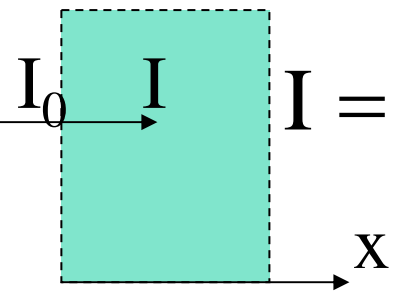


hấp thụ: bức xạ
truyền qua suy giảm

Phát xạ cảm ứng: bức xạ
truyền qua mạnh lên



Hấp thụ ánh sáng bởi môi trường

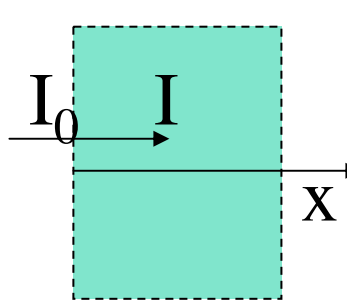


$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha' x}$$

$\alpha' > 0$ hấp thụ ánh sáng

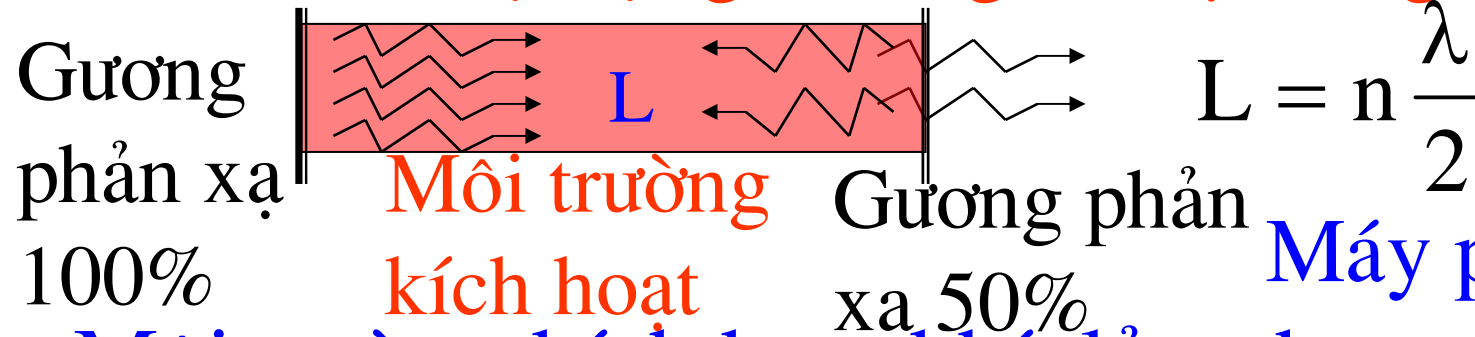
$\alpha' < 0$ cường độ ánh sáng tăng theo bề dày của môi trường. Số photon tăng thác lũ

Môi trường kích hoạt có trạng thái đảo mật độ



hạt $N_2 \gg N_1$
 $I = I_0 \cdot e^{\alpha x}$ Biểu thức cường độ bức xạ cộng hưởng

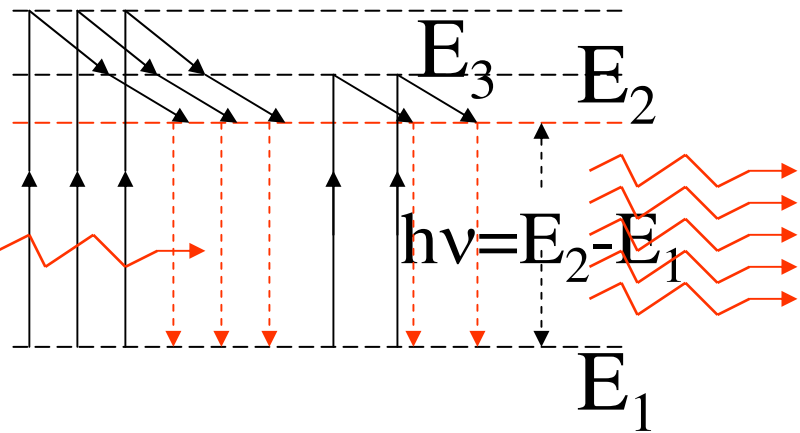
Bộ cộng hưởng - Hiệu ứng Laser



Máy phát Laser:

- Môi trường kích hoạt khí, lỏng hoặc rắn
- Cơ chế bơm năng lượng cung cấp cho môi trường
- Bộ cộng hưởng khuếch đại chùm bức xạ truyền qua

6.5. CƠ CHẾ BƠM - PHÁT XẠ CỘNG HƯỞNG

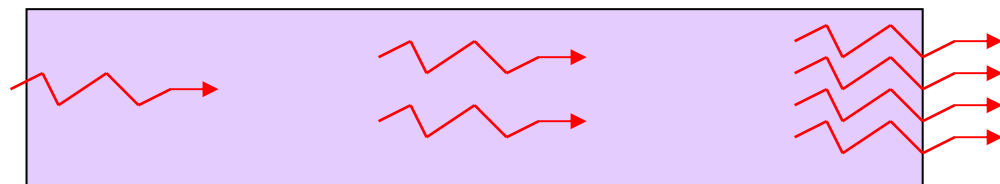


bơm lên mức E_3, E_4 bằng các phương pháp: Chiếu chùm ánh sáng mạnh vào MT rắn, lỏng; Phóng điện trong khí, bán dẫn

Phát xạ cộng hưởng: Laser phát ra

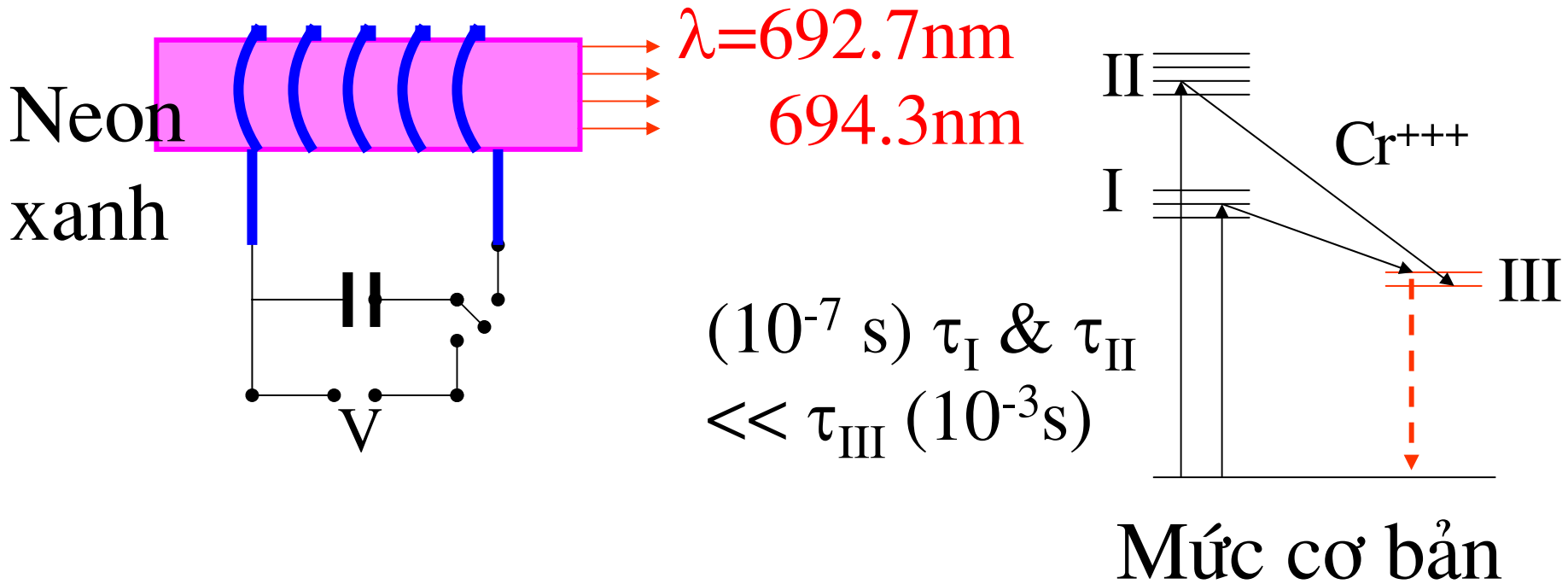
Thời gian sống ở mức E_3, E_4 cỡ $10^{-8}-10^{-9}s$ và nhảy xuống mức $E_2 \rightarrow$ môi trường ở trạng thái đảo mật độ $N_2 \gg N_1$.

Thời gian sống ở mức E_2 cỡ $10^{-3}s$ và nhảy xuống mức E_1 khi có kích thích



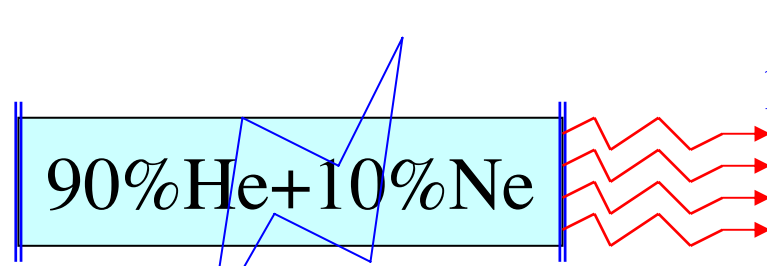
6.6. LASER HỒNG NGỌC

Al_2O_3 pha tạp 0.03-0.05% Cr_2O_3



LASER xung : Khi từ trạng thái III nhảy về trạng thái cơ bản phát ra chớp sáng loé.

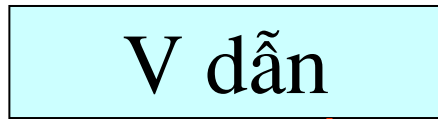
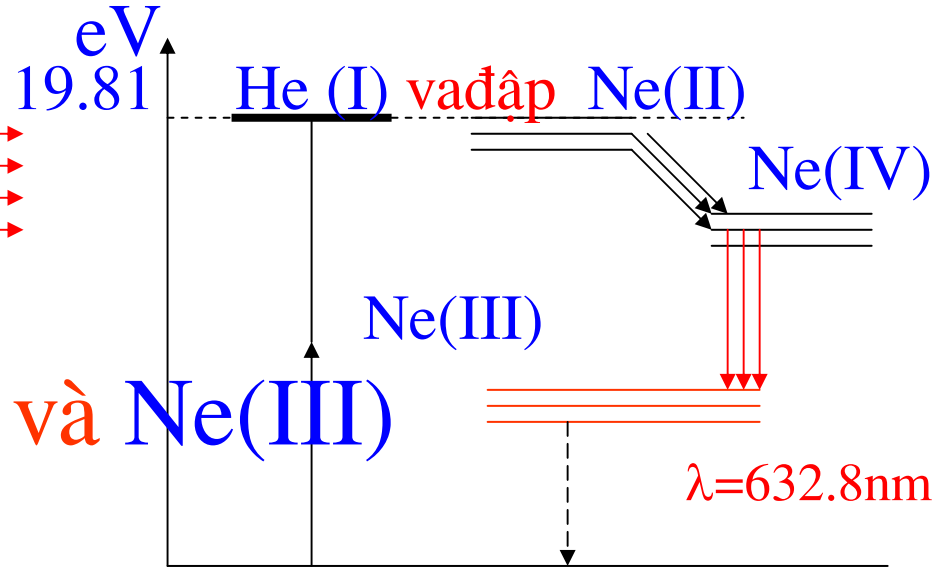
6.7. LASER Hêli-Neon



áp suất cỡ 1.1mmHg

Đảm mật độ giữa Ne(IV) và Ne(III)

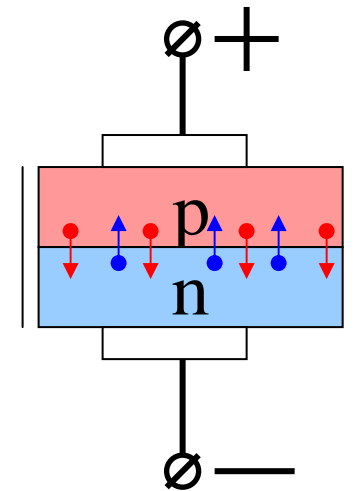
LASER bán dẫn



mức donor E_2

$$h\nu = E_n - E_h$$

mức Acceptor E_1



Đảm mật độ giữa vùng hoá trị và vùng dẫn

6.8. CÁC TÍNH CHẤT ƯU VIỆT CỦA LASER

1. Tính **định hướng** cao: ở nhiệt độ phòng độ mở 0.01°
2. Tính **kết hợp** cao: Hiệu pha trong khoảng hai thời điểm luôn không đổi, độ đơn sắc cao $\Delta\lambda \sim (10^{-18} - 10^{-20})\text{m}$. $\Delta\nu/\nu \sim 10^{-15}$
3. Tính **kết hợp không gian** cao: trong khoảng cách $\Delta L = 100\text{km}$ giữa hai điểm hiệu pha không đổi. Cường độ ánh sáng cực lớn $E \sim 10^7\text{V/m}$ công suất đạt 10^{12}W .
4. Hiệu suất: Heli-Neon 1%, $\text{CO}_2\text{-N}$ đạt 10-20%, Bán dẫn 40-100%
5. Bức xạ **cường độ cao ở chế độ liên tục**,

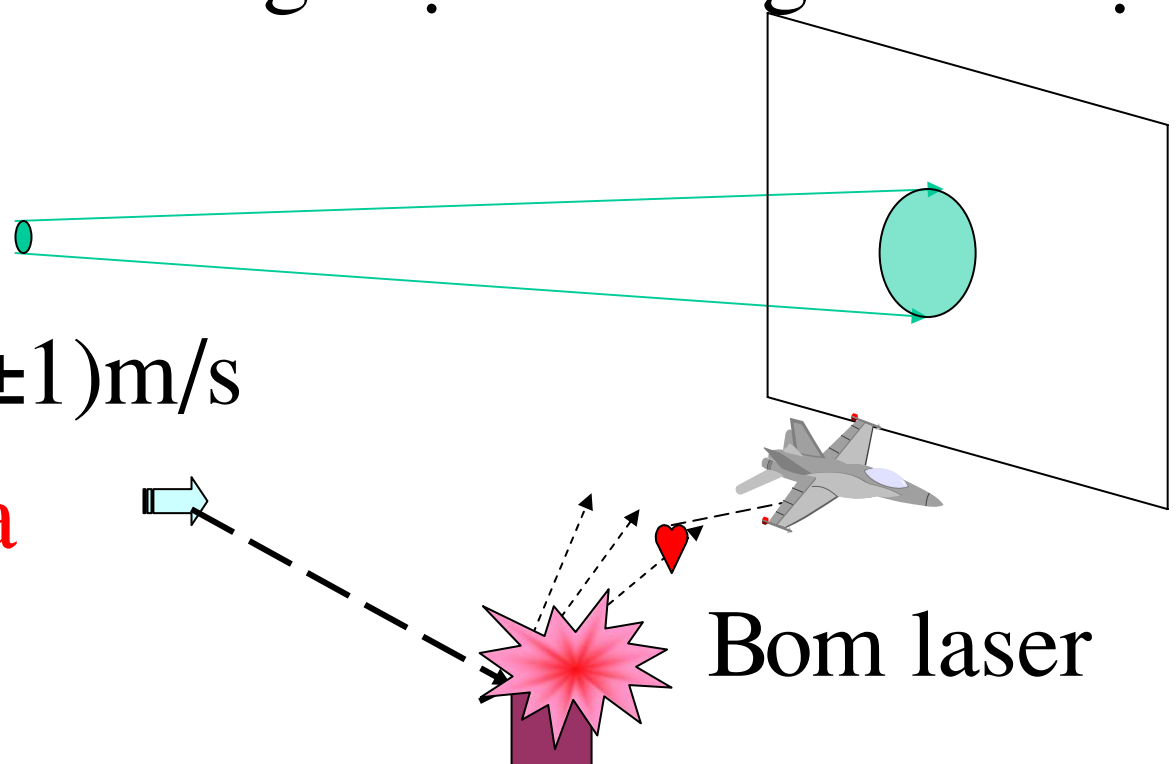
Điều biên **AM**, Điều tần **FM**, Chế độ xung **cực ngắn** $6.10^{-15}s$ (femtosecond)

6.9. ỨNG DỤNG CỦA LASER

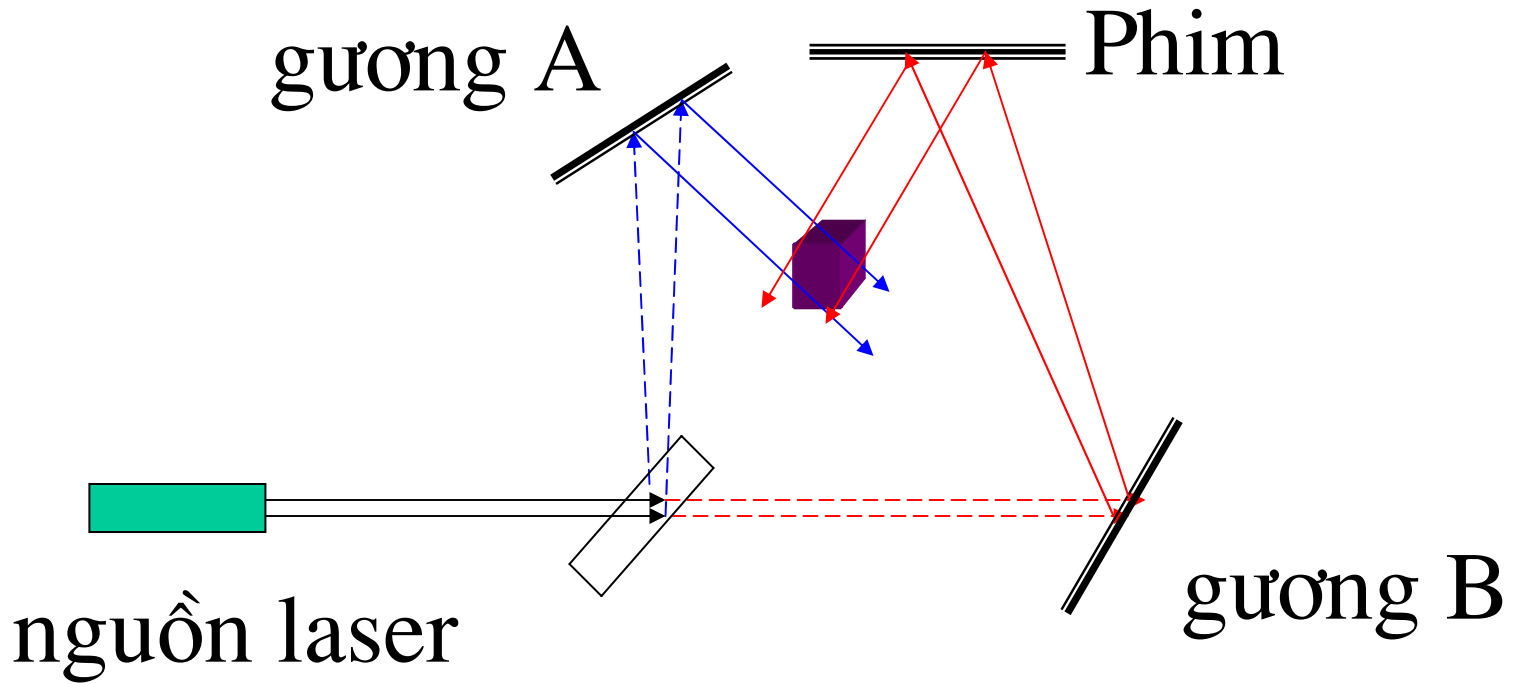
a, Trong kỹ thuật đo lường chính xác, in chụp và tạo ảnh: ảnh **vết sáng** trên mặt trắng của tia laser nhỏ hơn của vết do sóng điện từ cùng điều kiện 5000 lần

$$c=(299792458\pm 1)m/s$$

Điều khiển từ xa



b, Tạo ảnh 3 chiều honogram



c, Kỹ thuật thông tin

- Góc mở nhỏ, tần số cao ($= 10^6$ tần số VT)-
>200 kênh TH
- Truyền lượng thông tin lớn, tốc độ cao theo cáp quang

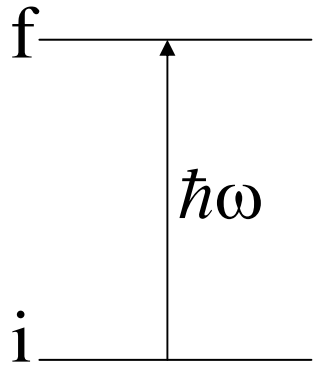
d, Cường độ lớn 10^{17}W/cm^2 : ứng dụng trong kỹ thuật gia công vật liệu, vi phẫu thuật

e, Trong các ngành khoa học kỹ thuật khác, như vật lý:

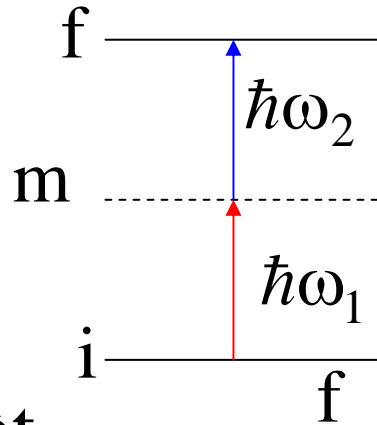
- Nhiệt độ cao: tập trung năng lượng trên λ^2

- Kích thích và chọn lọc trong phản ứng hoá học với sự tham gia của đồng vị nhất định
- Trong sinh học: chiếu rọi các tế bào cỡ micromet
- Tần số cao dùng tách các đồng vị phóng xạ

f, Quan sát sự chuyển dời nhiều photon



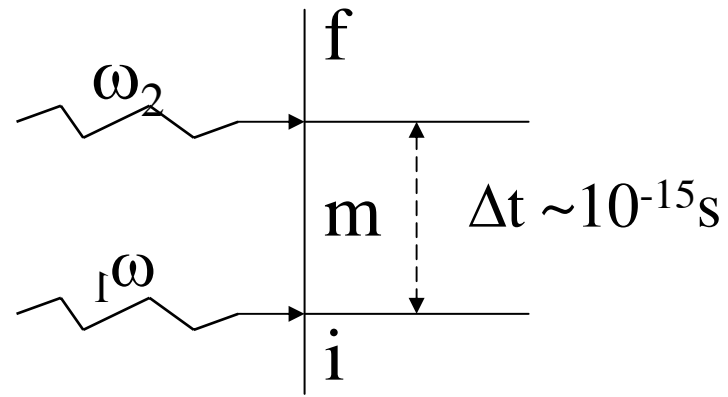
hấp thụ một photon



hấp thụ hai photon

qua trạng thái trung gian m ; $\Delta t \sim 10^{-8}s$

Photon thứ 2 kịp đến nâng lên mức f



trạng thái trung gian m

không quan sát được

photon thứ 2 đến trong khoảng $\Delta t \sim 10^{-15}s$

g, Quang học phi tuyến: Khi chiếu laser vào chất điện môi gây ra véc tơ phân cực:

$$P = \chi_1 E + \chi_2 E^2 + \chi_3 E^3 + \dots$$

có thể tạo ra tia laser có bước sóng bằng 1/2 bước sóng tia sơ cấp ứng với tia họa ba

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega t$$

$$P_x = \chi_1 E_0 \sin(\omega t - kx) + \chi_2 E_0^2 \sin^2(\omega t - kx)$$

$$P_x = \chi_1 E_0 \sin(\omega t - kx) + \frac{1}{2} \chi_2 E_0^2 + \frac{1}{2} \chi_2 E_0^2 \cos^2(2\omega t - 2kx)$$

sóng lan truyền với: tần số **bằng** tần số kích thích

Véc tơ phân cực **không đổi**

Sóng họa ba thứ 2 có tần số **gấp đôi** tần số sóng kích thích