

TÓM TẮT BÀI GIẢNG MÔN HỌC
QUANG ĐIỆN TỬ VÀ QUANG ĐIỆN
(Optoelectronic and Photoelectronic Devices)

CHƯƠNG 1 CƠ SỞ QUANG ĐIỆN TỬ

§ 1.1. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1) Tia (Ray):

- + Đường truyền của 1 tia bức xạ (beam of radiation) điện từ (invisible, ultraviolet, visible, infrared)
- + Thường được biểu diễn bởi một mũi tên hay đường thẳng, chỉ thị đường không gian mà bức xạ sẽ đi qua.
- + Chùm bức xạ phân kỳ (expanding beam) được mô tả bởi nhiều tia (ray).

2) chiết suất và phản xạ:

* Chiết xuất của môi trường: $n = c/v$ với c: vận tốc ánh sáng trong chân không; v: vận tốc truyền sóng trong môi trường đang xét.

* Góc khúc xạ: $\sin \phi = \frac{n}{n'} \sin \theta$, với n: chiết suất của môi trường chứa tia tới; n': chiết suất của môi trường khúc xạ.

* Với liquid or glass: $n = 1.3 - 1.8$

Glass: $n = 1.47 - 1.7$; thủy tinh tinh khiết (grown glass) $n = 1.51$; (thủy tinh quang học $n = 1.53$)

* Tinh thể và bán dẫn: $n > 1.8$

* Đa phản xạ nội: (multiple internal reflection): giữ hai mặt song song của một môi trường, có một số đặc trưng sau:

+ Khoảng cách tách các tia phản xạ lần một và lần 2 (2 lần liên tiếp) d phụ thuộc góc tới và chiều dày của môi trường, ví dụ : thủy tinh quang học ($n=1,5$) dày 1 cm có $d \approx 0,73$ cm khi góc tới $\theta \approx 40^\circ$ và $d \downarrow$ khi $\theta \downarrow$.

+ Cường độ tia phản xạ và tia truyền qua:

- Tỷ số cường độ tia phản xạ lần 1 tia tới: $r = \frac{I_{r1}}{I_0} = \frac{(n'-1)^2}{(n'+1)^2}$, khi $\theta < 40^\circ$ với thủy

tinh.

- Giả thiết hầu hết năng lượng phản xạ tập trung ở các chùm tia phản xạ I_{r1} và I_{r2} thì năng lượng chùm tia phản xạ cho bởi $\bar{r} \approx 2r - 2r^2 + r^3$

với \bar{r} : tỉ số phản xạ hiệu dụng tổng (net effective reflected ratio)

- Khi đó số truyền qua: $T = I_{T1}/I_0 = 1 - \bar{r}$

Ví dụ: Cho $n = 1$, $n' = 1.52$, $\theta = 0$, tìm \bar{r} , T , và tính lỗi gần đúng.

3) Gương và bộ phản xạ lùi (retro reflector)

* Gương:

- Là linh kiện quang phản xạ hầu hết bức xạ tới.

- Có 1 mặt được mài bóng và được phủ một lớp vật liệu phản xạ ở vùng bước sóng quan tâm. Với ánh sáng khả kiến, thường dùng bề mặt phủ bạc hoặc nhôm; với vùng hồng ngoại thường dùng mặt phủ vàng. Các loại gương đặc biệt có phủ điện môi.

- Các hệ gương quang học tường gọi là các gương mặt thứ nhất, lớp phản xạ ở trên mặt hướng về phía nguồn.

- Các gương ô tô, phòng tắm là gương mặt thứ hai: mặt phản xạ ở phía khác của tia tới, khi đó có hai sự phản xạ từ mặt glass và từ mặt phủ sau.

* Bộ phản xạ lùi (retro-reflector)

- Là linh kiện quang luôn phản xạ tia bức xạ về chính đường tới của nó

- Thường được sử dụng trong các hệ đo không tiếp xúc (non-contact), khi bộ thu và nguồn phát cách xa vật thể cần theo dõi.

- Có dạng kim tự tháp, nhưng chỉ có 3 mặt, mặt đáy hình tròn, còn gọi là corner cubes.

- Tia tới đi vào mặt đáy và bị đa phản xạ nội từ 3 mặt tam giác, rời ra khỏi mặt đáy theo đường song song với tia tới.

- Các mặt tam giác có thể được phủ vật liệu phản xạ hoặc dùng hiện tượng phản xạ nội toàn phần (góc tới hạn $=42^{\circ}$ với chiết suất 1,5).

§1.2. CÁC DỤNG CỤ GIAO THOA VÀ NHIỄU XẠ

1) Các dạng phân cực sóng: phân loại tùy theo kiểu dao động của vector cường độ điện trường; có các dạng sau (dựa vào vết đầu nút của \vec{E})

- Phân cực thẳng: dao động (trong mặt phẳng y) theo phương cố định so với trục y, z, sóng lan truyền theo trục x.

- Phân cực tròn

- Phân cực elip

- Phân cực ngẫu nhiên (từ các vật nóng sáng): là hỗn hợp các dạng phân cực

* Các hiện tượng quang học phụ thuộc vào tương tác điện trường với các cấu phần quang học, do đó từ trường thường không cần quan tâm.

* Tần số \rightarrow màu sắc; biên độ điện trường \rightarrow độ sáng

* Tần số sóng không bị thay đổi, nhưng biên độ và dạng phân cực có thể bị ảnh hưởng bởi các hiệu ứng truyền qua và phản xạ

* Bước sóng là thông số rất quan trọng:

$$\lambda = v/f$$

2) Tán sắc: (chromatic dispersing)

-Lăng kính tán sắc cho phép quan sát sự thay đổi của góc khúc xạ theo tần số.

Các khái niệm cần nắm: Qui luật tán sắc, sai sắc dọc, sai sắc đứng.

3) Nhiễu xạ qua khe hẹp: Khi chiếu ánh sáng đơn sắc qua khe hẹp sẽ tạo ra ảnh với dạng khe có cường độ phân bố về 2 phía của 2 mép khe trung tâm.

* Các đặc trưng quan trọng là:

-Vị trí của các ảnh (cực tiểu-vân)

-Khoảng cách của các cực tiểu

+Vị trí cực tiểu:

$D\sin\alpha = m\lambda$, với m nguyên, D là độ rộng khe hẹp

+Nếu khoảng cách từ khe tới vị trí y trên màn quan sát xấp xỉ khoảng cách từ khe tới màn quan sát $H \approx R \rightarrow \sin\alpha \approx y/R$, sai số $< 2\%$ với $\alpha < 20^\circ$

Khi đó

$$y \approx m\lambda R/D$$

=>Khoảng cách vân:

$$\Delta y = \lambda R/D$$

=>Độ rộng vân trung tâm:

$$W = 2y|_{m=1} = 2 \lambda R/D$$

Độ rộng cường độ $\frac{1}{2}$ của vân trung tâm:

$$W_{1/2} = 0.89 \lambda R/D$$

* Với nhiễu xạ qua lỗ hẹp: Công thức tìm các cực tiểu tương tự như khe hẹp nhưng chỉ số nguyên m được thay bởi các chỉ số m không nguyên. Vị trí vân tối:

$r = m\lambda R/D$, tính từ tâm, với D là đường kính lỗ hẹp, R là khoảng cách đến màn thu.

Đường kính vân tối $d = 2r$

* Cách tử nhiễu xạ: Kết hợp hiện tượng giao thoa và nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp.

+Với trường hợp 2 khe độ rộng D , cách nhau đoạn $= a$

→ Cực tiểu giao thoa cho bởi:

$$a\sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda, \text{ hay}$$

$$ay/R = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

→ Khoảng cách 2 vân tới liên tiếp:

$$\Delta y = \lambda R/a$$

§ 1.3. CÁC LỚP PHỦ VÀ CÁC DỤNG CỤ

1) Các lớp phủ: là các lớp vật liệu phủ trên bề mặt của các cấu phần quang học, nhằm tăng cường hoặc cố định các đặc trưng truyền qua và phản xạ.

- Hiệu quả của lớp phủ thay đổi theo bước sóng, góc tới và dạng phân cực của sóng đến.

- Các đặc trưng quan trọng của lớp phủ là chiều dày và độ đồng nhất.

- Đặc điểm cơ học: rất dễ bị phá hủy, do đó thường được làm sạch nhờ thổi khí khô áp suất thấp hoặc dòng nước khử ion, cồn hoặc thuốc tẩy nhẹ.

* Lớp phủ tăng truyền qua (hay chống phản xạ): giảm phản xạ ở biên giữa không khí và thủy tinh → cải thiện độ nét của ảnh (nhờ hạn chế ảnh ảo do đa phản xạ).

Thường dùng MgF_2 cho vùng khả kiến (có chiết suất khoảng 1,38 ở 550 nm) với độ dày $\frac{1}{4}\lambda$, để cho trễ pha giữa sóng phản xạ lần thứ nhất (biên không khí / lớp phủ) và

sóng phản xạ lần 2 (biên lớp phủ / thủy tinh) $= \pi$. Khi đó biên độ sóng phản xạ sẽ triệt tiêu và có thể coi biên độ sóng truyền qua đạt 100%. Áp dụng cho thấu kính, lăng kính và bộ phân cực.

Hệ số phản xạ lúc này là:

$$r = \frac{(n_0 n_g - n_c^2)^2}{(n_0 n_g + n_c^2)^2}, \text{ với } n_0: \text{chiết suất không khí; } n_g: \text{chiết suất thủy tinh; } n_c: \text{chiết}$$

suất lớp phủ.

Ví dụ: cho $n_g=1.5$, $n_c(MgF_2) = 1.38$, $\rightarrow r = 1.4\%$ với bước sóng 400-700 nm

* Có thể dùng nhiều lớp phủ chống phản xạ để giảm r đến $<0,3\%$.

* Multilayer coating có thể được thiết kế để làm việc trong dải rất rộng của bước sóng hoặc để đạt được hệ số truyền qua tối đa ở một bước sóng xác định.

* Hệ số phản xạ tăng theo góc tới. Các góc tới có thể chấp nhận cho lớp phủ chống phản xạ là $< 30^\circ$.

* Các lớp phủ tăng phản xạ (dùng cho gương phản xạ) :

- Có thể phủ trên mặt trước hoặc mặt trong của gương.

- Có thể là kim loại hoặc điện môi (Transparent oxides)

- Thường dùng lớp phủ điện môi có chiều dày $\frac{\lambda}{2}$ để phủ lên lớp phủ kim loại (chống oxi hoá và tăng độ bền)
- Chiều dày $\frac{\lambda}{2}$ nhằm đạt trễ pha 2π của 2 lần phản xạ.
- Thường dùng nhôm, bạc, vàng (nhôm+điện môi cho vùng cực tím; bạc có hệ số phản xạ > 95% và vàng > 98% trong vùng khả kiến và hồng ngoại)

3) Các bộ lọc quang học

a) Transmission bandpass interference filters:

- Bộ lọc giao thoa thông dải, cấu tạo từ tổ hợp nhiều lớp điện môi.
- Cấu trúc điển hình gồm dãy luân phiên các lớp low index và high index có chiều dày $\lambda/4$ đóng vai trò các reflect stacks xen kẽ các lớp rỗng dày $\lambda/2$ và các lớp coupling.

* Lớp phân cách (Lớp trống) $\frac{\lambda}{2}$ + các lớp $\frac{1}{4}\lambda$ có tác dụng sao cho các tia phản xạ nội trong lớp trống ra khỏi lớp sẽ đồng pha với sóng đến tại bước sóng mong muốn.

* Độ rộng băng 50% điển hình là 10-15 nm quanh tần số trung tâm.

* Nhược điểm: tổn hao cao, hệ số suy hao tại tần số mong muốn khoảng 70% trong miền khả kiến, và còn cao hơn ở vùng cực tím.

b) Edge filter: thay đổi rất nhanh từ truyền qua đến phản xạ tại một bước sóng xác định.

- Tùy thuộc vào cấu trúc, có thể truyền qua một dải khá rộng trên hoặc dưới bước sóng biên xác định.

c) Bộ lọc hấp thụ: Điều khiển hệ số truyền qua nhờ hấp thụ bức xạ ở các bước sóng không mong muốn. Có thể dùng kính màu hoặc các bộ lọc hấp thụ nhiệt (cần chú ý vấn đề quá nhiệt)

d) Neutral density filter: là bộ suy giảm tia sử dụng mặt phản xạ để điều khiển hệ số truyền qua, thường dùng ở vùng khả kiến và có hệ số suy hao gần như không đổi cho cả vùng. Hệ số suy hao:

$$D = \log_{10} \frac{1}{T}$$

§ 1.4. CÁC BỘ PHÂN CỰC

1) Phương pháp

- Quá trình phản xạ có thể làm thay đổi dạng phân cực sóng.
- Các tia phản xạ chính là các tia tái bức xạ do dao động của các hạt tải điện tại bề mặt phản xạ. Các hạt tải này bị kích thích bởi điện trường tia tới.
- Kim loại có rất nhiều điện tử tự do trên bề mặt, chúng có thể chuyển động theo mọi hướng song song với bề mặt, do đó có thể tái bức xạ tự do theo mọi hướng trong vùng khả kiến.
- Với thủy tinh một số hướng điện trường gây dao động hạt tải tại bề mặt, do đó tái bức xạ tia phản xạ, còn một số hướng khác sẽ không gây dao động và chỉ truyền qua.
- Hầu hết điện trường được định hướng theo các góc vừa gây phản xạ vừa tạo truyền qua.

* ~~Mặt phân cực của sóng phân cực thẳng~~: tạo bởi trục y và tia phản xạ (trục y vuông góc mặt phản xạ). Xét trường hợp mặt phân cực chứa trục x:

a) Nếu vector điện trường \mathbf{E} vuông góc với mặt phân cực $\rightarrow //$ trục z (gọi là phân cực s) \rightarrow toàn bộ vector \mathbf{E} đến bề mặt cùng một lúc \rightarrow gây dao động cực đại trên bề mặt \rightarrow phản xạ mạnh.

b) Nếu vector $\mathbf{E} //$ mặt phân cực (gọi là phân cực p) $\rightarrow \mathbf{E}$ đến bề mặt từng phần \rightarrow gây dao động tối thiểu \rightarrow phản xạ yếu, truyền qua mạnh.

c) Nếu \mathbf{E} tạo góc $0 < \theta < 90^\circ$ với mặt phân cực:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_p + \mathbf{E}_s$$

* Góc Brewster: (David Brewster)

-Với bất kỳ mặt phân cách giữa hai môi trường có chiết suất n_0, n_1 , tồn tại một góc tới mà tại đó hệ số phản xạ của thành phần phân cực p bằng không. Tại góc tới, tia phản xạ và tia khúc xạ vuông góc với nhau, gọi là góc Brewster, B. Tại góc B tia phản xạ bị phân cực s hoàn toàn. Nếu tia tới phân cực ngẫu nhiên và góc tới bằng góc B, tia phản xạ sẽ phân cực s và tia truyền qua có cả thành phần phân cực s và p.

$$B = \text{tg}^{-1} (n_1/n_0), \text{ với thủy tinh quang học } B \approx 57^\circ.$$

2/ Bộ phân cực

* Brewster Window: là dạng đơn giản nhất trong các bộ phân cực, là tấm mỏng có 2 mặt song song đặt ở góc B so với tia tới. Khoảng 14% vector phân cực s bị phản xạ trên bề mặt và gần như toàn bộ vector phân cực p sẽ truyền qua.

* Lưới dây song song: đặt rất gần nhau so với bước sóng (bước sóng phải lớn)

- Vector điện trường \vec{E} song song dây sẽ bị “khóa” (blocked).
- Vector điện trường \vec{E} vuông góc dây sẽ “cho qua” (passed).
- Thường dùng tấm Polyvinyl, khi đó các chuỗi cao phân tử song song đóng vai trò lưới dây.

* Bộ phân cực tinh thể (hay lưỡng chiết): dùng các tinh thể có vận tốc truyền sóng phân cực s và phân cực p khác nhau \rightarrow chiết suất sẽ khác nhau với hai dạng phân cực \rightarrow góc khúc xạ khác nhau, tạo ra 2 tia :

O-Ray: Khúc xạ mạnh (tia thường)

E-Ray : khúc xạ yếu (tia dị thường)

-Quang trục của tinh thể \equiv phương tia tới mà tia O và tia E có cùng chiết suất \rightarrow không tách.

§1.5 BỨC XẠ VÀ BỨC XẠ KẾ

1/ Các nguồn bức xạ

-Nguồn đơn sắc: Lasers, LE Ds

-Nguồn phổ liên tục: Đèn nóng sáng

-Nguồn phổ vạch: đèn hồ quang

* Incoherent or noise sources: Đèn nóng sáng; LEDS; Đèn hồ quang.

→ không có quan hệ pha cố định giữa các sóng bức xạ

* Coherent sources: Laser khí hoặc laser bán dẫn.

* Đèn hồ quang: Hồ quang hình thành giữa các điện cực trong khí hiếm khi áp đặt điện thế ban đầu lớn. Khi dòng ion được thiết lập trong hồ quang, điện áp giảm mạnh và hồ quang được duy trì. Phổ phát xạ phụ thuộc loại khí.

-Khi dòng hồ quang đi qua khí, các điện tử trong các ion khí sẽ thay đổi mức năng lượng và phát xạ photon có bước sóng cho bởi:

$$\lambda = hc/\Delta E = 1.24 \times 10^3 \text{ (eV.nm)} / \Delta E,$$

với ΔE là chênh lệch năng lượng giữa các mức được phép, phụ thuộc vào các nguyên tố → bước sóng bức xạ bởi mỗi nguyên tố là cố định.

*Đèn huỳnh quang: là trường hợp riêng của đèn hồ quang, khi ống đèn được phủ bột huỳnh quang (chủ yếu là phosphor). Bột huỳnh quang sẽ tái bức xạ trong vùng khả kiến khi bị chiếu xạ bởi năng lượng tại các bước sóng ngoài vùng khả kiến.

Trong đèn huỳnh quang, hồ quang được tạo ra trong hơi thủy ngân. Hơi thủy ngân phát xạ photon ở vùng khả kiến và cực tím. Các tia cực tím sẽ tạo ra huỳnh quang.

-Với cùng 1 điện năng cung cấp, đèn huỳnh quang phát xạ năng lượng cao hơn đèn nóng sáng

*Các vùng bức xạ:

Extreme UV (ultraviolet)	10 – 200 (nm)
Far UV	200 - 300
Near UV	300 – 380
Visible	380 - 770
Near IR (infrared)	770 – 1500

Middle IR	1500 – 6000
Far IR	6000 – 40000
Far- Far IR	40000 – 1000 000

2) Các khái niệm cơ bản:

- Radiant energy (năng lượng bức xạ): Q_e Joule (J)
- Radiant Flux (dòng bức xạ) $\Phi_e = (dQ_e/dt)|_{\text{qua diện dA}}$ Watt (W)
- Flux density (mật độ dòng quang tới / đvdt) còn gọi là irradiance (độ rọi năng lượng): $H_e = d \Phi_e/dA$ (W/m^2)
- Radiant Emittance (độ trung năng lượng) là mật độ dòng kích thích trên bề mặt của nguồn được kiểm tra: $M_e = d \Phi_e/dA$ (W/m^2)
- Radiant Intensity (cường độ bức xạ): $I_e = d \Phi_e/d\omega$ (W/sr),
với $d\omega = dA/R^2$ Steradian (sr)

Chú ý trường hợp nguồn điểm đẳng hướng:

$$I_e = \Phi_e/4\pi = H_e R^2.$$

- Radiance (công suất bức xạ trên đơn vị góc đặc và trên đơn vị diện tích)

$$L_\lambda = d \Phi_e/d\omega dA \cos\theta \quad (W/sr.m^2)$$

- Spectral Radiant Power (công suất bức xạ trên đơn vị bước sóng):

$$\Phi_\lambda = dQ_e/d\lambda \quad (W/nm)$$

- Spectral Emittance (phổ kích thích, độ rọi phổ)

$$W_\lambda = dM_e/ d\lambda \quad (W/m^2.nm)$$

- Spectral Radiant Intensity: $I_\lambda = dI_e/ d\lambda$ ($W/sr.nm$)

- Spectral Radiance: $L_\lambda = dL_e/ d\lambda$ ($W/sr.m^2.nm$)

3) Nóng sáng và vật đen (Incandescent and Blackbodies)

- Các chất rắn và chất lỏng bức xạ ánh sáng khả kiến khi nhiệt độ $\geq 500^\circ c$
- Bề mặt hấp thụ toàn bộ năng lượng bức xạ đến một cách lý tưởng gọi là vật đen
- Vật bức xạ nóng sáng có đặc trưng tương tự như vật đen
- Bản chất bức xạ từ vật đen được nghiên cứu bởi Max Planck: Năng lượng bức xạ từ vật đen phân bố trong khoảng tần số rộng, theo dạng toán học xác định và thay đổi theo nhiệt độ của vật đen

- Độ trung năng lượng tổng cộng $M_e \equiv$ diện tích giới hạn bởi đường phân bố năng lượng theo bước sóng :

$$\Delta M_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda d\lambda,$$

với $W_\lambda = C_1 \lambda^{-5} / (e^{C_2/\lambda} - 1)$, trong đó $C_1 = 3.74 \times 10^{-16} \text{W.m}^2$,

$C_2 = 1.4385 \times 10^{-2} \text{m.K}$

-Độ rọi năng lượng tổng cộng:

$$\Delta M_e = \int_0^\infty W_\lambda d\lambda = \sigma T^4, \text{ với } \sigma = 5.672 \times 10^{-8} (\text{W/m}^2\text{K}^4)$$

→ Tính được bước sóng ứng với độ rọi phổ cực đại

→ Tính được độ rọi năng lượng của nguồn có diện tích A

* Nóng sáng của vật thể thực

- Vật thể thực không bức xạ nhiều công suất như vật đen ở cùng một nhiệt độ

- Tỷ số giữa độ trung năng thực trên độ trung năng của vật đen lý tưởng gọi là độ phát xạ (emissivity, e) = Tỷ số công suất hấp thụ của vật với công suất hấp thụ của vật đen lý tưởng: a .

$$M_e = e \sigma T^4, e = a$$

Công suất hấp thụ từ công suất đến:

$$\Phi_e = aHA$$

Ví dụ : Xét đèn nóng sáng có vật bức xạ ở nhiệt độ T , đặt trong vỏ được hút chân không, nhiệt độ làm việc ổn định của vỏ là T_1

Gọi P là công suất cung cấp cho vật bức xạ = công suất bức xạ toàn phần

ϕ_e : công suất phát bởi vật bức xạ

P_a : Công suất hấp thụ bởi vật bức xạ, do phản xạ năng lượng từ vỏ đèn

- Khi nhiệt độ hoạt động cân bằng đạt được, thì công suất thoát khỏi vỏ đèn phải bằng công suất cung cấp, từ đó tính được:

$$P = Ae \sigma (T^4 - T_1^4), \text{ với } \sigma \text{ là hằng số vật lý } = 5.672 \times 10^{-8} \text{WK}^{-4}/\text{cm}^2.$$

* Lưu ý: Trong thực tế với một vật liệu, ở một nhiệt độ cho trước, hệ số phát xạ, e , thay đổi theo bước sóng.

- Với 1 vật liệu cho trước và ở một bước sóng cố định thì e là hàm số của nhiệt độ.

- **Nhiệt độ màu** (Color temperature) của 1 nguồn sáng là nhiệt độ tuyệt đối mà tại đó một vật đen khi hoạt động sẽ có một cân bằng màu giống như nguồn sáng

Bài tập ví dụ: cho bóng đèn có diện tích dây tóc: $0,1\text{cm}^2$; $e = 0,35$, nhiệt độ dây tóc là 2700°K , nhiệt độ vỏ đèn là $100^\circ\text{C}(373^\circ\text{K})$. Tìm công suất cần cung cấp.

ĐS: $10,5\text{W}$

CHƯƠNG 2

PHÉP TRẮC QUANG, ĐÈN NÓNG SÁNG VÀ ĐÈN KHÍ

§ 2.1 HỆ TRẮC QUANG

1) Giới thiệu :

- Các hệ đo ánh sáng dựa trên cơ sở mô phỏng đáp ứng của mắt người với ánh sáng.
- Trắc quang là phép đo các đại lượng liên quan với ánh sáng trong vùng 400-700 nm.
- Phép trắc quang và quang kế sử dụng các đại lượng và đơn vị khác với bức xạ kế.
- Các hệ trắc quang dựa trên cơ sở các bộ thu có đáp ứng với năng lượng bức xạ theo kiểu như đáp ứng của mắt người.
- Dùng một số rất lớn dữ liệu thống kê để tạo ra **đường cong chuẩn** mô tả đáp ứng phổ của mắt, gọi là đường quan sát chuẩn (hay đường độ trung cho quan sát chuẩn) (Standard observer curve hay Luminosity curve for the Standard observer) hay còn gọi là đường cong CIE (viết tắt tên tiếng Pháp “Commission Internationale de l’Eclairage” của Hội đồng “International Commission on Illumination”).
 - * Một số lưu ý trên đồ thị đường cong chuẩn (độ trung tương đối / bước sóng):
 - Bước sóng 555nm là sáng nhất
 - Một nguồn có thể bức xạ một năng lượng bức xạ như nhau ở 555nm và 610nm, sẽ có độ sáng 0,5 khi hoạt động ở 610nm so với độ sáng 1 khi hoạt động ở 555 nm
 - * Dòng công suất quang được đo theo Lumen và ký hiệu F_V . Lumen có nghĩa tương tự như đơn vị của công suất Watt nhưng dùng trong vùng bước sóng khả kiến
 - * Quan hệ giữa dòng công suất bức xạ và dòng công suất quang :

$$F_V = \Phi_e \times 683(\text{lm/W}) \times \eta$$

Với : F_V : Dòng quang (lumen)

ϕ_2 : Dòng bức xạ (Watt)

683 lm/W : Hằng số vật lý

η : Độ trung tương đối ở bước sóng đang xét

BẢNG ĐỘ TRUNG TƯƠNG ĐỐI η ($\eta = 1$ Tại bước sóng 555 nm)

Bước sóng (nm)	Độ trung tương đối	Bước sóng (nm)	Độ trung tương đối
410	0,001	570	0,952
420	0,004	585	0,870
430	0,012	595	0,757
443	0,023	600	0,631
450	0,038	610	0,503
460	0,060	621	0,381
470	0,091	630	0,265
480	0,193	640	0,175
490	0,208	650	0,107
500	0,323	660	0,061
510	0,503	670	0,032
520	0,710	680	0,017
530	0,862	690	0,008
540	0,954	700	0,004
550	0,995	710	0,002
560	0,995	720	0,001

*** Các đặc trưng cơ bản:**

- Năng lượng quang trung (Luminous Energy): Q_v lumen.second (lm.s)
- Dòng quang trung: $F_v = dQ_v/dt$ lumen (lm)
- Mật độ dòng quang trung chiếu xạ : $E_v = dF_v/dA$ lm/m²
- Kích thích quang trung: $M_v = dF_v/dA$ lm/m²
- Cường độ quang trung (độ sáng): $I_v = dF_v/d\omega = E_v.R^2$ lm/sr
- Độ quang trung: $L_v = dF_v/d\omega dA \cos\theta$ lm/sr.m²

* Thường không dễ chuyển đổi mật độ dòng bức xạ (W/m^2) thành mật độ dòng quang trung (lm/m^2). Việc này chỉ dễ dàng khi nguồn là đơn sắc và bước sóng đã biết.

Để thu được kết quả nhanh hơn, người ta dùng đầu thu quang

- Mật độ dòng quang trung có thể biểu diễn theo đơn vị footcandle (fc)

1 footcandle = 1 lm/ft^2 .

Bảng chuyển đổi

To:	From:		
	fc	lux	phot
fc (lm/ft^2)	1	10.7639	1.08×10^{-3}
lux (lm/m^2)	0.0929	1	1×10^{-4}
phot (lm/cm^2)	929	1×10^{-4}	1

2) Luminance (độ trung, độ sáng – Brightness) và Radiance (công suất bức xạ trên đơn vị góc đặc và trên đơn vị diện tích)

- **Luminance** là thuật ngữ dùng để mô tả bức xạ khả kiến từ một bề mặt có kích thước đáng kể so với khoảng cách quan sát và so với đầu thu (phép đo tương ứng gọi là phép đo trường gần)

Độ trung của một nguồn có cường độ $I_{(\theta)}$ tại vị trí của đầu thu:

$$L_v = I_{(\theta)} / a_t \cos \theta$$

$I_{(\theta)}$: Cường độ bức xạ, là hàm số theo θ (góc giữa tia tới và pháp tuyến của diện tích bị chiếu xạ)

a_t : Diện tích của nguồn bức xạ.

• Các đơn vị đo độ trung:

$$lm/m^2 sr = cd/m^2 \equiv nit$$

$$Stilb \equiv cd/cm^2$$

$$Lambert \equiv (1/\pi) stilb$$

millilambert \equiv apostilb

Footlamberrt $\equiv (1/\pi)\text{cd}/\text{ft}^2$

Bảng các hệ số chuyển đổi

	stilb	nit	lambert	footlamberrt
stilb	1	0,0001	$1/\pi$	0,00034
nit	10000	1	$10000/\pi$	3,426
lambert	π	$\pi/10000$	1	0,00012
footlamberrt	2919	0,2919	0,9294	1

§2.2 ĐẾN NÓNG SÁNG

1) Đèn nóng sáng :

- Được dùng để cân chỉnh, chiếu xạ và chiếu ảnh và dùng làm đèn nháy. Thường dùng dây Tungsten, Tungsten – Halogen và Carbon.

- Phân bố của dây tóc rất giống với của vật đen ở cùng nhiệt độ màu

- Điện trở suất (và điện trở) của dây tóc thay đổi rất nhanh theo nhiệt độ

- Vật liệu làm bóng đèn ảnh hưởng đến ánh sáng cực tím. Bóng thạch anh cho qua gần như toàn bộ tia cực tím, trong khi thủy tinh sẽ làm suy yếu các bước sóng < 320 nm

- Công suất điện cung cấp cho đèn : $P \sim AT^4$ với A là diện tích bề mặt bức xạ, T là nhiệt độ màu

* Data sheet ví dụ : Model UV – 40Lamp

Specification

Lamp	Deuterium (40 Watts)
Wavelength range	200 to 400 nm
Operating Current	500mA

Irradiance @ 250nm (30cm)	0,2 μ W/cm ² nm (typ.)
Uncertainty	\pm 3 to 10%
Long term Stability	50 hours for less than \pm 2% change

Ví dụ: Cho các thông số phổ của đường cong độ trung phổ: λ , W_λ

Tìm độ trung năng lượng xấp xỉ giữa 250 và 340 nm

Giải: Tính phân diện tích giới hạn đường W_λ và trực bước sóng λ

• **Thông số MSCP** (Mean Spherical Candlepower - cường độ sáng): Giá trị trung bình của cường độ trung đo theo mọi hướng

$$\text{MSCP} = F_v/4\pi$$

F_v : Dòng quang trung đo theo Lumen

* Đánh giá đặc trưng hoạt động của đèn khi biết giá trị danh định và giá trị thực tế

Ví dụ : Cho bảng dữ liệu của đèn: V_0 , I_0 , MSCP, Life (hours), Tìm các đặc trưng mới tại điện áp làm việc $84V = V_N$

2) **Đèn nháy:** (thường dùng trong ứng dụng chụp ảnh)

- Có dây tóc nóng chảy khi nháy
- Thông số Light output: thời gian để độ sáng đạt cực đại
- Các thông số của đặc tuyến ra tiêu biểu:

+ T_0 : Time to peak

+ T : Pulsse Width

+ D : Duration of pulse

+ Luminous Energy (lumen second) = D(s) x (Luminousoutyout)_{peak}

§2.3 ĐÈN KHÍ

1) Giới thiệu:

* **Hiệu ứng quang điện**: Phát xạ điện tử từ vật rắn (thường là kim loại hoặc Oxide) khi vật liệu bị chiếu sáng bởi bức xạ (1887- Heinrich Hertz) có 3 đặc trưng cơ bản :

1) Số điện tử bị phát xạ, xác định dòng điện, tỷ lệ với cường độ bức xạ tại một bước sóng cố định.

2) Mỗi vật liệu có một bước sóng ngưỡng của bức xạ. Nếu bức xạ tới có bước sóng $>$ bước sóng ngưỡng thì sẽ không có điện tử bị phát xạ.

3) Vận tốc tối đa của các điện tử phát xạ không phụ thuộc vào cường độ bức xạ mà tỷ lệ nghịch với bước sóng bức xạ.

- Các đặc trưng 2 và 3 dẫn tới khái niệm photon (hay lượng tử ánh sáng)

+ Năng lượng photon :

$$E = hf = hc/\lambda \text{ với } h : \text{hằng số Planck, } f : \text{Tần số Hz}$$

+ Động năng của điện tử bị kích thích:

$$(1/2)mv^2 = hf - W$$

Với W : Năng lượng cần thiết để điện tử thoát khỏi bề mặt gọi là công thoát điện tử.

* **Hấp thụ chọn lọc**: Khi chùm ánh sáng trắng đi qua môi trường chứa khí áp suất thấp thì chùm ánh sáng thu được trên phổ kế thể hiện một số bước sóng bị suy giảm đáng kể.

- Tương tự, nếu khí áp suất thấp phát xạ thì cho phổ vạch có vị trí các vạch tương tự vị trí bị suy giảm ở hiện tượng hấp thụ. Mỗi loại khí có phổ vạch khác nhau.

- Khi áp suất khí tăng lên thì bức xạ và hấp thụ xảy ra trong dải rộng hơn các bước sóng và giá trị của các bước sóng thay đổi nhẹ.

* **Mô hình Bohr**

- Ở áp suất thấp, các nguyên tử khí biểu hiện gần như các nguyên tử cô lập

- Trong đó các điện tử chuyển động trên các quỹ đạo được phép xác định tương ứng với các mức năng lượng rời rạc và các năng lượng ion hóa rời rạc E_I

- Với nguyên tử Hydro:

$$E_I = E_0/N^2,$$

với E_I : năng lượng ion hóa, là mức năng lượng cung cấp để điện tử chuyển từ một quỹ đạo nào đó ra không gian tự do, E_0 : Hằng số năng lượng, N : Số nguyên gọi là số quỹ đạo → Khi hấp thụ năng lượng chưa đủ mức E_I thì điện tử sẽ chuyển lên mức năng lượng cao hơn với điều kiện:

$\Delta E = E_a - E_b = E_0/N_a^2 - E_0/N_b^2$, Trong đó ΔE : Sự thay đổi năng lượng giữa mức a và b

E_a : Năng lượng ion hóa của mức a

E_b : Năng lượng ion hóa của mức b

N_a : Số quỹ đạo của mức a

N_b : Số quỹ đạo của mức b

- Nếu năng lượng nhận được chỉ đủ để chuyển điện tử lên một mức cao hơn mức kích thích thì dưới điều kiện không có năng lượng nào được nhận thêm, nó sẽ chuyển về trạng thái nền sau một thời gian xác định và giải phóng năng lượng. Việc chuyển từ trạng thái kích thích về trạng thái nền có thể trực tiếp hoặc qua các mức trung gian

Ví dụ: từ trạng thái 4 đến 1 có thể có 6 chuyển mức khả dĩ tương ứng với các năng lượng giải phóng $\Delta E = E_0(135/144)$, $E_0(128/144)$, $E_0(108/144)$, $E_0(27/144)$, $E_0(20/144)$, $E_0(7/144)$.

- Khi áp suất khí tăng hoặc khi khí chứa các phân tử có thể sử dụng mô hình Bohk nhưng các mức năng lượng đơn lẻ rời rạc được phép cần được thay bằng các dải (band) năng lượng được phép. Do đó, phổ hấp thụ và phát xạ sẽ xuất hiện các vùng phổ thay cho phổ vạch rời rạc.

2) Hoạt động của đèn khí :

* Các thành phần chính : Vỏ đèn, anode (+), cathode (-), gas

* Quá trình làm việc :

1- Một điện áp cao được đặt vào 2 đầu

2- Gia tốc các ion và các e^- đến động năng lớn

3- Quá trình va chạm tạo ra thêm nhiều ion và hình thành sự phóng điện phát xạ

4- Dòng phóng điện đạt đến một giá trị xác định và sụt áp qua đèn giảm đến một giá trị danh định

- Thời gian ổn định ≈ 30 phút.

- Có thể có loại đèn mà khí áp suất thấp được bay hơi từ chất lỏng hoặc rắn.

- Thời gian lên (turn-on time) của loại này thường lâu hơn. Các loại đèn này có thể sử dụng một loại khí thứ hai để tạo ra sự phóng điện và đốt nóng chất lỏng hoặc chất rắn.

* Có 4 quá trình (giai đoạn) của sự phóng điện giữa các điện cực trong khí áp suất thấp:

- Leakage Stage: Dẫn điện do điện tử tự do và ion khí có mặt lúc đầu trong khí do sự hấp thụ năng lượng bức xạ từ ngoài đèn. Độ dẫn gần như không đổi trong khoảng điện áp $E_a \rightarrow E_b$, dòng rất bé, phóng điện tự phát.

- Mức điện áp E_b là mức ion hóa, tạo ra hiệu ứng thác lũ \rightarrow dòng tăng đáng kể trong khoảng điện áp từ $E_b \rightarrow E_c$. Ở điện áp E_c sự thay đổi điện áp ở vùng cathode rất lớn và gia tốc mạnh các ion dương về phía cathode làm phát xạ điện tử từ cathode. Khi quá trình này chiếm ưu thế, đèn được coi là làm việc ở đánh thủng và E_c gọi là thế môi

- Glow discharge (phóng điện phát sáng) là giai đoạn dẫn điện ở thế đánh thủng, dòng tăng vọt, thế gần như không đổi, đây là giai đoạn làm việc không ổn định và cần duy trì dòng điện. Bức xạ gần như đồng đều trên chiều dài của đèn.

- Giai đoạn hồ quang: Mật độ dòng cao và nhiệt độ cao, đèn làm việc ở chế độ nóng sáng và có đặc trưng điện trở âm.

CHƯƠNG III. LASER

§ 3.1. LASER KHÍ

-Laser viết tắt của “light amplification by stimulated emission”, nghĩa là KĐ ánh sáng nhờ phát xạ kích thích.

-Phần tử trung tâm của laser khí là một ống khí (gần giống với đèn khí) là nơi mà sự phát xạ kích thích và khuếch đại ánh sáng xảy ra.

- Ống khí áp suất thấp được kích thích để phát xạ nhờ cao áp dc hoặc nguồn thế RF. Có một số dạng điển hình:

a) dc current flow, điển hình như đèn Low-power helium-neon laser có thể tạo hồ quang 7000V và thế hoạt động 1800V; dòng hoạt động 5mA; bức xạ công suất 3mW với công suất vào 9W.

b) RF capacitive coupled current flow, các nguyên tử bị kích thích bởi điện hoặc từ trường biến thiên nhanh ở tần số RF (20_30 kHz). Điện áp RF nhỏ hơn nhiều so với điện áp dc, nhưng dòng lại cao hơn nhiều.

c) RF inductive coupling

- Các phần tử quang trọng khác là các gương phản xạ đặt ở hai đầu của ống khí kích thích. Một trong hai gương được thiết kế cho phép một phần ánh sáng phát xạ được truyền qua và coi như là đầu ra của laser. Các tia phản xạ gây ra quá trình khuếch đại bức xạ đã được kích thích do các nguyên tử hấp thụ photon $h\nu$.

- Laser khí có thể chứa hai hoặc nhiều loại khí, điện trường áp đặt sẽ kích thích một trong các loại khí này. Va chạm của khí kích thích với khí khác dẫn đến trạng thái kích thích và phát xạ. Chẳng hạn laser helium-neon:

+ Quá trình phóng điện làm cho các điện tử của nguyên tử helium chuyển lên mức năng lượng cao hơn gọi là trạng thái nửa bền.

+ Qua quá trình va chạm, các nguyên tử helium kích thích tiếp tục làm cho các nguyên tử neon bị kích thích.

+ Khi quá trình dẫn điện được xác lập, đa số các nguyên tử khí sẽ ở dạng nửa bền: điều kiện này được gọi là đảo lộn mật độ “population inversion”(vì với khí không bị kích thích, đa số nguyên tử ở trạng thái nền).

+ Các điện tử của các nguyên tử neon bị kích thích có thể tạo ra các chuyển mức khác nhau và bức xạ năng lượng với các bước sóng khác nhau.

+ Bức xạ từ các nguyên tử neon ở 1 bước sóng xác định sẽ được tăng cường nhờ phản xạ từ các gương và nhờ đó bức xạ ở bước sóng này sẽ chiếm ưu thế.

+ Hoạt động liên tục của laser sẽ đạt được khi các gương phản xạ ở hai đầu ống tạo thành 1 hốc cộng hưởng, có tác dụng giữ hầu hết photon để tạo ra quá trình đa phản xạ trong ống, qua đó tăng xác suất va chạm của photon với nguyên tử neon.

§3.2 CÁC NGUYÊN LÝ LASER TỔNG QUÁT

Hiện tượng laser xảy ra do sự tương tác của hai hệ thống:

- Hệ nguyên tử có chuyển mức năng lượng của điện tử làm phát sinh photon.
- Hốc cộng hưởng tạo bởi các gương đầu cuối .

a) Tương tác giữa bức xạ với hệ nguyên tử

- 1 photon sẽ phát sinh khi 1 điện tử chuyển từ 1 mức năng lượng cao xuống 1 mức năng lượng thấp hơn:

$$hf = E_2 - E_1$$

- Trong thực tế có sự mở rộng vạch phổ do 2 quá trình sau:

+ Homogeneous broadening: đặc trưng cho tất cả các nguyên tử trong hệ, là hàm của thời gian sống hữu hạn của trạng thái bức xạ τ , nếu quá trình này là duy nhất khi laser làm việc, thì phân bố vạch bức xạ được cho bởi :

$$A(\omega) = K/[(\omega - \omega_0)^2 + (1/\tau)^2]$$

$A(\omega)$: biên độ bức xạ tại tần số ω

K : hệ số tỷ lệ

$$\omega_0 = 2\pi(E_2 - E_1)/h$$

+ Inhomogeneous broadening: vạch phổ bị mở rộng do các hiệu ứng nguyên tử riêng biệt. Trong tinh thể các nguyên tử khác nhau có thể có các chuyển mức năng lượng khác nhau ít do các nguyên tử lân cận. Các nguyên tử trong khí chuyển động theo các hướng khác nhau với các vận tốc khác nhau, do đó gây ra các dịch chuyển Doppler khác nhau lên tần số:

$$f = f_0 + vf_0/c,$$

với $f_0 = (E_2 - E_1)/h$

v thành phần vận tốc theo phương người quan sát

Độ rộng bán phổ gây bởi hiệu ứng Doppler là:

$$\Delta f = 2f_0(KT/M)^{1/2},$$

với $K = \text{const.} = 165,8 \times 10^{-15}$ (amu/K), T : nhiệt độ của hốc, M : khối

lượng nguyên tử tính theo amu.

* Quá trình này chiếm ưu thế với laser khí; laser Helium-neon có độ rộng bán phổ $\approx 1.1 \times 10^9$ Hz đến 1.4×10^9 Hz

* Phổ của laser thực có thể bị ảnh hưởng do tổn hao phản xạ bởi gương và tán xạ không khí

b) Hốc cộng hưởng tạo bởi các gương đầu cuối

-Điều kiện cộng hưởng: hành trình qua hốc $2L =$ số nguyên lần bước sóng

$$2L = M\lambda$$

→ Có rất nhiều tần số laser được phép, cách nhau các khoảng

$$\Delta f = c/2L,$$

gọi là các mode hốc cộng hưởng (cavity modes)

→ Người thiết kế laser phải tối ưu hoá thiết kế cho tần số mong muốn nhờ việc điều khiển hỗn hợp khí, các đặc trưng kích thích và phản xạ của hốc và có thể dùng bộ lọc, hoặc tăng khoảng cách giữa các gương (tăng L).

- Trong thực tế chỉ có những chuyển mức năng lượng với thời gian sống tương đối lớn mới có thể tạo ra các vạch phổ có thể sử dụng được.

- Năng lượng laser khả dụng nhận được khi độ lợi của hốc được điều chỉnh để chọn 1 trong các vạch laser khả dĩ. Với laser khí, do sự mở rộng doppler, chiều dài của hốc sẽ xác định số cộng hưởng hốc chứa trong 1 vạch phổ. Độ lợi đầu ra của laser lúc này sẽ là tích của độ lợi vạch phổ mở rộng với cavity modes. Phát xạ đồng thời này được gọi là longitudinal modes.

- Ngoài ra, hốc laser có thể tạo ra một số modes không gian hay TEM modes. Trong thực tế, mode mong muốn là TEM_{00} , là tia đơn với phân bố năng lượng theo phân bố Gauss.

c) Kích thước vệt laser

- Bức xạ laser có thể ở dạng liên tục (continuous_wave laser) hoặc dạng xung (pulsed laser).

- Bức xạ laser có thể được hội tụ thành vệt nhỏ để tăng mật độ dòng quang.

- Kích thước vệt laser có thể được hội tụ là hàm của đường kính chùm laser:

$$D = (16/3)(\lambda F/\pi D_0)$$

với F: tiêu cự của thấu kính

D_0 : độ rộng chùm laser tính từ điểm có cường độ 13.5% cường độ cực đại.

- Công suất chùm laser có thể bị giảm bởi 1 miêng tròn có đường kính nhỏ hơn đường kính chùm laser. Tỷ số dòng truyền qua / dòng tới là:

$$\Phi_e/\Phi_i = 1 - \exp(-2D^2/w^2),$$

với D: đường kính miêng tròn

w: đường kính chùm tia tới, được xác định như D_0 .

§3.3 LASER BÁN DẪN

1/ Giới thiệu

* Các cấu phần cơ bản:

- Photon source: tái hợp điện tử lỗ trống phát sinh photon.

- Feedback: Các photon được đưa ngược lại vào miền tái hợp nhờ phản xạ để tạo ra phát xạ kích thích

- Energy source: dòng tiêm hạt tải, cung cấp công suất

* Chuyển mức năng lượng xảy ra giữa vùng dẫn và vùng hoá trị

* Bán dẫn vùng cấm thẳng (direct bandgap): cực đại vùng hoá trị và cực tiểu vùng dẫn ở cùng 1 giá trị xung lượng → điện tử chuyển từ cực tiểu vùng dẫn về cực đại vùng hoá trị mà không thay đổi xung lượng → trao đổi năng lượng giữa các điện tử và các photon feedback xảy ra dễ hơn vì không cần trao đổi xung lượng. Các vật liệu: GaAs, InAs.

* Bán dẫn vùng cấm xiên: cực đại và cực tiểu các vùng không cùng giá trị xung lượng → để xảy ra hấp thụ hay phát xạ photon thì sự chênh lệch xung lượng giữa trạng thái đầu và cuối phải được trao đổi với dao động mạng tinh thể → sự trao đổi năng lượng giữa điện tử và Photon phải qua quá trình 2 bước → không thích hợp cho cơ chế laser feedback (trương tự với tình huống một mạch có độ lợi vòng quá thấp, không đủ để duy trì dao động). Các vật liệu: Si, Ge, GaP có vùng cấm xiên.

* Trạng thái đảo lộn mật độ: đa số các mức năng lượng được phép gần đáy vùng dẫn bị chiếm bởi e- và đa số các trạng thái được phép gần đỉnh vùng hoá trị bị trống e- hay bị chiếm bởi lỗ trống.

- Các điện tử chuyển mức từ vùng dẫn về vùng hoá trị có thể do tái hợp tự phát hoặc do phát xạ kích thích

- Công suất ngoài cung cấp có tác dụng thay thế các điện tử trong vùng dẫn

- Ở chế độ dòng thấp: quá trình tái hợp tự phát chiếm ưu thế tương tự LED

- Khi dòng tăng, số điện tử được tiêm vào miền tái hợp của chuyển tiếp PN tăng → tăng số photon phát xạ

- Cơ chế phản xạ feedback hầu hết số photon này vào chuyển tiếp. Khi đó dòng tiêm điện tử chủ yếu dùng thay thế các điện tử thay đổi trạng thái do phát xạ kích thích. Chuyển tiếp bắt đầu phát xạ 1 khoảng bước sóng rất hẹp bức xạ laser.

- Dòng ngưỡng: bắt đầu quá trình laser,

+ phụ thuộc vật liệu chế tạo diode laser

+ phụ thuộc mức pha tạp

+ dạng hình học của chuyển tiếp

+ nhiệt độ linh kiện (rất quan trọng)

* Homojunction: miền p và n cùng loại vật liệu, hoạt động ở dòng thuận rất lớn → chỉ làm việc khi được làm lạnh với nitơ lỏng.

* Diode laser thực: có 1 hoặc 2 heterostructure (nhiều loại vật liệu) sắp xếp theo kiểu pn luân phiên đổi loại vật liệu.

+ Ưu điểm có thể fine-tune các độ rộng vùng cấm → điều chỉnh các đặc trưng phổ của laser. Vì các lớp vật liệu khác nhau rất mỏng và gần nhau về các đặc trưng vật lý nên các đặc trưng điện của chúng sẽ tương tác và thiết lập các dải vùng cấm xác định cho cấu trúc toàn bộ.

2) Đặc trưng cơ bản

- Các laser diode hoạt động ở chế độ dòng tiêm thường chế tạo từ GaAs và GaAlAs, hoạt động ở bước sóng dài 1180-1580 nm

- Diode laser đơn thường có chế độ turn-on trong khoảng 1,5 - 2,5 V

- Ở chế độ xung, thể phân cực thuận short-term trong khoảng 5 – 25 V
- Một số lưu ý trong đồ thị sự phụ thuộc của công suất bức xạ và thể phân cực thuận vào dòng thuận của diode laser GaAlAs:

- + Nhiệt độ được giữ không đổi
- + Công suất bức xạ tăng nhẹ trong khoảng 0 → 18 mA
- + Trong khoảng này linh kiện hoạt động tương tự LED.
- + Trên 1,8 mA công suất bức xạ tăng vọt, diode hoạt động như 1 laser
- + Trong khoảng 20 → 30 mA công suất bức xạ tăng gần như tuyến tính

theo dòng với độ dốc được gọi là hiệu suất vi phân.

- + Dòng ngưỡng nhạy với nhiệt độ

$$I_{th} = I_0 \exp[(T - T_0)/K], \quad K \text{ là hằng số của linh kiện.}$$

- Laser diodes thường làm việc ở chế độ xung. Để thời gian chuyển mạch nhanh và biên độ bức xạ lớn, các diode thường được phân cực bởi 1 dòng \geq dòng ngưỡng. Tín hiệu dòng xung là lượng gia tăng của dòng cần thiết để đạt được mức công suất bức xạ xác định

- + Yêu cầu khi hoạt động:

- nhiệt độ của linh kiện phải được điều khiển
- hoặc dòng phân cực phải thay đổi được, đáp ứng với mỗi dòng ngưỡng cho mỗi nhiệt độ làm việc.

- + Tuy nhiên, nếu dòng phân cực tăng → linh kiện nóng hơn → cần dòng phân cực lớn hơn để đạt công suất mong muốn, do đó trạng thái làm việc ổn định cuối cùng thường ở nhiệt độ rất cao.

- + Độ sạch phổ và giá trị của bước sóng ưu thế phụ thuộc dòng qua diode và nhiệt độ làm việc. Khi dòng thay đổi, có 2 hiện tượng xảy ra:

- 1- Tại giá trị dòng thấp, gần dòng ngưỡng, phổ bức xạ bao gồm các vạch phổ phân bố trong một vùng bước sóng do longitudinal mode và cấu trúc vùng của bán dẫn.

2- Khi dòng tăng số vạch phổ giảm và tâm của phân bố bị dịch về phía bước sóng dài hơn do đặc trưng feedback (tập trung) và nhiệt độ tăng (dời bước sóng). Bước sóng trung tâm có thể bị dịch từ 0,1 → 20 nm, tùy loại diode.

* Vấn đề nhiễu:

+ Modal noise: phát sinh do longitudinal mode

+ Reflection noise: do bức xạ bị phản xạ ngược vào kênh laser từ các mặt bên

* Phổ laser: Được quan sát trong thời gian rất dài so với tốc độ thay đổi xảy ra trong diode. Có 2 cách giải thích phổ laser:

(1) Laser là bộ phát xạ đa mode: bức xạ đồng thời tất cả các thành phần phổ, hiển thị với biên độ tương đối xác định.

(2) Laser là linh kiện đơn mode: bức xạ chỉ một bước sóng tại một thời điểm cho trước bất kỳ. Các thành phần phổ quan sát thể hiện sự tổng hợp của tất cả các bước sóng riêng rẽ mà diode bức xạ trong quá trình quan sát. Biên độ của các thành phần phổ thể hiện tần suất xảy ra của nó trong thời gian quan sát.

-Sự thay đổi bước sóng trong trường hợp (2) gọi là mode hop (nhảy mode). Nhảy mode có thể gây ra sự thay đổi biên độ ở đầu ra của quang hệ do sự suy hao và vận tốc truyền sóng khác nhau với các bước sóng khác nhau. Nhảy mode là hiện tượng ngẫu nhiên và gây ra sự thay đổi ngẫu nhiên của biên độ bức xạ và tạo ra nhiễu biên độ.

-Trong trường hợp đa mode (1) các thành phần phổ luôn tồn tại, nhưng công suất ổn định cho chúng có thể thay đổi theo thời điểm. Máy phân tích phổ chỉ ra biên độ trung bình theo thời gian của các thành phần phổ. Đầu ra của quang hệ cũng thay đổi theo thời gian

* Các yếu tố ảnh hưởng đến tuổi thọ của Laser

1/ Lắp đặt và thử nghiệm

2/ Các xung điện từ phát sinh bên ngoài trong thời gian ngắn

3/ Mức dòng

4/ Nhiệt độ

5/ Mức bức xạ cực đại

6/ Sự già hoá linh kiện

Các yếu tố (1) và (2) do kích thước linh kiện rất nhỏ → dễ bị phá huỷ bởi xung áp hoặc xung dòng, hoặc quá trình phóng tĩnh điện ngắn xảy ra khi lắp đặt, thử nghiệm và từ môi trường → chú ý vấn đề nối đất cho người, phương tiện và thiết bị. Các mạch điện liên quan cần được bảo vệ và lọc từ.

- Thời gian sống của laser có thể giảm 4 lần khi mật độ dòng làm việc tăng 2 lần
- Mức bức xạ cao thường làm suy giảm các đặc trưng phản xạ của các mặt phản xạ của laser do hiện tượng ăn mòn.

- Khi diode được chế tạo, có các khuyết tật rất nhỏ trong vật liệu của kênh laser, của các lớp bán dẫn, các mặt phản xạ và các tiếp xúc điện. Các khuyết tật này sẽ lớn dần theo thời gian sử dụng.

* Laser data sheets: ví dụ loại LT015MD/MF

3) Điều khiển Laser

- Công suất bức xạ, bước sóng, dòng hoạt động và thời gian sử dụng của Laser đều thay đổi theo nhiệt độ, do đó cần có các vòng điều khiển điện và điều khiển nhiệt.

+ Vòng điều khiển điện:

- chống các xung dòng và thế phá huỷ

- điều chế dòng laser

- điều chỉnh dòng ngưỡng

+ Vòng điều khiển nhiệt:

- tiếp xúc nhiệt với vỏ laser

- thường chứa linh kiện bơm nhiệt bán dẫn gọi là thermoelectric cooler hoặc Peltier device có tác dụng thu nhiệt (bơm nhiệt từ laser ra vỏ ngoài của đầu laser).

- Bơm nhiệt điện: dùng điện tử chuyển nhiệt lượng từ mặt hấp thụ nhiệt ra mặt truyền nhiệt thông qua dãy các bán dẫn BiTe (Bismuth Telluride) loại N và P ghép luân phiên với kim loại tiếp xúc với các mặt truyền nhiệt và mặt hấp thụ nhiệt.

Nguồn điện ngoài, E, tạo ra dòng điện tử theo chiều từ N → P và sau đó từ P → N.

Khi các e- chuyển động từ $P \rightarrow N$, chúng phải chuyển từ một trạng thái năng lượng thấp tới 1 trạng thái năng lượng cao hơn, do đó các e- sẽ cần hấp thụ năng lượng từ phía “cold” surface và nhả nhiệt lượng cho phía “hot” surface để chuyển mức khi từ $N \rightarrow P$.

_____o0o_____

CHƯƠNG IV PHOTODETECTORS

§ 4.1 VACUUM PHOTODETECTORS

- Dòng hiệu ứng quang điện tạo ra dòng và áp tỷ lệ với mật độ dòng công suất sóng tới.

- Độ nhạy cao, đáp ứng nhanh .
- Chủ yếu dùng trong phòng thí nghiệm.

1) Nguyên lý

- Cathode cấu tạo từ bề mặt kim loại cong có phủ lớp oxide.
- Anode: ống mỏng đặt tại tiêu điểm của cathode.
- Phát xạ điện tử từ bề mặt cathode đòi hỏi năng lượng photon đến phải đủ để kéo điện tử ra khỏi các lực liên kết của e- với nguyên tử và với bề mặt cathode (do các điện tích dương tạo ra bởi các điện tử rời khỏi bề mặt).

$$E_{k\max} = hf - W$$

W: công thoát điện tử

h: hằng số planck

f: tần số photon

2) Các đặc trưng cơ bản

- Stopping voltage: thế áp đặt để làm triệt tiêu $E_{k\max} \rightarrow$ độ dẫn = 0
- Tần số ngưỡng: khi sóng đến có tần số nhỏ hơn tần số ngưỡng sẽ không phát xạ điện tử từ cathode, là tần số ứng với $E_k = 0$.

* Đặc trưng thuận:

- Tồn tại điện áp “knee voltage” mà trên đó dòng sẽ bão hoà, photodiode hoạt động trong miền này.

- Dòng bão hoà tỷ lệ thuận với mật độ dòng quang tới H.

- Thế stop giống nhau với các mật độ dòng quang tới khác nhau (chỉ là hàm của tần số photon)

* Đặc tuyến ra: có tải dùng để tính gần đúng dòng qua ống I_T , thế rơi trên ống V_T khi biết tải R và mật độ dòng quang (lm)

* Các tính chất cơ bản của vacuum photodetector:

1/ Dòng photodiode tăng tuyến tính theo mật độ dòng quang nếu trở tải nhỏ.

2/ Trường hợp lý tưởng, độ nhạy dòng $S_I = \frac{\Delta I}{\Delta F_v} = \text{const.}$ và không phụ thuộc

tải

3/ Các mạch thực tế lệch khỏi lý tưởng khi dòng lớn và bé .

4/ Thế anode giảm khi mật độ dòng quang tăng.

5/ Độ nhạy điện áp $S_v = \frac{\Delta V}{\Delta F_v}$ tỷ lệ với trở tải .

6/ Với trở tải R_L nhỏ, độ nhạy điện áp gần không đổi và dòng, thế thay đổi gần tuyến tính theo mật độ dòng quang.

§ 4.2 THERMAL DETECTORS

1) **Giới thiệu:** là lớp linh kiện hoạt động nhờ chuyển đổi năng lượng bức xạ tới thành nhiệt năng và sau đó thành các đại lượng điện có thể đo được.

- Dùng các bề mặt phủ có đặc trưng gần với vật đen lý tưởng.
- Ứng dụng làm đầu thu bức xạ trong phòng thí nghiệm và trong các thiết bị cân chính.

- Có 4 loại chính:
- (1) Bolometer (xạ nhiệt kế)
 - (2) Thermistors (tecmisto)
 - (3) Thermopiles (pin nhiệt điện, cột nhiệt điện)
 - (4) Pyroelectric detector (đầu thu hỏa điện)

→ (1) và (2) thay đổi điện trở khi chiếu xạ.

→ (3) có thể đầu cuối tỷ lệ với cường độ chiếu xạ, nhưng có tần số cutoff thấp không thích hợp theo rời sự thay đổi nhanh của bức xạ.

→ (4) có thể đầu cuối thay đổi theo sự thay đổi của bức xạ.

→ (2) và (3) có cấu trúc vững chắc thích hợp cho các ứng dụng công nghiệp

2) **Các đặc trưng chung:** độ nhạy, đáp ứng phổ, hằng số thời gian, công suất nhiễu tương đương (NEP: noise equivalent power), khả năng thu, khả năng thu chuẩn hóa D^* , góc thu.

a) **Độ nhạy:** tỷ số đầu ra điện của detector/đầu vào quang, thường cho dưới dạng amperes/watt hoặc volts/watt của công suất đến.

$$R = dr/d\Phi_e$$

với dr là số gia của dòng hoặc thế ở đầu thu, $d\Phi_e$ là số gia của mật độ dòng tới ở đầu thu.

b) **Đáp ứng phổ (đặc trưng nhạy phổ):** quan hệ giữa độ nhạy bức xạ và bước sóng của bức xạ tới dưới cùng điều kiện chiếu xạ (tia tới chuẩn trực).

- Các bộ thu nhiệt có đáp ứng phổ bằng phẳng, rộng, giới hạn bởi đặc trưng truyền qua của cửa sổ dùng ở vỏ đầu thu. Các đầu thu bán dẫn và đèn chân không có đáp ứng phổ phụ thuộc vật liệu chế tạo đầu thu.

c) **Hằng số thời gian:** mô tả đáp ứng bước của đầu thu của đầu thu với bước thay đổi của mức chiếu xạ (dùng chùm tia ngắt đoạn nhờ tấm chắn quay hoặc nhờ điều biến công suất nguồn). Đầu thu sẽ biểu hiện như mạch lọc thông thấp và cho lỗi ra khác nhau với tốc độ điều biến hoặc tốc độ ngắt khác nhau. Có thể đặc trưng hóa bởi thời gian lên.

- Nếu quá trình quá độ có dạng $A \exp(-t/T)$ thì T là hằng số thời gian với đầu ra của 1 hệ thống bậc 1 bị kích thích bởi xung, hằng số thời gian T là thời gian cần để đạt 63,2 % toàn bộ sườn lên hoặc sườn xuống .

- Hằng số thời gian đôi khi còn gọi là thời gian 1/e hoặc $(1 - 1/e)$

- Trên giản đồ Bode của bộ lọc thông cấp bậc 1, tần số -3dB, f_b , liên quan với hằng số thời gian:

$$f_b = \frac{1}{2\pi T}$$

- Thời gian lên của xung: t_r (khoảng thời gian từ 10% \rightarrow 90% đỉnh xung) với bộ lọc thông thấp RC: $t_r = 2,2RC = 2,2T$

d) **Công suất nhiễu tương đương (NEP):** là công suất bức xạ tạo ra tỷ số $S/N = 1$ ở đầu ra của detector (ở một tần số cho trước, và với một độ rộng băng nhiễu cho trước), đơn vị là watts per (hertz)^{1/2}.

- Một số nhà cung cấp định nghĩa NEP là công suất bức xạ tạo ra tỷ số tín hiệu / nhiễu dòng tối = 1

+ Vì hằng số thời gian ảnh hưởng lên biên độ đầu ra của linh kiện, do đó tần số điều chế và dạng sóng phải được xác định trước.

+ Biên độ tín hiệu thu, công suất nhiễu, dòng nhiễu và điện áp nhiễu phụ thuộc vào độ rộng băng tần số điện của hệ đo, được gọi là độ rộng băng nhiễu hiệu dụng. Chỉ có các giá trị NEP đo hoặc chỉnh với cùng độ rộng băng mới có thể được so sánh trực tiếp .

+ NEP mô tả mức tín hiệu hữu ích nhỏ nhất mà linh kiện có thể phân biệt được.

e) **Detectivity**: là nghịch đảo của NEP

+ Đôi khi người ta dùng độ thu chuẩn hóa:

$$D^* = [A(\Delta f)]^{1/2}/NEP$$

với $NEP/[A(\Delta f)]^{1/2}$ là NEP chuẩn hóa theo đơn vị diện tích và đơn vị độ rộng băng.

A: diện tích miền nhạy quang của detector, Δf : effective noise bandwidth

f) **The field of view (trường quan sát)**: là diện tích trong không gian mà từ đó detector nhận công suất bức xạ.

- Góc quan sát (the angle of view): là góc đo từ bề mặt của detector xác định biên của một thể tích trong không gian mà từ đó năng lượng có thể đến được detector.

- Chỉ có nguồn bức xạ trong vùng quan sát (the field of view) mới là nguồn cần kiểm tra. Các nguồn nền là các nguồn khác với nguồn kiểm tra (test source) mà công suất có đến đầu thu .

3) **Tính toán nhiễu:**

+ Trước tiên cần xác định độ rộng băng của nhiễu, thường \approx độ rộng băng điện của hệ thống, bao gồm đầu thu, các bộ khuếch đại và thiết bị đo có mặt trên đường đo tín hiệu .

- Nếu độ rộng băng điện tổng có đường cong đáp ứng với độ dốc ≥ -18 (dB/octave) ở trên tần số cắt trên thì độ rộng băng nhiễu \approx độ rộng băng điện .

- Nếu độ dốc là -6 hay -12 (dB/octave) thì độ rộng băng nhiễu = độ rộng băng điện f_b x hệ số chỉnh độ rộng băng

$$\Delta f = K_b \cdot f_b,$$

$K_b = 1.571(\pi/2)$ với độ dốc -6 (dB/octave) hay -20 dB/decade.

= 1.222 với độ dốc -12 (dB/octave).

* với các pin nhiệt điện, NEP được định nghĩa theo IEEE

$$NEP = P_0,$$

với P_0 là công suất sóng tới mà điện áp tín hiệu $V_s =$ điện áp nhiễu V_N .

Có thể viết:

$$NEP = (V_N/V_S).P_i$$

Tong đó P_i là công suất sóng tới :

$$P_i = H.A$$

*Trong các data sheet thường dùng NEP chuẩn hoá:

$$NEP = (V_N/V_S)[H.A/(\Delta f)^{1/2}]$$

*Trong data sheet

$$D^* = (V_N/V_S)[(\Delta f/A)^{1/2}(1/H)]$$

§4.3 PN JUNCTION DETECTORS

1) Giới thiệu:

- Photo diode là các detector tạo ra dòng điện phụ thuộc vào bức xạ.
- Có 4 dạng cơ bản: Planar PN junction, Schottky barrier photodiode, PIN photodiode, và Avalanche photodiode (APD)

- Có 2 mode hoạt động:

+ Mode quang dẫn: → phân cực ngược + tải nối tiếp

→ ngắn mạch, nối với OP-AMP

+ Mode quang thế: → nối tải, không có thể phân cực

2) Các đặc trưng cơ bản

+ Được cấu tạo với một phía của cấu trúc bán dẫn được mở cho bức xạ đi qua 1 cửa sổ hoặc một lớp phủ bảo vệ.

+ Cấu trúc planar diffused photodiode: rất mỏng, diện tích bề mặt rộng, để N dày hơn lớp bề mặt P (nhận bức xạ tới), được chế tạo theo phương pháp khuếch tán khí vào bán dẫn.

+ Schottky barrier photodiode: dùng lớp màng vàng mỏng phủ lên để bán dẫn loại N. Biên phân cách giữa Au/N-Semiconductor hình thành 1 rào thế. Đáp ứng phổ phẳng hơn PN photodiode trong vùng IF, visible, và nhạy hơn trong vùng UV.

-Tuy nhiên schottky barrier photodiode nhạy với nhiệt độ hơn PN photodiode do đó không thường xuyên hoạt động đáng tin cậy ở mức bức xạ cao.

+ PIN photodiode: Lớp I (intrinsic) có tác dụng làm rộng miền nghèo \rightarrow giảm điện dung miền nghèo \rightarrow giảm thời gian đáp ứng của photodiode.

+ Kích thước linh kiện và vỏ phụ thuộc ứng dụng \rightarrow cỡ 1 vài mm cho ứng dụng cáp quang, \rightarrow một vài inch cho ứng dụng pin mặt trời \rightarrow cỡ 1 cm² cho các thiết bị đo.

+ Hoạt động ở chế độ phân cực ngược, nối trực tiếp với tải và nguồn phân cực. Các photon có năng lượng thích hợp, đến được vùng nghèo sẽ bị hấp thụ và làm phát sinh các cặp điện tử lỗ trống \rightarrow tăng dòng ngược đáng kể

+ Điện trường nội của miền nghèo sẽ tách các e- và h⁺ về 2 phía N và P

+ Có 4 trường hợp khả dĩ:

(1) Nếu photodiode hở mạch: thế hở mạch phụ thuộc dạng hàm mũ vào mật độ dòng quang tới.

(2) Nếu một điện trở khép kín mạch ngoài của photodiode: sẽ phát sinh dòng và sụt áp trên trở.

(3) Nếu photodiode ngắn mạch: dòng ngắn mạch tỷ lệ với mật độ dòng quang tới.

(4) Nếu photodiode được phân cực ngược: dòng ngược tỷ lệ với mật độ dòng quang tới.

+ Các solar diode là photodiode hoạt động ở mode quang thế.

+ Các đầu thu trong kỹ thuật thông tin và thiết bị đo hoạt động ở mode quang dẫn.

+ **Dòng rò tối**: dòng ngược phát sinh do các cặp e-, h⁺ tạo ra bởi kích thích nhiệt, nhỏ hơn dòng phát sinh bởi photon rất nhiều.

+ Ở một bước sóng cố định hoặc nhiệt độ màu xác định, dòng quang phát sinh của photodiode tỷ lệ trực tiếp với mật độ dòng quang tới và diện tích tích cực của photodiode.

+ **Hiệu suất lượng tử**: tỷ số giữa số điện tử phát xạ trên số photon bị hấp thụ, ký hiệu η . Hiệu suất lượng tử của diode thực < 1 và thay đổi theo bước sóng, có thể được tính như sau:

$$\eta = I_p / i_p$$

với I_p là dòng photodiode trung bình, i_p là dòng của đầu thu lý tưởng có $\eta = 1$.

Dòng công suất sóng đến P qua diện tích tích cực A:

$$P = H_0 \cdot A$$

Năng lượng photon đến:

$$E_p = hc / \lambda$$

Dòng photon phát sinh của diode lý tưởng:

$$i_p = (P/E_p) \cdot e, \quad e = \text{điện tích điện tử}$$

+ Đáp ứng của photodiode lý tưởng:

$$R = i_p / P = e \lambda / hc = \lambda \cdot (8.06 \times 10^{-4} \text{ A/W.nm})$$

với λ là bước sóng tính theo nm.

+ Đáp ứng của photodiode thực:

$$R = \eta (e \lambda / hc)$$

* Các yếu tố ảnh hưởng lên hiệu suất lượng tử

(1) *Phản xạ*: các bán dẫn dùng chế tạo photodiode có chiết suất khoảng 3,5 → hệ số phản xạ $\approx 30\%$ tại bề mặt bán dẫn.

(2) *Sự suy giảm hệ số hấp thụ ở bước sóng dài*: hệ số hấp thụ ở bước sóng ngắn gấp $\approx 10^4$ lần so với các bước sóng gần giới hạn vùng cấm. Hệ số hấp thụ biểu thị khả năng 1 photon có thể bị hấp thụ khi đi qua một đơn vị khoảng cách trong vật liệu.

(3) *Sự hấp thụ sóng ngắn*: do các photon ngắn bị hấp thụ sớm ở lớp trên của photodiode trước khi có thể tới được vùng nghèo, do đó không đóng góp vào dòng thu. Có thể khắc phục nhờ việc giảm độ dày lớp trên

(4) *Giới hạn vùng cấm*: các photon phải có đủ năng lượng để gây chuyển mức e- qua vùng cấm.

* **Diode thác lũ (APD Avalanche Photodiode)**: được thiết kế để nâng cao hiệu suất lượng tử, cho phép tạo ra dòng có tốc độ lớn hơn tốc độ dòng photon tới. APD được phân cực ngược với điện áp lớn để gia tốc các e- phát sinh do photon đến vận

tốc lớn và va chạm với cấu trúc nguyên tử trong miền nghèo tạo ra các cặp e- lỗ trống mới, kết quả là dòng tổng có thể tăng hàng trăm lần so với diode PN đơn giản.

Độ lợi dòng = Dòng APD / Dòng do photon khi $\eta = 1$

- Độ lợi dòng của các APD chế tạo từ silicon rất nhạy với sự thay đổi điện áp rơi trên diode và với nhiệt độ \rightarrow các mạch ứng dụng rất phức tạp, đòi hỏi ổn định điện áp và bù nhiệt.

- Độ lợi dòng của APD phản ánh số trung bình các e- được tạo ra trên 1 photon đến. Số e- được phát sinh bởi 1 photon bất kỳ thay đổi một cách ngẫu nhiên, tạo ra một tín hiệu nhiễu chồng lên giá trị trung bình. Nhiễu này khác với nhiễu nhiệt vì nó liên quan đến hiện tượng hấp thụ và nhân. Độ lợi có thể rất nhỏ ở mức công suất thấp.

3) Đặc trưng đường tải

* Hoạt động mode quang thể tự thiên áp

- Sụt áp trên tải và dòng quan hệ theo định luật Ohm, trong khi quan hệ giữa sụt áp trên photodiode và dòng tuân theo đặc trưng diode.

- Điểm làm việc \equiv giao điểm đường tải và đường cong (I-V) của diode

* Các đường cong quang thể (photovoltaic curves):

- Nằm ở góc 1/4 thứ tư của đặc tuyến $I_d(V_d)$.

- Thế hở mạch qua photodiode trên trục V_d :

$$V_0 = K_1 \ln(K_2 H_0)$$

K_1 : hằng số phụ thuộc nhiệt độ

K_2 : hằng số phụ thuộc bước sóng và cấu trúc của photodiode

H_0 : mật độ dòng quang tới

* Chế độ hoạt động ngắn mạch:

- dòng thay đổi tuyến tính theo mật độ dòng quang tới

- V_0 tỷ lệ với dòng qua trở feedback \rightarrow tỷ lệ với mật độ dòng quang

- có thể offset do dòng rò (rất nhỏ).

* Chế độ phân cực ngược: (mode quang dẫn)

- Điện dung diode giảm \rightarrow giảm thời gian đáp ứng

- Thế thiên áp V_B tiêu biểu $\approx 10V$

- Quan hệ dòng áp:

$$V_0 = V_B - V_D$$

hay $I_p R_L = V_B - V_D$

- Để tránh phá huỷ diode khi $I_p=0$, thế phân cực ngược phải $<$ thế đánh thủng

- Khi $V_d = 0 \rightarrow I_p = I_{\text{ngắn mạch}} = I_{\text{max}} = \frac{V_B}{R_L}$ gọi là dòng bão hoà I_{SAT}

***Đường tải** Qua các điểm $(V_B, 0)$ và $(0, V_B/R_L)$ trên họ đặc tuyến ngược $I_d(V_d)$.

Ý nghĩa: khi mật độ dòng quang đến, ví dụ, $= H_2 \rightarrow$ dòng I_2 qua diode

-Để tăng khoảng dòng thì cần tăng V_B hoặc giảm R_L .

- Tích của áp và dòng đi qua diode cần luôn nhỏ hơn khả năng tiêu tán công suất của diode .

\rightarrow Đường tải nằm trong *đường công suất cực đại cho phép*.

- Công suất tiêu tán cực đại cho phép xảy ra khi mật độ dòng quang tạo ra dòng điện $= \frac{1}{2}$ dòng bão hoà, khi đó $V_d = \frac{1}{2} V_B$

4) **Mô hình tín hiệu nhỏ cho photodiode:**

* **Nguồn dòng I_p** : dòng trung bình gây bởi sóng tới.

$$I_p = RP$$

R: đáp ứng của photodiode (Ampere/Watt)

P: công suất sóng tới tổng cộng.

* **Điện dung Shunt C**: điện dung chuyển tiếp phân cực ngược

$$C = KA/[\rho(V_0 - V_D)]^{1/2}$$

K: hệ số tỷ lệ ≈ 19000 , khi đơn vị của các đại lượng khác như sau:

A: diện tích tích cực (cm^2),

ρ : điện trở suất ($\Omega.\text{cm}$), nhận giá trị từ 10-10000,

V_0 : thế khuếch tán của miền nghèo $\approx 0.6V$ với Si,

V_D : thế phân cực ngược, nhận giá trị âm.

* Trở Shunt: được chú ý khi tính toán nhiễu, còn gọi là trở kênh (channel resistance) nằm trong khoảng $100k\Omega \rightarrow$ vài $M\Omega$, giảm khi nhiệt độ hoặc diện tích linh kiện tăng, tăng khi thể phân cực tăng. Được định nghĩa = độ dốc của đường cong I_V tại thế zero hay = tỷ số của thế phân cực ngược qua diode / dòng tối.

* Dòng nhiễu I_n tính cho tất cả các hiệu ứng nhiễu.

+ Nhiều lượng tử (quantum noise): gây bởi quá trình hấp thụ photon, quan trọng khi mức công suất sóng tới thấp. Các photon đến có thể được hấp thụ hoặc không \rightarrow tại một thời điểm, dòng thu có thể $>$ hoặc $<$ dòng trung bình. Quá trình này là ngẫu nhiên và tạo ra dòng nhiễu lượng tử = công suất tín hiệu tạo bởi dòng trung bình được cho bởi:

$$P_m = (H_0 A)_m \approx (hc/\lambda)(\Delta f/\eta)$$

với P_m : công suất sóng tới khi $(S/N) = 1$,

Δf : độ rộng băng nhiễu

+ Shot noise (nhiều bắn): xem dòng là tổng của rất nhiều xung dòng nhỏ gây bởi chuyển động của hạt tải trong các bước rời rạc, làm cho dòng thay đổi quanh giá trị trung bình. Sự thay đổi này gọi là shot noise current.

$$I_s = [2e\Delta f(I_d + I_p)]^{1/2}$$

với I_d : dòng tối

I_p : dòng quang trung bình

+ Nhiều nhiệt: có thể chiếm ưu thế khi hoạt động ở mode ngắn mạch

$$I_t = (4kT\Delta f/R_{SH})^{1/2}$$

với R_{SH} : điện trở shunt của photodiodode

Trở tải R_L làm tăng nhiễu nhiệt:

$$I_t = [4kT\Delta f(1/R_{SH} + 1/R_L)]^{1/2}$$

* Dòng nhiễu tổng I_n :

$$I_n = (I_s^2 + I_t^2)^{1/2}$$

* Công suất nhiễu tương đương: (NEP)

$$\text{NEP} = I_n/R$$

Ví dụ: Tính phân bố nhiễu khi cho biết: H_0 , A , λ , R , R_L , Δf , R_{SH} , I_d .

* Trở nối tiếp (R_s): bao gồm trở của vật liệu và các tiếp xúc, đóng vai trò quan trọng với thời gian lên và tính tuyến tính, nhận giá trị từ $0,1 \Omega \rightarrow$ vài trăm Ohm

* Trường hợp $R_L + R_s \ll R_{SH}$ và $R_L > R_s$, (giả thiết $I_p \gg I_n$)

\rightarrow Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ sẽ gọn hơn

\rightarrow Hằng số thời gian của hệ đầu thu:

$$\tau_{RC} \equiv (R_s + R_L)(C + C_p)$$

với C_p là các điện dung song song khác

* Đáp ứng của detector bắt đầu phi tuyến khi dòng $\approx 1/3$ dòng bão hoà

\rightarrow Dòng tuyến tính tối đa:

$$I_{\max} = I_{\text{sat}}/3 = (1/3)V_B/(R_s + R_L)$$

CHƯƠNG V

MỘT SỐ LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ THÔNG DỤNG

§5.1 RADIATING DIODES AND DISPLAY DEVICES

1) Radiating junction devices

- Khi có dòng thuận qua LED hoặc IRED, các photon được bức xạ từ diode junction do tái hợp điện tử và lỗ trống tại miền chuyển tiếp (junction).

- Bước sóng photon là hàm của chuyển mức năng lượng xảy ra trong quá trình tái hợp.

- Đa số linh kiện LED và IRED chế tạo từ các vật liệu trên cơ sở gallium.

Bảng LED materials and wavelengths

<u>Material</u>	<u>wavelength (nm)</u>	<u>Comments</u>
GaP (gallium phosphide)	520—570	Green
GaP (gallium phosphide)	630—790	Red
GaAsP (gallium arsenide phosphide)	640—700	Orange-red
GaAlAs (gallium aluminum arsenide)	650—700	Red
GaAs (gallium arsenide)	920—950	Infrared

- Các LED hoặc IRED tiêu biểu có lớp vật liệu N tương đối dày được phủ vàng ở mặt đáy. Mặt trên của linh kiện là lớp P rất mỏng (cỡ vài μm) cho phép các photon bức xạ ra ngoài. Lớp N có thể gồm một số lớp của các vật liệu chứa Ga được pha tạp khác nhau để cho bước sóng mong muốn.

- Các diode trên cơ sở Ga có thể thuận tương đối cao so với Si và Ge. Đặc trưng dòng thế của LED ít dốc hơn nhiều so với Si diode.

* Data sheets:

- Các đặc tả của LED (HLMP-3000):

+ Introductory comments: Red solid state lamps

+ Absolute maximum ratings (at $T_A = 25^\circ\text{C}$): power dissipation (100mW); DC forward current (50 mA, derating linearly from 50°C at $0.2 \text{ mA}/^\circ\text{C}$); Peak forward current (1Amp, 1μsec pulse width, 300pps: 1-A current is applied to the device for a 1-μs interval once every 3333 μs, hay tần số 300 Hz).

- Quan hệ giữa công suất đỉnh (peak power) của xung được phép (không phá hủy linh kiện) và công suất trung bình:

$$P_{\text{avg}} = P_{\text{peak}} \times (\text{pulse width} / \text{period})$$

Tốc độ được phép liên quan với hằng số thời gian nhiệt, là hàm của khối lượng, diện tích bề mặt, bức xạ và độ dẫn. Công thức trên áp dụng khi độ rộng xung công suất điện áp đặt nhỏ hơn nhiều so với hằng số thời gian nhiệt. Hằng số thời gian nhiệt thường không được cho trong data sheet, khi cần phải đo thực nghiệm. Đa số LED package có hằng số thời gian nhiệt nhỏ hơn 1 phút → tần số xung thường cần lớn hơn 1kHz.

- Cần chú ý bảng các đặc trưng điện: luminous intensity, wavelength at peak, speed of response: 10-90% time interval, diode capacitance (to develop the circuitry to turn device on and off, forward voltage, reverse breakdown voltage, thermal resistance (from the junction (chip) to cathode lead, included angle between the half luminous intensity points.

§5.2 TINH THỂ LỎNG VÀ ĐÈN ĐIỆN PHÁT QUANG

- Bộ hiển thị tinh thể lỏng là linh kiện tạo ra ảnh khả kiến nhờ điều khiển sự truyền sáng qua một quá trình phân cực. Các đèn điện phát quang thường được dùng như các nguồn ánh sáng đen cho ứng dụng hiển thị tinh thể lỏng.

- Trong các máy tính bỏ túi, thông tin alphanumeric từ calculator được hiển thị như các ký tự đen trên nền xám. Module hiển thị thực sự được làm từ một số các phần tử tinh thể lỏng riêng biệt (segment hay dot). Khi áp đặt tín hiệu điện thích hợp, các phần tử này có thể hiển thị màu đen hoặc xám.

- Vật liệu tinh thể lỏng là vật liệu hữu cơ mà ở nhiệt độ phòng có màu trắng đục và ở trạng thái lỏng ở nhiệt độ phòng. Ở nhiệt độ thấp trở thành trạng thái tinh thể rắn. Vật liệu tinh thể lỏng được kẹp giữa 2 tấm phẳng dẫn điện, một trong hai là trong suốt.

- Khi ánh sáng phân cực đi qua một phân tử được thiên áp với điện áp nhỏ hơn giá trị tới hạn V_c , dạng phân cực quay góc 90° . Khi điện áp lớn hơn giá trị bão hòa V_{sat} , ánh sáng phân cực sẽ truyền qua mà không thay đổi dạng phân cực. Trong khoảng điện áp giữa V_c và V_{sat} , phân cực ánh sáng sẽ quay một góc từ $0-90^\circ$. Có 2 kỹ thuật cho phép dùng hiện tượng này để hiển thị: dùng nguồn sáng khuếch tán ở phía sau phân tử hiển thị và dùng gương, kết hợp với 2 bộ phân cực. Khi điện áp phân cực nhỏ hơn V_c , sẽ thấy một đốm sáng. Khi điện áp phân cực lớn hơn V_{sat} , sẽ thấy một đốm tối. Độ truyền qua của ánh sáng sẽ là hàm của điện áp thiên áp.

- V_c và V_{sat} đều phụ thuộc nhiệt độ. V_{sat} có thể nhỏ cỡ 3V và thường không vượt quá 20V. Tần số tín hiệu thiên áp có thể vài kHz, nhưng thường cỡ 30, 60 hay 100Hz. Biên độ điện áp một chiều trong thiên áp không được vượt quá vài mV.

- Để phân tích mạch, tinh thể lỏng có thể được mô hình hóa như một điện dung nhỏ // với một điện trở lớn. Thành phần dòng điện dung gấp cỡ 50 lần thành phần dòng điện trở. Mạch thiên áp cần được thiết kế để chịu tải điện dung.

- Diện tích của mỗi phân tử xác định giá trị trở và điện dung. Giá trị trở giảm và điện dung tăng khi diện tích tăng. Giá trị điện trở sheet và điện dung sheet tiêu biểu: 3400 pF/in^2 , $44\text{M}\Omega.\text{in}^2$.

Ví dụ: tính dòng cung cấp cho phân tử hiển thị tinh thể lỏng biết diện tích = 0.032 in^2 , điện áp = $5 V_{rms}$, tần số = 60 Hz.

- Thường dùng 7 segment cho 1 ký tự, và ít nhất 4 ký tự \rightarrow 28 segments.

* **Quá trình phân cực**: Phân cực của bức xạ gây bởi tương tác của bức xạ với các phân tử. Nếu vector phân cực của phân tử và vector cường độ trường nằm trong cùng một mặt phẳng thì vector cường độ trường của bức xạ sẽ có xu hướng định hướng theo các phân tử. Nếu vector phân cực của phân tử // với vector vận tốc của bức xạ thì sẽ không có tương tác.

- Khi thế phân cực = 0, vector phân cực của các phân tử sẽ quay từ từ 1 góc 90° giữa 2 bản cực \rightarrow gây ra sự quay của vector trường của bức xạ.
 - Khi $V > V_c$, vector phân cực của các phân tử sẽ định hướng theo điện trường áp đặt.
 - Khi $V > V_{sat}$, vector phân cực của các phân tử sẽ định hướng đồng loạt theo điện trường áp đặt \rightarrow không có tương tác xảy ra.
 - Các đèn điện phát quang được dùng ở dạng phẳng, nhiệt độ làm việc thấp, bức xạ khuếch tán. Một số tính năng quan trọng:
 - + Kích thước: chiều dày một vài phần mười in, nhiều dạng chữ nhật và tròn, tiện dùng cho việc hiển thị.
 - + Nhiệt độ làm việc: gần nhiệt độ môi trường
 - + Tính đồng nhất của độ sáng: nguồn sáng khuếch tán đồng nhất, gần như đèn Lambert lý tưởng.
 - Các linh kiện này chứa lớp phosphor dielectric kẹp giữa 2 bản điện cực, một trong 2 bản là polymer trong suốt, bản còn lại mờ đục và được phủ màng kim loại mỏng. Lớp điện môi phosphor gồm các hạt phosphor rất mịn, nhúng trong vật liệu liên kết trong suốt và được cách ly với nhau.
 - Khi áp đặt dòng xoay chiều qua linh kiện, vật liệu phosphor bị kích thích bởi điện trường và gây bức xạ. Với mạch ngoài, đèn điện phát quang tương đương một tải gồm tụ // trở \rightarrow dòng tăng theo tần số. Các đèn thương mại hoạt động ở 115 V ac 60 Hz và 11 V ac 400 Hz và sáng gấp 3 lần ở 400 Hz so với ở 60 Hz. Bức xạ giảm rất nhanh theo điện áp và gần như bằng không ở khoảng 40-60 V ac.
-

§5.3 PHOTOTRANSISTORS VÀ OPTO-ISOLATORS

1) Phototransistors.

- Là transistor có dòng base gây bởi bức xạ tới và do đó dòng C-E cũng phụ thuộc bức xạ tới. Chuyển tiếp C-B hoạt động như photodiode và chuyển các photon thành các hạt tải, tạo ra dòng base gây bởi photon, I_p . Dòng này gây ra dòng collector:

$$I_C = H_{FE} \times I_p$$

- Đôi khi tiếp xúc điện được lấy ra từ miền base, khi đó có thêm thành phần dòng I_B :

$$I_C = H_{FE} (I_B + I_p)$$

- Phototransistor có thể được dùng như một bộ khuếch đại tuyến tính, nhưng thường dùng như một chuyển mạch. Tốc độ chuyển mạch thường $10\mu s$ hoặc hơn \rightarrow dùng làm detector trong các hệ thống chậm.

- Có một số cấu hình linh kiện:

+ Single phototransistor per package với simple lens ở window

+ Photo-Darlington (gồm 1 phototransistor và một transistor thông thường)

+ Photon-coupled isolator, chứa IRED và một detector như phototransistor, photo-Darlington hoặc photodiode.

- So với photodiode, phototransistor có độ lợi dòng HFE lớn. Dòng C-E lớn hơn so với planar diffused photodiode với cùng diện tích tích cực. Phototransistor và APD đều sử dụng quá trình nhân số hạt tải phát sinh do photon \rightarrow tăng dòng.

2) Đặc tả của Phototransistor.

- Data sheet điển hình sẽ cho biết điều kiện làm việc tối đa: áp, dòng, mức công suất, và nhiệt độ phá hỏng linh kiện.

- Voltage rating: có một số chỉ số đặc biệt, ví dụ $V_{(BR)CEO}$ với BR chỉ reverse breakdown voltages

Rating

V_{CEO}

meaning

Điện áp E-C với cực base open hoặc base-emitter junction bị che tối.

V_{CBO} Điện áp base-collector với cực E open

V_{EBO} Điện áp base-emitter khi cực C open, ở thiên áp ngược

- Các đặc trưng quang trong data sheet gồm đáp ứng dòng của phototransistor: dòng collector I_L khi đáp ứng với một mật độ dòng bức xạ đến, và dòng tối. Nguồn dòng quang là một đèn có nhiệt độ màu gần 2870 K, đôi khi là đèn đơn sắc hoặc LED hoặc IRED.

- Đáp ứng dòng thường không tuyến tính \rightarrow cần được đặc tả bởi đường cong đáp ứng.

- Đáp ứng phổ và đáp ứng góc cũng có trong data sheet. Đáp ứng phổ của phototransistor gần tương tự với photodiode của cùng loại vật liệu.

2) Optoisolator

- Các linh kiện được mounted trong một case cho phép dễ dàng kết nối với mạch in. Thường có 2 transistor mounted trong case và nối với nhau theo kiểu Darlington sao cho chuyên tiếp base-emitter của transistor đầu tiên (là phototransistor) nhận bức xạ và emitter của nó được đưa vào base của transistor thứ hai \rightarrow gain dòng collector lớn, tuy nhiên, đáp ứng chậm hơn khi dùng 1 transistor.

- Thay cho một cặp Darlington, một opto-isolator có thể có một phototransistor hoặc một photodiode làm nhiệm vụ phần tử detector. Nguồn thường là GaAs IRED. Một xung điện áp áp đặt qua IRED gây ra xung photon để ghép với detector \rightarrow thường ứng dụng trong y sinh và điều khiển công nghiệp

- Đặc trưng cách li của linh kiện thường biểu thị theo 3 cách: điện trở, điện dung và thể đánh thủng, được đo giữa IRED và detector.

- Tùy theo cách nhìn nhận mà linh kiện có thể được coi là mạch ghép tín hiệu quang hoặc mạch cách li điện.

- Vấn đề nhiệt: opto-isolator có chứa 2 nguồn nhiệt: IRED và detector \rightarrow ngoài sự tự nung nhiệt đơn giản do tổn hao công suất riêng lẻ, chúng còn làm nóng lẫn nhau. Nhiệt năng sẽ truyền từ bán dẫn nóng hơn sang bán dẫn nguội hơn. Người thiết kế cần giữ cả 2 bán dẫn dưới nhiệt độ cho phép theo phương trình sau:

$$\Delta T = \theta(P_H + KP_C)$$

với ΔT : chênh lệch nhiệt độ giữa môi trường và nhiệt độ hoạt động cực đại cho phép

θ : Trở nhiệt giữa junction-to-ambient

P_H : công suất tổn hao lớn nhất, bán dẫn nóng nhất

K : hệ số ghép nhiệt

P_C : công suất tổn hao của bán dẫn nguội hơn

- Thường 2 linh kiện không tổn hao công suất giống nhau \rightarrow cần biết trước bán dẫn nào nóng hơn.

- Phương pháp đánh giá tổn hao trung bình cho IRED:

+ Khi dòng, áp không đổi: $P = I_d V_d$

+ Chế độ xung: lấy trung bình $P = V_{CE} I_c$ khi biết độ rộng xung và tần số làm việc.

CHƯƠNG VI

CÁP QUANG

§ 6.1 TRUYỀN SÓNG TRONG CÁP SỢI QUANG

- Năng lượng điện từ bị “nhốt” trong lõi sợi quang nhờ cơ chế phản xạ và khúc xạ
- Khi năng lượng có thể lan truyền theo nhiều đường khác nhau trong sợi quang thì sợi quang được gọi là sợi đa mode

- Nếu chỉ có một đường truyền năng lượng khả dĩ (dọc theo trục giữa), sợi quang gọi là sợi đơn mode.

- Lõi sợi quang thường có dạng ống tiết diện tròn; chiết suất lõi $n_1 >$ chiết suất lớp bảo vệ n_2

- Lan truyền đa mode có thể đượ mô hình hoá nhờ hiện tượng phản xạ nội toàn phần, khi góc tới của tia tới làm với pháp tuyến của mặt phân cách lõi/lớp bảo vệ 1 góc \geq góc tới hạn θ_c (các tia không phản xạ toàn phần sẽ mất dần năng lượng và suy giảm nhanh)

$$\sin\theta_c = n_2/n_1$$

- Nguồn năng lượng đưa vào sợi quang từ môi trường ngoài có chiết suất n_0

- Góc vào của một tia sẽ xác định góc tới của nó với mặt phân cách lõi/ vỏ của cáp sợi quang. Góc vào tương ứng với góc tới hạn θ_c được gọi là góc được phép (acceptance angle)

$$n_0 \sin\theta_a = n_1 \sin(90^\circ - \theta_c)$$

hay

$$\begin{aligned} \sin\theta_a &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}/n_0 \\ &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \text{ khi môi trường vào là không khí.} \end{aligned}$$

với $\theta_a < 20^\circ$ có thể tính gần đúng:

$$\theta_a \approx (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

$$\theta_c = \pi/2 - \theta_a/n_1$$

* Góc lan truyền cực đại θ_p :

Là góc lớn nhất trong sợi quang, so với trục giữa, vẫn gây ra phản xạ toàn phần

$$\theta_p = 90^\circ - \theta_c$$

$$\theta_p \approx (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}/n_1$$

* Khẩu độ số (numerical aperture- NA) $\equiv \sin\theta_a$

Với cáp quang dùng trong thông tin quang, θ_a nhỏ $\rightarrow NA \approx \theta_a$ (rad)

* Có 3 loại sợi quang cơ bản :

+ Sợi chiết suất bước (step-index fiber): thay đổi đột biến chiết suất lõi và vỏ.

+ Sợi chiết suất thay đổi từ từ (graded-index fiber)

$$n(r) = n_0[1 - (n_1^2 - n_2^2)/n_0^2(r/r_0)^2]^{1/2}, \text{ với } 0 < r < r_0$$

Chiết suất giảm dần từ tâm ra biên phân cách với vỏ (n_2)

+ Step- index- multimode fiber:

- đường kính lõi 50 \rightarrow 1000 μm

- $0.2 \leq NA \leq 0.5$

- đường kính ngoài từ 125 ÷ 1100 μm

+ Graded - index - multimode fiber :

- đường kính lõi 50 ÷ 100 μm

- $0.2 \leq NA \leq 0.3$

- đường kính ngoài từ 125 ÷ 150 μm

\rightarrow thông tin khoảng cách xa

+ Single mode fiber:

- đường kính lõi: 4 ÷ 10 μm

- $0.1 \leq NA \leq 0.15$

- đường kính ngoài từ 75 ÷ 125 μm

\rightarrow long-distance communication

- Các xung công suất được tải dọc theo các đường khác nhau sẽ tới đầu cuối tại những thời điểm khác nhau (mode trực tới trước tiên, mode ứng với góc NA đến sau cùng) \rightarrow trễ mode .

- Do trễ mode, xung dòng tổng thu được sẽ rộng hơn xung bức xạ gốc.

\rightarrow quá trình mở rộng xung này gọi là méo mode (modal distortion).

\rightarrow Graded - index fiber có méo mode nhỏ hơn so với step-mode fiber.

- Biên độ xung truyền qua cáp bị suy giảm do hấp thụ, tán xạ và bức xạ.

- Cơ chế tổn hao hấp thụ: chuyển đổi năng lượng bức xạ thành nhiệt năng, phụ thuộc vật liệu và tạp chất.

- Cơ chế tổn hao tán xạ: các tia năng lượng bị lệch khỏi đường truyền mong muốn, do phản xạ từ defect và tán xạ Rayleigh bởi vật liệu. Tán xạ Rayleigh do tương tác sóng điện từ bức xạ với các điện tử của vật liệu, các điện tử này sẽ hấp thụ và tái bức xạ sóng → gây ra dời pha so với tín hiệu gốc. Một phần năng lượng bị thoát ra ngoài do bức xạ tán xạ, tổn hao tán xạ $\sim \lambda^{-4}$.

- Tổn hao bức xạ: năng lượng thoát ra khỏi sợi quang khi vi phạm góc tới hạn do cáp bị bẻ cong quá nhiều, do thay đổi đường kính lõi và thay đổi chiết suất.

§ 6.2 CÁC ĐẶC TRƯNG VÀ CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

1) Các thông số cơ bản:

* Khoảng cách giữa các góc được phép (hay góc tách được phép):

$$\Delta\theta = \lambda / d = \lambda_0 / n_1 d \quad (\text{rad})$$

với d : đường kính sợi quang

n_1 : chiết suất lõi sợi quang

λ_0 : bước sóng trong không gian tự do

* Số mode có thể tồn tại trong sợi quang phụ thuộc $\Delta\theta$ và góc tới lan truyền, với cáp tròn:

$$n = (\pi T)^2 / 2$$

với $T = \theta_p / \Delta\theta$

θ_p : góc lan truyền cực đại

n : số mode khi $\pi T > 2.405$

* Thông số V (hay tần số chuẩn hoá), khi $\pi T < 2,405$:

$$V = \pi T = \pi 2r[(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}] / \lambda_0$$

với r : bán kính lõi sợi quang

n_2 : chiết suất vỏ

2) Méo mode và tán sắc

Gọi t_0 : trễ trực với khoảng cách L
 t_m : trễ dọc theo đường truyền ứng với θ_p

$$\begin{aligned} \rightarrow t_0 &= n_1 L / c \\ t_m &= n_1 L / c \cdot \cos \theta_p \\ \Delta t &= t_m - t_0 = (Ln_1/c)(n_1 - n_2)/n_2 \end{aligned}$$

* Hiện tượng tán sắc xảy ra khi nguồn bức xạ nhiều bước sóng trong một khoảng $\Delta\lambda$, khi đó xung tín hiệu sẽ bị mở rộng 1 lượng:

$$t = K_{(\lambda)} \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

với $K_{(\lambda)}$: hệ số tán sắc, phụ thuộc vật liệu và bước sóng.
L: chiều dài cáp sợi quang

3) Công suất thu

-Công suất bức xạ sẽ ra khỏi ống dẫn sóng theo 1 hình nón tương tự như qua lỗ hẹp .

-Khi khoảng cách giữa đầu thu và miệng sợi quang giảm, kích thước vật chiếu từ miệng sẽ đạt tới đường kính lõi sợi quang. Nếu diện tích đầu thu nhỏ hơn diện tích vật chiếu, thì tỷ số dòng bức xạ thu được /dòng rời khỏi sợi quang = tỷ số diện tích:

$$\theta_e / \theta_0 = (D_d / D_c)^2 (NA_{det} / NA_{fiber})^2$$

với NA_{det} : khẩu độ số đầu thu
 NA_{fiber} : khẩu độ số sợi quang
 θ_e : dòng bức xạ đến đầu thu
 θ_0 : dòng bức xạ rời khỏi miệng sợi quang
 D_d : đường kính miệng đầu thu
 D_c : đường kính lõi sợi quang

4) Độ rộng băng:

$$BW = 0.35 / T$$

với $T = (t_1^2 - t_2^2)^{1/2}$
T: hệ số mở rộng xung
 t_2 : độ rộng xung đầu ra sợi quang
 t_1 : độ rộng xung đầu vào sợi quang

§ 6.3 COMMUNICATIONS LINKS

1) Thiết bị

Một tuyến thông tin quang bao gồm một nguồn, một đầu thu và cáp quang kết nối tuyến. Nguồn có thể là LED, IRED hoặc laser diode. Nguồn có thể được điều chế với tín hiệu tương tự, nhưng thường được kích bởi các xung số.

Detector thường dùng PIN hoặc APD. Tuyến thông tin có thể xem là thông tin khoảng cách ngắn, trung bình hoặc xa. Thông tin khoảng cách ngắn thường trong phạm vi vài m và dùng cho:

- Thiết bị điều khiển quá trình và thiết bị công nghiệp
- Cảm biến y tế, đưa vào cơ thể bệnh nhân và nối với thiết bị ghi
- Máy tính và thiết bị ngoại vi
- Các cấu phần có độ chính xác cao cho mục đích quảng cáo

Hệ thống khoảng cách trung bình thường lớn hơn vài m và dưới 1 km, còn gọi là mạng LAN, thường dùng sợi thủy tinh đa mode (băng rộng và tổn hao thấp) hoặc plastic đa mode. Nguồn điển hình là IRED hoạt động ở bước sóng 850 nm. Khẩu độ số thường từ $0.2 \div 0.5$ và đường kính lõi $50 \div 100 \mu\text{m}$ để tiện cho việc ghép với bức xạ từ IRED. Đường kính lõi lớn hơn sẽ giảm chi phí lắp đặt, kết nối, nhưng độ rộng băng giảm.

Hệ thống khoảng cách xa dễ thiết kế hơn do yêu cầu hạn chế sự lựa chọn cấu phần. Hệ thống khoảng cách xa dùng để tải dữ liệu băng rộng và có thể dùng sợi chiết suất graded. Ở khoảng cách rất xa thì chỉ dùng sợi đơn mode để bảo đảm độ rộng băng và mức tổn hao cho phép. Có thể dùng nguồn communication-grade laser diode hoặc edge-emitting IRED để ghép năng lượng vào các sợi quang này.

Kỹ thuật hàn cáp sợi quang thường được dùng hơn so với các bộ đầu nối cơ để bao đảm tổn hao thấp và độ ổn định cao.

2) Các cấu trúc ống dẫn sóng và các linh kiện khác

Integrated optics là các ống dẫn sóng và các cấu phần quang được tích hợp trên các đế vật liệu dùng kỹ thuật tương tự mạch tích hợp bán dẫn. Các linh kiện tích hợp

quang thường là các bộ tách tín hiệu, các bộ dời pha, các bộ điều chế và các bộ chuyển mạch. Tất cả các linh kiện tích hợp quang đều dùng các cấu trúc ống dẫn sóng được tạo bởi các đường dẫn của vật liệu có chiết suất lớn hơn chiết suất của vật liệu đế. Các ống dẫn sóng hoạt động tương tự cáp sợi quang và được xem xét như các bộ tách hoặc ghép tín hiệu.

Bằng cách điều khiển tiết diện ống dẫn sóng, chiết suất của vật liệu, khoảng cách giữa các lõi và chiều dài của miền ghép, sẽ thiết lập được tỷ phần ghép năng lượng.

Các thông số của bộ ghép quang:

<u>Thông số</u>	<u>Bộ ghép 4 cổng</u>	<u>Bộ ghép N-part</u>
Tỷ số ghép	$P_2 / (P_2 + P_3)$	P_N / P_o
Tổn hao dư thừa	$P_2 + P_3 / P_1$	P_o / P_i
Tổn hao chèn	P_2 / P_1	P_N / P_i
Độ đồng nhất	P_2 / P_3	P_h / P_s
Độ định hướng	P_4 / P_1	P_x / P_i

Trong đó: P_N : công suất ra khỏi cổng N bất kỳ

P_i : công suất vào tổng

P_o : công suất ra tổng

P_h : công suất ra lớn nhất

P_s : công suất ra nhỏ nhất

P_x : công suất ra cổng không ghép

Quá trình ghép dùng mạng 4 cổng có thể kết hợp với hiệu ứng quang điện (electro-optic effect) để tạo ra các chuyển mạch quang. Các vật liệu có hiệu ứng quang điện sẽ thay đổi chiết suất khúc xạ khi có mặt điện trường do áp đặt điện áp. Sự kết hợp của điện áp thiên áp và điện áp chuyển mạch sẽ xác định đầu ra truyền bức xạ.

Các vật liệu tinh thể (chẳng hạn GaAs) có hiệu ứng quang điện. Vật liệu đế: LiNbO có hiệu ứng quang điện rất mạnh. Thế chuyển mạch cỡ 5—10V. Hệ số định hướng cỡ 100:1 đến 3000:1.

Chiết suất của vật liệu ảnh hưởng đến vận tốc truyền sóng \rightarrow thay đổi chiết suất có thể thay đổi pha tương đối. Các bộ di pha và điều chế pha cấu tạo từ một ống dẫn sóng đặt trong tinh thể quang điện, giữa 2 điện cực. Lượng di pha phụ thuộc độ lớn điện áp và chiều dài ống dẫn sóng.