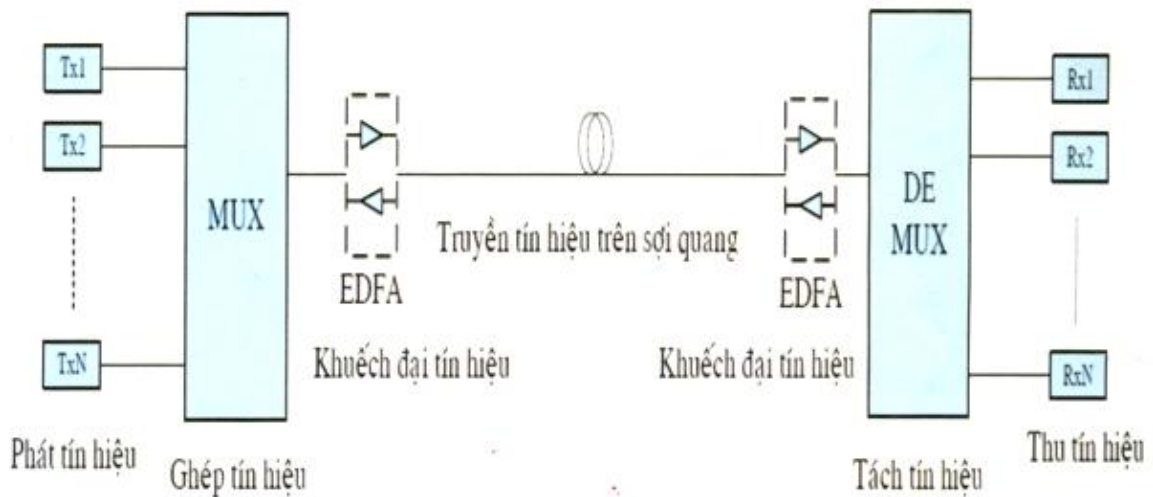


QUANG ĐIỆN TỬ



Biên soạn: ThS. PHẠM NGỌC DŨNG
ThS. BÙI THƯ CAO
ThS. PHẠM HỮU LỘC
KS. HÀ VĂN KHALY

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP HỒ CHÍ MINH
KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ**

QUANG ĐIỆN TỬ

(Sử dụng cho bậc Cao đẳng - Đại học)

**Biên soạn: ThS. PHẠM NGỌC DŨNG
ThS. BÙI THỨ CAO
ThS. PHẠM HỮU LỘC
KS. HÀ VĂN KHA LY**

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH - 2009

LỜI NÓI ĐẦU

Trong thời đại ngày nay, với tốc độ phát triển nhanh chóng của các ngành công nghiệp hiện đại như: ô tô, cơ khí, động lực,.... thì ngành điện tử cũng đóng một vai trò rất quan trọng. Ngành điện tử đã xâm nhập vào cuộc sống con người khá sớm, từ những thiết bị đơn giản như: đèn chiếu sáng, quang báo, hệ thống tự động, radio,.... đến những máy móc phức tạp và ứng dụng công nghệ cao như: hệ thống truyền dẫn quang, hệ thống rada, hệ thống camera, robot,.... Tất cả đều được ứng dụng rộng rãi trong cuộc sống. Trong các thiết bị điện tử nói trên thường không thể thiếu các linh kiện quang điện tử như LED, LCD, quang trở, linh kiện thu phát quang, hồng ngoại và laser.

Khoa Công Nghệ Điện Tử trường Đại Học Công Nghiệp TP. Hồ Chí Minh đã đưa vào giảng dạy môn học “Quang Điện Tử” cho các hệ từ Cao Đẳng đến Đại Học chuyên ngành viễn thông, điện công nghiệp và tự động từ năm 2005 đến nay.

Giáo trình “Quang Điện Tử” được trình bày trong 8 chương, cung cấp cho sinh viên những kiến thức cơ bản về khái niệm, bản chất ánh sáng, linh kiện bán dẫn, linh kiện thu phát quang điện tử, trong đó đặc biệt là sách trình bày khá chi tiết về các hệ thống ghép kênh quang, khuếch đại quang và cuối cùng là laser.

Các tác giả xin tỏ lòng cảm ơn tới: ThS. Bùi Thu Cao, Phạm Ngọc Dũng, Hà Văn Kha Ly đã giúp đỡ hoàn thành bản thảo.

Tuy rất cố gắng, song không tránh khỏi những thiếu sót, tác giả rất mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc.

Nhóm Tác Giả

Chương 1

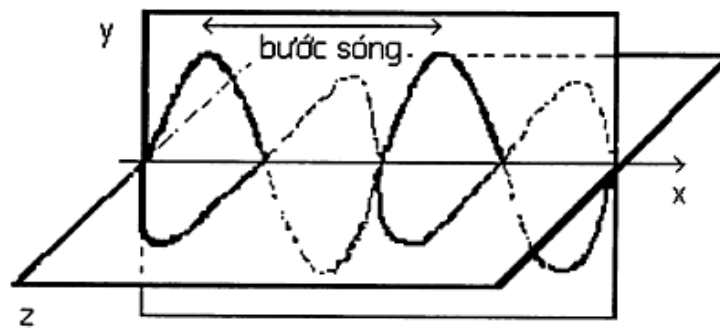
CÁC KIẾN THỨC CƠ BẢN

1.1. Ánh sáng

1.1.1. Tính chất vật lý của ánh sáng

Bằng phương pháp toán học, Macxoen đã chứng minh rằng điện từ trường do một điện tích điểm dao động theo phương thẳng đứng tại một điểm sinh ra sẽ lan truyền trong không gian dưới dạng sóng. Sóng đó được gọi là sóng điện từ.

Người ta nói rằng điện tích dao động đã bức xạ ra sóng điện từ. Nếu xét theo một phương truyền Ox, sóng điện từ là sóng ngang có thành phần điện dao động theo phương thẳng đứng và thành phần từ dao động theo phương nằm ngang.



Hình 1.1. Sóng điện từ lan truyền trong không gian

Tần số sóng điện từ bằng tần số f của điện tích dao động và vận tốc của nó trong chân không bằng vận tốc ánh sáng trong chân không.

Năng lượng của sóng điện từ tỉ lệ với lũy thừa bậc 4 của tần số.

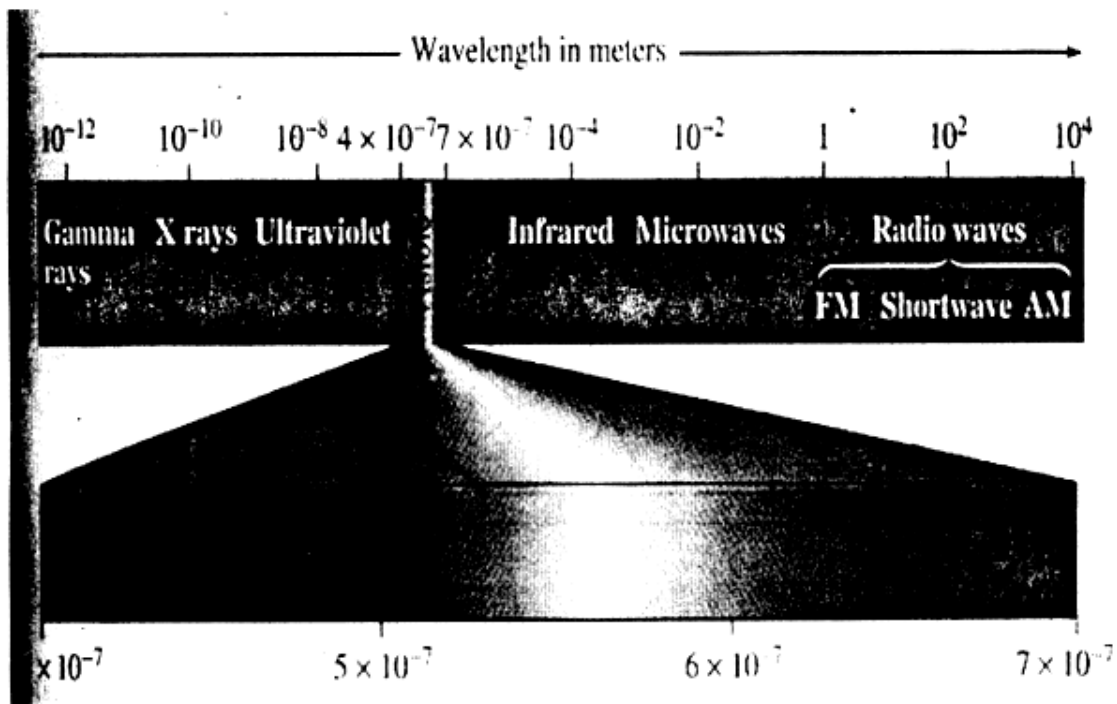
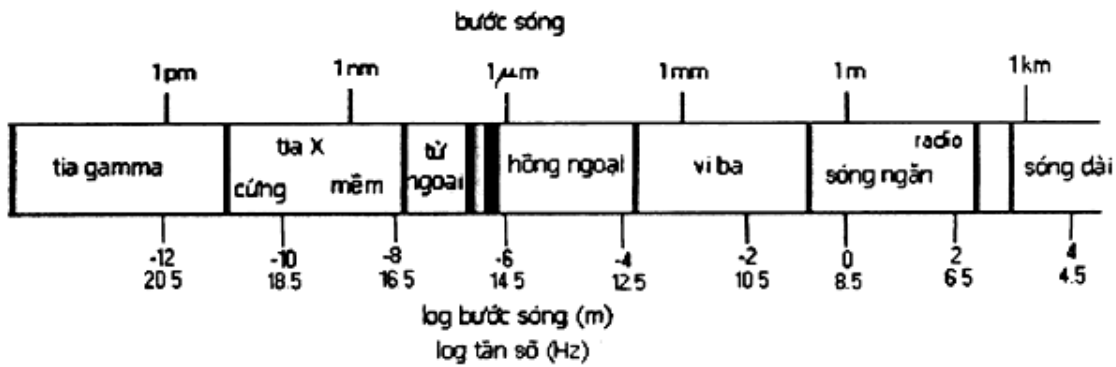
Ngày nay, người ta đã biết rằng sóng điện từ có đầy đủ các tính chất như sóng cơ học, nhưng sóng cơ học, truyền đi trong những môi trường đàn hồi, còn sóng điện từ thì tự nó truyền đi mà không cần nhờ đến sự biến dạng của một môi trường đàn hồi nào cả, vì vậy nó truyền được cả trong chân không.

Ánh sáng khả kiến dùng để chỉ các bức xạ điện từ có bước sóng nằm trong vùng quang phổ nhìn thấy được bằng mắt thường (tức là từ khoảng 400 nm đến 700 nm).

"Ánh sáng lạnh" là ánh sáng có bước sóng tập trung gần vùng quang phổ tím.
"Ánh sáng nóng" là ánh sáng có bước sóng nằm gần vùng đỏ.

Ánh sáng có quang phổ trải đều từ đỏ đến tím là ánh sáng trắng, ánh sáng có bước sóng tập trung tại vùng quang phổ rất hẹp gọi là "ánh sáng đơn sắc".

Chương 1: Các kiến thức cơ bản



Hình 1.2. Phân loại Sóng điện từ

Ánh sáng tự nhiên hoặc ánh sáng nhìn thấy được chiếm một phần rất nhỏ trong phổ sóng điện từ.

1.1.2. Bước sóng và màu sắc ánh sáng

Đo bước sóng của những ánh sáng đơn sắc khác nhau bằng phương pháp giao thoa, người ta thấy mỗi ánh sáng đơn sắc có một bước sóng hoàn toàn xác định. Chẳng hạn:

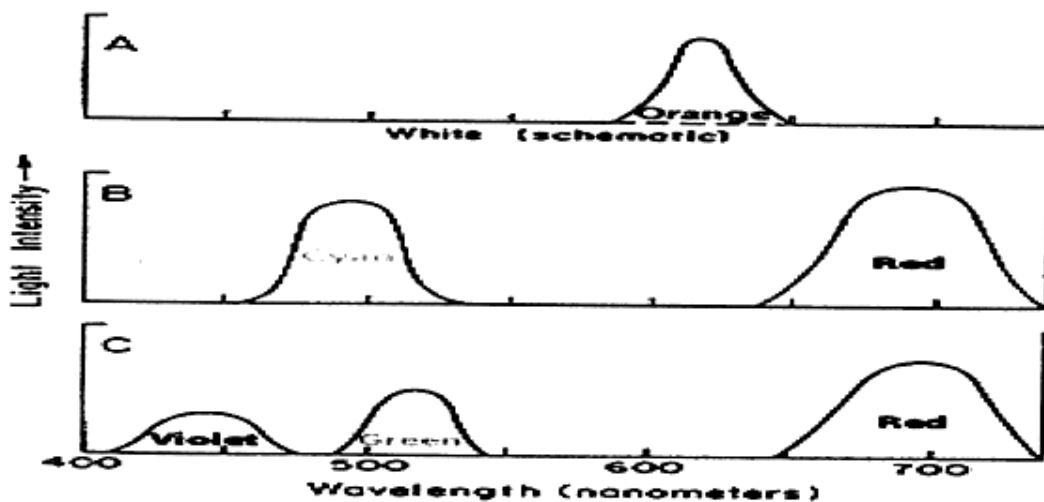
- Ánh sáng màu đỏ ở đầu của dải màu liên tục có bước sóng: $0.760 \mu\text{m}$.
- Ánh sáng màu tím ở cuối của dải màu liên tục có bước sóng: $0.400 \mu\text{m}$
- Ánh sáng vàng do đèn hơi natri phát ra có bước sóng: $0.589 \mu\text{m}$.

Như vậy, ánh sáng đơn sắc là ánh sáng có một bước sóng xác định. Màu ứng với ánh sáng đó gọi là màu đơn sắc hay màu quang phổ.

Thực ra, những ánh sáng đơn sắc có bước sóng lân cận nhau thì gần như có cùng một màu. Vì vậy, người ta đã phân định ra trong quang phổ liên tục những vùng màu khác nhau:

- Vùng đỏ có bước sóng từ: $0,64 \mu\text{m} \rightarrow 0,76 \mu\text{m}$
- Vùng da cam và vàng có bước sóng từ: $0,580 \mu\text{m} \rightarrow 0,640 \mu\text{m}$ (Vùng da cam và Vùng vàng)
- Vùng lục có bước sóng từ: $0,495 \mu\text{m} \rightarrow 0,580 \mu\text{m}$
- Vùng lam - chàm có bước sóng từ: $0,440 \mu\text{m} \rightarrow 0,495 \mu\text{m}$ (Vùng lam - chàm)
- Vùng tím có bước sóng từ: $0,400 \mu\text{m} \rightarrow 0,440 \mu\text{m}$

Ngoài các màu đơn sắc, còn có các màu không đơn sắc, là hỗn hợp của nhiều màu đơn sắc với những tỉ lệ khác nhau.



Hình 1.3. màu sắc và bước sóng của ánh sáng

1. Tia hồng ngoại

Tia hồng ngoại là những bức xạ không nhìn thấy được có bước sóng lớn hơn bước sóng của ánh sáng đỏ: $0,75 \mu\text{m}$. Tia hồng ngoại có bản chất là sóng điện từ. Tia hồng ngoại do các vật bị nung nóng phát ra.

Vật có nhiệt độ thấp chỉ phát ra được các tia hồng ngoại. Chẳng hạn như thân thể người ở nhiệt độ 37°C chỉ phát ra các tia hồng ngoại trong đó mạnh nhất là các tia có bước sóng ở vùng: $9 \mu\text{m}$.

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

Vật có nhiệt độ 500°C bắt đầu phát ra ánh sáng màu đỏ tối nhưng mạnh nhất vẫn là các tia hồng ngoại ở vùng bước sóng $3.7\ \mu\text{m}$

Trong ánh sáng mặt trời, khoảng 50% năng lượng của chùm sáng thuộc về các tia hồng ngoại. Nguồn phát tia hồng ngoại thường dùng là các bóng đèn có dây tóc bằng vonfram nóng sáng công suất từ 250W đến 1000W. Nhiệt độ dây tóc bóng đèn đó vào khoảng 2000°C .

Tác dụng nổi bật nhất của tia hồng ngoại là tác dụng nhiệt. Ngoài ra, tia hồng ngoại cũng có tác dụng lên một loại kính ảnh đặc biệt gọi là kính ảnh hồng ngoại. Nếu chụp ảnh các đám mây bằng kính ảnh hồng ngoại thì ảnh các đám mây sẽ nổi lên rất rõ rệt. Đó là các đám mây chứa hơi nước ít hay nhiều sẽ hấp thụ các tia hồng ngoại yếu hay mạnh rất khác nhau.

Ứng dụng quan trọng nhất của các tia hồng ngoại là dùng để sấy hoặc sưởi. Trong công nghiệp, người ta dùng tia hồng ngoại để sấy khô các sản phẩm sơn (như vỏ ô tô, vỏ tủ lạnh v.v...) hoặc các hoa quả như chuối, nho v.v... Trong y học, người ta dùng đèn hồng ngoại để sưởi ấm ngoài da cho máu lưu thông được tốt.

2. Tia tử ngoại

Tia tử ngoại là những bức xạ không nhìn thấy được, có bước sóng ngắn hơn bước sóng của ánh sáng tím $0.40\ \mu\text{m}$.

Tia tử ngoại có bản chất là sóng điện từ.

Mặt Trời là một nguồn phát tia tử ngoại rất mạnh. Khoảng 9% công suất của chùm ánh sáng mặt trời thuộc về các tia tử ngoại. Các hồ quang điện cũng là những nguồn phát tia tử ngoại mạnh. Trong các bệnh viện và phòng thí nghiệm, người ta dùng các đèn thủy ngân làm nguồn phát các tia tử ngoại. Ngoài ra, những vật nung nóng trên 3000°C cũng phát ra tia tử ngoại rất mạnh.

Tia tử ngoại bị thủy tinh, nước v.v... hấp thụ rất mạnh. Thạch anh gần như trong suốt đối với các tia tử ngoại có bước sóng nằm trong vùng từ $0,18\ \mu\text{m} \rightarrow 0,4\ \mu\text{m}$ (gọi là vùng tử ngoại gần).

Tia tử ngoại có tác dụng rất mạnh lên kính ảnh. Nó có thể làm cho một số chất phát quang. Nó có tác dụng iôn hoá không khí. Ngoài ra, nó còn có tác dụng gây ra một số phản ứng quang hoá, phản ứng quang hợp v.v...

Tia tử ngoại có một số tác dụng sinh học.

Trong công nghiệp, người ta sử dụng tia tử ngoại để phát hiện các vết nứt nhỏ, vết xước trên bề mặt các sản phẩm tiện. Muốn vậy, người ta xoa trên bề mặt sản phẩm một lớp bột phát quang rất mịn. Bột sẽ chui vào các khe nứt, vết xước. Khi đưa sản phẩm vào chùm tử ngoại, các vết đó sẽ sáng lên.

Trong y học, người ta dùng tia tử ngoại để chữa bệnh còi xương.

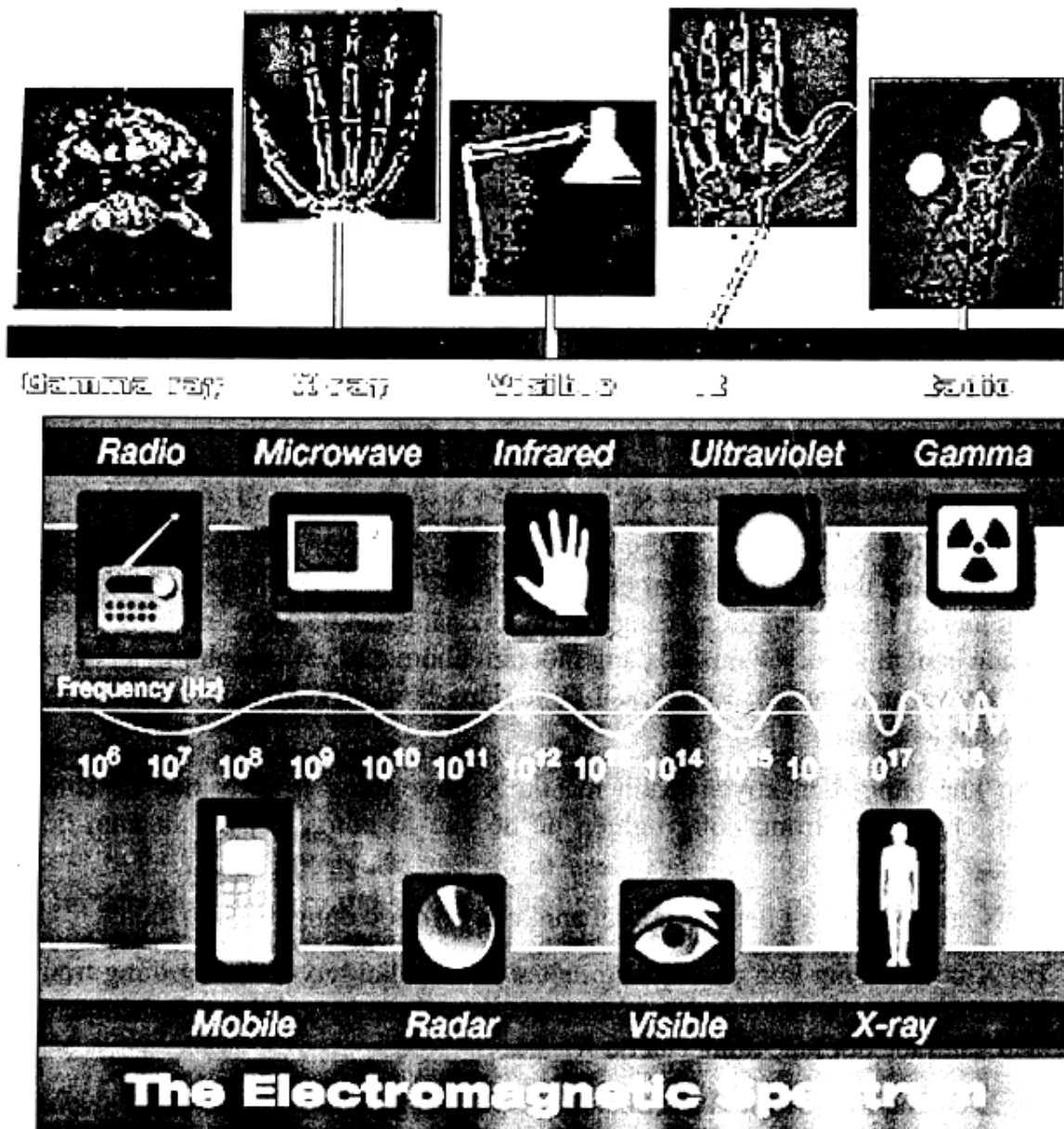
3. Tia X

Năm 1895, nhà bác học Rơn-ghen (Roentgen), người Đức, nhận thấy rằng khi cho dòng tia catốt trong ống tia catốt đập vào một miếng kim loại có nguyên tử lượng lớn như bạch kim hoặc vonfram thì từ đó sẽ phát ra một bức xạ không nhìn thấy được. Bức xạ này đi xuyên qua thành thủy tinh ra ngoài và có thể làm phát quang một số chất hoặc làm đen phim ảnh. Người ta gọi bức xạ này là tia X.

Khi mới được phát hiện, người ta tưởng lầm tia X là một dòng hạt nào đó. Tuy nhiên, khi cho tia X đi qua điện trường và từ trường mạnh thì nó không bị lệch đường. Như vậy, tia X không mang điện. Tia X là một loại sóng điện từ có bước sóng ngắn hơn bước sóng của tia từ ngoại. Bước sóng của tia X nằm trong khoảng từ $10^{-12} \rightarrow 10^{-8}\text{m}$ (tia X mềm).

Tia X có những tính chất và công dụng sau:

- Tính chất nổi bật của tia X là khả năng đâm xuyên. Nó truyền qua được những vật chắn sáng thông thường như giấy, bìa, gỗ. Nó đi qua kim loại khó khăn hơn. Kim loại có khối lượng riêng càng lớn thì khả năng cản tia X của nó càng mạnh. Chẳng hạn, tia X xuyên qua dễ dàng một tấm nhôm dày vài cm, nhưng lại bị lớp chì dày vài mm cản lại. Vì vậy, chì được dùng làm các màn chắn bảo vệ trong kỹ thuật Ronghen.
- Nhờ khả năng đâm xuyên mạnh mà tia X được dùng trong y học để chiếu điện, chụp điện, trong công nghiệp để dò các lỗ hỏng, khuyết tật nằm bên trong các sản phẩm đúc.
- Tia X có tác dụng rất mạnh lên kính ảnh, nên nó được dùng để chụp điện.
- Tia X có tác dụng làm phát quang một số chất. Màn huỳnh quang dùng trong việc chiếu điện là màn có phủ một lớp platinocyanua bary. Lớp này phát quang màu xanh lục dưới tác dụng của tia X.
- Tia X có khả năng ion hoá các chất khí. Người ta lợi dụng đặc điểm này để làm các máy đo liều lượng tia X.
- Tia X có tác dụng sinh lý. Nó có thể huỷ hoại tế bào, giết vi khuẩn. Vì thế tia X dùng để chữa những ung thư nông, gần ngoài da.



Hình 1.4. Ứng dụng sóng điện từ.

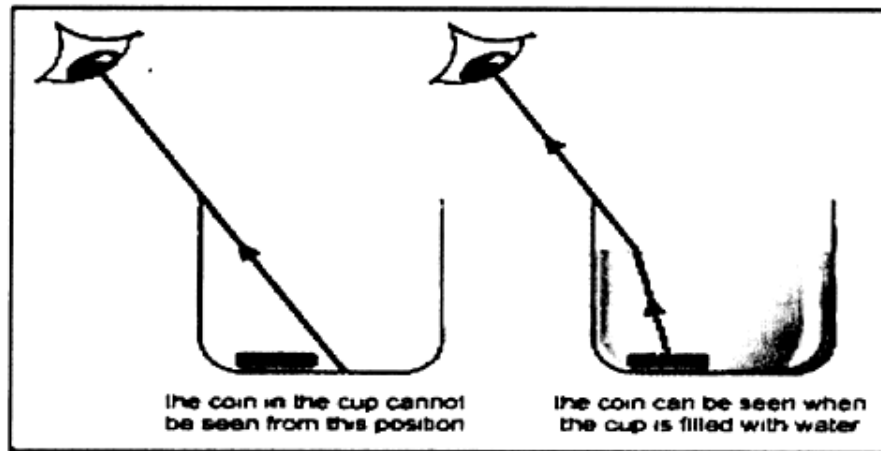
1.1.3. Các hiện tượng quang hình học

Ánh sáng nói riêng, các bức xạ điện từ nói chung dù ở bất kỳ tần số nào đều có tốc độ truyền như nhau trong môi trường chân không: $299\,792,5\text{ km/s} \approx 300\,000\text{ km/s}$.

Tuy nhiên, ở trong môi trường khác tốc độ truyền ánh sáng sẽ thay đổi.

- Môi trường chân không và không khí: $300\,000\text{ km/s}$
- Môi trường nước: $225\,000\text{ km/s}$
- Thủy tinh: $200\,000\text{ km/s}$

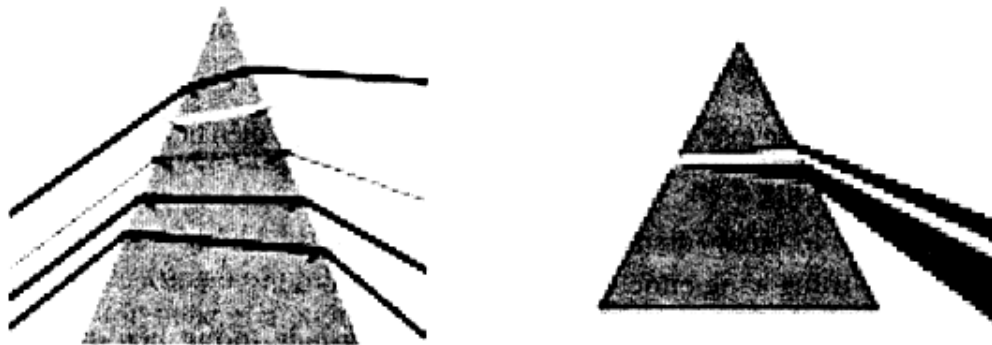
1. Hiện tượng khúc xạ ánh sáng



Hình 1.5. Hiện tượng khúc xạ ánh sáng

Khúc xạ thường dùng để chỉ hiện tượng ánh sáng đổi hướng khi đi qua mặt phân cách giữa hai môi trường có chiết suất khác nhau. Mở rộng ra, đây là hiện tượng đổi hướng đường đi của bức xạ điện từ, khi lan truyền trong môi trường không đồng nhất.

2. Hiện tượng tán sắc



Hình 1.6. Hiện tượng tán sắc

Ánh sáng trắng là tổng hợp của rất nhiều tia sáng, mỗi tia sáng tương ứng với các độ dài sóng điện từ khác nhau và có màu sắc khác nhau. Tia sáng có sóng điện từ ngắn càng dễ bị khúc xạ. Như vậy có nghĩa là ánh sáng xanh dễ bị khúc xạ hơn so với ánh sáng đỏ.

Lăng kính là một dụng cụ quang học, sử dụng để khúc xạ, phản xạ và tán xạ ánh sáng sang các màu quang phổ (như màu sắc của cầu vồng). Lăng kính thường được làm theo dạng kim tự tháp đứng, có đáy là hình tam giác.

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

Tia sáng đi từ một môi trường (như môi trường không khí) sang một môi trường khác (như thủy tinh trong lăng kính), nó sẽ bị chậm lại, và giống như kết quả, nó sẽ hoặc bị cong (khúc xạ) hoặc bị phản xạ hoặc đồng thời xảy ra cả hai hiện tượng trên. Góc mà tia sáng hợp với trục thẳng góc tại điểm mà tia sáng đi vào trong lăng kính được gọi là góc tới, và góc tạo ra ở đầu bên kia, qua quá trình khúc xạ được gọi là góc ló. Tương tự, tia sáng đi vào trong lăng kính được gọi là tia tới và tia sáng đi ra ngoài lăng kính được gọi là tia ló.

Các lăng kính phản xạ được sử dụng để phản xạ ánh sáng, ví dụ như các ống nhòm, nhờ hiện tượng phản xạ toàn phần, chúng dễ dàng được sử dụng hơn các gương. Các lăng kính tán sắc được sử dụng để chia ánh sáng thành các thành phần quang phổ màu, bởi vì độ khúc xạ của chúng phụ thuộc vào bước sóng của tia sáng (hiện tượng tán sắc); khi một tia sáng trắng đi vào trong lăng kính, nó có một góc tới xác định, trải qua quá trình khúc xạ, và phản xạ bên trong lăng kính, dẫn đến việc tia sáng bị bẻ cong, hay gấp khúc, và vì vậy, màu sắc của tia sáng ló sẽ khác nhau. Ánh sáng màu xanh có bước sóng nhỏ hơn ánh sáng màu đỏ và vì vậy nó cong hơn so với ánh sáng màu đỏ. Cũng có loại lăng kính phân cực, nó có thể chia ánh sáng thành các thành phần phân cực khác nhau.

1.1.4. Lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng

Nguyên tử gồm:

Hạt nhân (điện tích + Z) gồm:

- Proton (p), $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ kg, tích điện dương + 1,602. 10^{-19} C.
- Neutron (n), $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg, không mang điện.

Hạt nhân của các nguyên tố đều bền (trừ các nguyên tố phóng xạ).

Electron (e), $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, tích điện âm - 1,602. 10^{-19} C.

Trong bảng hệ thống tuần hoàn (HTTH), số TT nguyên tố = điện tích hạt nhân = số e.

1. Hiện tượng quang điện

Ánh sáng là một sóng điện từ lan truyền trong chân không với vận tốc $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, được đặc trưng bằng bước sóng λ hay tần số dao động $\nu = c/\lambda$

Thuyết sóng của ánh sáng giải thích được những hiện tượng liên quan với sự truyền sóng như giao thoa và nhiễu xạ nhưng không giải thích được những dữ kiện thực nghiệm về sự hấp thụ và sự phát ra ánh sáng khi đi qua môi trường vật chất.

Năm 1900, M. Planck đưa ra giả thuyết: “ Năng lượng của ánh sáng không có tính chất liên tục mà bao gồm từng lượng riêng biệt nhỏ nhất gọi là lượng tử. Một lượng tử của ánh sáng (photon) có năng lượng là $E = h\nu$

Trong đó

- E là năng lượng của photon
- ν : tần số bức xạ
- $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s - hằng số Planck.

Năm 1905, Einstein đã dựa vào thuyết lượng tử đã giải thích thỏa đáng hiện tượng quang điện. Bản chất của hiện tượng quang điện là các kim loại kiềm trong chân không khi bị chiếu sáng sẽ phát ra các electron; năng lượng của các electron đó không phụ thuộc vào cường độ của ánh sáng chiếu vào mà phụ thuộc vào tần số ánh sáng.

Einstein cho rằng khi được chiếu tới bề mặt kim loại, mỗi photon với năng lượng $h\nu$ sẽ truyền năng lượng cho kim loại. Một phần năng lượng E_0 được dùng để làm bật electron ra khỏi nguyên tử kim loại và phần còn lại sẽ trở thành động năng của electron.

$$h\nu = E_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

Những bức xạ có tần số bé hơn tần số giới hạn sẽ không gây ra hiện tượng quang điện.

Sử dụng công thức trên ta có thể tính được vận tốc của electron bật ra trong hiện tượng quang điện.

2. Mô hình nguyên tử Bohr

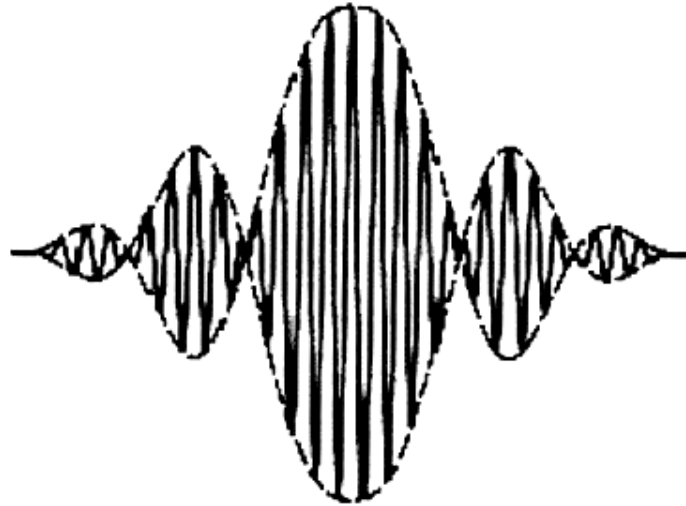
Trong nguyên tử, mỗi electron quay xung quanh nhân chỉ theo những quỹ đạo tròn đồng tâm có bán kính xác định.

Mỗi quỹ đạo ứng với một mức năng lượng xác định của electron. Quỹ đạo gần nhân nhất ứng với mức năng lượng thấp nhất, quỹ đạo càng xa nhân ứng với mức năng lượng càng cao.

Khi e chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác thì xảy ra sự hấp thụ hoặc giải phóng năng lượng. Khi e chuyển từ quỹ đạo có mức năng lượng thấp sang mức năng lượng cao hơn thì nó hấp thụ năng lượng. Khi electron chuyển từ một mức năng lượng cao sang mức năng lượng thấp hơn sẽ xảy ra sự phát xạ năng lượng. Năng lượng của bức xạ hấp thụ hoặc giải phóng là

$$\Delta E = E_n - E_m = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Electron tồn tại ở các mức năng lượng riêng biệt trong một nguyên tử. Các mức năng lượng có thể hiểu là tương ứng với các quỹ đạo riêng biệt của electron xung quanh hạt nhân. Electron ở bên ngoài sẽ có mức năng lượng cao hơn những electron ở phía trong. Khi có sự tác động vật lý hay hóa học từ bên ngoài, các hạt electron này cũng có thể nhảy từ mức năng lượng thấp lên mức năng lượng cao hay ngược lại. Các quá trình này có thể tạo ra hay hấp thụ các photon. Tập hợp các photon này tạo ra ánh sáng.



1.7. Minh họa tượng trưng 1 photon

Bước sóng (màu sắc) của tia sáng phụ thuộc vào sự chênh lệch năng lượng giữa các mức.

3. Lượng tính sóng hạt của các hạt vi mô

Mô hình trên đều không giải thích được 1 số vấn đề thực nghiệm đặt ra. Nguyên nhân là do:

- Không đề cập đến tính chất sóng của electron
- Do đó coi quỹ đạo chuyển động của electron trong nguyên tử là quỹ đạo tròn có bán kính xác định.

Năm 1924, nhà vật lý học người Pháp Louis De Broglie đã đưa ra giả thuyết: Mọi hạt vật chất chuyển động đều có thể coi là quá trình sóng được đặc trưng bằng bước sóng λ và tuân theo hệ thức

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Trong đó

- m - Khối lượng của hạt, kg
- v - Vận tốc chuyển động của hạt, m/s
- h - Hằng số Planck, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

Đối với hạt vĩ mô: m khá lớn ($h = \text{const}$) $\rightarrow \lambda$ khá nhỏ \rightarrow tính chất sóng có thể bỏ qua.

Đối với hạt vi mô: m nhỏ ($h = \text{const}$) $\rightarrow \lambda$ khá lớn \rightarrow không thể bỏ qua tính chất sóng.

Ví dụ: Một hạt có khối lượng $m = 0,3 \text{ kg}$, vận tốc chuyển động $V = 30 \text{ m/s}$ thì λ của hạt là?

Giải:

Áp dụng hệ thức Louis De Broglie

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{0,3 \cdot 30} = 0,736 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

λ của hạt vô cùng nhỏ nên bỏ qua tính chất sóng của hạt.

4. Nguyên lý bất định Heisenberg

Không thể xác định đồng thời chính xác cả toạ độ và vận tốc của hạt, do đó không thể vẽ được chính xác quỹ đạo chuyển động của hạt.

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{m}$$

Đây là hệ thức bất định Heisenberg

Trong đó:

- Δx Độ bất định (sai số) về toạ độ theo phương x
- Δv_x Độ bất định (sai số) về vận tốc theo phương x

Nếu Δx càng nhỏ thì Δv_x càng lớn, nghĩa độ bất định về toạ độ càng nhỏ thì độ bất định về vận tốc càng lớn. Từ đây rút ra một kết luận quan trọng là không thể dùng cơ học cổ điển để mô tả một cách chính xác quỹ đạo chuyển động của hạt vì mô như thuyết của Bohr mà phải sử dụng một môn khoa học mới là cơ học lượng tử.

1.1.5. Ánh sáng laser

Laser là tên viết tắt của cụm từ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation có nghĩa là "khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ kích thích" hoặc "khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ cưỡng bức".

1. Tính chất

Trong thực tế, laser là sự tạo ra một chùm hạt photon được phát xạ thỏa mãn các điều kiện sau đây:

- Tất cả các photon phát ra đều có cùng bước sóng giống nhau (ta gọi đây là sự đơn sắc).
- Tất cả các photon đều có cùng pha dao động. Nói cách khác là các photon phải được tạo ra vào cùng một thời điểm như nhau.
- Tất cả các photon đều cùng phân cực theo một phương.

2. Sự khác nhau giữa ánh sáng thường và ánh sáng laser

Ánh sáng laser gồm nhiều photon cùng một tần số, đồng pha và bay gần như song song với nhau, nên có cường độ rất cao và chiều dài đồng pha của chùm sáng lớn. Tia laser thông dụng có thể có chiều dài đồng pha cỡ vài chục cm. Các tính chất này rất quý cho nhiều ứng dụng thực nghiệm.

1.2. Bản chất của sự nhìn thấy

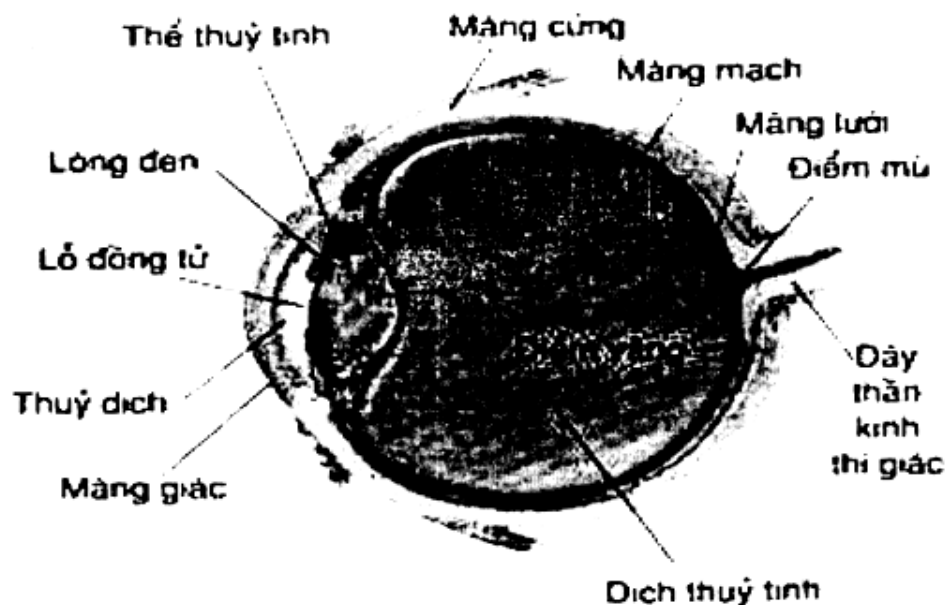
Chúng ta nhìn thấy được mọi vật xung quanh là do nguồn sáng chiếu vào vật đó rồi phản xạ vào mắt ta, nên ta thấy được vật đó.

Các dao động của điện trường trong ánh sáng tác động mạnh đến các tế bào cảm thụ ánh sáng trong mắt người.

1.2.1. Cấu tạo của mắt

Mắt giống như một máy ảnh. Nó có chức năng tạo ra một ảnh thật, nhỏ hơn vật, trên một lớp tế bào nhạy với ánh sáng, để từ đó tạo ra những tín hiệu thần kinh, đưa lên não. Tuy nhiên hệ thống quang học của mắt phức tạp hơn hệ thống quang học của máy ảnh rất nhiều.

Bộ phận chính của mắt là một thấu kính hội tụ, trong suốt, mềm, gọi là thủy tinh thể. Độ cong của hai mặt thủy tinh thể có thể thay đổi được nhờ sự co giãn của cơ dãn nó.



mắt

Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo của mắt

Đằng trước thủy tinh thể là một chất lỏng trong suốt, có chiết suất $n = 1,333$ gọi là thủy dịch.

Đằng sau thủy tinh thể cũng là một chất lỏng trong suốt khác, có chiết suất $n = 1,333$, gọi là dịch thủy tinh.

Mặt ngoài cùng của mắt là một màng mỏng trong suốt, cứng như sừng, gọi là giác mạc.

Thành trong của mắt, phần đối diện với thủy tinh thể, gọi là võng mạc. Nó đóng vai trò như một màn ảnh, tại đó có các tế bào nhạy sáng, nằm ở đầu các dây thần kinh thị giác.

Trên võng mạc, có một vùng nhỏ màu vàng, rất nhạy với ánh sáng, nằm gần giao điểm V của trục chính của mắt với võng mạc. Vùng này gọi là điểm vàng.

Dưới điểm vàng một chút có điểm mù M là điểm hoàn toàn không nhạy sáng, vì tại đó các dây thần kinh phân nhánh và không có đầu dây thần kinh thị giác.

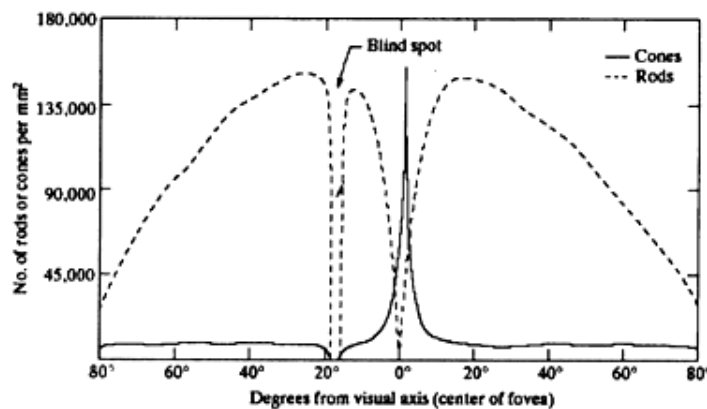
Sát mặt trước của thủy tinh thể có một màng không trong suốt, màu đen (hoặc xanh hay nâu) gọi là màng mỏng mắt (hay lòng đen).

Giữa màng mỏng mắt có một lỗ tròn nhỏ gọi là con ngươi. Tùy theo cường độ của chùm ánh sáng tới mà đường kính của con ngươi sẽ tự động thay đổi, để điều chỉnh chùm sáng chiếu vào võng mạc. Ở ngoài nắng, con ngươi thu nhỏ lại; trong phòng tối, nó mở rộng ra.

Một đặc điểm rất quan trọng về mặt cấu tạo của mắt là độ cong (do đó, tiêu cự của thủy tinh thể có thể thay đổi được). Trong khi đó, khoảng cách từ quang tâm của thủy tinh thể đến võng mạc ($d' = OV$) lại luôn luôn không đổi ($d' = 2,2\text{cm}$).

Võng mạc người được chia làm 2 lớp (xét về mặt chức năng) gồm lớp tế bào cảm nhận ánh sáng và lớp tế bào dẫn truyền xung thần kinh.

Về tế bào học, võng mạc người chỉ có 2 loại tế bào: tế bào gậy và tế bào nón.

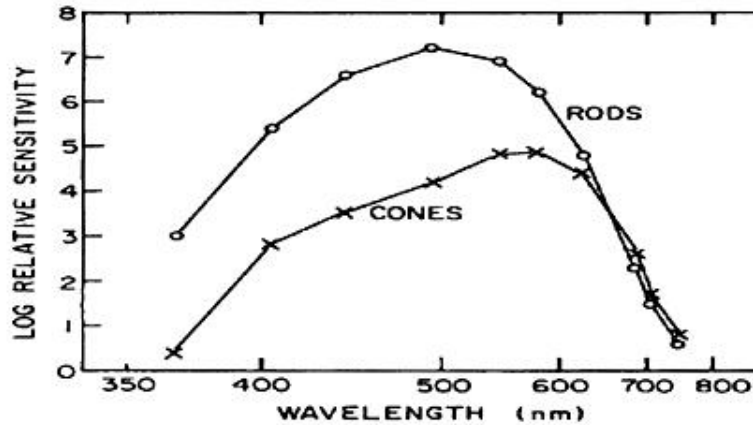


Hình 1.9. Phân bố các tế bào que và tế bào nón trong võng mạc

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

Tế bào gậy có chức năng xác định về cấu trúc, hình thể vật, những hình ảnh trong tối.

- Có từ 75-150 triệu
- Rất nhạy cảm với ánh sáng
- Cảm nhận trên dải rộng
- Ánh sáng ban ngày và đêm
- Cung cấp khả năng nhìn đêm
- Cảm nhận độ chói (cường độ sáng)
- Độ phân giải cao



Hình 1.10. Độ nhạy sáng của tế bào que và tế bào nón

Tế bào nón có chức năng xác định rõ về màu sắc, độ sắc nét. Trong đó, tế bào nón lại được phân thành 3 loại, nhận cảm màu sắc ánh sáng tương ứng với 3 vùng quang phổ khác nhau

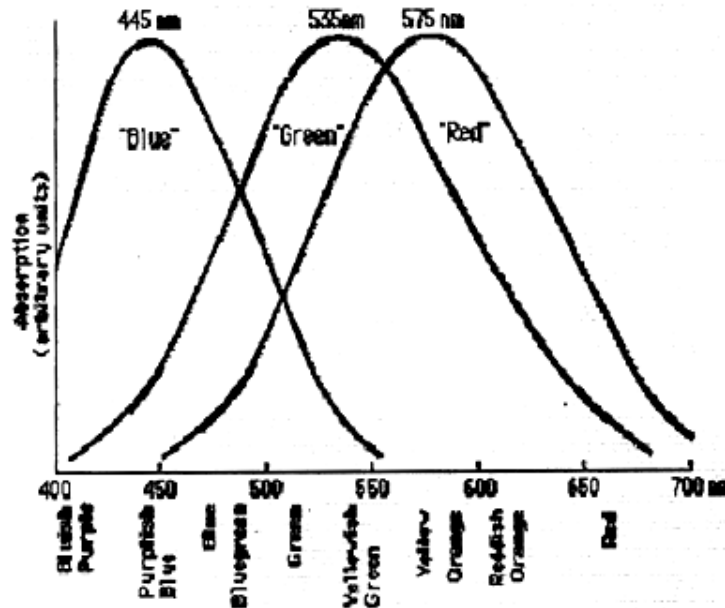
- Có từ 6 - 7 triệu
- Tập trung chủ yếu tại điểm vàng tại trung tâm võng mạc
- Cảm nhận trên dải hẹp
- Độ phân giải thấp
- Có 3 loại tế bào nón cảm nhận các tần số cảm nhận màu sắc 460 nm (xanh lam), 575 nm (xanh lục), 625 nm (đỏ)
- Chỉ có khả năng nhìn ban ngày

Có 3 loại tế bào nón cảm nhận 3 vùng quang phổ khác nhau (tức ba màu sắc khác nhau). Sự kết hợp cùng lúc 3 tín hiệu từ 3 loại tế bào này tạo nên những cảm giác màu sắc.

Tế bào cảm giác màu đỏ và màu lục có phổ hấp thụ rất gần nhau, do vậy mắt người phân biệt được rất nhiều màu nằm giữa màu đỏ và lục (màu vàng, màu da cam, xanh nõn chuối, ...).

Tế bào cảm giác màu lục và màu lam có phổ hấp thụ nằm xa nhau, nên mắt người phân biệt về các màu xanh không tốt.

Để tạo ra hình ảnh màu trên màn hình, người ta cũng sử dụng 3 loại đèn phát sáng ở 3 vùng quang phổ nhạy cảm của người.



Hình 1.11. Các tế bào nón hấp thụ các phổ $S_i(\lambda)$ có đỉnh tại các bước sóng

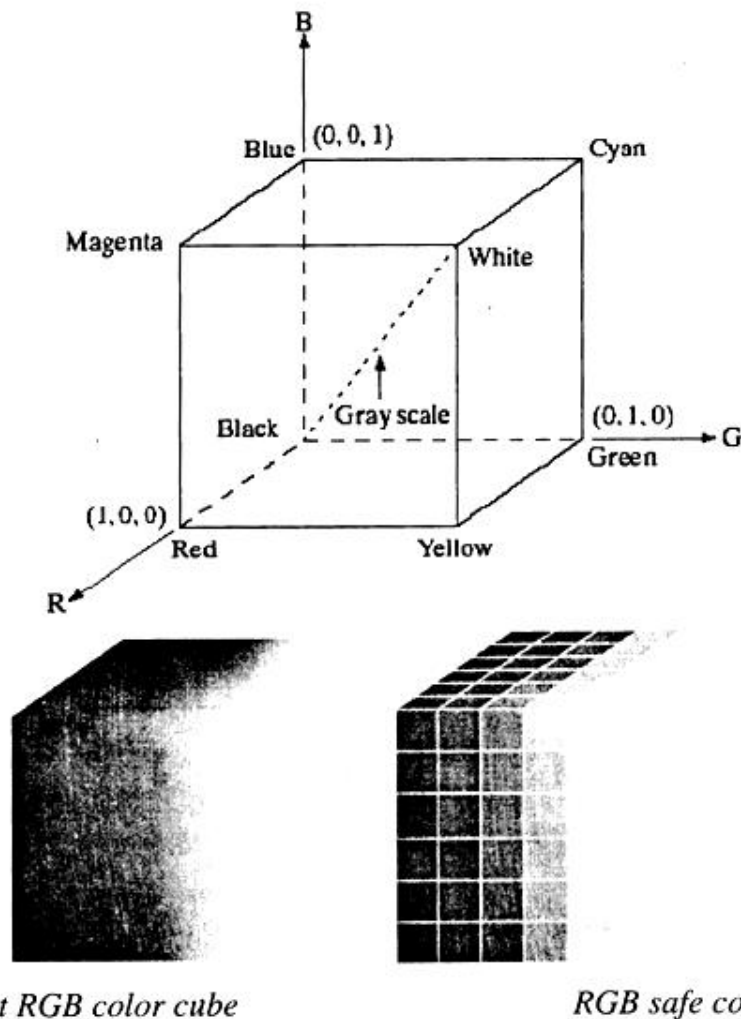
1.2.2. Các thuộc tính mô tả màu sắc

Các màu được phân biệt dựa theo các thuộc tính: độ sáng, sắc độ, và độ bão hòa màu

- Độ sáng: đặc trưng cho độ rọi cảm nhận
- Đặc trưng màu (Chrominance)
 - Sắc độ (Hue)
 - Là thuộc tính liên quan tới bước sóng chủ yếu trong hỗn hợp các bước sóng ánh sáng.
 - Đặc trưng cho màu sắc chủ đạo được người quan sát cảm nhận.

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

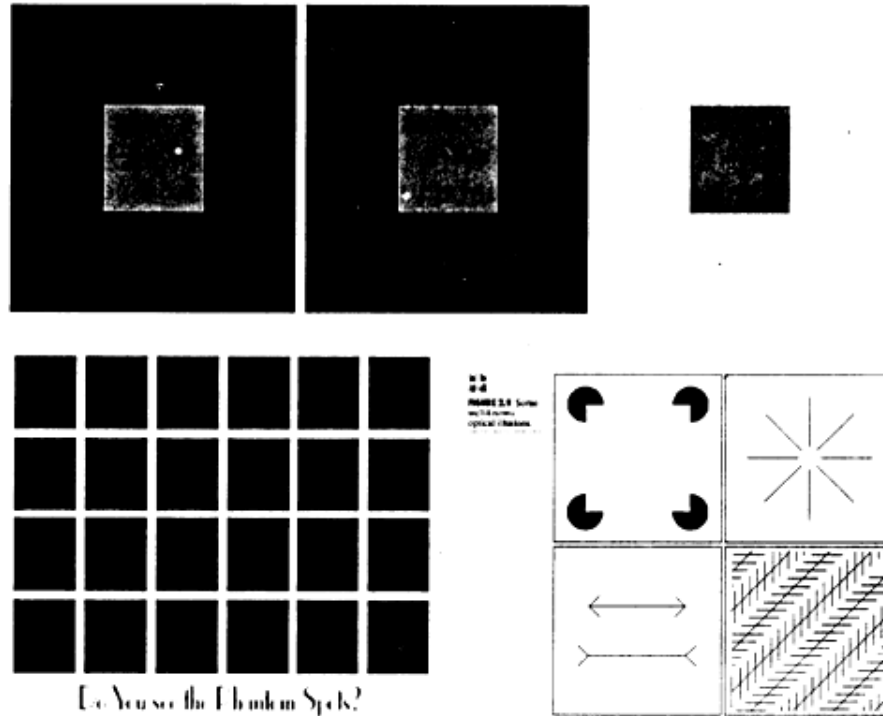
- Độ bão hòa (Saturation)
 - Đặc trưng cho độ thuần khiết tương đối
 - Phụ thuộc vào độ rộng của phổ ánh sáng
 - Thể hiện lượng màu trắng được trộn với sắc độ
- Hue và độ bão hòa gọi là đặc trưng màu (chromaticity)



Hình 1.12. Sự biểu diễn màu sắc

Hầu hết mắt của các sinh vật nhạy cảm với bức xạ điện từ có bước sóng nằm trong khoảng từ 300 nm đến 1200 nm. Khoảng bước sóng này trùng khớp với vùng phát xạ có cường độ mạnh nhất của Mặt Trời.

Các loài vật trên Trái Đất tiến hoá để thu nhận vùng bức xạ tự nhiên mạnh nhất đem lại lợi thế sinh tồn cho chúng.



Hình 1.13. Sự cảm nhận sai độ tương phản và hình dáng kích thước của mắt

1.3. Góc khối

1.3.1. Khái niệm góc khối



Hình 1.14. Góc khối

Đơn vị đo góc khối là góc khối tương đương tại tâm của một hình cầu có bán kính r theo một phần trên bề mặt của hình cầu có diện tích r^2 . Như vậy ta có 4π Steradian trong hình cầu.

1.3.2. Góc trông vật và năng suất phân li của mắt

Góc trông vật AB có dạng một đoạn thẳng đặt vuông góc với trục chính của mắt, là góc tạo bởi hai tia sáng đi từ hai đầu A và B của vật qua quang tâm O của mắt.

Muốn phân biệt được hai điểm A và B thì không những hai điểm đó phải nằm trong giới hạn nhìn rõ của mắt, mà góc trông đoạn AB phải đủ lớn. Thực vậy, khi đoạn

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

AB ngắn lại, góc trông đoạn AB giảm đi, hai ảnh A' và B' của chúng trên võng mạc sẽ tiến lại gần nhau. Khi hai ảnh A', B' nằm trên cùng một đầu tế bào nhạy ánh sáng thì ta không còn phân biệt được hai điểm A và B nữa.

Do đó, người ta gọi năng suất phân li của mắt là góc trông nhỏ nhất α_{\min} giữa hai điểm A và B mà mắt còn có thể phân biệt được hai điểm đó. Lúc đó hai ảnh A' và B' của chúng nằm tại hai tế bào nhạy sáng cạnh nhau trên võng mạc.

Năng suất phân li của mắt phụ thuộc vào từng con mắt. Phép đo đặc thống kê cho ta kết quả

$$\alpha_{\min} \approx 1' \approx \frac{1}{3500} \text{rad}$$

1.3.3. Sự lưu ảnh trên võng mạc

Sau khi tắt ánh sáng kích thích trên võng mạc, phải mất một khoảng thời gian cỡ 0,1s, võng mạc mới hồi phục lại như cũ. Trong khoảng thời gian đó, cảm giác sáng chưa bị mất và người quan sát vẫn còn thấy hình ảnh của vật. Đó là sự lưu ảnh trên võng mạc.

Hiện tượng này được sử dụng trong chiếu bóng, trong vô tuyến truyền hình.

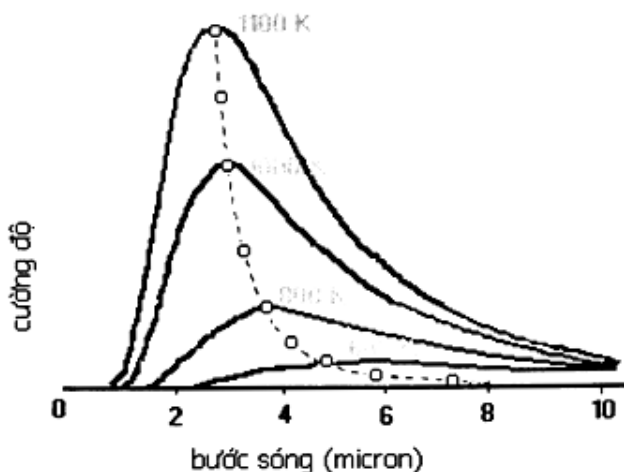
1.4. Trắc quang

1.4.1. Quang phổ

1. Quang phổ liên tục

Nếu nguồn là một bóng đèn có dây tóc nóng sáng thì qua lăng kính ta thấy có một dải sáng có màu biến đổi liên tục từ đỏ đến tím. Đó là quang phổ liên tục của ngọn đèn.

Các vật rắn, lỏng hoặc khí có tỉ khối lớn khi bị nung nóng sẽ phát ra quang phổ liên tục. Mặt Trời là một khối khí có tỉ khối lớn phát sáng. Quang phổ của ánh sáng mặt trời là quang phổ liên tục. Trong quang phổ liên tục, các vạch màu cạnh nhau nằm sát nhau đến mức chúng nối liền với nhau tạo nên một dải màu liên tục.



Hình 1.15. Bước sóng tia hồng ngoại phát ra giảm khi nhiệt độ các vật bị nung nóng tăng

(Một đặc điểm quan trọng của quang phổ liên tục là nó không phụ thuộc thành phần cấu tạo của nguồn sáng, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn sáng.)

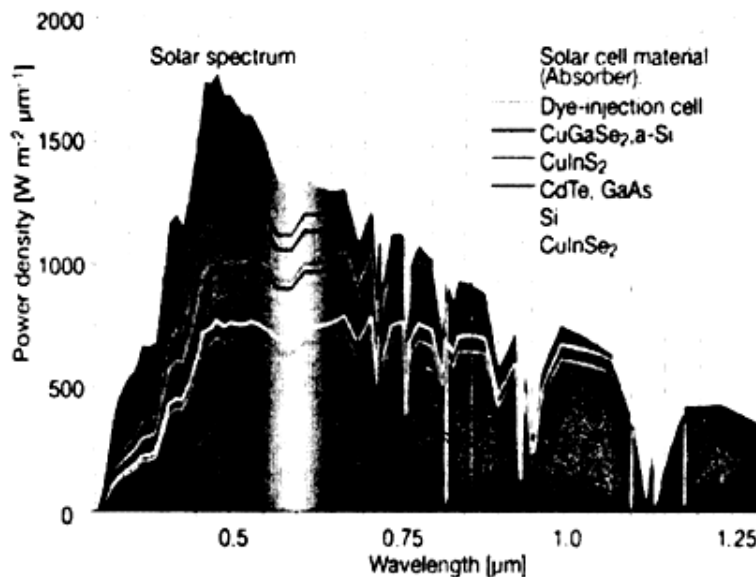
Một miếng sắt và một miếng sứ đặt trong lò, nung đến cùng một nhiệt độ sẽ cho hai quang phổ liên tục rất giống nhau.

Ở nhiệt độ 500°C , vật bắt đầu phát sáng đỏ, nhưng rất yếu, nên mắt chưa cảm nhận được và vật vẫn tối.

Nhiệt độ càng cao, miền phát sáng của vật càng mở rộng về phía ánh sáng có bước sóng ngắn của quang phổ liên tục.

Các dây tóc bóng đèn có nhiệt độ khoảng từ 2500K đến 3000K phát sáng khá mạnh ở vùng ánh sáng nhìn thấy và cho một quang phổ liên tục có đủ màu sắc từ đỏ đến tím. Ánh sáng của các bóng đèn này là ánh sáng trắng.

Nhiệt độ của bề mặt Mặt Trời khoảng 6000K. Vùng sáng mạnh của quang phổ liên tục của Mặt Trời nằm lân cận bước sóng $0,47\mu\text{m}$, ánh sáng mặt trời là ánh sáng trắng.



Hình 1.16. Phổ mặt trời

Trên bầu trời có các ngôi sao màu sáng xanh. Nhiệt độ của các ngôi sao này càng cao hơn nhiệt độ của Mặt Trời rất nhiều.

Người ta lợi dụng đặc điểm trên để xác định nhiệt độ của các vật phát sáng do nung nóng như nhiệt độ của dây tóc bóng đèn, hồ quang, lò cao, Mặt Trời, các sao v.v...

Muốn đo nhiệt độ của một vật bị nung nóng sáng, người ta so sánh độ sáng của vật đó với độ sáng của một dây tóc bóng đèn ở một vùng bước sóng nào đó (thường là đỏ).

Nhiệt độ của dây tóc bóng đèn ứng với những độ sáng khác nhau đã hoàn toàn biết trước.

2. Quang phổ vạch phát xạ

Chiếu một chùm tia sáng do một đèn phóng điện chứa khí loãng (đèn hơi thủy ngân, đèn hydro, đèn natri v.v...) phát ra vào khe của một máy quang phổ, ta sẽ thu được trên tấm kính của buồng ảnh một quang phổ phát xạ của chất khí hoặc hơi kim loại đó. Quang phổ này bao gồm một hệ thống những vạch màu riêng rẽ nằm trên một nền tối và gọi là quang phổ vạch.

Quang phổ vạch phát xạ do các khí hay hơi ở áp suất thấp bị kích thích phát sáng ra. Có thể kích thích cho một chất khí phát sáng bằng cách đốt nóng hoặc bằng cách phóng một tia lửa điện qua đám khí hay hơi đó v.v...

Thực nghiệm cho thấy quang phổ vạch phát xạ của các nguyên tố khác nhau thì rất khác nhau về số lượng các vạch quang phổ, vị trí các vạch, màu sắc các vạch và độ sáng tỉ đối của các vạch đó.

Như vậy, mỗi nguyên tố hoá học ở trạng thái khí hay hơi nóng sáng dưới áp suất thấp cho một quang phổ vạch riêng, đặc trưng cho nguyên tố đó.

3. Quang phổ vạch hấp thụ

Chiếu một chùm sáng trắng do một đèn có dây tóc nóng sáng phát ra vào khe của một máy quang phổ ta thu được một quang phổ liên tục trên tấm kính của buồng ảnh. Nếu trên đường đi của chùm sáng ta đặt một ngọn đèn có hơi natri nung nóng thì trong quang phổ liên tục nói trên xuất hiện một vạch tối (thực ra là hai vạch tối nằm sát cạnh nhau) ở đúng vị trí của vạch vàng trong quang phổ phát xạ của natri. Đó là quang phổ hấp thụ của natri.

Nếu thay hơi natri bằng hơi kali thì trên quang phổ liên tục xuất hiện những vạch tối ở đúng chỗ những vạch màu của quang phổ phát xạ của kali. Đó là quang phổ hấp thụ của kali.

Quang phổ của Mặt Trời mà ta thu được trên Trái Đất là quang phổ hấp thụ. Bề mặt của Mặt Trời (quang cầu) phát ra một quang phổ liên tục. ánh sáng từ quang cầu đi qua lớp khí quyển của Mặt Trời đến Trái Đất cho ta một quang phổ hấp thụ của khí quyển đó.

Điều kiện để thu được quang phổ hấp thụ là nhiệt độ của đám khí hay hơi hấp thụ phải thấp hơn nhiệt độ của nguồn sáng phát ra quang phổ liên tục.

4. Hiện tượng đảo sắc các vạch quang phổ

Có một hiện tượng đặc biệt liên hệ giữa quang phổ vạch hấp thụ và quang phổ vạch phát xạ của cùng một nguyên tố: hiện tượng đảo sắc. Hiện tượng này xảy ra như sau:

Giả sử đám hơi hấp thụ ở trong thí nghiệm trên được nung nóng đến nhiệt độ mà chúng có thể phát sáng, tuy nhiệt độ này vẫn còn thấp hơn nhiệt độ của nguồn sáng trắng. Trên kính ảnh của máy quang phổ, ta thu được quang phổ hấp thụ của đám hơi đó.

Bây giờ ta đột ngột tắt nguồn sáng trắng đi. Ta sẽ thấy biến mất nền quang phổ liên tục trên kính ảnh, đồng thời những vạch đen của quang phổ hấp thụ trở thành

những vạch màu của quang phổ vạch phát xạ của chính nguyên tố đó. Đó là hiện tượng đảo sắc của vạch quang phổ.

Thí dụ: Trong quang phổ hấp thụ của hơi natri có một vạch đen kép nằm đúng vị trí của hai vạch vàng ($0,5890\mu\text{m}$, $0,5896\mu\text{m}$) của natri.

Vậy, ở một nhiệt độ nhất định, một đám hơi có khả năng phát ra những ánh sáng đơn sắc nào thì nó cũng có khả năng hấp thụ những ánh sáng đơn sắc đó.

Quang phổ vạch hấp thụ của mỗi nguyên tố cũng có tính chất đặc trưng riêng cho nguyên tố đó. Vì vậy, cũng có thể căn cứ vào quang phổ vạch hấp thụ để nhận biết sự có mặt của nguyên tố đó trong các hỗn hợp hay hợp chất. Đó là nội dung của phép phân tích quang phổ hấp thụ.

Nhờ có việc phân tích quang phổ hấp thụ của Mặt Trời mà người ta đã phát hiện ra heli ở trên Mặt Trời, trước khi tìm thấy nó ở Trái Đất. Ngoài ra người ta còn thấy có mặt của rất nhiều nguyên tố trong khí quyển Mặt Trời như hiđrô, natri, canxi, sắt v.v...

5. Phép phân tích quang phổ và tiện lợi của phép phân tích quang phổ

Phép phân tích thành phần cấu tạo của các chất dựa vào việc nghiên cứu quang phổ gọi là phép phân tích quang phổ.

Trong phép phân tích quang phổ định tính, người ta chỉ cần biết sự có mặt của các thành phần khác nhau trong mẫu mà người ta cần nghiên cứu. Phép phân tích quang phổ định tính thì đơn giản và cho kết quả nhanh hơn các phép phân tích hoá học.

Trong phép phân tích quang phổ định lượng, người ta cần biết cả nồng độ của các thành phần trong mẫu. Phép phân tích quang phổ hết sức nhạy. Người ta có thể phát hiện được một nồng độ rất nhỏ của chất trong mẫu (thường vào khoảng 0,002%).

Nhờ phép phân tích quang phổ mà người ta đã biết được thành phần cấu tạo và nhiệt độ của các vật ở rất xa như Mặt Trời và các sao.

1.4.2. Khái niệm quang trắc

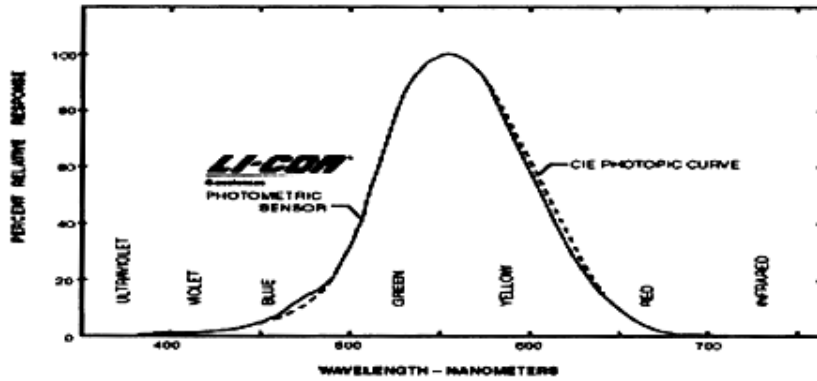
Các hệ đo ánh sáng dựa trên cơ sở mô phỏng đáp ứng của mắt người với ánh sáng.

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.

Người ta 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 đặc trưng cho quan sát chuẩn) (Standard observer curve hay Luminosity curve for the Standard observer) hay còn gọi là đường cong CIE ("Commission International de l'Eclairage" của Hội đồng "International Commission on Illumination").

Chương 1: Các kiến thức cơ bản



Hình 1.17. Đường quan sát chuẩn

Lưu ý trên đồ thị đường cong chuẩn (độ trung tương đối phụ thuộc 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

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

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.

$$F_v = 683[\text{lm/W}] \cdot \Phi_e \cdot \eta$$

Với:

- F_v : Dòng quang (lumen)
- Φ_e : Dòng bức xạ (Watt)
- 683 lm/W : Hằng số vật lý
- η : Độ trung tương đối ở bước sóng đang xét

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/m^2
- Kích thích quang trung: $M_v = dF_v / dA$ lm/m^2
- Cường độ sáng): $I_v = dF_v / d\omega = E_v \cdot R^2$ lm/sr
- ω góc đặc (góc khối) Sr (Steradian)
- Độ quang trung-Luminance $L_v = dF_v / (d\omega \cdot dA \cdot \cos\theta)$ lm/sr.m^2

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

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

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

a : Diện tích của nguồn bức xạ.

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

1.4.3. Các đơn vị đo bức xạ

Các khái niệm cơ bản

Radiant energy (năng lượng bức xạ)	Q_e	Joule (J)
Radiant Flux (dòng bức xạ)	$\Phi_e = (dQ_e/dt) _{\text{qua diện tích dA}}$	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)	$I_e = d\Phi_e/d\omega$ với $d\omega = dA/R^2$	(W/sr) 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)	$L_\lambda = d\Phi_e/d\omega dA \cos\theta$	$(W/sr.m^2)$
Spectral Radiant Power (công suất bức xạ trên đơn vị bước sóng):	$\Phi_\lambda = dQ_e/d\lambda$	(W/nm)
Spectral Emittance (phổ kích thích, độ rọi phổ)	$W_\lambda = dM_e/d\lambda$	$(W/m^2.nm)$
Spectral Radiant Intensity:	$I_\lambda = dI_e/d\lambda$	$(W/sr.nm)$
Spectral Radiance	$L_\lambda = dL_e/d\lambda$	$(W/sr.m^2.nm)$

Đơn vị ánh sáng và bức xạ điện từ có liên quan				
1	Năng lượng bức xạ	jun	J	$1J = 1N \cdot 1m = 1m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
2	Công suất bức xạ (thông lượng bức xạ)	oát	W	$1W = 1J/1s = 1m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
3	Cường độ bức xạ	oát trên steradian	W/sr	Oát trên steradian là cường độ bức xạ của một nguồn điểm phát đều thông lượng bức xạ 1 oát trong góc khối 1 steradian. $1W/sr = 1m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
4	Độ chói năng lượng	oát trên steradian mét vuông	W/(sr.m ²)	Oát trên steradian mét vuông là độ chói năng lượng theo một hướng đã cho tại một điểm trên bề mặt có cường độ bức xạ của phân tử bề mặt ấy là 1 oát trên steradian và diện tích hình chiếu của phân tử lên mặt phẳng vuông góc với hướng trên là 1 mét vuông. $1W/(sr \cdot m^2) = 1kg \cdot s^{-3}$
5	Năng suất bức xạ	oát trên mét vuông	W/m ²	Oát trên mét vuông là năng suất bức xạ tại một điểm trên bề mặt có thông lượng bức xạ từ một phân tử diện tích 1 mét vuông của bề mặt này là 1 oát. $1W/m^2 = 1kg \cdot s^{-3}$
6	Độ rọi năng lượng	oát trên mét vuông	W/m ²	Oát trên mét vuông là độ rọi năng lượng ở một điểm trên bề mặt có thông lượng bức xạ 1 oát chiếu lên phân tử diện tích 1 mét vuông của bề mặt đó. $1W/m^2 = 1kg \cdot s^{-3}$
7	Cường độ sáng	candela	cd	Candela là cường độ sáng theo một phương xác định của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số 540×10^{12} héc và có cường độ bức xạ theo phương đó là 1/683 oát trên steradian (CGPM lần thứ 16, 1979). Đơn vị cơ bản.

Chương 1: Các kiến thức cơ bản

8	Độ chói	candela trên mét vuông	cd/m ²	<p>Candela trên mét vuông là độ chói của một nguồn phẳng 1 mét vuông có cường độ sáng 1 candela đo theo phương vuông góc với nguồn.</p> $1\text{cd/m}^2 = 1\text{m}^{-2}.\text{cd}$
9	Quang thông	lumen	lm	<p>Lumen là quang thông do một nguồn sáng điểm cường độ 1 candela phát đều trong góc khối 1 steradian.</p> $1\text{lm} = 1\text{cd}.1\text{sr} = 1\text{cd}$
10	Lượng sáng	lumen giây	lm.s	<p>Lumen giây là lượng sáng của quang thông 1 lumen tính trong thời gian 1 giây.</p> $1\text{lm.s} = 1\text{cd.s}$
		lumen giờ	lm.h	$1\text{lm.h} = 3\,600\text{lm.s}$
11	Năng suất phát sáng (độ trung)	lumen trên mét vuông	lm/m ²	<p>Lumen trên mét vuông là năng suất phát sáng của một nguồn hình cầu có diện tích ngoài 1 mét vuông phát ra một quang thông lumen phân bố đều theo mọi phương.</p> $1\text{lm/m}^2 = 1\text{m}^{-2}.\text{cd}$
12	Độ rọi	lux	lx	<p>Lux là độ rọi của một mặt phẳng nhận quang thông 1 lumen phân bố đều trên diện tích 1 mét vuông của mặt đó.</p> $1\text{lx} = 1\text{lm}/1\text{m}^2 = 1\text{m}^{-2}.\text{cd}$
13	Lượng rọi	lux giây	lx.s	<p>Lux giây là lượng rọi ứng với độ rọi 1 lux trong thời gian 1 giây.</p> $1\text{lx.s} = 1\text{m}^{-2}.\text{s.cd}$
		lux giờ	lx.h	$1\text{lx.h} = 3\,600\text{lx.s}$
14	Độ tụ (quang lực)	một trên mét	m ⁻¹	<p>Một trên mét là độ tụ của một hệ quang tiêu cự 1 mét trong môi trường chiết suất bằng 1.</p> $1\text{m}^{-1} = 1\text{m}^{-1}$
		điốp	dp	<p>Điốp là tên gọi khác của đơn vị một trên mét.</p> $1\text{dp} = 1\text{m}^{-1}$

Chương 2

BÁN DẪN

2.1. Lý thuyết dải năng lượng

2.1.1. Mức năng lượng và dải năng lượng

Ta biết rằng vật chất được cấu tạo từ những nguyên tử (đó là thành phần nhỏ nhất của nguyên tố mà còn giữ nguyên tính chất của nguyên tố đó). Theo mô hình của nhà vật lý Anh, Rutherford (1871-1937), nguyên tử gồm có một nhân mang điện tích dương (Proton mang điện tích dương và Neutron trung hoà về điện) và một số điện tử (electron) mang điện tích âm chuyển động chung quanh nhân và chịu tác động bởi lực hút của nhân.

Nguyên tử luôn luôn trung hoà điện tích, số electron quay chung quanh nhân bằng số proton chứa trong nhân - điện tích của một proton bằng điện tích một electron nhưng trái dấu). Điện tích của một electron là $-1,602 \cdot 10^{-19}$ C (Coulomb), điều này có nghĩa là để có được 1 Coulomb điện tích phải có $6,242 \cdot 10^{18}$ electron. điện tích của điện tử có thể đo được trực tiếp nhưng khối lượng của điện tử không thể đo trực tiếp được. Tuy nhiên, người ta có thể đo được tỉ số giữa điện tích và khối lượng (e/m), từ đó suy ra được khối lượng của điện tử là $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

$$m_e = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Đó là khối lượng của điện tử khi nó chuyển động với vận tốc rất nhỏ so với vận tốc ánh sáng ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Khi vận tốc điện tử tăng lên, khối lượng của điện tử được tính theo công thức Lorentz-Einstein:

Mỗi điện tử chuyển động trên một đường tròn và chịu một gia tốc xuyên tâm. Theo thuyết điện tử thì khi chuyển động có gia tốc, điện tử phải phát ra năng lượng. Sự mất năng lượng này làm cho quỹ đạo của điện tử nhỏ dần và sau một thời gian ngắn, điện tử sẽ rơi vào nhân. Nhưng trong thực tế, các hệ thống này là một hệ thống bền theo thời gian. Do đó, giả thuyết của Rutherford không đứng vững.

Nhà vật lý học Đan Mạch, Niels Bohr (1885 - 1962), đã bổ túc bằng các giả thuyết sau:

- Có những quỹ đạo đặc biệt, trên đó điện tử có thể di chuyển mà không phát ra năng lượng. Tương ứng với mỗi quỹ đạo có một mức năng lượng nhất định. Ta có một quỹ đạo dừng.

Chương 2: Bán dẫn

- Khi điện tử di chuyển từ một quỹ đạo tương ứng với mức năng lượng w_1 sang quỹ đạo khác tương ứng với mức năng lượng w_2 thì sẽ có hiện tượng bức xạ hay hấp thụ năng lượng. Tần số của bức xạ (hay hấp thụ) này là:

$$f = \frac{w_2 - w_1}{h}$$

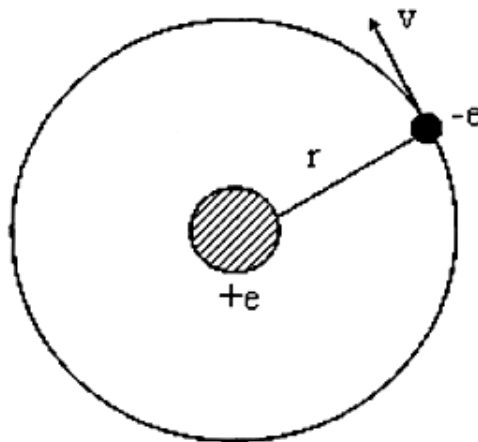
Trong đó, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s (hằng số Planck).

- Trong mỗi quỹ đạo dừng, moment động lượng của điện tử bằng bội số của:

$$\frac{h}{2\pi} = \hbar$$

Moment động lượng:

$$m.v.r = n \cdot \frac{h}{2\pi} = n \cdot \hbar$$



Hình 2.1. Mô hình nguyên tử hydro

Với giả thuyết trên, người ta đã dự đoán được các mức năng lượng của nguyên tử hydro và giải thích được quang phổ vạch của Hydro, nhưng không giải thích được đối với những nguyên tử có nhiều điện tử. Nhận thấy sự đối tính giữa sóng và hạt, Louis de Broglie (nhà vật lý học Pháp) cho rằng có thể liên kết mỗi hạt điện khối lượng m , chuyển động với vận tốc v một bước sóng.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Trong khi giải phương trình Schrodinger để tìm năng lượng của những điện tử trong một nguyên tử duy nhất, người ta thấy rằng mỗi trạng thái năng lượng của electron phụ thuộc vào 4 số nguyên gọi là 4 số nguyên lượng.

- Số nguyên lượng xuyên tâm (Số nguyên lượng chính). Xác định kích thước của quỹ đạo $n = 1, 2, 3, \dots, 7$.
- Số nguyên lượng phương vị: (Số nguyên lượng phụ). Xác định hình thể quỹ đạo $l = 1, 2, 3, \dots, n - 1$.
- Số nguyên lượng từ. Xác định phương hướng của quỹ đạo $m_l = 0, \pm 1, \dots, \pm l$.
- Số nguyên lượng Spin. Xác định chiều quay của electron.

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

Trong một hệ thống gồm nhiều nguyên tử, các số nguyên lượng tuân theo nguyên lý ngoại trừ Pauli. Nguyên lý này cho rằng: trong một hệ thống không thể có 2 trạng thái nguyên lượng giống nhau, nghĩa là không thể có hai điện tử có 4 số nguyên lượng hoàn toàn giống nhau.

2.1.2. Phân bố điện tử trong nguyên tử theo năng lượng

Tất cả các nguyên tử có cùng số nguyên lượng chính n hợp thành một tầng có tên là K, L, M, N, O, P, Q ứng với $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Ở mỗi tầng, các điện tử có cùng số l tạo thành các phụ tầng có tên s, p, d, f tương ứng với $l = 0, 1, 2, 3$.

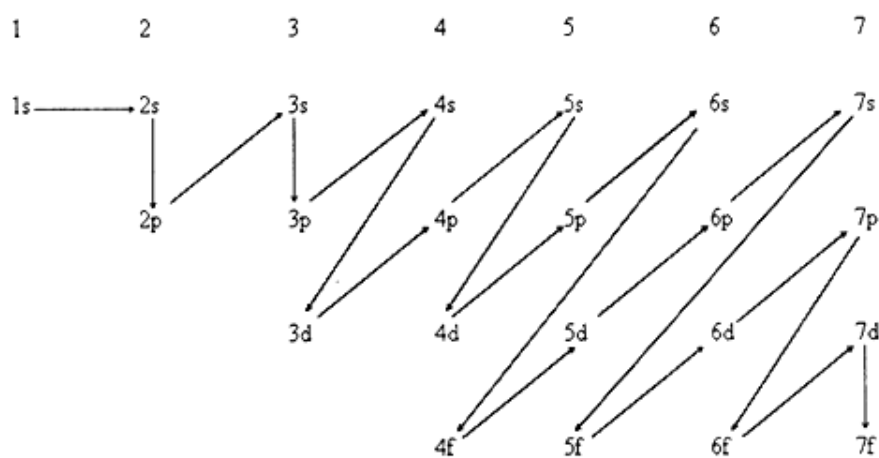
- Tầng K ($n = 1$) có một phụ tầng s có tối đa 2 điện tử.
- Tầng L ($n = 2$) có một phụ tầng s có tối đa 2 điện tử và một phụ tầng p có tối đa 6 điện tử.
- Tầng M ($n = 3$) có một phụ tầng s (tối đa 2 điện tử), một phụ tầng p (tối đa 6 điện tử) và một phụ tầng d (tối đa 10 điện tử).
- Tầng N ($n = 4$) có một phụ tầng s (tối đa 2 điện tử), một phụ tầng p (tối đa 6 điện tử), một phụ tầng d (tối đa 10 điện tử) và một phụ tầng f (tối đa 14 điện tử).

Như vậy:

- Tầng K có tối đa 2 điện tử.
- Tầng L có tối đa 8 điện tử.
- Tầng M có tối đa 18 điện tử.
- Tầng N có tối đa 32 điện tử.
- Các tầng O, P, Q cũng có 4 phụ tầng và cũng có tối đa 32 điện tử.

Chương 2: Bán dẫn

Ứng với mỗi phụ tầng có một mức năng lượng và các mức năng lượng được xếp theo thứ tự như sau:

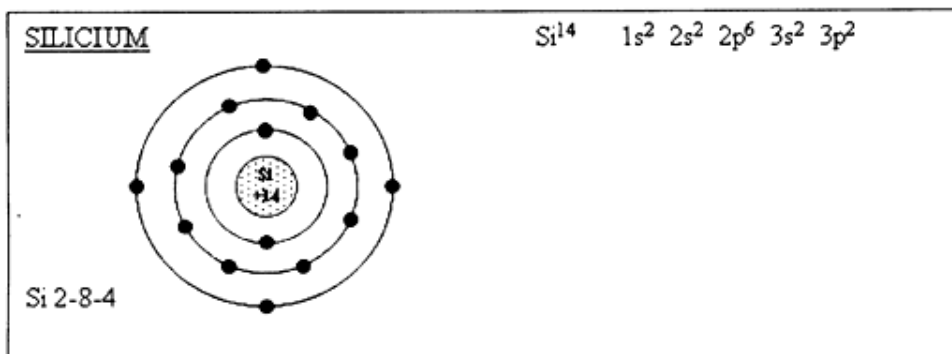
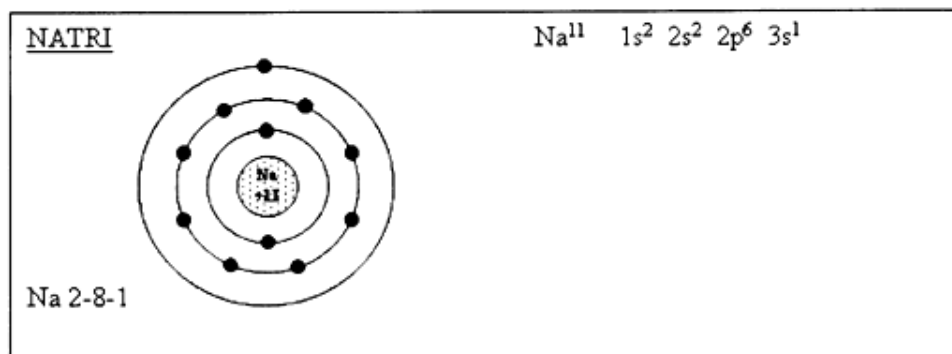


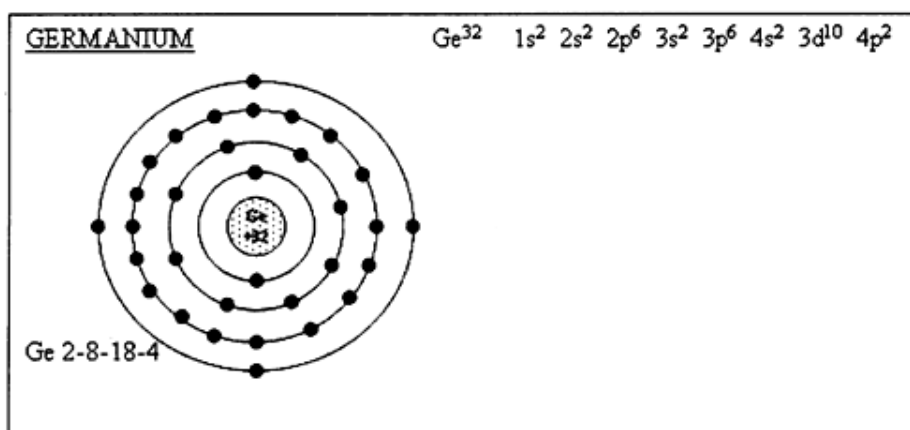
Hình 2.2. Phân bố điện tử trong nguyên tử theo năng lượng

Khi không bị kích thích, các trạng thái năng lượng nhỏ bị điện tử chiếm trước (gần nhân hơn) khi hết chỗ mới sang mức cao hơn (xa nhân hơn).

Thí dụ: nguyên tử Na có số điện tử $z=11$, có các phụ tầng 1s, 2s, 2p bị các điện tử chiếm hoàn toàn nhưng chỉ có 1 điện tử chiếm phụ tầng 3s.

Cách biểu diễn





Hình 2.3. Mô hình nguyên tử Na, Si, Ge

Lớp bảo hoà: Một phụ tầng bảo hoà khi có đủ số điện tử tối đa.

Một tầng bảo hoà khi mọi phụ tầng đã bảo hoà. Một tầng bảo hoà rất bền, không nhận thêm và cũng khó mất điện tử.

Tầng ngoài cùng: Trong một nguyên tử, tầng ngoài cùng không bao giờ chứa quá 8 điện tử. Nguyên tử có 8 điện tử ở tầng ngoài cùng đều bền vững (trường hợp các khí trơ).

Các điện tử ở tầng ngoài cùng quyết định hầu hết tính chất hoá học của một nguyên tố.

2.1.3. Dải năng lượng (Energy bands)

Những công trình khảo cứu ở tia X chứng tỏ rằng hầu hết các chất bán dẫn đều ở dạng kết tinh.

Tính chất dẫn điện của các vật liệu rắn được giải thích nhờ lý thuyết vùng năng lượng. Như ta biết, điện tử tồn tại trong nguyên tử trên những mức năng lượng gián đoạn (các trạng thái dừng). Nhưng trong chất rắn, khi mà các nguyên tử kết hợp lại với nhau thành các khối, thì các mức năng lượng này bị phủ lên nhau, và trở thành các vùng năng lượng và sẽ có ba vùng chính.

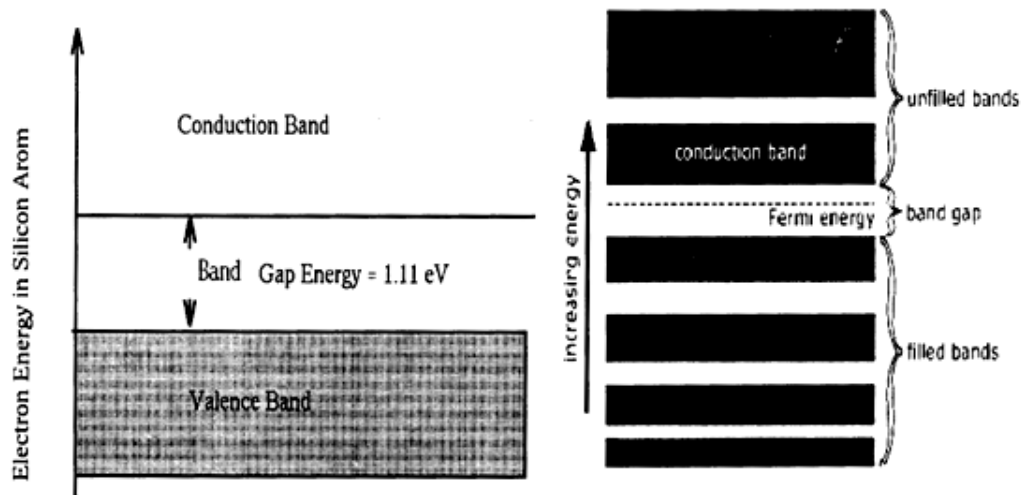
Ta khảo sát một tinh thể bất kỳ, năng lượng của điện tử được chia thành từng dải. Dải năng lượng cao nhất bị chiếm gọi là dải hoá trị, dải năng lượng thấp nhất chưa bị chiếm gọi là dải dẫn điện. Khoảng cách hai dải năng lượng này gọi là dải cấm.

Vùng hóa trị (valence band): Vùng có năng lượng thấp nhất theo thang năng lượng, là vùng mà điện tử bị liên kết mạnh với nguyên tử và không linh động.

Vùng dẫn (Conduction band): Vùng có mức năng lượng cao nhất, là vùng mà điện tử sẽ linh động (như các điện tử tự do) và điện tử ở vùng này sẽ là điện tử dẫn, có nghĩa là chất sẽ có khả năng dẫn điện khi có điện tử tồn tại trên vùng dẫn. Tính dẫn điện tăng khi mật độ điện tử trên vùng dẫn tăng.

Chương 2: Bán dẫn

Vùng cấm (Forbidden band): Vùng nằm giữa vùng hóa trị và vùng dẫn, không có mức năng lượng nào do đó điện tử không thể tồn tại trên vùng cấm. Nếu bán dẫn pha tạp, có thể xuất hiện các mức năng lượng trong vùng cấm (mức pha tạp). Khoảng cách giữa đáy vùng dẫn và đỉnh vùng hóa trị gọi là độ rộng vùng cấm, hay năng lượng vùng cấm (Band Gap). Tùy theo độ rộng vùng cấm lớn hay nhỏ mà chất có thể là dẫn điện hoặc không dẫn điện.



Hình 2.4. Dải năng lượng

Như vậy, tính dẫn điện của các chất rắn và tính chất của chất bán dẫn có thể lý giải một cách đơn giản nhờ lý thuyết vùng năng lượng như sau:

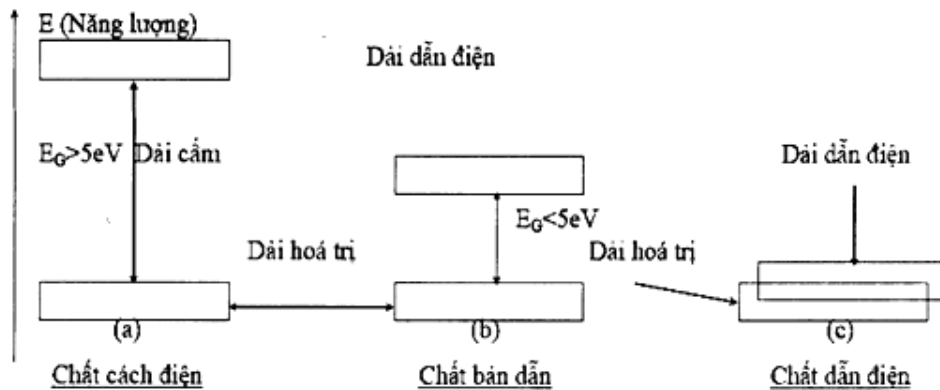
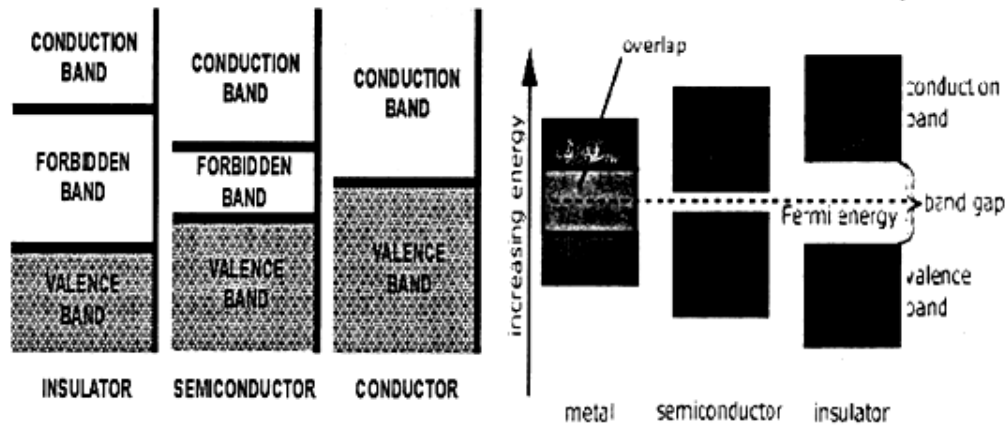
Kim loại có vùng dẫn và vùng hóa trị phủ lên nhau (không có vùng cấm) do đó luôn luôn có điện tử trên vùng dẫn vì thế mà kim loại luôn luôn dẫn điện.

Các chất bán dẫn có vùng cấm có một độ rộng xác định. Ở không độ tuyệt đối (0 K), mức Fermi nằm giữa vùng cấm, có nghĩa là tất cả các điện tử tồn tại ở vùng hóa trị, do đó chất bán dẫn không dẫn điện. Khi tăng dần nhiệt độ, các điện tử sẽ nhận được năng lượng nhiệt ($k_B \cdot T$ với k_B là hằng số Boltzmann) nhưng năng lượng này chưa đủ để điện tử vượt qua vùng cấm nên điện tử vẫn ở vùng hóa trị. Khi tăng nhiệt độ đến mức đủ cao, sẽ có một số điện tử nhận được năng lượng lớn hơn năng lượng vùng cấm và nó sẽ nhảy lên vùng dẫn và chất rắn trở thành dẫn điện. Khi nhiệt độ càng tăng lên, mật độ điện tử trên vùng dẫn sẽ càng tăng lên, do đó, tính dẫn điện của chất bán dẫn tăng dần theo nhiệt độ (hay điện trở suất giảm dần theo nhiệt độ).

Ta có 3 trường hợp tóm tắt sau:

- Dải cấm có độ cao khá lớn ($E_G > 5\text{eV}$) ($1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{J}$). Đây là trường hợp của các chất cách điện. Thí dụ như kim cương có $E_G = 7\text{eV}$, SiO_2 $E_G = 9\text{eV}$.
- Dải cấm có độ cao nhỏ ($E_G < 5\text{eV}$). Đây là trường hợp chất bán dẫn điện. Thí dụ: Germanium có $E_G = 0,75\text{eV}$, Silicium có $E_G = 1,12\text{eV}$, Galium Arsenic có $E_G = 1,4\text{eV}$.

- Dải hoá trị và dải dẫn điện chồng lên nhau, đây là trường hợp của chất dẫn điện. Ví dụ như đồng, nhôm...



Hình 2.5. Độ dẫn điện phụ thuộc vào dải cấm

Giả sử ta tăng nhiệt độ của tinh thể, nhờ sự cung cấp nhiệt năng, điện tử trong dải hoá trị tăng năng lượng.

Trong trường hợp (a), vì E_G lớn, điện tử không đủ năng lượng vượt dải cấm để vào dải dẫn điện. Nếu ta cho tác dụng một điện trường vào tinh thể, vì tất cả các trạng thái trong dải hoá trị đều bị chiếm nên điện tử chỉ có thể di chuyển bằng cách đổi chỗ cho nhau. Do đó, số điện tử đi, về một chiều bằng với số điện tử đi, về theo chiều ngược lại, dòng điện trung bình triệt tiêu. Ta có chất cách điện.

Trong trường hợp (b), một số điện tử có đủ năng lượng sẽ vượt dải cấm vào dải dẫn điện. Dưới tác dụng của điện trường, các điện tử này có thể thay đổi năng lượng dễ dàng vì trong dải dẫn điện có nhiều mức năng lượng trống để tiếp nhận chúng. Vậy điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện có thể di chuyển theo một chiều duy nhất dưới tác dụng của điện trường, ta có chất bán dẫn điện.

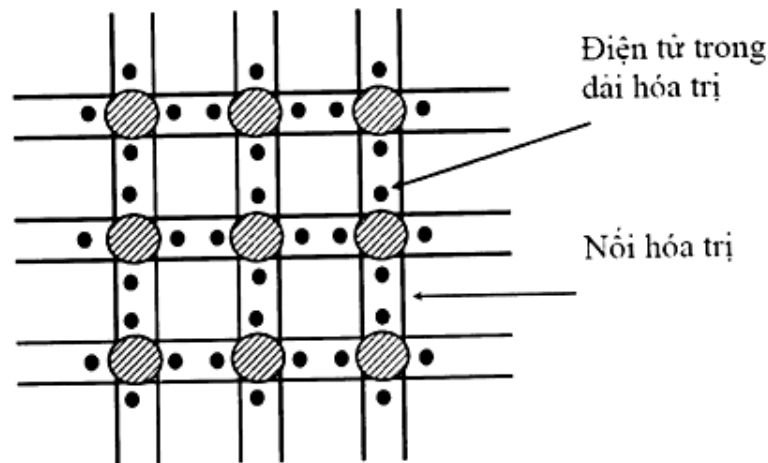
Trong trường hợp (c) cũng giống như trường hợp (b) nhưng số điện tử trong dải dẫn điện nhiều hơn làm cho sự di chuyển mạnh hơn, ta có kim loại hay chất dẫn điện.

2.2. Sự dẫn điện trong bán dẫn

2.2.1. Chất bán dẫn điện (Semiconductor)

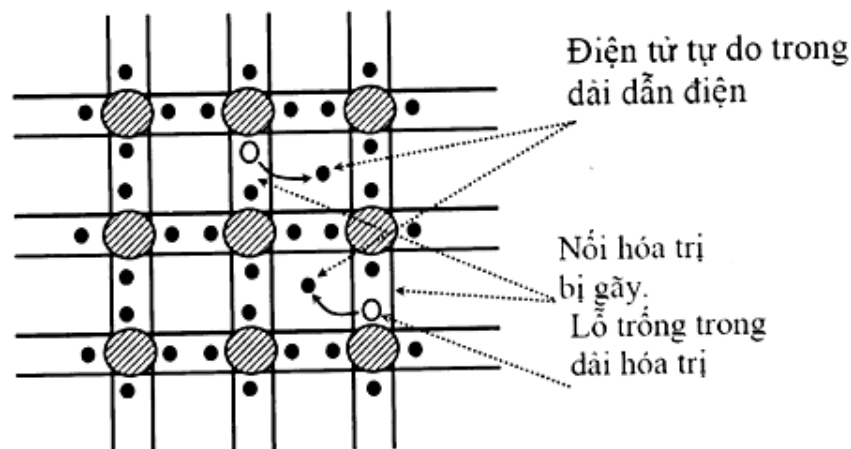
1. Chất bán dẫn điện thuần (Pure semiconductor)

Hầu hết các chất bán dẫn đều có các nguyên tử sắp xếp theo cấu tạo tinh thể. Hai chất bán dẫn được dùng nhiều nhất trong kỹ thuật chế tạo linh kiện điện tử là Silicon và Germanium. Mỗi nguyên tử của hai chất này đều có 4 điện tử ở ngoài cùng kết hợp với 4 điện tử của 4 nguyên tử kế cận tạo thành 4 liên kết hoá trị. Vì vậy tinh thể Ge và Si ở nhiệt độ thấp là các chất cách điện.



Hình 2.6. Tinh thể chất bán dẫn ở nhiệt độ thấp ($T = 0K$)

Nếu ta tăng nhiệt độ tinh thể, nhiệt năng sẽ làm tăng năng lượng một số điện tử và làm gãy một số nối hoá trị. Các điện tử ở các nối bị gãy rời xa nhau và có thể di chuyển dễ dàng trong mạng tinh thể dưới tác dụng của điện trường. Tại các nối hoá trị bị gãy ta có các lỗ trống (hole). Về phương diện năng lượng, ta có thể nói rằng nhiệt năng làm tăng năng lượng các điện tử trong dải hoá trị.

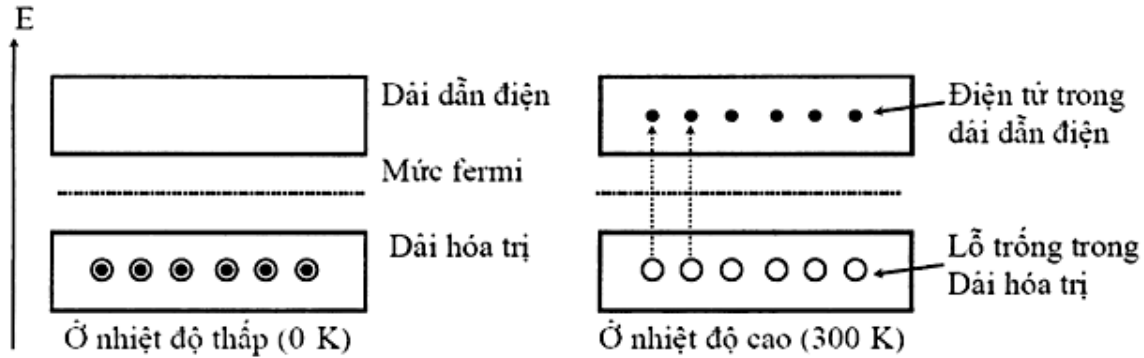


Hình 2.7. Tinh thể chất bán dẫn ở nhiệt độ cao ($T = 3000K$)

Khi năng lượng này lớn hơn năng lượng của dải cấm (0,7eV đối với Ge và 1,12eV đối với Si), điện tử có thể vượt dải cấm vào dải dẫn điện và chừa lại những lỗ trống (trạng thái năng lượng trống) trong dải hoá trị. Ta nhận thấy số điện tử trong dải dẫn điện bằng số lỗ trống trong dải hoá trị.

Nếu ta gọi n là mật độ điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện và p là mật độ lỗ trống có năng lượng trong dải hoá trị. Ta có $n = p = n_i$

Khi T tăng thì n_i tăng.

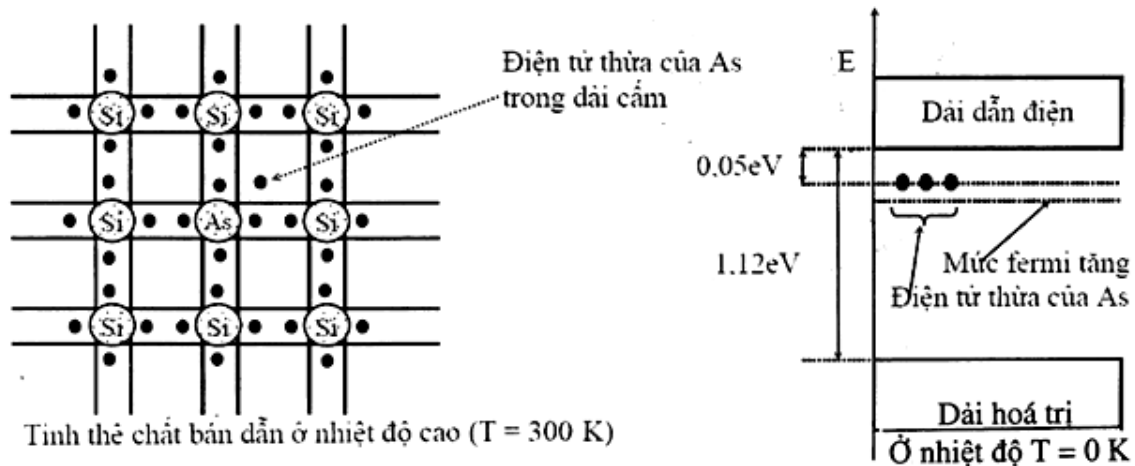


Hình 2.8. Tinh thể chất bán dẫn

Ta gọi chất bán dẫn có tính chất $n = p$ là chất bán dẫn thuần. Thông thường người ta gặp nhiều khó khăn để chế tạo chất bán dẫn loại này.

2. Chất bán dẫn ngoại lai hay có chất pha (Doped/Extrinsic Semiconductor)

Chất bán dẫn loại N: (N - type semiconductor)



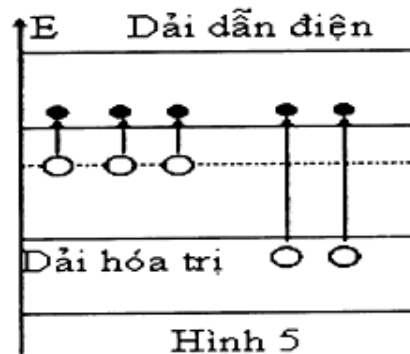
Hình 2.9. Tinh thể Si

Giả sử ta pha vào Si thuần những nguyên tử thuộc nhóm V của bảng phân loại tuần hoàn như As (Arsenic), Photpho (p), Antimony (Sb). Bán kính nguyên tử của As gần bằng bán kính nguyên tử của Si nên có thể thay thế một nguyên tử Si trong mạng

Chương 2: Bán dẫn

tinh thể. Bốn điện tử của As kết hợp với 4 điện tử của Si lân cận tạo thành 4 nối hoá trị, còn dư lại một điện tử của As. Ở nhiệt độ thấp, tất cả các điện tử của các nối hoá trị đều có năng lượng trong dải hoá trị, trừ những điện tử thừa của As không tạo nối hoá trị có năng lượng E_D nằm trong dải cấm và cách dãy dẫn điện một khoảng năng lượng nhỏ chừng 0,05eV.

Giả sử ta tăng nhiệt độ của tinh thể, một số nối hoá trị bị gãy, ta có những lỗ trống trong dải hoá trị và những điện tử trong dải dẫn điện giống như trong trường hợp của các chất bán dẫn thuần. Ngoài ra, các điện tử của As có năng lượng E_D cũng nhận nhiệt năng để trở thành những điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện. Vì thế ta có thể coi như hầu hết các nguyên tử As đều bị Ion hoá (vì khoảng năng lượng giữa E_D và dải dẫn điện rất nhỏ), nghĩa là tất cả các điện tử lúc đầu có năng lượng E_D đều được tăng năng lượng để trở thành điện tử tự do.



Hình 2.10. Tăng nhiệt độ

Nếu ta gọi N_D là mật độ những nguyên tử As pha vào (còn gọi là những nguyên tử cho donor atom).

$$\text{Ta có: } n = p + N_D$$

Với:

- n mật độ điện tử trong dải dẫn điện.
- p mật độ lỗ trống trong dải hoá trị.

Người ta cũng chứng minh được: $n \cdot p = n_i^2$ ($n < p$)

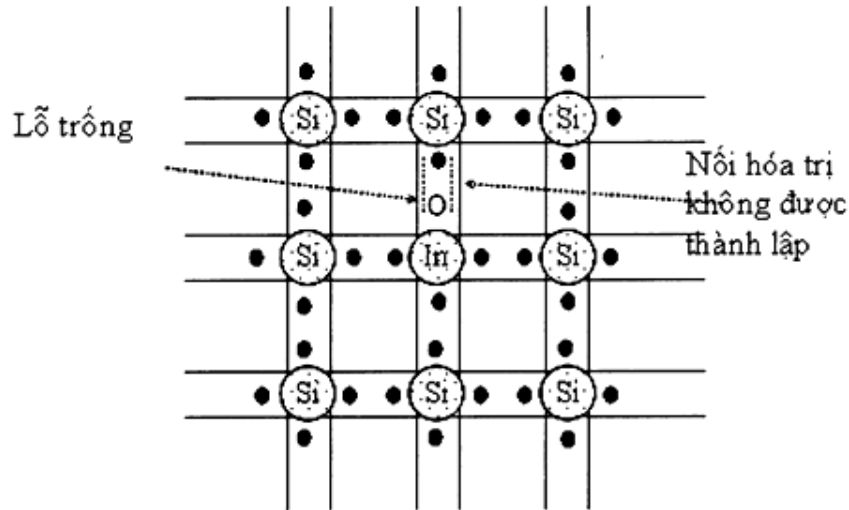
n_i mật độ điện tử hoặc lỗ trống trong chất bán dẫn thuần trước khi pha.

Chất bán dẫn như trên có số điện tử trong dải dẫn điện nhiều hơn số lỗ trống trong dải hoá trị gọi là chất bán dẫn loại N.

Chất bán dẫn loại P

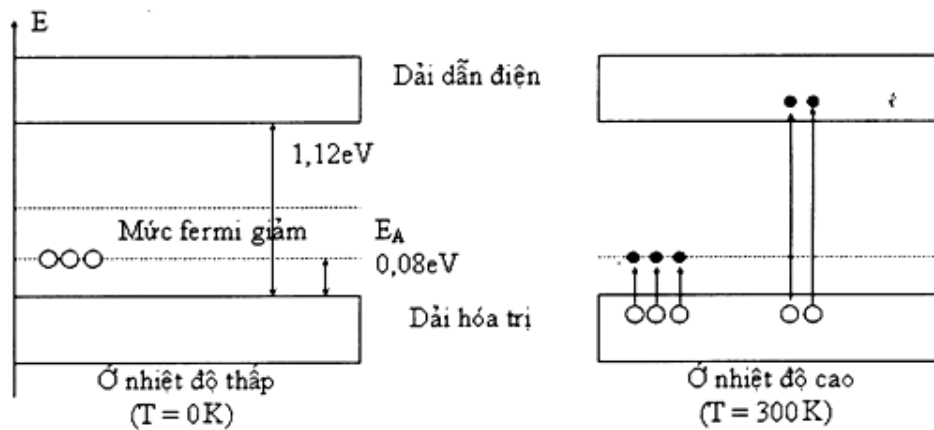
Thay vì pha vào Si thuần một nguyên tố thuộc nhóm V, ta pha vào những nguyên tố thuộc nhóm III như Indium (In), Gallium (Ga), nhôm (Al),... Bán kính nguyên tử In gần bằng bán kính nguyên tử Si nên nó có thể thay thế một nguyên tử Si

trong mạng tinh thể. Ba điện tử của nguyên tử In kết hợp với ba điện tử của ba nguyên tử Si kế cận tạo thành 3 nối hoá trị, còn một điện tử của Si có năng lượng trong dải hoá trị không tạo một nối với Indium. Giữa In và Si này ta có một trạng thái năng lượng trống có năng lượng E_A nằm trong dải cấm và cách dải hoá trị một khoảng năng lượng nhỏ chừng $0,08\text{eV}$.



Hình 2.11. Tinh thể chất bán dẫn loại P

Ở nhiệt độ thấp ($T = 0\text{K}$), tất cả các điện tử đều có năng lượng trong dải hoá trị. Nếu ta tăng nhiệt độ của tinh thể sẽ có một số điện tử trong dải hoá trị nhận năng lượng và vượt dải cấm vào dải dẫn điện, đồng thời cũng có những điện tử vượt dải cấm lên chiếm chỗ những lỗ trống có năng lượng E_A .



Hình 2.12. Tăng nhiệt độ chất bán dẫn loại P

Chương 2: Bán dẫn

Nếu ta gọi N_A là mật độ những nguyên tử Indium pha vào (còn được gọi là nguyên tử nhận), ta cũng có:

$$p = n + N_A$$

- p : mật độ lỗ trống trong dải hoá trị.
- n : mật độ điện tử trong dải dẫn điện.

Người ta cũng chứng minh được:

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (p > n)$$

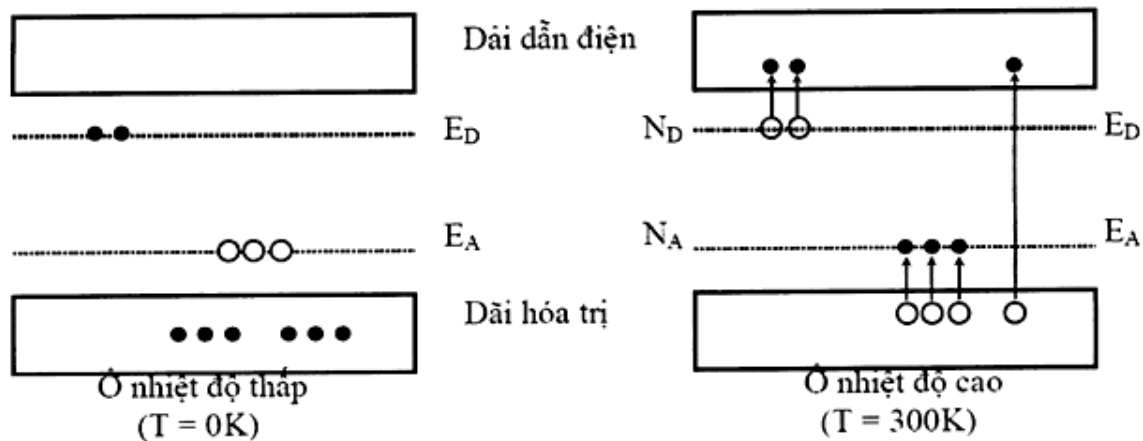
n_i là mật độ điện tử hoặc lỗ trống trong chất bán dẫn thuần trước khi pha.

Chất bán dẫn như trên có số lỗ trống trong dải hoá trị nhiều hơn số điện tử trong dải dẫn điện được gọi là chất bán dẫn loại P.

Như vậy, trong chất bán dẫn loại p, hạt tải điện đa số là lỗ trống và hạt tải điện thiểu số là điện tử.

Chất bán dẫn hỗn hợp

Ta cũng có thể pha vào Si thuần những nguyên tử cho và những nguyên tử nhận để có chất bán dẫn hỗn hợp. Hình sau là sơ đồ năng lượng của chất bán dẫn hỗn hợp.



Hình 2.13. Dải năng lượng chất bán dẫn hỗn hợp

Trong trường hợp chất bán dẫn hỗn hợp, ta có:

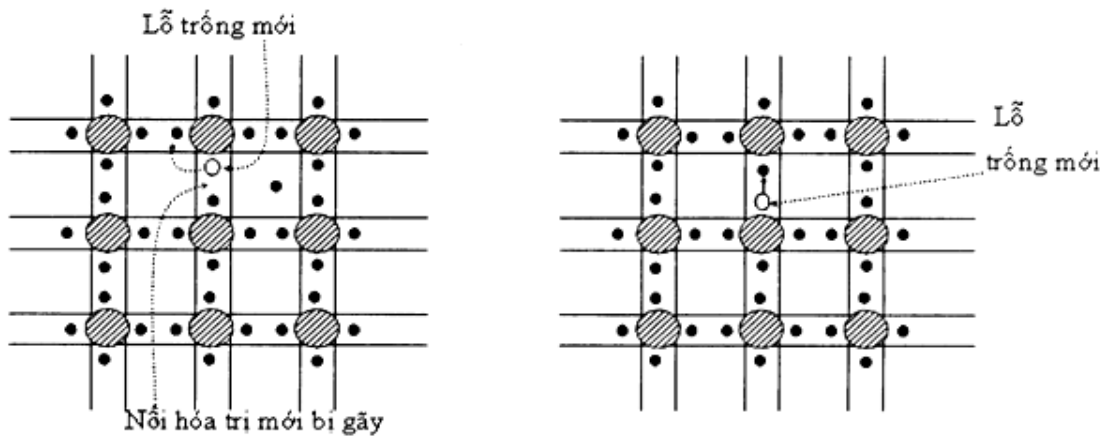
$$n + N_A = p + N_D$$

$$n \cdot p = n_i^2$$

Nếu $N_D > N_A \Rightarrow n > p$, ta có chất bán dẫn hỗn hợp loại N.

Nếu $N_D < N_A \Rightarrow n < p$, ta có chất bán dẫn hỗn hợp loại P.

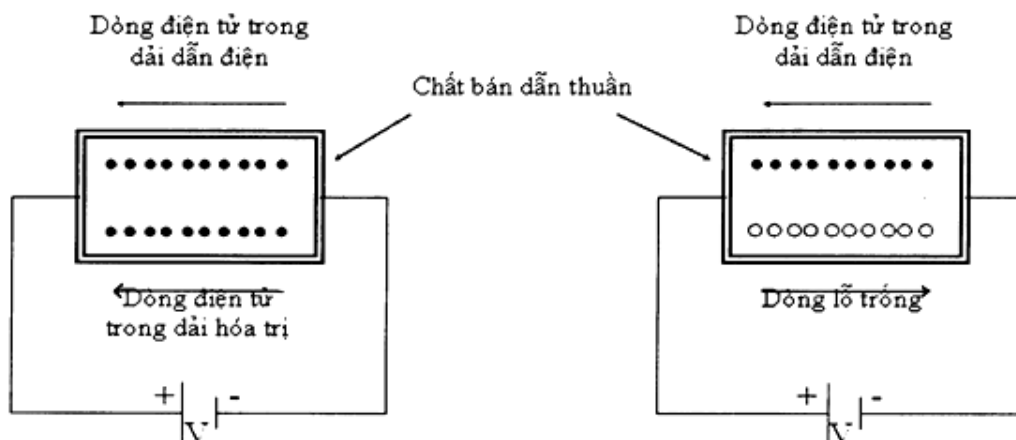
2.2.2. Dẫn suất của chất bán dẫn



Hình 2.15. những điện tử di chuyển trong tinh thể

Dưới tác dụng của điện trường, những điện tử có năng lượng trong dải dẫn điện di chuyển tạo nên dòng điện I_n , nhưng cũng có những điện tử di chuyển từ một nhiễm hóa trị bị gãy đến chiếm chỗ trống của một nhiễm hóa trị đã bị gãy. Những điện tử này cũng tạo ra một dòng điện tương đương với dòng điện do lỗ trống mang điện tích dương di chuyển ngược chiều, ta gọi dòng điện này là I_p . Hình sau đây mô tả sự di chuyển của điện tử (hay lỗ trống) trong dải hóa trị ở nhiệt độ cao.

Vậy ta có thể coi như dòng điện trong chất bán dẫn là sự hợp thành của dòng điện do những điện tử trong dải dẫn điện (đa số đối với chất bán dẫn loại N và thiểu số đối với chất bán dẫn loại P) và những lỗ trống trong dải hóa trị (đa số đối với chất bán dẫn loại P và thiểu số đối với chất bán dẫn loại N).



Hình 2.16. Dòng điện trong chất bán dẫn

Chương 2: Bán dẫn

Dưới tác dụng của điện trường, các điện tử và lỗ trống di chuyển với vận tốc trung bình $v_n = \mu_n \cdot E$ và $v_p = \mu_p \cdot E$.

Tương ứng với những dòng điện này, ta có những mật độ dòng điện J , J_n , J_p sao cho: $J = J_n + J_p$.

$$J_n = n \cdot e \cdot v_n = n \cdot e \cdot \mu_n \cdot E.$$

- J_n : Mật độ dòng điện trôi của điện tử
- μ_n : Độ linh động của điện tử
- n : Mật độ điện tử trong dải dẫn điện

$$J_p = n \cdot e \cdot v_p = n \cdot e \cdot \mu_p \cdot E.$$

- J_p : Mật độ dòng điện trôi của lỗ
- μ_p : Độ linh động của lỗ trống
- p : Mật độ lỗ trống trong dải hoá trị).

Như vậy: $J = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \cdot E$.

Theo định luật Ohm, ta có: $J = \sigma \cdot E$

$\Rightarrow \sigma = e \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)$ được gọi là dẫn suất của chất bán dẫn.

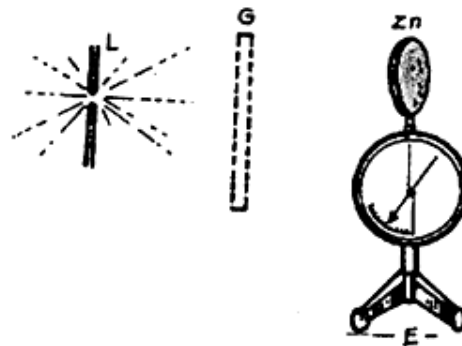
Trong chất bán dẫn loại N, ta có $n \gg p$ nên $\sigma \approx n \cdot \mu_n \cdot e$.

Trong chất bán dẫn loại P, ta có $p \gg n$ nên $\sigma \approx p \cdot \mu_p \cdot e$.

2.3. Hiện tượng quang điện

2.3.1. Thí nghiệm Hecxơ

Năm 1887, nhà bác học Hecxơ người Đức đã làm thí nghiệm sau: chiếu một chùm ánh sáng do một hồ quang phát ra vào một tấm kẽm tích điện âm, gắn trên một điện nghiệm (có thể thay điện nghiệm bằng tĩnh điện kế). Ông thấy hai lá của điện nghiệm sụp lại. Điều đó chứng tỏ tấm kẽm đã mất điện tích âm.



Hình 2.17. Tĩnh thế

Nếu tấm kẽm tích điện dương thì không có hiện tượng gì xảy ra.

Hiện tượng cũng xảy ra tương tự nếu thay tấm kẽm bằng các tấm đồng, nhôm, bạc, niken v.v...

Nếu dùng một tấm thủy tinh không màu chắn chùm tia hồ quang thì hiện tượng trên không xảy ra. Ta biết rằng thủy tinh hấp thụ mạnh các tia tử ngoại.

Nhiều thí nghiệm tương tự đã đưa ta đến kết luận:

Khi chiếu một chùm sáng thích hợp (có bước sóng ngắn) vào mặt một tấm kim loại thì nó làm cho các electron ở mặt kim loại đó bị bật ra. Đó là hiện tượng quang điện.

Thực ra, khi chiếu ánh sáng tử ngoại vào tấm kẽm tích điện dương thì vẫn có electron bị bật ra. Tuy nhiên, chúng lập tức bị hút trở lại, nên điện tích của tấm kẽm coi như không thay đổi.

2.3.2. Tế bào quang điện

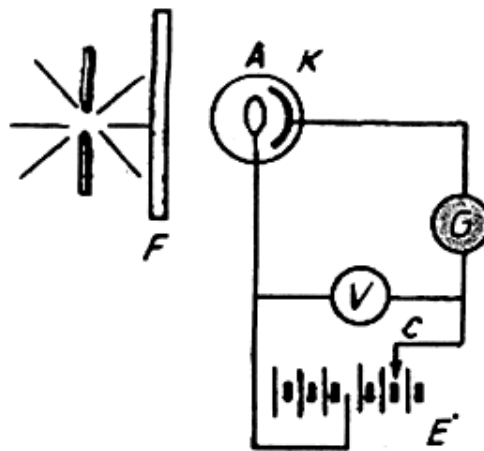
Tế bào quang điện là một bình chân không nhỏ trong đó có hai điện cực: anốt A và catốt K. Anốt (anôt) là một vòng dây kim loại. Catốt (catôt) có dạng một chòm cầu làm bằng kim loại (mà ta cần nghiên cứu) phủ ở thành trong của tế bào.

Ánh sáng do một hồ quang phát ra, được chiếu qua một kính lọc F để lọc lấy một thành phần đơn sắc nhất định, chiếu vào catốt K.

Ta thiết lập giữa anốt và catốt một điện trường nhờ bộ acquy E. Hiệu điện thế U giữa A và K có thể thay đổi (về độ lớn và về dấu) nhờ thay đổi vị trí của chốt cắm C trên bộ nguồn.

Một vôn kế V dùng để đo hiệu điện thế U và một miliampe kế nhạy G để đo cường độ dòng điện chạy qua tế bào quang điện.

Điện trở trong của các acquy rất nhỏ so với điện trở của tế bào quang điện.



Hình 2.18. Tế bào quang điện

Chương 2: Bán dẫn

Khi chiếu vào catốt ánh sáng có bước sóng ngắn thì trong mạch xuất hiện dòng điện mà ta gọi là dòng quang điện.

Trong tế bào quang điện, dòng quang điện có chiều từ anốt sang catốt. Nó là dòng các electron quang điện bay từ catốt sang anốt dưới tác dụng của điện trường giữa anốt và catốt.

Nghiên cứu sự phụ thuộc của hiện tượng quang điện vào bước sóng của ánh sáng kích thích (ánh sáng chiếu vào catốt) người ta thấy: đối với mỗi kim loại dùng làm catốt, ánh sáng kích thích phải có bước sóng nhỏ hơn một giới hạn λ_0 nào đó thì mới gây ra được hiện tượng quang điện. Nếu ánh sáng kích thích có bước sóng lớn hơn thì dù chùm ánh sáng có mạnh cũng không gây ra hiện tượng quang điện.

Sau khi chiếu ánh sáng vào catốt để gây ra hiện tượng quang điện, người ta nghiên cứu sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện I vào hiệu điện thế U_{AK} giữa anốt và catốt. Đường cong đồ thị này gọi là đường đặc trưng von-ampe của tế bào quang điện.

Thoạt tiên, khi tăng U_{AK} thì dòng quang điện I tăng. Khi U_{AK} đạt đến một giá trị nào đó, cường độ dòng quang điện đạt đến giá trị bão hoà I_{bh} . Sau đó, giá trị của cường độ dòng quang điện sẽ không đổi dù có tăng U_{AK} .

Nghiên cứu sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện bão hoà I_{bh} vào cường độ của chùm ánh sáng kích thích, ta thấy I_{bh} tỉ lệ thuận với cường độ sáng kích thích.

Muốn cho dòng quang điện triệt tiêu hoàn toàn thì phải đặt giữa anốt và catốt một hiệu điện thế âm U_h nào đó ($U_h = U_{AK} < 0$). U_h được gọi là hiệu điện thế hãm. Giá trị của U_h ứng với giao điểm của đường đặc trưng von-ampe của tế bào quang điện với trục hoành.

Thí nghiệm cho thấy giá trị của hiệu điện thế hãm U_h ứng với mỗi kim loại dùng làm catốt hoàn toàn không phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích mà chỉ phụ thuộc vào bước sóng của chùm sáng kích thích đó. Nếu hai chùm sáng kích thích 1 và 2, đơn sắc, có cùng bước sóng, thì các đường đặc trưng von-ampe 1 và 2 sẽ cắt trục U tại cùng một điểm U_h .

2.3.3. Các định luật quang điện

1. Định luật quang điện thứ nhất

Đối với mỗi kim loại dùng làm catốt có một bước sóng giới hạn λ_0 nhất định gọi là giới hạn quang điện. Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng λ của ánh sáng kích thích nhỏ hơn giới hạn quang điện ($\lambda \leq \lambda_0$).

Giá trị giới hạn quang điện λ_0 của một số kim loại (tính ra μm) được cho Bạc 0,26; Canxi 0,45; Đồng 0,30; Natri 0,50; Kẽm 0,35; Kali 0,55; Nhôm 0,36; Xedi 0,66.

Ta thấy ánh sáng nhìn thấy được chỉ có khả năng gây ra được hiện tượng quang điện ở canxi và các kim loại kiềm.

2. Định luật quang điện thứ hai

Với ánh sáng kích thích có bước sóng thỏa mãn định luật quang điện thứ nhất thì cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

3. Định luật quang điện thứ ba

Sự tồn tại của hiệu điện thế hãm U_h chứng tỏ rằng khi bật ra khỏi mặt kim loại, các electron quang điện có một vận tốc ban đầu v_0 . Điện trường cản mạnh đến mức độ nào đó thì ngay cả những electron có vận tốc ban đầu lớn nhất v_{0max} cũng không bay đến được anốt. Lúc đó dòng quang điện triệt tiêu hoàn toàn và công của điện trường cản có giá trị đúng bằng động năng ban đầu cực đại của electron quang điện.

$$eU_h = \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

Từ sự nghiên cứu thực nghiệm giá trị của U_h mà ta đã trình bày ở bài trước, ta rút ra định luật sau:

Động năng ban đầu cực đại của các electron quang điện không phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích, mà chỉ phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng kích thích và bản chất kim loại dùng làm catốt.

2.3.4. Thuyết lượng tử

- Các định luật quang điện hoàn toàn mâu thuẫn với tính chất sóng của ánh sáng. Thực vậy, theo thuyết sóng, khi ánh sáng chiếu vào mặt catốt, điện trường biến thiên trong sóng ánh sáng sẽ làm cho các electron trong kim loại dao động. Cường độ của chùm sáng kích thích càng lớn thì điện trường đó càng mạnh và nó làm cho electron dao động càng mạnh. Đến mức độ nào đó thì electron sẽ bị bật ra, tạo thành dòng quang điện. Do đó, bất kỳ chùm sáng nào cũng có thể gây ra hiện tượng quang điện, miễn là nó có cường độ đủ lớn và động năng ban đầu cực đại của electron quang điện phải phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích.
- Ta chỉ có thể giải thích được các định luật quang điện, nếu thừa nhận một thuyết mới gọi là thuyết lượng tử do nhà bác học Plăng (Planck) người Đức, đề xướng vào năm 1900.

Theo thuyết lượng tử: *Những nguyên tử hay phân tử vật chất không hấp thụ hay bức xạ ánh sáng một cách liên tục, mà thành từng phần riêng biệt. Mỗi phần có mang một năng lượng hoàn toàn xác định được gọi là lượng tử ánh sáng, có độ lớn là $\epsilon = hf$, trong đó, f là tần số của ánh sáng mà nó phát ra, còn h là một hằng số gọi là hằng số Plăng.*

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Mỗi phần đó gọi là một lượng tử năng lượng

Ta thấy mỗi lượng tử ánh sáng rất nhỏ, mỗi chùm sáng dù yếu cũng chứa một số rất lớn lượng tử ánh sáng. Do đó, ta có cảm giác chùm sáng là liên tục.

Khi ánh sáng truyền đi, các lượng tử ánh sáng không bị thay đổi, không phụ thuộc khoảng cách tới nguồn sáng, dù nguồn đó là một ngôi sao nằm cách xa ta hàng triệu năm ánh sáng.

2.3.5. Giải thích các định luật quang điện bằng thuyết lượng tử

Nhà bác học Einstein, người Đức, là người đầu tiên vận dụng thuyết lượng tử để giải thích các định luật quang điện. Ông coi chùm sáng như một chùm hạt và gọi mỗi hạt là một photon. Mỗi photon ứng với một lượng tử ánh sáng.

Theo Einstein, trong hiện tượng quang điện có sự hấp thụ hoàn toàn photon chiếu tới. Mỗi photon bị hấp thụ sẽ truyền toàn bộ năng lượng của nó cho một electron. Đối với các electron nằm ngay trên bề mặt kim loại thì phần năng lượng này sẽ được dùng vào hai việc.

Cung cấp cho electron đó một công A để nó thắng được các lực liên kết trong tinh thể và thoát ra ngoài. Công này gọi là công thoát.

Cung cấp cho electron đó một động năng ban đầu. So với động năng ban đầu mà các electron nằm ở các lớp sâu thu được khi bị bứt ra thì động năng ban đầu này là cực đại.

$$hf = A + \frac{mv_{0\max}^2}{2} \quad (8-1)$$

Đây là công thức Einstein về hiện tượng quang điện.

Đối với các electron nằm ở các lớp sâu bên trong mặt kim loại thì trước khi đến bề mặt kim loại, chúng đã chạm với các ion của kim loại và mất một phần năng lượng. Do đó động năng ban đầu của chúng nhỏ hơn động năng ban đầu cực đại nói ở trên.

Công thức (8-1) cho thấy động năng ban đầu cực đại của các electron quang điện chỉ phụ thuộc tần số f (hay bước sóng λ) của ánh sáng kích thích và bản chất của kim loại dùng làm catốt (K) mà không phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích. Đó chính là nội dung của định luật quang điện thứ ba.

Công thức (8-1) còn cho thấy: nếu năng lượng của photon nhỏ hơn công thoát A thì nó không thể làm cho electron bật ra khỏi catốt và hiện tượng quang điện sẽ không xảy ra.

Ta có:

$$hf \geq A \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda} \geq A \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{A}$$

Đặt: $\frac{hc}{A_0} = \lambda_0 \Rightarrow \lambda \leq \lambda_0 \quad (8-2)$

λ_0 chính là giới hạn quang điện của kim loại. Bất đẳng thức (8-2) biểu thị định luật quang điện thứ nhất.

Cuối cùng, ta giải thích định luật quang điện thứ hai như sau:

Với chùm sáng có khả năng gây ra hiện tượng quang điện thì số electron quang điện bị bật ra khỏi catốt trong đơn vị thời gian tỉ lệ thuận với số photon đến đập vào mặt catốt trong thời gian đó. Mặt khác, số photon này lại tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng; còn cường độ dòng quang điện bão hòa lại tỉ lệ thuận với số electron quang điện bị bật ra khỏi catốt trong đơn vị thời gian. Vì vậy, cường độ của dòng quang điện bão hòa sẽ tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

2.3.6. Lương tính sóng - hạt của ánh sáng

Ánh sáng nhìn thấy cũng như các tia hồng ngoại, tia tử ngoại, tia Ronghen, đều là các sóng điện từ có bước sóng khác nhau. Người ta nói chúng có cùng bản chất điện từ.

Ta lại thấy ánh sáng có tính chất hạt (tính chất lượng tử). Vậy ánh sáng vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt. Người ta nói: Ánh sáng có lưỡng tính sóng - hạt.

Những sóng điện từ có bước sóng càng ngắn thì photon ứng với chúng có năng lượng càng lớn. Thực nghiệm cho thấy tính chất hạt của chúng thể hiện càng đậm nét, tính chất sóng càng ít thể hiện.

Ta có thể coi những tác dụng sau đây là những biểu hiện của tính chất hạt: khả năng đâm xuyên, tác dụng quang điện, tác dụng ion hoá, tác dụng phát quang.

Ngược lại, những sóng điện từ có bước sóng càng dài thì photon ứng với chúng có năng lượng càng nhỏ. Thực nghiệm cho thấy: tính chất hạt của chúng càng khó thể hiện, tính chất sóng của chúng càng dễ bộc lộ. Ta dễ dàng quan sát thấy hiện tượng giao thoa, hiện tượng tán sắc của các sóng đó.

2.3.7. Hiện tượng quang dẫn

Một số chất bán dẫn là chất cách điện khi không bị chiếu sáng và trở thành chất dẫn điện khi bị chiếu sáng. Hiện tượng giảm mạnh điện trở của chất bán dẫn khi bị chiếu sáng gọi là hiện tượng quang dẫn.

Trong hiện tượng quang điện, khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào catốt của tế bào quang điện thì electron sẽ bị bật ra khỏi catốt. Vì vậy, hiện tượng này còn gọi là hiện tượng quang điện ngoài (hay hiện tượng quang điện bên ngoài).

Trong hiện tượng quang dẫn, mỗi photon của ánh sáng kích thích khi bị hấp thụ sẽ giải phóng một electron liên kết để nó trở thành một electron tự do chuyển động trong khối chất bán dẫn đó. Các electron liên kết khi được giải phóng, sẽ để lại một "lỗ trống" mang điện dương. Những lỗ trống này cũng có thể chuyển động tự do từ nút mạng này sang nút mạng khác và cũng tham gia vào quá trình dẫn điện.

Hiện tượng giải phóng electron liên kết để cho chúng trở thành các electron dẫn gọi là hiện tượng quang điện bên trong.

Vì năng lượng cần thiết để giải phóng một electron liên kết chuyển nó thành electron dẫn không lớn lắm, nên để gây ra hiện tượng quang dẫn, không đòi hỏi photon phải có năng lượng lớn. Rất nhiều chất quang dẫn hoạt động được với ánh sáng hồng ngoại. Thí dụ: CdScó giới hạn quang dẫn là $0,9\mu\text{m}$. Ta hiểu giới hạn quang dẫn của một chất là bước sóng dài nhất của ánh sáng có khả năng gây ra hiện tượng quang dẫn ở chất đó. Đây là một lợi thế của hiện tượng quang dẫn so với hiện tượng quang điện.

Chương 2: Bán dẫn

2.3.8. Quang trở (LDR)

Cấu tạo Quang trở gồm một lớp chất bán dẫn (cadimi sunfua CdS chẳng hạn) (1) phủ trên một tấm nhựa cách điện (2). Có hai điện cực (3) và (4) gắn vào lớp chất bán dẫn đó.

Nối một nguồn khoảng vài vôn với quang trở thông qua một miliampe kế. Ta thấy khi quang trở được đặt trong tối thì trong mạch không có dòng điện. Khi chiếu quang trở bằng ánh sáng có bước sóng ngắn hơn giới hạn quang dẫn của quang trở thì sẽ xuất hiện dòng điện trong mạch.

Điện trở của quang trở giảm đi rất mạnh khi bị chiếu sáng bởi ánh sáng nói trên. Đo điện trở của quang trở CdS, người ta thấy: khi không bị chiếu sáng, điện trở của nó vào khoảng $3 \cdot 10^6 \Omega$; khi bị chiếu sáng, điện trở của nó chỉ còn khoảng 20Ω .

Ngày nay, quang trở được dùng thay cho các tế bào quang điện trong hầu hết các mạch điều khiển tự động.

2.3.9. Pin quang điện

Pin quang điện là một nguồn điện trong đó quang năng được biến đổi trực tiếp thành điện năng. Pin hoạt động dựa vào hiện tượng quang điện bên trong xảy ra trong một chất bán dẫn.

Ta hãy xét một pin quang điện đơn giản. Pin đồng oxit (h.8.6)

Pin có một điện cực bằng đồng. Trên bản đồng này có phủ một lớp đồng oxit Cu_2O . Người ta phun một lớp vàng rất mỏng trên mặt lớp Cu_2O để làm điện cực thứ hai. Lớp vàng này mỏng đến mức cho ánh sáng truyền qua được. ở chỗ tiếp xúc giữa Cu_2O và Cu hình thành một lớp có tác dụng đặc biệt: nó chỉ cho phép electron chạy qua nó theo chiều từ Cu_2O sang Cu.

Khi chiếu một chùm sáng có bước sóng thích hợp vào mặt lớp Cu_2O thì ánh sáng sẽ giải phóng các electron liên kết trong Cu_2O thành electron dẫn. Một phần các electron này khuếch tán sang cực Cu. Cực Cu thừa electron nên nhiễm điện âm. Cu_2O nhiễm điện dương. Giữa hai điện cực của pin hình thành một suất điện động.

Nếu nối hai điện cực với nhau bằng một dây dẫn thông qua một điện kế, ta sẽ thấy có một dòng điện chạy trong mạch theo chiều từ Cu_2O sang Cu.

Ngoài pin quang điện đồng oxit, còn có rất nhiều loại pin quang điện khác, phổ biến nhất là pin selen.

Ngày nay, các pin quang điện có rất nhiều ứng dụng. Các pin mặt trời ở các máy tính bỏ túi, trên các vệ tinh nhân tạo v.v... đều là pin quang điện.

Chương 3

LED-LIGHT EMITTING DIODE

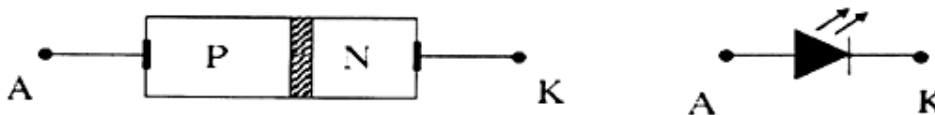
3.1. Giới thiệu về Diode phát quang - LED (Light Emitting Diode)

(Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử.) Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N. Điốt phát quang thường được gọi tắt là LED do viết tắt từ các từ tiếng Anh: Light- Emitting Diode. Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

(Chất bán dẫn của LED được làm từ một miếng tinh thể cực mỏng. Vỏ bao bọc chất bán dẫn được làm trong suốt (nhưng thường là có màu sắc). Hai chân bọc chì được kéo đưa ra khỏi lớp bao bọc epoxy.

Chất bán dẫn có 2 cực p và n được chia bởi một mối nối. Cực p mang điện tích dương; cực n mang điện tích âm (electron). Mối nối p - n nằm giữa cực p và cực n.)

Loại bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chi thị. LED chi thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chi thị rất rõ khi trời tối. (Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.)



Hình 3.1. Cấu tạo và ký hiệu LED

(Vật liệu chế tạo LED là các nguyên tử nhóm III và V: GaAs, GaP, GaAsP... đây là những vật liệu tái hợp trực tiếp. Nồng độ hạt dẫn của P và N rất cao nên điện trở của chúng rất nhỏ. Do đó khi mắc LED phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn dòng.)

3.2. Nguyên lý làm việc và cấu tạo của LED

Dựa trên hiệu ứng phát sáng khi có hiện tượng tái hợp điện tử và lỗ trống ở vùng chuyển tiếp P - N. LED sẽ phát quang khi được phân cực thuận, nghĩa là biến đổi năng lượng điện thành năng lượng quang. Cường độ phát quang tỉ lệ với dòng qua LED. Khi phân cực thuận các hạt dẫn đa số sẽ di chuyển về phía bán dẫn bên kia.

Khối bán dẫn loại p chứa nhiều lỗ trống tự do mang điện tích dương nên khi ghép với khối bán dẫn n (chứa các điện tử tự do) thì các lỗ trống này có xu hướng chuyển động khuếch tán sang khối n. Cùng lúc khối p lại nhận thêm các điện tử (điện tích âm) từ khối n chuyển sang. Kết quả là khối p tích điện âm (thiếu hụt lỗ trống và dư thừa điện tử) trong khi khối n tích điện dương (thiếu hụt điện tử và dư thừa lỗ trống).

Chương 3: LED

Ở biên giới hai bên mặt tiếp giáp, một số điện tử bị lỗ trống thu hút và khi chúng tiến lại gần nhau, chúng có xu hướng kết hợp với nhau tạo thành các nguyên tử trung hoà. Quá trình này có thể giải phóng năng lượng dưới dạng ánh sáng (hay các bức xạ điện từ có bước sóng gần đó).

Tùy theo mức năng lượng giải phóng cao hay thấp mà bước sóng ánh sáng phát ra khác nhau (tức màu sắc của LED sẽ khác nhau). Mức năng lượng (và màu sắc của LED) hoàn toàn phụ thuộc vào cấu trúc năng lượng của các nguyên tử chất bán dẫn.

Điện tử từ bên N sẽ khuếch tán sang P và lỗ trống bên P sẽ khuếch tán sang N. Trong quá trình di chuyển chúng sẽ tái hợp với nhau và phát ra các photon.

Tùy theo mức năng lượng giải phóng cao hay thấp mà bước sóng ánh sáng phát ra khác nhau (tức màu sắc của LED sẽ khác nhau). Mức năng lượng (và màu sắc của LED) hoàn toàn phụ thuộc vào cấu trúc năng lượng của các nguyên tử chất bán dẫn.

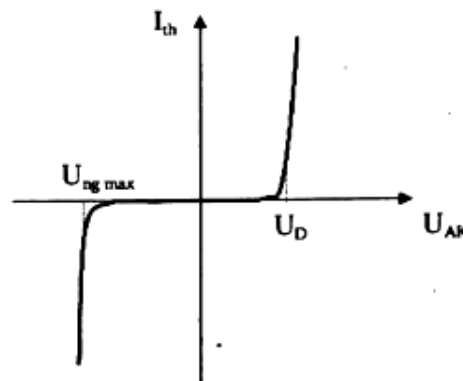
LED thường có điện thế phân cực thuận cao hơn điốt thông thường, trong khoảng 1,5 đến 3 V. Nhưng điện thế phân cực nghịch ở LED thì không cao. Do đó, LED rất dễ bị hư hỏng do điện thế ngược gây ra.

Loại LED	Điện thế phân cực thuận
Đỏ	1,4 - 1,8V
Vàng	2 - 2,5V
Xanh lá cây	2 - 2,8V

Hình 3.2. Điện thế phân cực thuận của LED

Đặc tuyến V - A của LED giống như của diode thông thường.

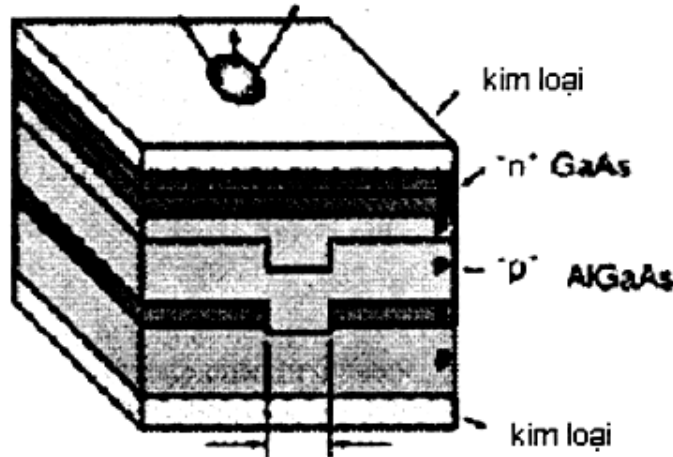
Điện áp phân cực thuận $U_D = 1,6 - 3 \text{ V}$; điện áp phân cực ngược $U_{ng} = 3 - 5 \text{ V}$; dòng I_D khoảng vài chục mA.



Hình 3.3. Đặc tuyến Von-Ampe của LED

Để tăng cường tính định hướng cho LED, người ta thường cấu tạo LED với một lỗ cho ánh sáng đi qua.

Có hai loại LED là SLED (LED phát xạ mặt) và ELED (LED phát xạ cạnh). Dưới đây là hình minh họa cho việc lấy ánh sáng ra của một SLED.



Hình 3.4. Cấu tạo SLED

3.2.1. Tham số của LED

* Nhiệt độ

Khoảng nhiệt độ làm việc của LED: -60°C đến $+80^{\circ}\text{C}$ LED rất nhạy với nhiệt độ. Nhiệt độ càng tăng bước sóng của LED càng ngắn (bước sóng giảm $0,02\ \mu\text{m} - 0,009\ \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$) và điện áp phân cực cho điốt có thể bị giảm (khoảng từ $1,3\ \text{mV}$ đến $2,3\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$).

Độ rộng vùng cấm của các vật liệu càng lớn thì năng lượng được giải phóng ra càng lớn và bức xạ được phát ra có bước sóng càng ngắn.

Nhiệt độ tăng \rightarrow cường độ bức xạ quang giảm ($1\%/^{\circ}\text{C}$).

* Công suất phát xạ vài trăm mW đến vài W

* Vật liệu

Về nguyên tắc tất cả các chuyển tiếp P – N đều có khả năng phát ra ánh sáng khi được phân cực thuận nhưng chỉ có một số loại vật liệu tái hợp trực tiếp mới cho hiệu suất tái hợp cao.

Các LED truyền thống được làm từ các loại nguyên liệu chất bán dẫn vô cơ, sản xuất những màu sau đây:

- Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) — red and infrared
- Aluminium gallium phosphide (AlGaP) — green
- Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) — high-brightness orange-red, orange, yellow, and green

Chương 3: LED

- Gallium arsenide phosphide (GaAsP) — red, orange-red, orange, and yellow
- Gallium phosphide (GaP) — red, yellow and green
- Gallium nitride (GaN) — green, pure green (or emerald green), and blue also white (if it has an AlGaN Quantum Barrier)
- Indium gallium nitride (InGaN) — 450–470 nm — near ultraviolet, bluish-green and blue
- Silicon carbide (SiC) as substrate — blue
- Silicon (Si) as substrate — blue (under development)
- Sapphire (Al₂O₃) as substrate — blue
- Zinc selenide (ZnSe) — blue
- Diamond (C) — ultraviolet
- Aluminium nitride (AlN), aluminium gallium nitride (AlGaN), aluminium gallium indium nitride (AlGaInN) — near to far ultraviolet (down to 210 nm).

Với sự thay đổi đa dạng của màu sắc, những LED đa màu có thể được thiết kế để sản xuất những mẫu mới lạ.

Một số loại LED thông dụng:

Vật liệu	E_G (ev)	λ_p (nm)	vùng bức xa	U_0 (v) ở $I=20mA$	$U_{đngc}$ Max	t_r (nsec)	Loại tái hợp
Ge	0,66	-	-	-	-	-	G. tiếp
Si	1,09	-	-	-	-	-	G. tiếp
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 + 1,8	5	50	T. tiếp
GaAsP	1,9	660	Đỏ	1,6 + 1,8	5		T. tiếp
GaAlAs	1,91	650	Đỏ	1,6 + 1,8	5		T. tiếp
GaAsP	2,0	635	Cam	2,0 + 2,2	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 + 2,4	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,2	565	Lá cây	2,4 + 2,7	5	400	T. tiếp
GaP	2,24	560	Lá cây	2,7 + 3,0	5	-	G. tiếp
SiC	2,5	490	Da trời	3,0	-	900	G. tiếp
Gallium- Nitrit	3,1	400	Tím	3,0	-	-	G. tiếp

Hình 3.4. Vật liệu của LED

3.2.2. Phân loại và ứng dụng của LED

LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy được sử dụng trong báo hiệu, màn hình, quảng cáo... còn LED bức xạ ánh sáng trong vùng hồng ngoại dùng trong các hệ thống thông tin quang hoặc các hệ thống tự động điều khiển hoặc bảo mật.

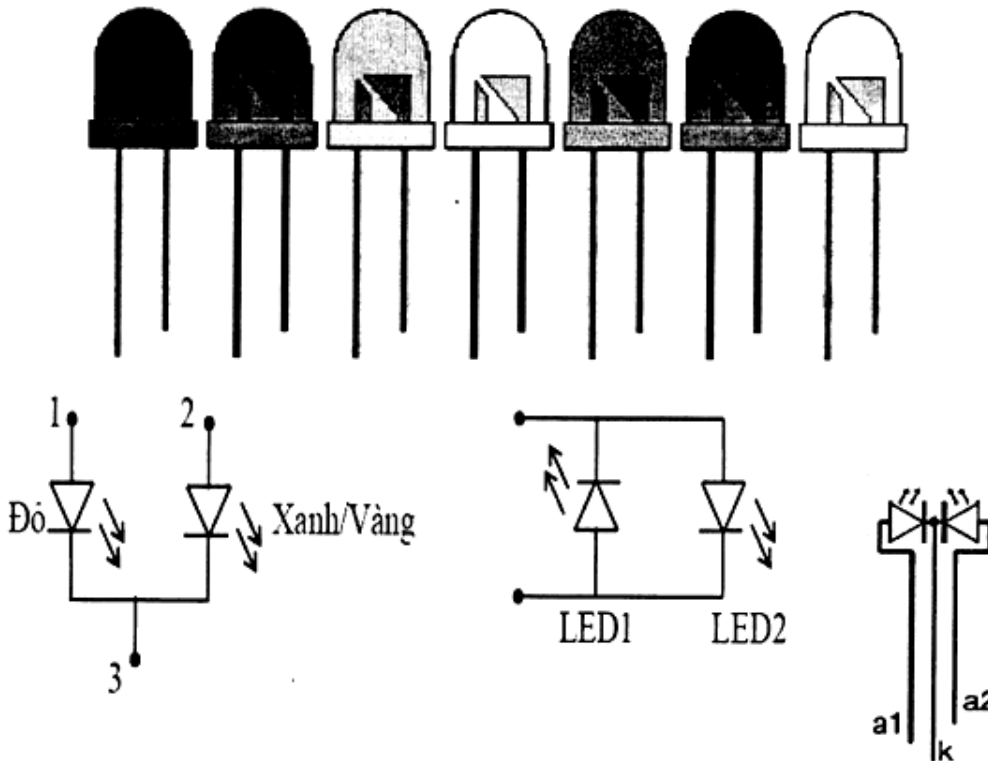
Để việc sử dụng được đơn giản và gọn nhẹ người ta thường ghép nhiều LED với nhau, nếu ghép các cực anốt với nhau thì các đầu điều khiển đi vào các catốt (điều khiển bằng xung âm) và LED gọi là anốt chung. Nếu ghép các cực catốt với nhau thì cực điều khiển đi vào anốt (điều khiển bằng xung dương) và LED gọi là catốt chung. Người ta thường tạo LED theo các cấu trúc sau:

LED đơn

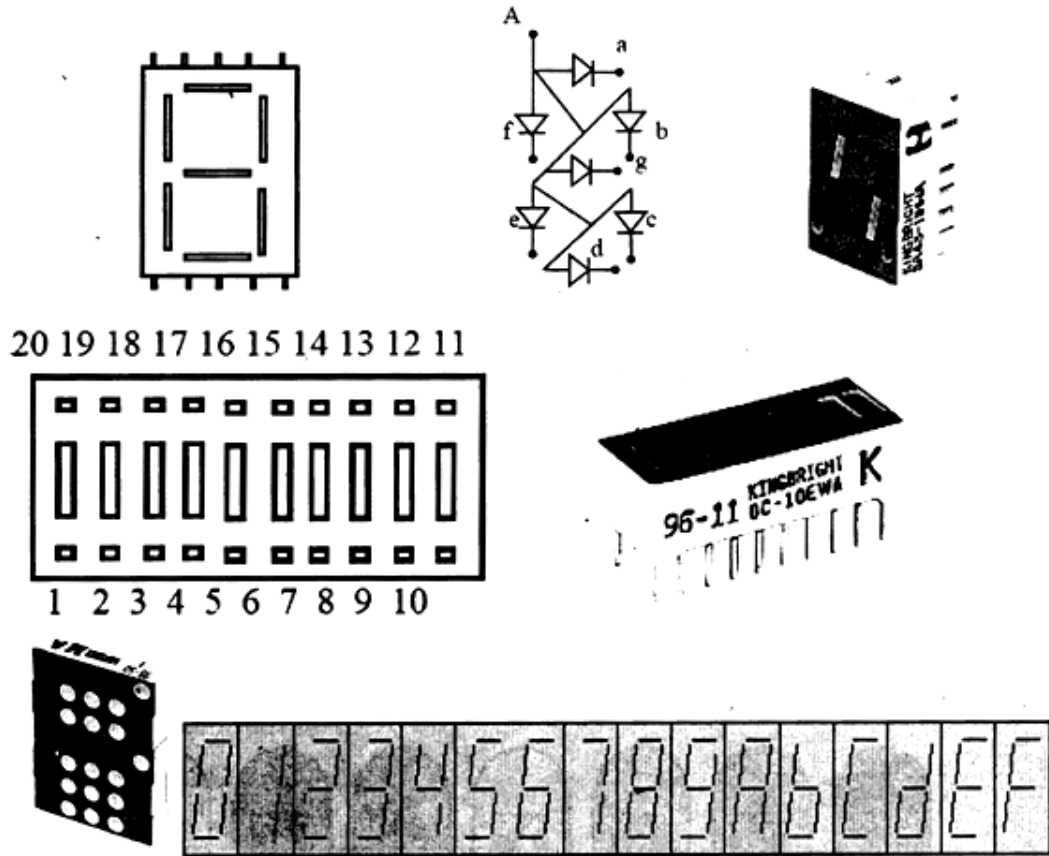
LED đôi

LED 7 đoạn. Đây là một tổ hợp gồm có 7 LED được đấu nối với nhau theo hình số 8 dùng để hiển thị các số thập phân từ 0 đến 9.

Băng chiếu sáng LED: Đây là tập hợp nhiều LED thành một chuỗi với mạch tổ hợp hoặc không có mạch tổ hợp bên trong.



Chương 3: LED



Hình 3.5. Các loại LED

3.3. LED hồng ngoại (Infrared LED, IR LED)

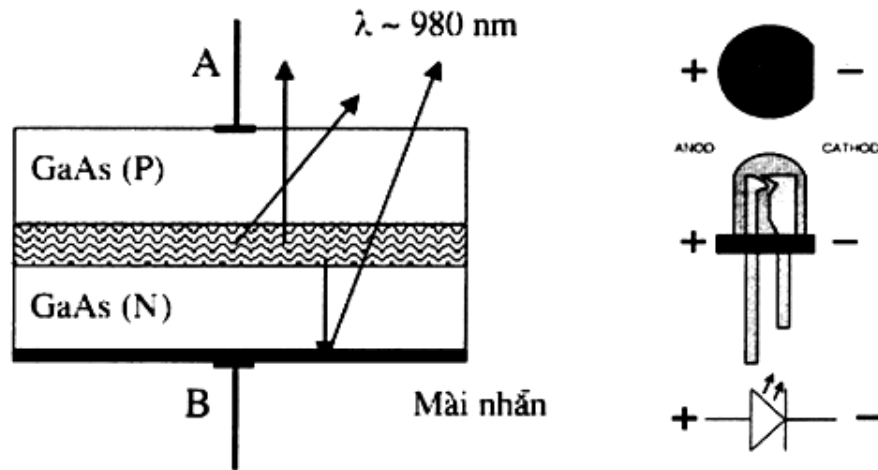
Đối với các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục μW , các diốt phát quang bán dẫn thường dùng làm các nguồn sáng.

Hồng ngoại ít bị suy giảm khi qua khói bụi và chất bán dẫn nên LED hồng ngoại có hiệu suất cao.

3.3.1. Cấu tạo

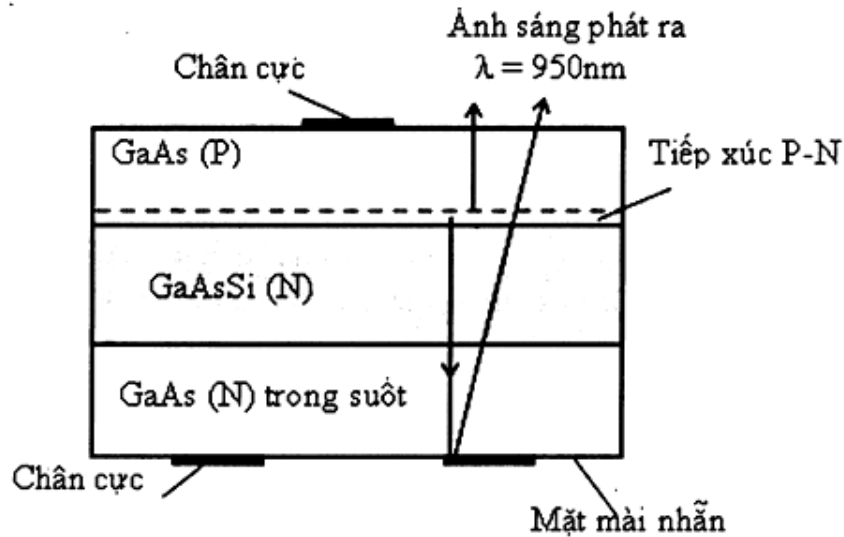
Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Chỉ có một điểm khác biệt là một mặt của bán dẫn được mài nhẵn làm gương phản chiếu để đưa ánh sáng ra khỏi LED theo một chiều với độ tập trung cao.

Do đặc điểm cấu tạo đặc biệt nên LED hồng ngoại tạo ra ánh sáng nằm trong vùng hồng ngoại. Ngoài ra, những tia có hướng đi vào trong lớp bán dẫn sẽ gặp gương phản chiếu và bị phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng một hướng. Việc này sẽ tăng hiệu suất một cách đáng kể cho LED. Tia hồng ngoại có khả năng xuyên qua chất bán dẫn tốt hơn so với ánh sáng nhìn thấy nên hiệu suất phát của LED hồng ngoại cao hơn rất nhiều so với LED phát ánh sáng màu.



Hình 3.6. Cấu tạo LED hồng ngoại bước sóng 980nm

Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm EG = 1,43 eV tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

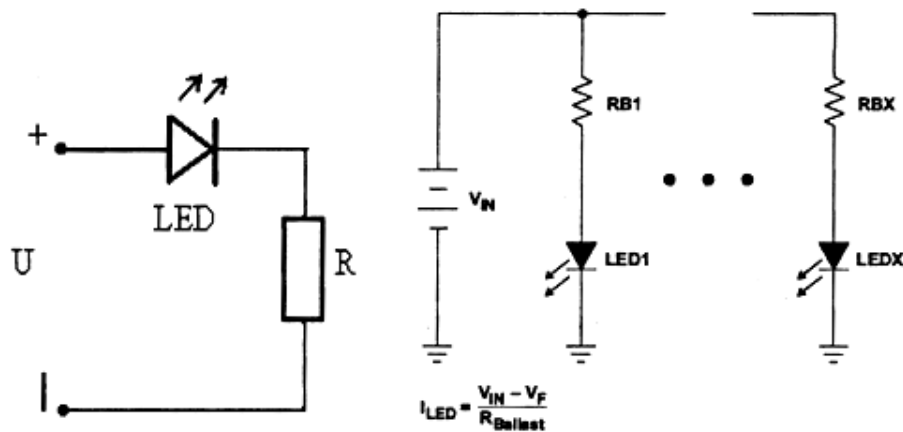


Hình 3.7. Cấu trúc của LED hồng ngoại bức xạ bước sóng 950 nm

Trong GaAs (N) tạo một lớp tinh thể có tính chất lưỡng tính với tạp chất Silic là GaAsSi (N) và một tiếp xúc P - N được hình thành. Tùy theo nồng độ pha tạp chất Silic ta có bức xạ với bước sóng phù hợp với các điểm cực đại của các detector (LED thu). Mặt dưới của LED được mài nhẵn tạo thành một gương phản chiếu tia hồng ngoại phát ra từ lớp tiếp xúc P - N.

3.3.2. Nguyên lý làm việc

Hình sau mô tả sơ đồ nguyên lý đấu nối LED hồng ngoại trong mạch điện.



Hình 3.8. Sơ đồ nguyên lý của LED hồng ngoại

Khi phân cực thuận cho điốt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

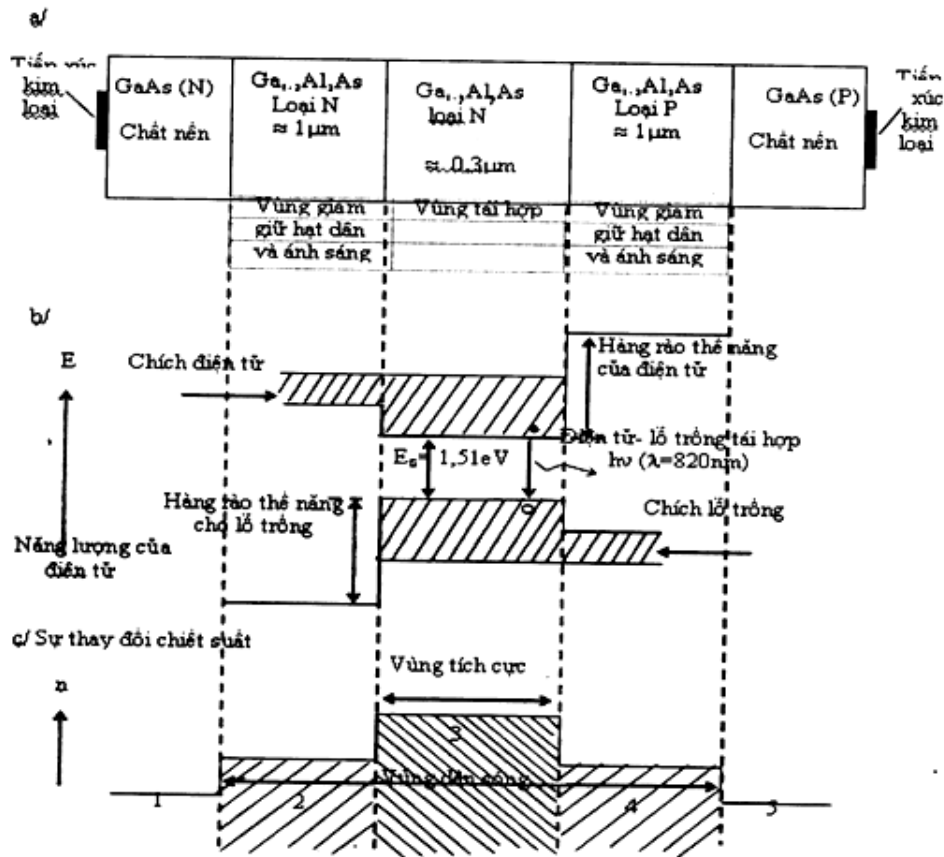
Ánh sáng hồng ngoại có đặc tính quang học giống như ánh sáng nhìn thấy, nghĩa là nó có khả năng hội tụ, phân kỳ qua thấu kính, có tiêu cự.... Tuy nhiên, ánh sáng hồng ngoại rất khác ánh sáng nhìn thấy ở khả năng xuyên suốt qua vật chất, trong đó có chất bán dẫn. Điều này giải thích tại sao LED hồng ngoại có hiệu suất cao hơn LED chi thị vì tia hồng ngoại không bị yếu đi khi vượt qua các lớp bán dẫn để ra ngoài.

Tuổi thọ của LED hồng ngoại dài đến 100 000 giờ. LED hồng ngoại không phát ra ánh sáng nhìn thấy nên rất có lợi trong các thiết bị kiểm soát vì không gây sự chú ý.

3.3.3. LED hồng ngoại cấu trúc đặc biệt

Để truyền dẫn trong sợi quang đạt hiệu quả người ta sử dụng các loại LED hồng ngoại có độ sáng phát ra cao, có thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao, đó là LED cấu trúc dị thể kép. Đây là cấu trúc được sử dụng rất rộng rãi hiện nay.

Hình sau biểu diễn một LED cấu trúc dị thể kép (double heterostructure) bởi vì có hai lớp hợp kim $Ga_{1-x}Al_xAs$ loại N và P đều có độ rộng vùng cấm lớn hơn độ rộng vùng cấm của lớp tích cực $Ga_{1-y}Al_yAs$ loại N, cũng có nghĩa là chiết suất của hai lớp này nhỏ hơn chiết suất của lớp tích cực (trong đó % phân tử lượng $x > y$). Bằng phương pháp cấu trúc Sandwich của các lớp hợp kim tổng hợp khác nhau, cả 2 loại hạt dẫn và trường ánh sáng được giam giữ lại trong trung tâm của lớp tích cực, (xem hình b). Đồng thời sự khác nhau về chiết suất của các lớp kề cận này đã giam giữ trường ánh sáng trong lớp tích cực ở trung tâm (xem hình c). Sự giam giữ hạt dẫn và ánh sáng ở trong lớp tích cực đã làm tăng độ bức xạ và hiệu suất quang lượng tử.



Hình 3.9.

a/ Mặt cắt của LED cấu trúc dị thể kép loại GaAlAs với $x > y$

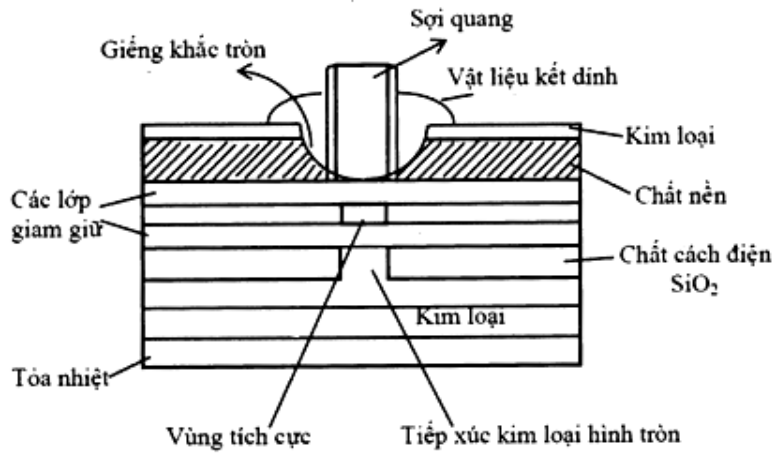
b/ Giản đồ năng lượng của vùng tích cực và hàng rào thế năng của điện tử và lỗ trống

c/ Sự thay đổi chiết suất trong các lớp dị thể

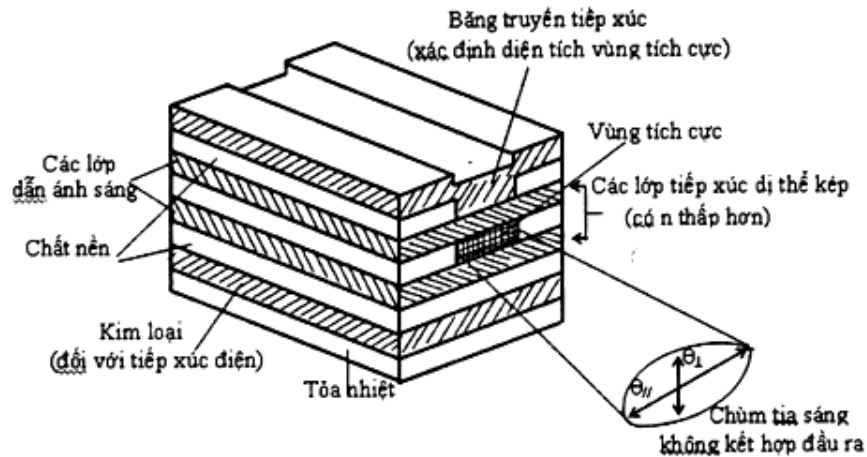
Hai dạng cơ bản của LED được dùng cho sợi quang là bức xạ bề mặt (còn gọi là bức xạ Burrus) và bức xạ cạnh.

Trong bức xạ bề mặt, mặt phẳng của vùng tích cực bức xạ ánh sáng vuông góc với trục x của sợi quang như mô tả trong hình sau. Trong cấu trúc này một "cái giếng" được khắc qua phân chất nền của LED, sau đó sợi quang được gắn chặt vào để nhận ánh sáng bức xạ ra. Diện tích vòng tròn tích cực trong bề mặt bức xạ trên thực tế có đường kính $50\mu\text{m}$ và bề dày đến $2,5\mu\text{m}$. Phổ bức xạ cơ bản là đẳng hướng với độ rộng chùm tia nửa công suất 120° . Phổ đẳng hướng này từ một bức xạ bề mặt được gọi là phổ Lambe, trong đó độ phát sáng ở mọi hướng đều bằng nhau, nhưng công suất giảm đi theo hàm $\cos \theta$, với θ là góc giữa hướng chiếu ánh sáng và đường vuông góc với bề mặt. Do vậy công suất giảm xuống 50% so với trị số đỉnh của nó khi $\theta = 60^\circ$, để tổng độ rộng chùm tia nửa công suất là 120° .

Chương 3: LED



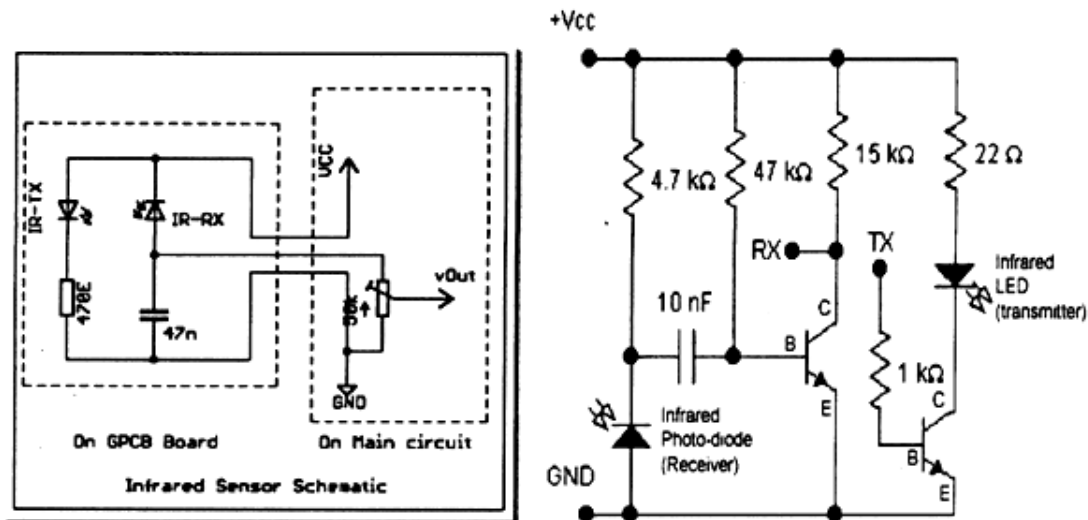
Hình 3.10. Mặt cắt của LED bức xạ bề mặt. Vùng tích cực được giới hạn bởi một đường tròn có diện tích tương ứng với mặt cắt đầu lõi của sợi quang



Hình 3.11. Cấu trúc của LED dị thể kép bức xạ cạnh. Chùm tia ra là Lambe ở bề mặt của tiếp xúc P-N ($\theta_{//} = 120^\circ$) và hướng vuông góc với tiếp xúc P-N là $\theta_{\perp} = 30^\circ$.

LED bức xạ cạnh được mô tả ở hình trên gồm một vùng tiếp xúc tích cực và hai lớp dẫn ánh sáng. Cả hai lớp dẫn quang đều có chiết suất thấp hơn của vùng tích cực nhưng cao hơn chiết suất của các vật liệu xung quanh. Cấu trúc này tạo ra một kênh dẫn sóng hướng bức xạ ánh sáng theo hướng lõi sợi quang. Để ghép khít lõi sợi quang đường kính từ $50\mu\text{m}$ đến $100\mu\text{m}$, băng truyền tiếp xúc đối với bức xạ cạnh có chiều rộng là $50\mu\text{m}$ đến $70\mu\text{m}$. Chiều dài của vùng tích cực khoảng từ $100\mu\text{m}$ đến $150\mu\text{m}$. Phổ bức xạ của LED bức xạ cạnh định hướng tốt hơn so với bức xạ bề mặt, như biểu diễn trong hình (8- 13). Ở bề mặt song song với tiếp xúc, mà tại đó không có hiệu ứng dẫn sóng, thì chùm tia bức xạ là phổ Lambe với độ rộng nửa- công suất của $\theta_{//} = 120^\circ$. Trong bề mặt vuông góc với tiếp xúc, bằng việc chọn độ dày của ống dẫn sóng, độ rộng chùm tia nửa- công suất θ_{\perp} được tạo ra nhỏ hơn 25 đến 35° .

3.3.4. Các mạch lái LED hồng ngoại



Hình 3.12. Các mạch lái LED hồng ngoại

3.3.5. LED hồng ngoại LD271

LD 271, LD 271 H
LD 271 L, LD 271 HL
GaAs-IR-Lumineszenzdiode
GaAs Infrared Emitter

Features

- GaAs infrared emitting diode, fabricated in a liquid phase epitaxy process
- High reliability
- High pulse handling capability
- long leads
- Available in groups
- Same package as SFH 300, SFH 203

Applications

- IR remote control of hi-fi and TV-sets, video tape recorders, dimmers
- Remote control of various equipment
- Photointerrupters

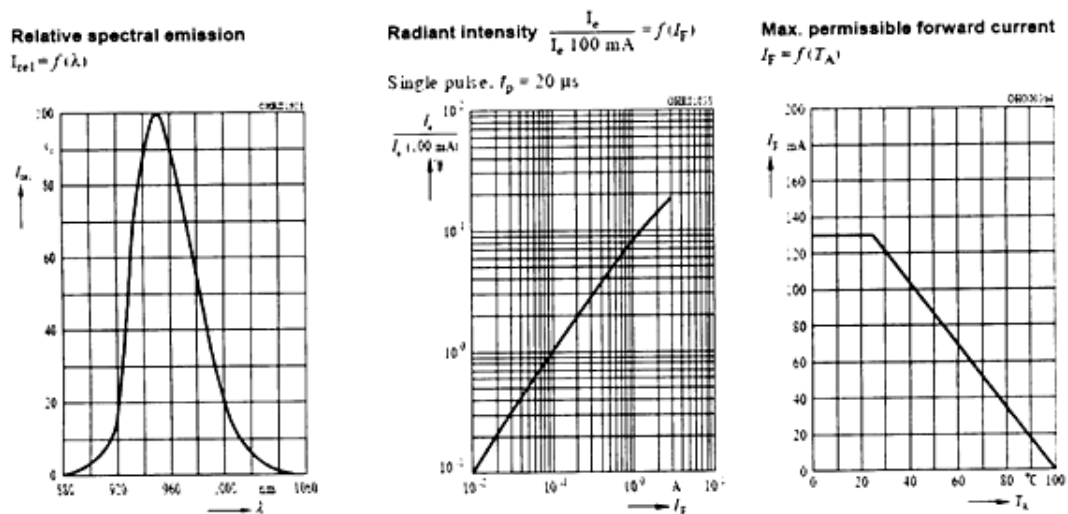
Chương 3: LED

Maximum Ratings

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	□55 ... - 100	°C
Sperrschichttemperatur Junction temperature	T_j	100	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_K	5	V
Durchlaßstrom Forward current	I_F	130	mA
Stoßstrom, $t_p = 10 \mu s, D = 0$ Surge current	I_{FSM}	3.5	A
Verlustleistung Power dissipation	P_{tot}	220	mW
Wärmewiderstand Thermal resistance	R_{thJA}	330	K/W

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		LD 271 LD 271 L	LD 271 H LD 271 HL	
Strahlstärke Radiant intensity $I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$ $I_F = 1 \text{ A}, t_p = 100 \mu s$	I_e $I_{e, \text{opp}}$	15 (≥ 10) 120	> 16	mW/sr mW/sr

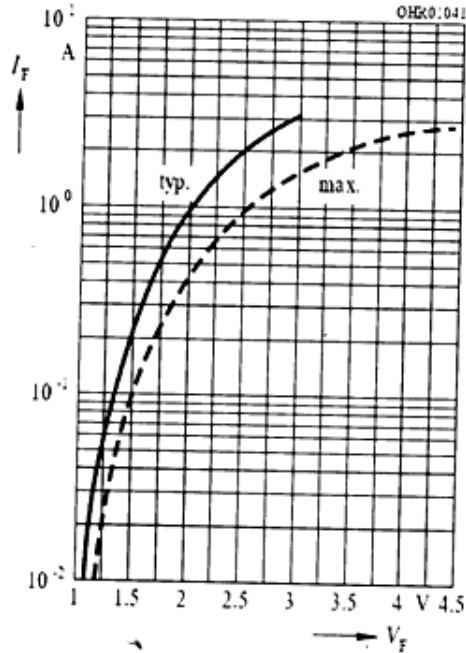
Hình 3.13. Các thông số kỹ thuật LD 271



Hình 3.14. Tính chất phổ của LD 271

Forward current

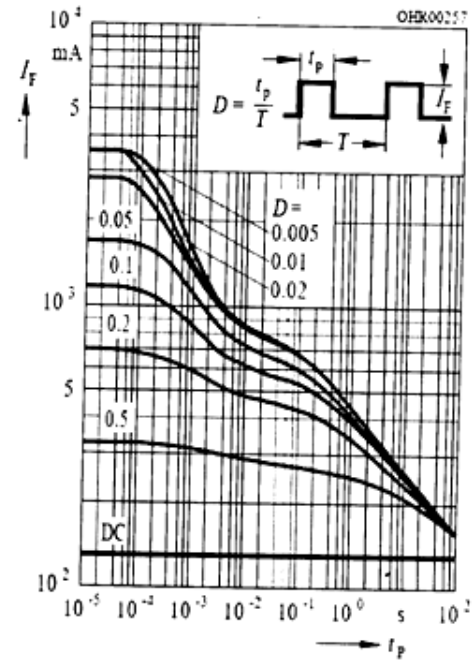
$I_F = f(V_F)$, single pulse, $t_p = 20 \mu s$



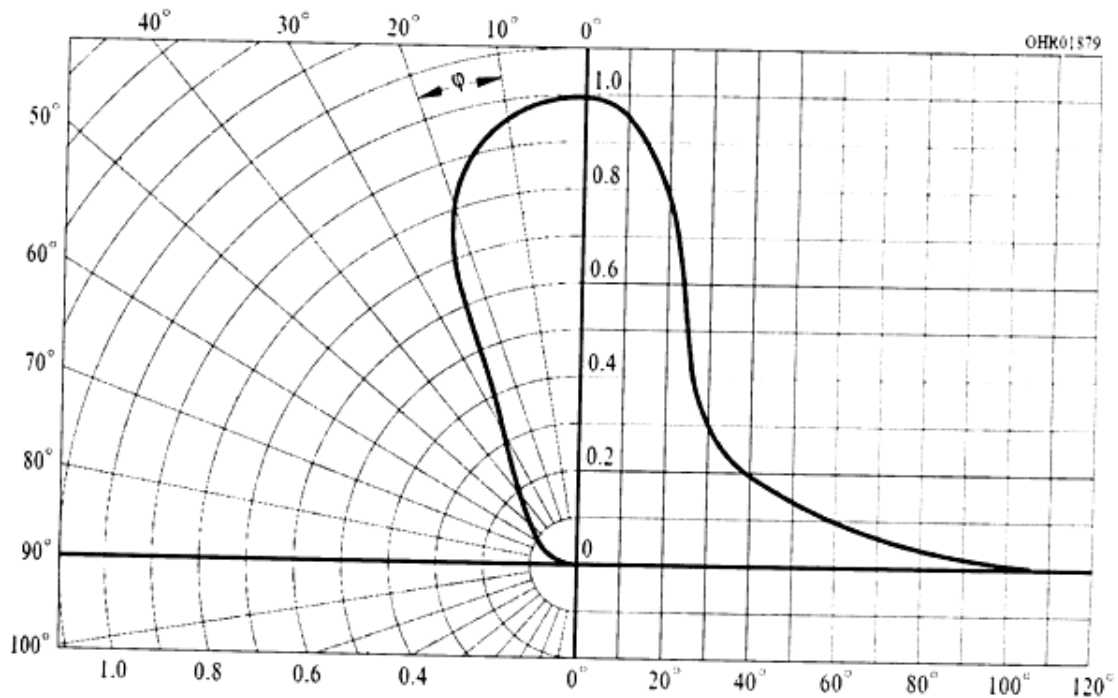
Permissible pulse handling capability

$I_F = f(\tau)$, $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$,

duty cycle $D = \text{parameter}$



Hình 3.15. Tính chất điện của LD 271

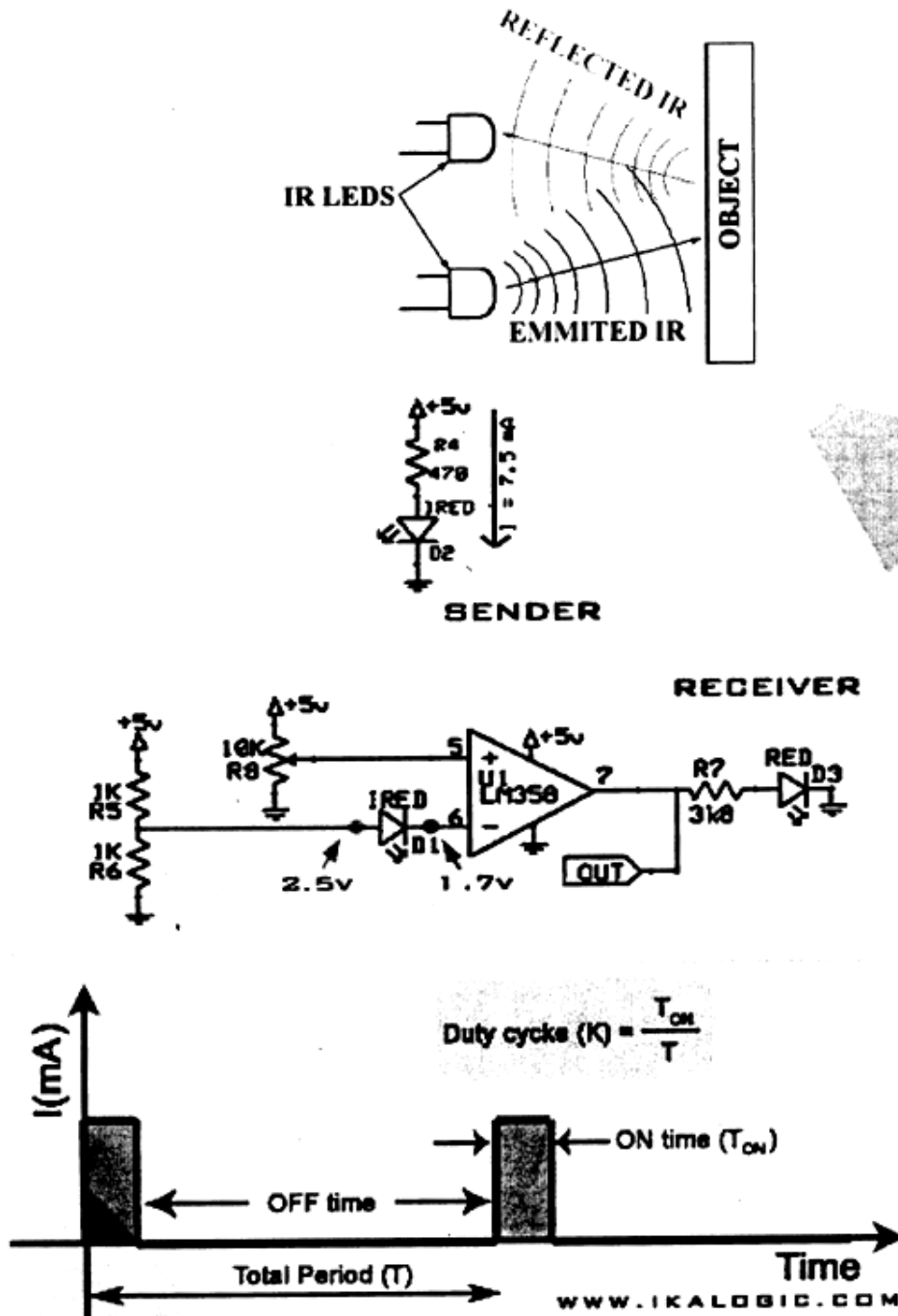


Hình 3.16. Góc phát xạ của LD 271

Chương 3: LED

3.3.6. Ứng dụng

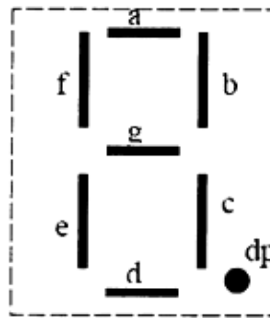
LED hồng ngoại có nhiều ứng dụng trong việc truyền dữ liệu bằng vô tuyến hay cáp quang, mạch điều khiển từ xa (Remote), đo khoảng cách ...



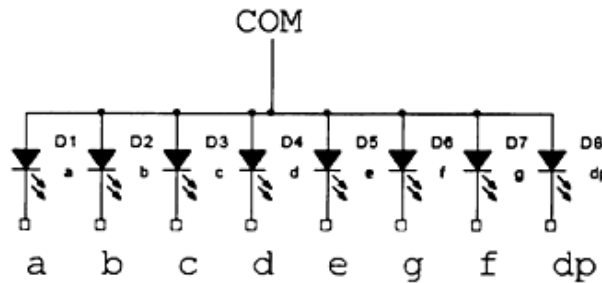
Hình 3.17. Minh họa đo khoảng cách
http://www.ikalogic.com/ir_prox_sensors.php

3.3.7. LED 7 đoạn

1. Cấu trúc và mã hiển thị dữ liệu trên LED 7 đoạn



Hình 3.18. Minh hoạ Dạng LED 7 đoạn



Hình 3.19. Minh hoạ dạng LED 7 đoạn Anode chung

Đối với dạng LED anode chung, chân COM phải có mức logic 1 và muốn sáng LED thì tương ứng các chân a – f, dp sẽ ở mức logic 0.

Số	a	b	c	d	e	f	g	dp	Mã hex
0	0	0	0	0	0	0	1	1	03h
1	1	0	0	1	1	1	1	1	9Fh
2	0	0	1	0	0	1	0	1	25h
3	0	0	0	0	1	1	0	1	0Dh
4	1	0	0	1	1	0	0	1	99h
5	0	1	0	0	1	0	0	1	49h
6	0	1	0	0	0	0	0	1	41h
7	0	0	0	1	1	1	1	1	1Fh
8	0	0	0	0	0	0	0	1	01h
9	0	0	0	0	1	0	0	1	09h

Hình 3.20. Minh hoạ bảng mã cho LED Anode chung (a là MSB, dp là LSB)

Chương 3: LED

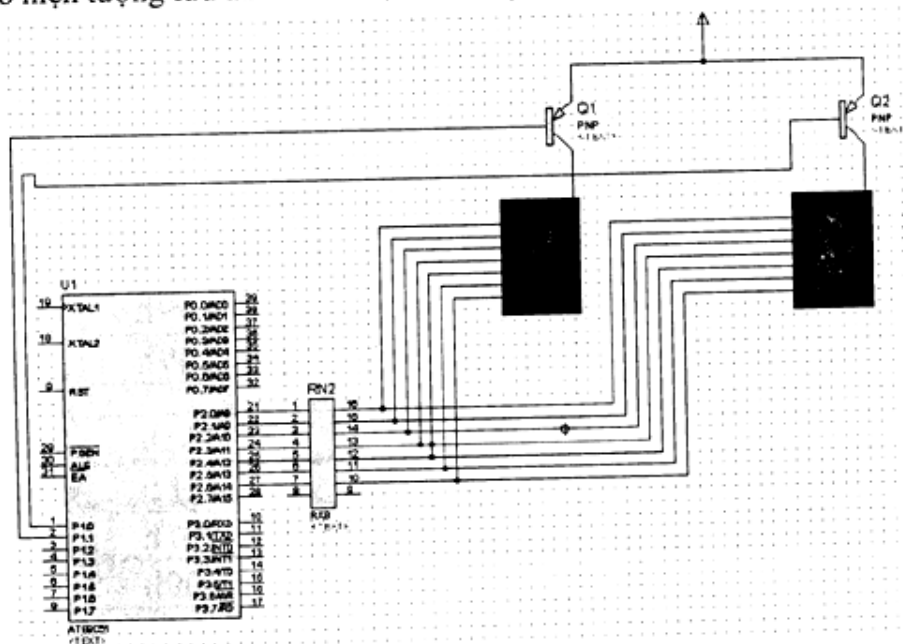
Số	dp	g	f	e	d	c	b	a	Mã hex
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0C0h
1	1	1	1	1	1	0	0	1	0F9h
2	1	0	1	0	0	1	0	0	0A4h
3	1	0	1	1	0	0	0	0	0B0h
4	1	0	0	1	1	0	0	1	99h
5	1	0	0	1	0	0	1	0	92h
6	1	0	0	0	0	0	1	0	82h
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0F8h
8	1	0	0	0	0	0	0	0	80h
9	1	0	0	1	0	0	0	0	90h

Hình 3.21. Minh họa bảng mã cho LED Anode chung (a là LSB, dp là MSB)

2. Hiện thị số liệu dạng số

Dùng phương pháp quét

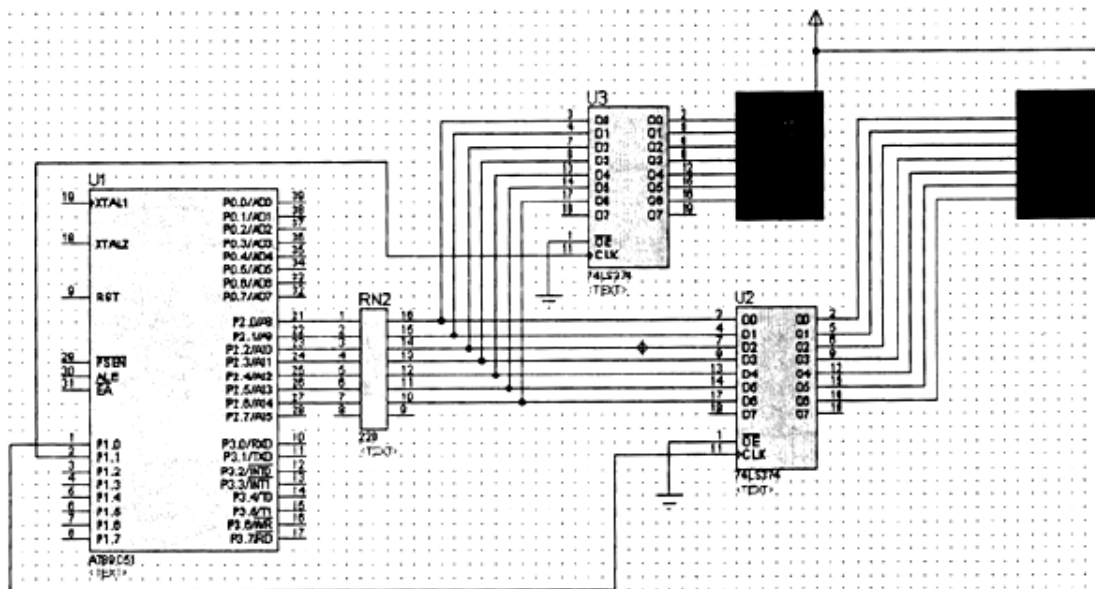
Khi kết nối chung các đường dữ liệu của LED 7 đoạn (hình vẽ), ta không thể cho các LED này sáng đồng thời (do ảnh hưởng lẫn nhau giữa các LED) mà phải thực hiện phương pháp quét, nghĩa là tại mỗi thời điểm chỉ sáng một LED và tắt các LED còn lại. Do hiện tượng lưu ảnh của mắt, ta sẽ thấy các LED sáng đồng thời.



Hình 3.22. Minh họa phương pháp quét

Dùng phương pháp chốt

Khi thực hiện tách riêng các đường dữ liệu của LED, ta có thể cho phép các LED sáng đồng thời mà sẽ không có hiện tượng ảnh hưởng giữa các LED. IC chốt cho phép lưu trữ dữ liệu cho các LED có thể sử dụng là 74LS373, 74LS374.



Hình 3.23. Minh họa phương pháp chốt

3. Hiện thị số liệu dạng tương tự

ICL7106, ICL7107, ICL7107S **3 1/2 Digit, LCD/LED Display, A/D** **Converters**

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3 1/2 digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display. The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features autozero to less than 10 μ V, zero drift of less than 1 μ V/oC, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

ICL7106, ICL7107 (PDIP)
TOP VIEW

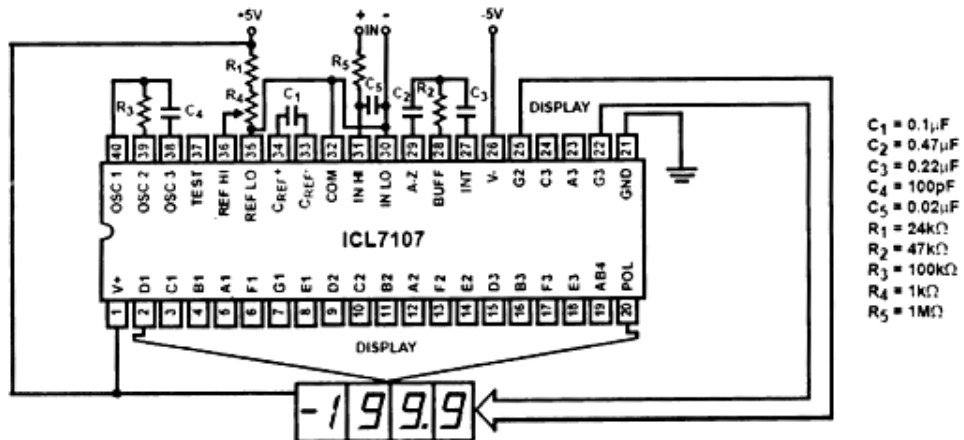
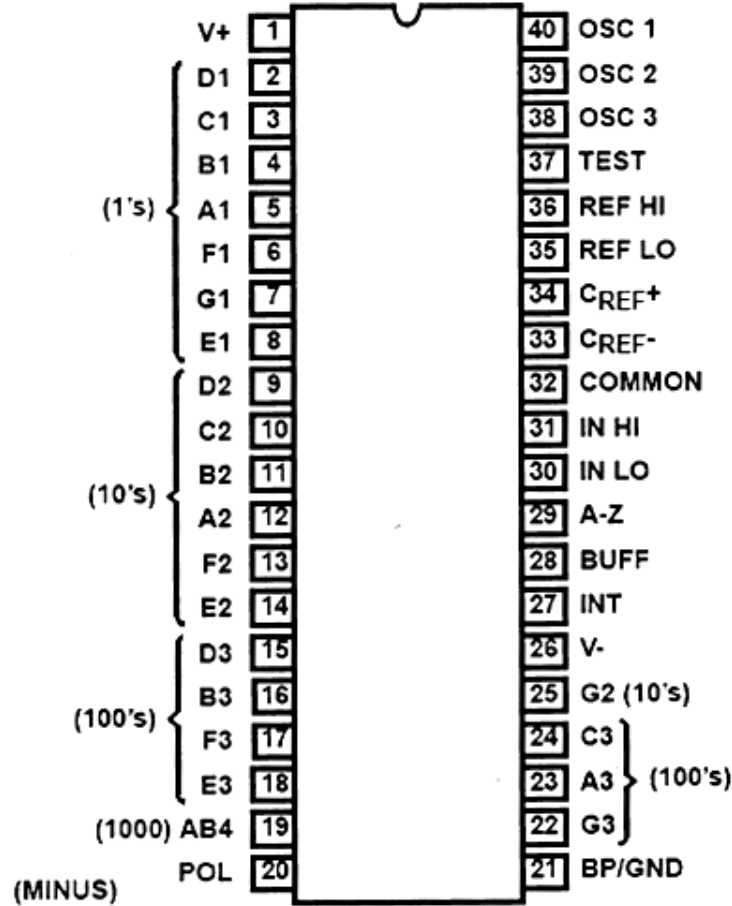


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

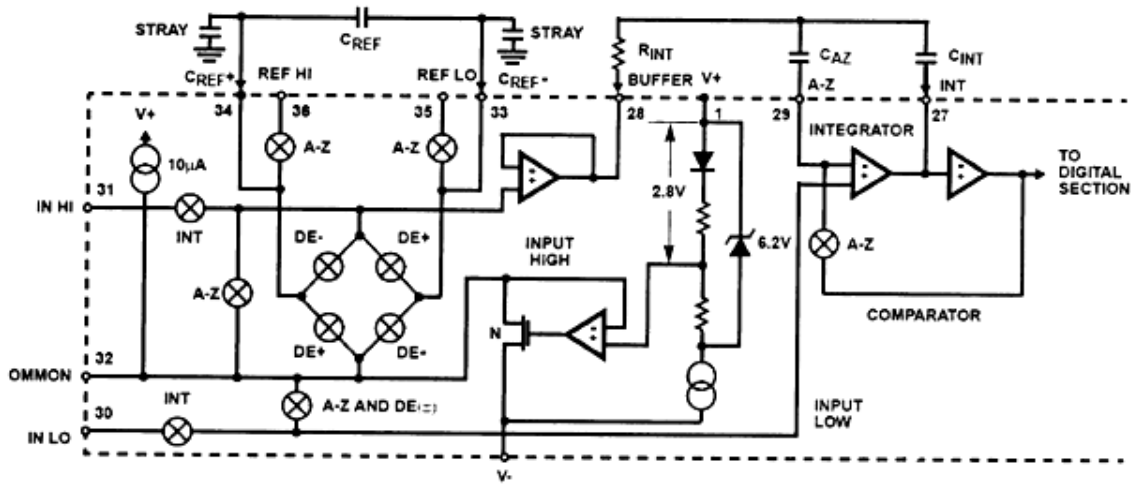


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

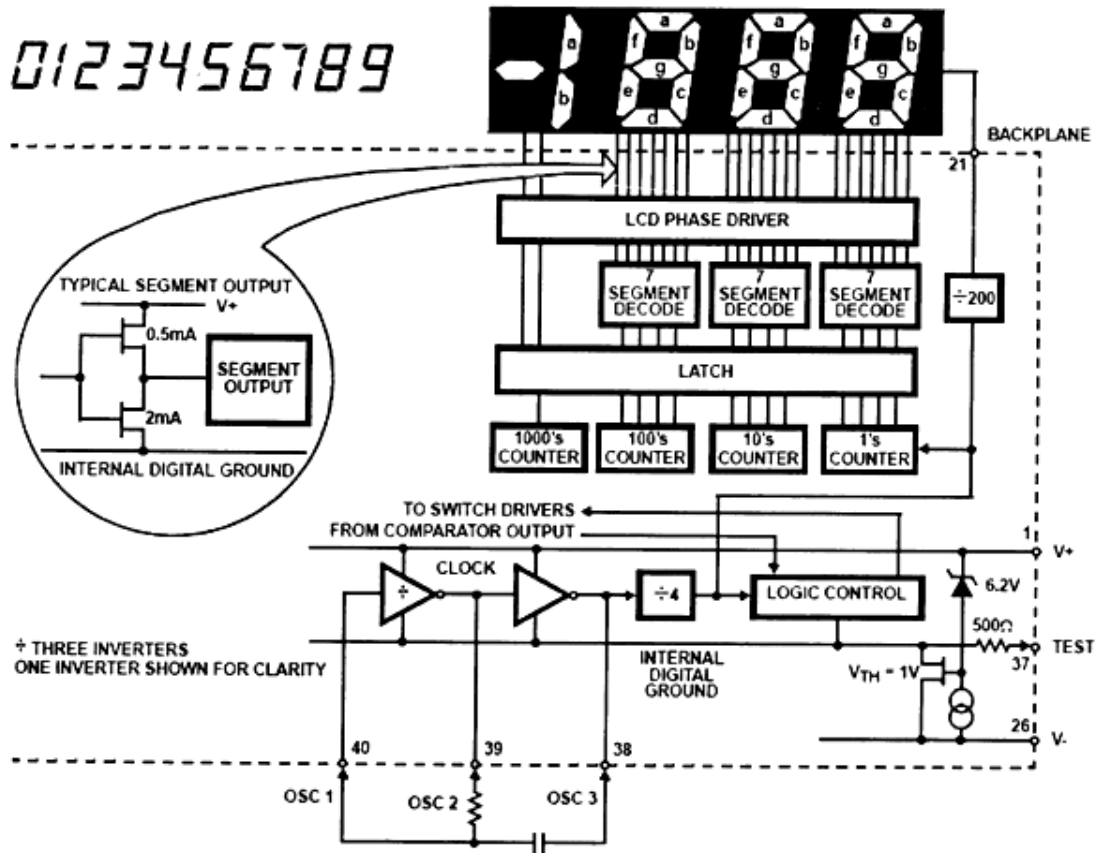


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

Chương 4

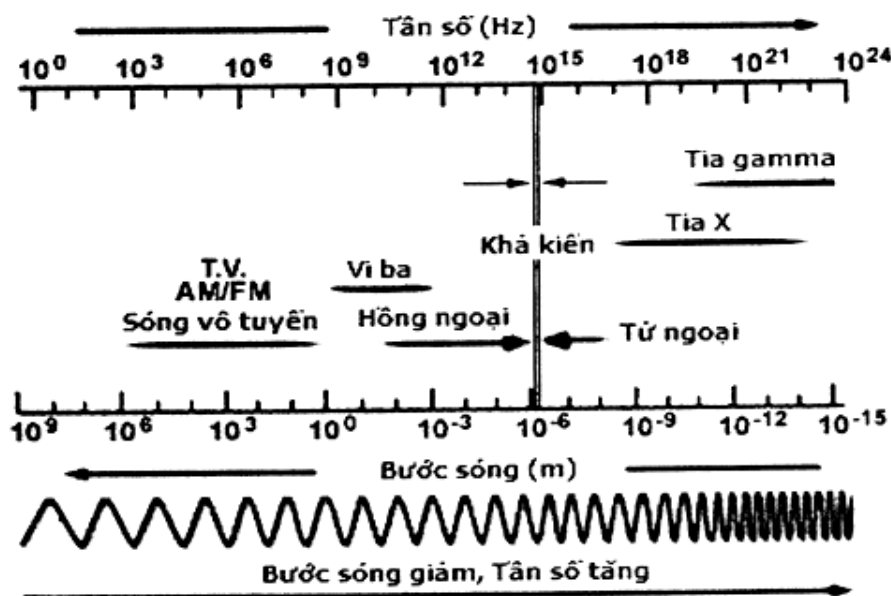
CÁC DỤNG CỤ PHÁT HIỆN BỨC XẠ

4.1. Đặc tính chung

Ánh sáng là 1 dạng của bức xạ điện từ có dải bước sóng từ 0,001 nm đến 1cm hoặc dải tần số rất cao, $10^{14} \rightarrow 10^{15}$ Hz. Sự thay đổi trạng thái năng lượng trong nguyên tử và phân tử là nguồn gốc của các bức xạ ánh sáng đó.

Các ánh sáng được chia thành 3 vùng là

Vùng cực tím	Độ dài bước sóng từ 100 nm - 380 nm
Vùng ánh sáng nhìn thấy	Độ dài bước sóng từ 380 đến 780 nm
Vùng hồng ngoại	Độ dài bước sóng từ 780 nm đến 1 mm



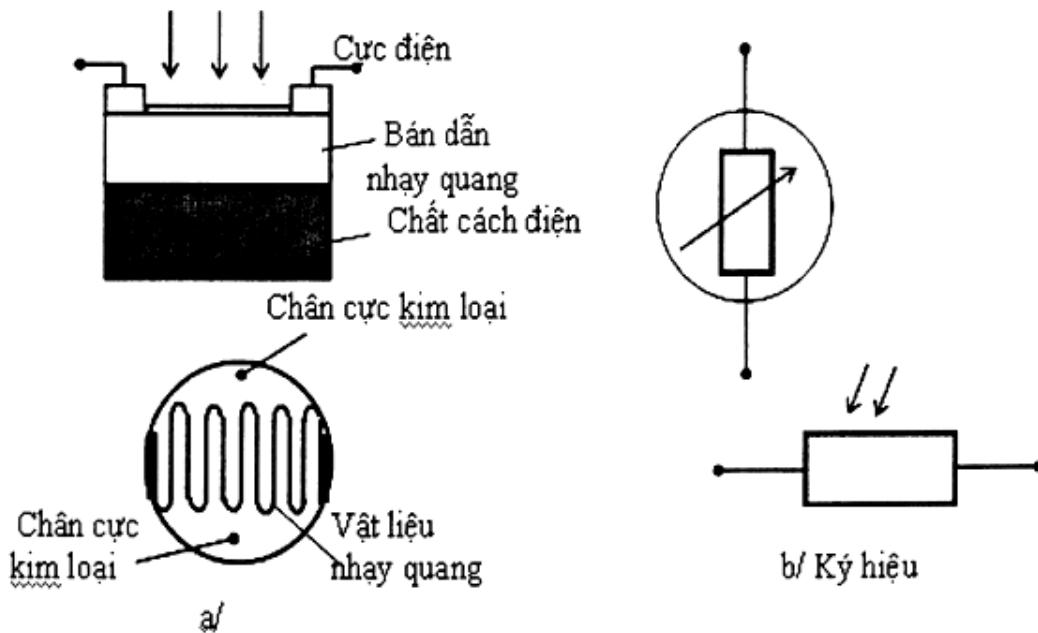
Hình 4.1. Phổ của bức xạ điện từ

Đặc điểm của mắt người là nhìn thấy các sóng điện từ thuộc vùng ánh sáng nhìn thấy. Mắt người không chỉ phân biệt được độ sáng yếu hay mạnh, mà còn phân biệt được từng bước sóng riêng biệt gọi là độ cảm màu của mắt. Nhưng trong kỹ thuật chỉ dùng khái niệm bước sóng chứ không dùng khái niệm màu sắc, và ngay cả tần số cũng ít dùng. Các bước sóng trong thông tin quang hiện nay nằm ở vùng hồng ngoại nên khái niệm màu sắc càng không có ý nghĩa.

4.2. Các linh kiện thu quang (hiệu ứng quang điện bên trong)

Bộ thu quang là phần tử có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện dựa trên nguyên lý biến đổi quang → điện. Nghĩa là, biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện. Khi các nguyên tử được cung cấp năng lượng dưới dạng năng lượng quang thích hợp, các điện tử ở lớp ngoài cùng của chúng có thể bật ra thành điện tử tự do. Bằng cách dùng điện trường ngoài để thu nhận các điện tử này ta sẽ có dòng điện ở mạch ngoài gọi là dòng quang điện có độ lớn phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào. Tùy theo mục đích sử dụng và cấu trúc mà có nhiều loại bộ thu quang khác nhau, vì thế đặc tính của chúng cũng khác nhau.

4.2.1. Điện trở quang



Hình 4.2. Điện trở quang

(Điện trở quang là một linh kiện bán dẫn thụ động, không có lớp tiếp xúc P-N.)

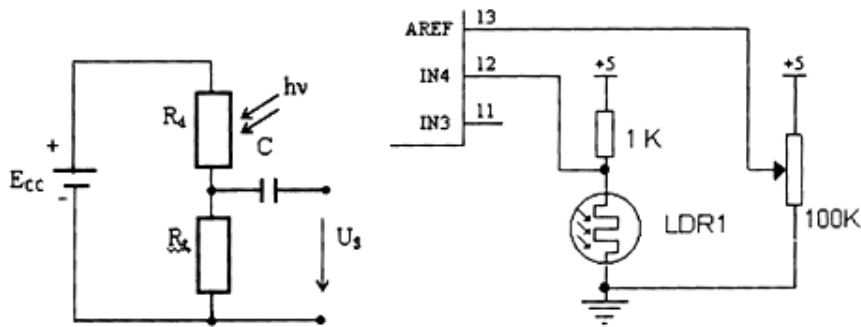
Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang thường là Cadmium Sulfid (CdS), Cadmium Selenid (CdSe), Sulfid kẽm (ZnS) hoặc các tinh thể hỗn hợp khác. Tất cả các vật liệu này được gọi là vật liệu bán dẫn nhạy quang.

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

1. Cấu tạo

Điện trở quang gồm một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang rải lên một tấm vật liệu cách điện và 2 chân dẫn điện. Để chống ẩm người ta bọc bên ngoài quang trở một lớp sơn chống ẩm trong suốt với vùng ánh sáng hoạt động của nó. Tất cả được bọc trong một vỏ bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua.

2. Nguyên lý làm việc



Hình 4.3. Nguyên lý làm việc

Khi chiếu ánh sáng vào vật liệu bán dẫn nhạy quang với năng lượng photon lớn hơn hoặc bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do quá trình hấp thụ quang năng, từng cặp điện tử - lỗ trống mới xuất hiện. Do vậy, nồng độ hạt dẫn trong chất bán dẫn tăng lên, làm độ dẫn điện của nó tăng, hay nói cách khác là điện trở của chất bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện được tạo ra khi được chiếu ánh sáng là:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_F$$

Trong đó:

- σ_0 - là độ dẫn điện khi chưa chiếu sáng.
- σ_F - độ dẫn điện được tạo ra do ánh sáng

$$\sigma_F = q(\mu_n + \mu_p)\Delta p$$

Ở đây $\Delta n = \Delta p$ - nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống mới sinh ra.

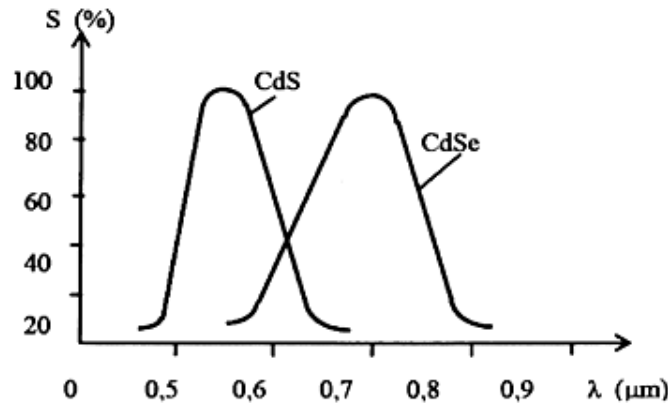
Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{ph} = q\Delta p(\mu_n + \mu_p)Ewd$$

w.d là tiết diện của lớp bán dẫn nhạy quang, E là cường độ điện trường.

Qua công thức trên ta thấy độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn có thể thay đổi được khi ta thay đổi nồng độ hạt dẫn và độ linh động hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Như vậy, khi ta thay đổi cường độ chiếu sáng lên điện trở quang thì cường độ dòng điện trong mạch cũng thay đổi theo.

Các điện trở quang có khả năng khuếch đại dòng điện lên đến 10^5 lần hoặc hơn nữa. Tuy nhiên, các giá trị này chỉ phù hợp khi cường độ ánh sáng không thay đổi theo thời gian hoặc thay đổi chậm. Khi tần số biến điệu, cường độ ánh sáng tăng thì hệ số khuếch đại của điện trở quang giảm. Khả năng đáp ứng tần số của điện trở quang thấp, thường đạt từ vài chục Hz đến vài KHz.



Hình 4.4. Độ nhạy quang

3. Các tham số chính của điện trở quang

Điện dẫn suất σ_p là hàm số của mật độ năng lượng quang ρ_λ khi độ dài bước sóng không đổi.

$$\sigma_p = \sigma_p(\rho_\lambda) \quad \text{khi } \lambda = \text{const}$$

Độ nhạy tương đối của điện trở quang $S(\lambda)$ là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng $\sigma_p(\lambda)$ và điện dẫn suất cực đại $\sigma_{p,\text{max}}$ khi mật độ năng lượng quang ρ_λ không đổi.

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p,\text{max}}} \Big|_{\rho_\lambda}$$

Vận tốc làm việc là thời gian hồi đáp của một điện trở quang khi có sự thay đổi từ sáng sang tối hay từ tối sang sáng. Với cường độ ánh sáng mạnh, điện trở quang làm việc nhanh hơn. Điện trở quang làm việc chậm hơn khi trời lạnh và cất giữ trong bóng tối.

Hệ số nhiệt của điện trở quang: Hệ số nhiệt của điện trở quang tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do đó, để giảm bớt sự thay đổi trị số của điện trở quang theo nhiệt độ, điện trở quang cần được cho hoạt động ở mức chiếu sáng tối đa.

Điện trở tối R_d : Điện trở tối là điện trở trong bóng tối của điện trở quang. Điện trở tối là tham số quan trọng, nó cho ta biết "dòng điện rò" lớn nhất đối với một điện thể trên điện trở quang.

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

Điện thế hoạt động: Tùy theo cấu trúc mặt nạ của điện trở quang mà có các điện thế làm việc khác nhau. Điện thế này có thể lên tới 0,5 Kv/mm. Điện thế hoạt động cao nhất do được khi điện trở quang hoạt động trong bóng tối. Khi sử dụng điện trở quang cần chọn giá trị điện áp cung cấp sao cho tối ưu đối với mạch điện mà không làm hỏng điện trở quang.

Công suất tiêu tán cao nhất: Khi điện trở quang hoạt động cần phải giữ cho nhiệt độ của nó thấp hơn một nhiệt độ cho phép. Nhiệt độ cho phép của điện trở quang thường giới hạn từ -40°C đến $+75^{\circ}\text{C}$.

4.2.2. Photodiode – Diode quang

1. Khái niệm chung

Khi chiếu sáng một tiếp xúc P - N thì trên nó sẽ xuất hiện một điện áp. Tùy theo chức năng và cấu trúc có thể chia điốt quang thành nhiều loại như sau

- Điốt quang loại tiếp xúc P - N.
- Điốt quang loại PIN.
- Điốt quang thác (APD).

Một số đặc điểm của điốt quang là rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.

Điốt quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.)



Hình 4.5. Diode quang

2. Vật liệu cơ bản

Hiện nay, để truyền dẫn tín hiệu quang theo 3 cửa sổ suy hao nhỏ nhất của sợi quang, người ta chú ý đến các điốt quang làm việc ở hai vùng bước sóng:

Vùng bước sóng từ 0,85 đến 0,9 μm .

Vùng bước sóng từ 1,3 đến 1,6 μm .

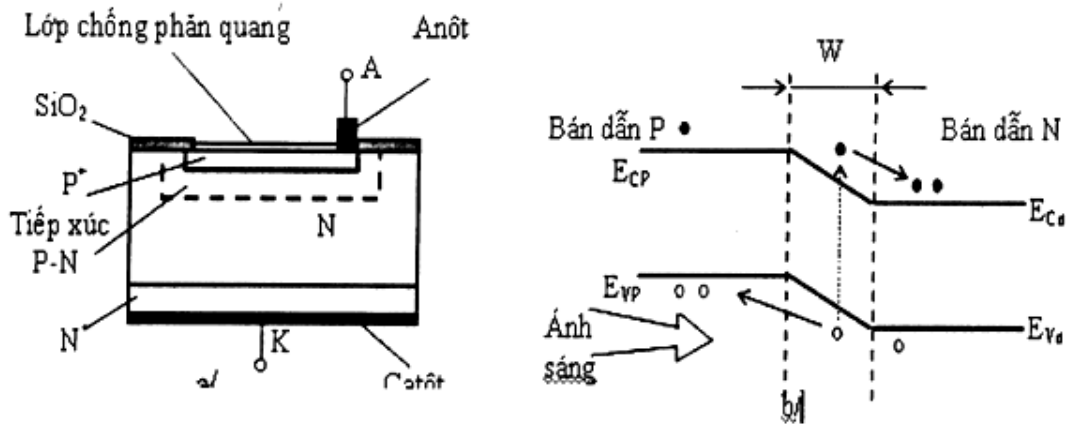
Trong vùng bước sóng thứ nhất từ 0,85 đến 0,9 μm , thì vật liệu chế tạo điốt quang được chọn là Silic vì Silic có độ nhạy cao với bước sóng quanh 0,85 μm . Độ rộng vùng cấm của silic là $E_G = 1,1\text{eV}$ và bằng năng lượng quang cần hấp thụ, ta có

$$E_G = h\nu = h \frac{C}{\lambda}$$

và sẽ có bước sóng cắt là: $\lambda_p = 1,1\mu\text{m}$.

Trong vùng bước sóng thứ hai từ 1,3 đến 1,6 μm cần sử dụng chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm hẹp hơn với $EG < 0,95 \text{ eV}$ người ta thường chọn vật liệu bán dẫn được chế tạo từ các liên kết III - V như GaAs, InP, InAs và GaSb... Ngoài ra, người ta cũng chú ý đến liên kết II - VI như PbSnSe và CdHgTe. Nhờ thay đổi hàm lượng phù hợp trong cấu trúc $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ có thể chế tạo được các điốt quang làm việc ở bước sóng 1,3 μm đến 1,55 μm . Thực tế đã có loại điốt quang thác APD thử nghiệm chế tạo từ vật liệu $\text{Hg}_{0,4}\text{Cd}_{0,6}\text{Te}$.

2. Điốt quang loại tiếp xúc P - N

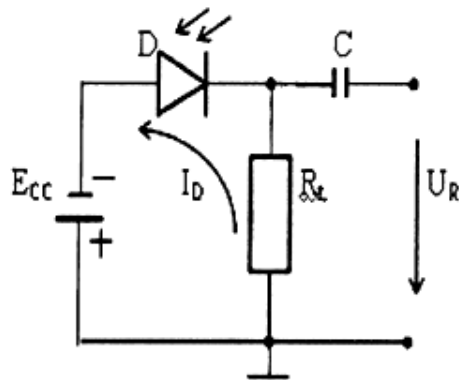


Hình 4.6. Cấu tạo của điốt quang loại tiếp xúc P-N (a) và phân bố dải năng lượng của tiếp xúc P-N (b).

Cấu tạo

Điốt quang gồm có một tiếp xúc P - N. Bề dày của lớp tiếp xúc là w . Hai phần bán dẫn P^+ và N^+ có nồng độ tạp chất cao. Điốt có một cửa sổ để chiếu ánh sáng vào. Hai chân anốt A và catốt K là kim loại được nối tới các phần bán dẫn.

Nguyên lý làm việc



Hình 4.7. Sơ đồ nguyên lý đấu nối điốt quang

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

Điốt quang được cấp nguồn ECC sao cho tiếp xúc P - N **phân cực ngược** để tạo ra một điện trường dịch chuyển các hạt dẫn thiểu số sẽ được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng. Do đó, khi chưa có tác dụng ánh sáng thì trong điốt thu quang chỉ có dòng điện ngược (dòng điện tối hay dòng rò) rất nhỏ.

Khi cho ánh sáng chiếu vào, do quá trình hấp thụ, trong bán dẫn xuất hiện từng cặp điện tử - lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống này dưới tác động của điện trường ở tiếp xúc P - N phân cực ngược sẽ chuyển động trôi qua tiếp xúc P - N và tạo nên dòng điện gọi là dòng quang điện.

Linh kiện cần có độ nhạy cao vì nó sẽ cho dòng điện quang cao hơn đối với cùng công suất quang chiếu vào.

Tần số và cường độ của dòng quang điện hoàn toàn do tần số và cường độ của ánh sáng kích thích quyết định.

Điốt quang loại tiếp xúc P - N có vùng điện tích không gian hẹp, ánh sáng được hấp thụ phần lớn ở trong vùng bán dẫn loại P và N. Như vậy hiệu suất lượng tử thấp và tốc độ đáp ứng thấp. Để tăng hiệu suất lượng tử hóa và độ nhạy người ta chế tạo điốt quang có vùng điện tích không gian rộng hơn. Đó là điốt quang loại PIN và điốt quang thác APD.

3. Điốt quang loại PIN

Cấu tạo

Điốt quang loại PIN gồm một lớp bán dẫn N^+ có nồng độ tạp chất cao làm nền, trên đó phủ một lớp bán dẫn nguyên tính I (Intrinsic), rồi đến lớp bán dẫn loại P^+ có nồng độ tạp chất cao. Do đó điốt có tên gọi là điốt P-I-N. Bên trên bề mặt của lớp bán dẫn P^+ là điện cực vòng Anốt để ánh sáng có thể thâm nhập vào miền bán dẫn I. Trên lớp bán dẫn P có phủ một lớp mỏng chống phản xạ quang để tránh tổn thất ánh sáng chiếu vào.

Nguyên lý hoạt động

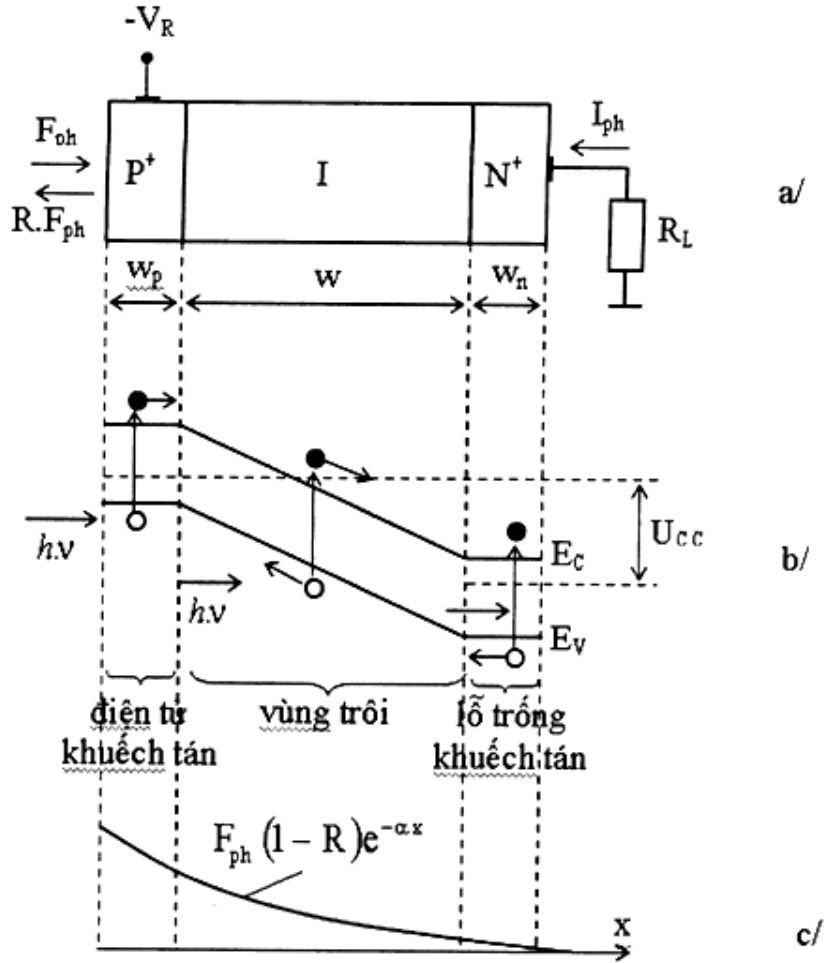
Điện áp cung cấp cho điốt phân cực ngược dọc theo linh kiện, vì vậy lớp I bị nghèo hoàn toàn trong suốt thời gian hoạt động của nó.

Khi ánh sáng đi vào lớp bán dẫn P^+ , trường hợp lý tưởng mỗi photon sẽ sinh ra trong miền P^+ , I hoặc N^+ một cặp điện tử- lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra sẽ được điện trường mạnh hút về hai phía điện cực, tạo ra một dòng điện ở mạch ngoài và trên tải R_t thu được một điện áp U_{Ra} .

Trên thực tế, một phần ánh sáng vào bị tổn thất do phản xạ. Lớp chống phản xạ tạo cho linh kiện có thể đạt hiệu suất tới 80%.

Đối với silic, hệ số phản xạ ánh sáng R_f hầu như là 30%.

Khả năng thâm nhập ánh sáng vào các lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì thế lớp bán dẫn P^+ không được quá dày. Xác suất tạo ra các cặp điện tử - lỗ trống trong miền I tăng lên theo độ dày của miền này, do đó miền I càng dày càng đạt hiệu suất lượng tử hóa cao. Nhưng nếu độ rộng của lớp I tăng lên thì thời gian trôi qua nó chậm hơn và làm chậm tốc độ chuyển mạch.



Hình 4.8. Hoạt động của điốt quang PIN

a/ Mô hình cấu tạo của điốt PIN

b/ Giản đồ năng lượng khi phân cực ngược

c/ Đặc tính phát sinh hạt dẫn

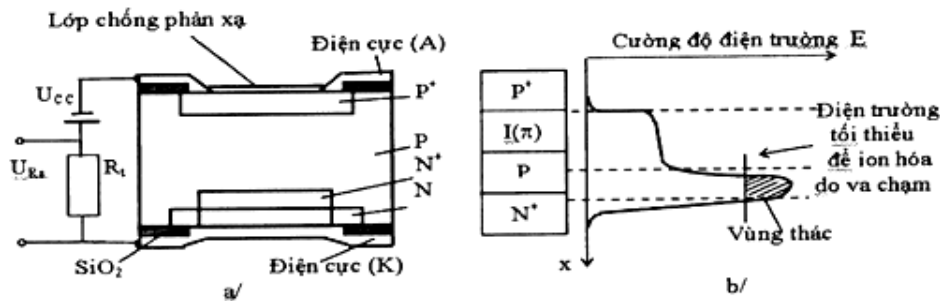
Trong điốt PIN không có khuếch đại và hiệu suất cực đại là đơn vị, độ rộng băng tần có thể giới hạn bởi hằng số thời gian điện dung - điện trở ngoài. Trên thực tế, độ rộng băng có thể đạt 10 GHz. Điốt quang loại PIN có dòng điện tối rất nhỏ nên tiếng ồn thấp hơn so với điện trở quang. Vì nguyên nhân này, điốt PIN là bộ tách quang thông dụng trong các hệ thống thông tin quang.

4. Điốt quang thác (APD)

Để tăng độ nhạy của điốt quang, người ta có thể sử dụng hiệu ứng giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện. Cấu tạo của điốt quang sẽ có dạng đặc biệt đó là điốt quang với hiệu ứng quang thác APD - Avalanche Photodiodes.

Điốt quang thác giống như điốt PIN trừ điện áp phân cực lớn hơn nhiều để tạo ra sự nhân thác lũ về hạt dẫn và như vậy APD có khuếch đại dòng điện bởi sự ion hoá do va chạm và nhân hạt dẫn.

Cấu tạo



Hình 4.9. Cấu tạo và sự phân bố điện trường trong điốt quang thác APD.

Như hình vẽ, lớp bán dẫn nguyên tính I trong điốt P-I-N được thay bằng một lớp bán dẫn P có nồng độ tạp chất thấp. Như vậy, miền bán dẫn P tạo thành miền trôi và là nơi sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống.

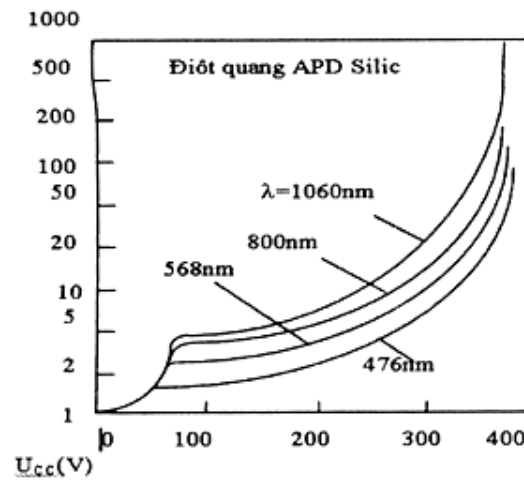
Điện trường do điện áp phân cực ngược bên ngoài đặt vào thay đổi theo các lớp bán dẫn dọc theo điốt. Trong vùng trôi, điện trường tăng chậm, nhưng trong vùng tiếp xúc $P-N^+$ thì tăng nhanh và tạo ra miền thác tại vùng này.

Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của APD cơ bản giống như điốt P-I-N.

Sơ đồ nguyên lý được mô tả trong hình trên. Theo sơ đồ này, điốt quang thác được phân cực ngược nhờ nguồn UCC, và tín hiệu điện được lấy ra trên tải Rt.

Khi chiếu ánh sáng vào, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện- lỗ trống mới trong miền trôi (bán dẫn P). Dưới tác động của điện trường, các điện tử trong miền P sẽ dịch chuyển đến vùng thác của tiếp xúc $P-N^+$ và rơi vào vùng có điện trường mạnh nên được tăng tốc. Các điện tử có tốc độ lớn này sẽ va chạm vào các nguyên tử khác để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng ion hóa do va chạm. Do đó, dòng điện qua điốt APD tăng nhanh như được khuếch đại lên với hệ số khuếch đại M. Hệ số khuếch đại (hay còn gọi là hệ số nhân) phụ thuộc vào điện áp phân cực cho điốt và nó có thể đạt tới 200 lần. Xem hình dưới.



Hình 4.10. Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại dòng điện M của điốt quang APD silic vào điện áp phân cực U_{CC} ở các bước sóng khác nhau tại nhiệt độ trong phòng.

Hệ số nhân M cũng có thể tính theo công thức

$$M_{ph} = \frac{I_M}{I_{ph}} = \frac{1}{1 - (V/V_{dt})^n}$$

Trong đó:

- I_M - là giá trị trung bình của dòng điện nhân tổng tại đầu ra.
- I_{ph} - là dòng quang điện sơ cấp chưa được nhân, xác định theo công thức trên.
- V_{dt} - điện áp đánh thủng tại giá trị M xác định.
- n - lũy thừa, là hằng số vật liệu có giá trị từ 2,5 đến 7.
- $V = V_0 - I_M R_M$
 - V_0 là điện áp phân cực ngược cho điốt;
 - R_M là điện trở nối tiếp của điốt quang và điện trở tải của mạch tách quang
 - I_M là dòng điện nhân ở đầu ra của APD.

Ta thấy điốt APD cần có điện áp phân cực lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N. Nếu thời gian cho quá trình ion hóa trong miền thác càng dài thì hệ số khuếch đại M càng lớn, song tốc độ trôi qua miền thác sẽ chậm đi. Các xung cũng sẽ bị giãn rộng ra và hạn chế độ rộng băng tần B. Để đánh giá khả năng làm việc của APD, người ta định nghĩa tích số độ khuếch đại và độ rộng băng do quá trình thác là:

$$M_{ph} B = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (27)$$

Trong đó: τ là thời gian giữa 2 quá trình va chạm của điện tử với các nguyên tử.

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

Sự tăng hệ số khuếch đại có thể đạt được khi tích hệ số khuếch đại - độ rộng băng tần đạt 100 GHz hoặc hơn. Thông thường, các APD cho phép đạt độ rộng băng tần trên 1GHz với giá trị M_{ph} lớn. Để ổn định giá trị M_{ph} , ta cần cấp một điện áp nguồn lớn và ổn định về nhiệt do đó chi phí để đảm bảo chế độ làm việc cho APD lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N.

Trong điốt APD silic, ion hoá do va chạm bởi điện tử khoảng 50 lần lớn hơn lỗ trống và do đó nó cho tỉ lệ tín hiệu / tiếng ồn tốt nhất.

5. Các đặc tính và tham số của điốt quang

Hiệu suất lượng tử hóa η là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử- lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng $h\nu$ đi đến và nó được tính theo công thức sau

$$\eta = \frac{I_{ph}/q}{P_0/h\nu}$$

Trong đó: I_{ph} là dòng quang điện trung bình sinh ra do công suất quang trung bình P_0 đi tới điốt quang.

Trên điốt thực tế hiệu suất lượng tử hóa $\eta = (30 - 95)\%$.

Độ nhạy của điốt quang S: (hay hệ số chuyển đổi)

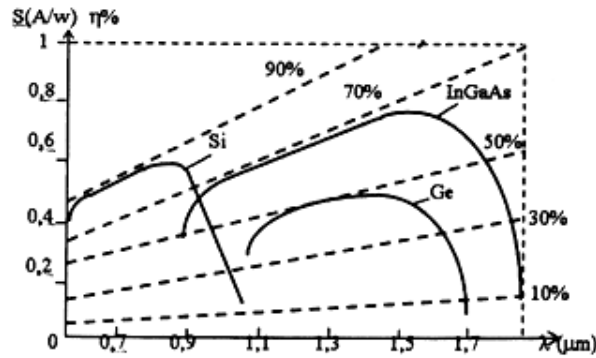
Độ nhạy chỉ rõ giá trị dòng quang điện sinh ra trên đơn vị công suất ánh sáng đi đến điốt. Nó liên hệ với hiệu suất lượng tử hóa theo công thức:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{\eta q}{h\nu}$$

Trong các điốt quang loại P-I-N, độ nhạy là hàm của bước sóng được mô tả ở hình dưới.

Trong hầu hết các photodiốt, độ nhạy là một hàm tuyến tính với công suất quang. Có nghĩa là, dòng quang điện I_{ph} tỉ lệ thuận trực tiếp với công suất quang P_0 chiếu vào cấu kiện tách quang, cũng như vậy, độ nhạy S là hằng số tại một bước sóng đã cho.

Tuy nhiên, hiệu suất lượng tử hóa không phải là hằng số tại tất cả các bước sóng vì nó thay đổi theo năng lượng photon. Dẫn đến độ nhạy là hàm của bước sóng và vật liệu bán dẫn.



Hình 4.11. So sánh giữa hiệu suất lượng tử và độ nhạy như một hàm của bước sóng cho điốt quang loại P-I-N đối với các vật liệu khác nhau.

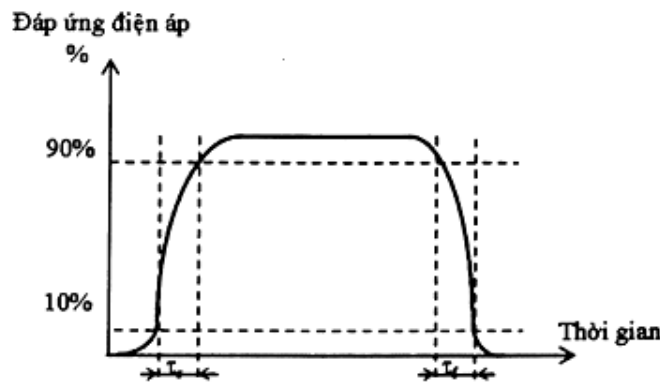
Tạp âm của bộ tách quang

Trong các hệ thống thông tin sợi quang, nhìn chung photodiốt được yêu cầu để tách các tín hiệu quang rất yếu. Việc tách các tín hiệu quang yếu nhất có thể yêu cầu bộ tách quang và mạch khuếch đại tiếp theo của nó phải tối ưu sao cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) được duy trì. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) tại đầu ra của một bộ thu quang được xác định như sau

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Công suất tín hiệu dòng quang điện}}{\text{Công suất tạp âm Diode quang} + \text{Công suất tạp âm mạch khuếch đại}}$$

Thời gian hồi đáp

Thời gian hồi đáp của điốt quang được biểu thị bằng thời gian lên và thời gian xuống của tín hiệu tách quang trên lối ra khi điốt quang được chiếu sáng bằng bức xạ quang đầu vào. Thời gian lên được đo từ 10% đến 90% sườn lên của xung ra và thời gian xuống cũng được đo như vậy.

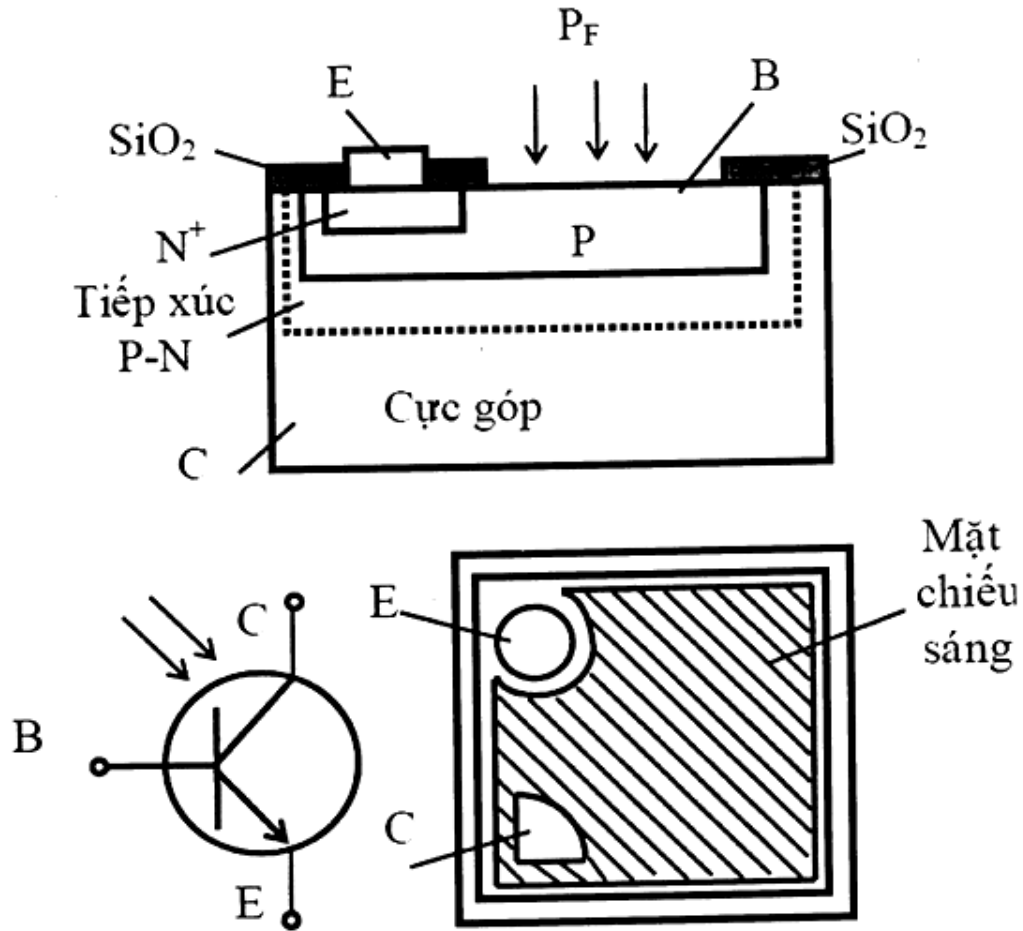


Hình 4.12. Thời gian lên τ_r và thời gian xuống τ_f của đáp ứng điện áp lối ra của điốt quang

4.2.3. Tranzito quang – Phototransistor

1. Cấu tạo

Tranzito quang có 2 loại PNP và NPN. Ba chân cực: cực phát E, cực gốc B, và cực góp C. Cực gốc là bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ.



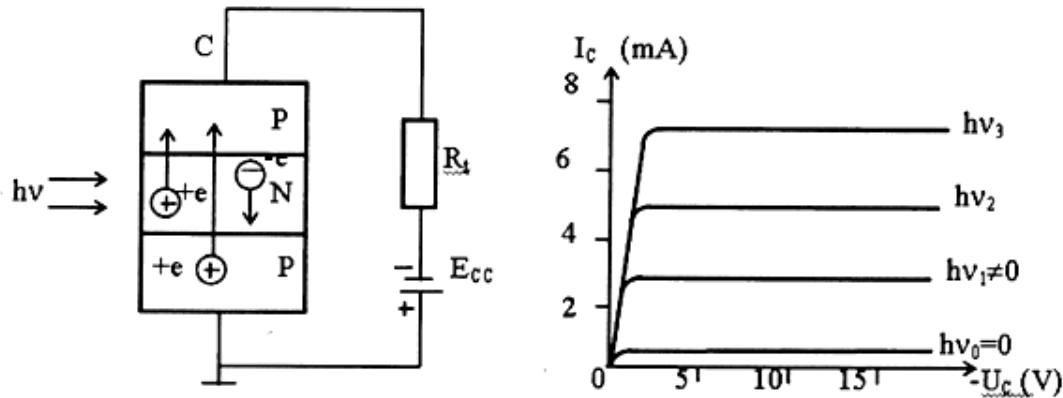
Hình 4.13. Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang

2. Nguyên lý hoạt động

Trong hình, nguồn cung cấp ECC tạo cho tiếp xúc phát phân cực thuận và tiếp xúc góp phân cực ngược. Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho tranzito, và lấy tín hiệu điện ra.

- Khi không có tín hiệu quang ($h\nu = 0$ hay $I_B = I_{Phot.} = 0$) trong mạch chỉ có dòng điện tối I_C tối. Đây là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán từ phần phát sang tới cực góp và nó có trị số nhỏ.

- Khi có tín hiệu quang đến ($h\nu \neq 0$ hay $I_B = I_{\text{Phot}} \neq 0$), ở phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử- lỗ trống. Các lỗ trống sẽ di chuyển về cực góp tạo nên thành phần dòng quang điện I_{Pphot} , còn các điện tử chuyển động về phía tiếp xúc phát, kích thích cho sự khuếch tán của các hạt dẫn tại đây dễ dàng hơn.



Hình 4.14. Sơ đồ nguyên lý đầu nối tranzito quang và đặc tuyến Vôn-Ampe của nó

Với sơ đồ mắc cực phát chung như hình vẽ, ta có thể tính gần đúng dòng điện cực góp khi tranzito quang được chiếu sáng I_{C_s} :

- o Do cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu đến nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang I_{Phot} .
- o Hệ số khuếch đại dòng quang chính bằng hệ số khuếch đại của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung ($M = \beta$).

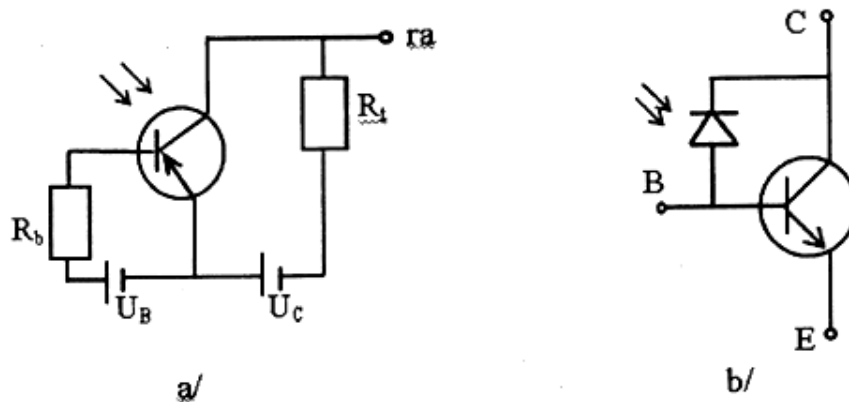
Vậy, tổng dòng điện trong tranzito quang khi được chiếu sáng

$$I_{C_s} = \beta I_{\text{Phot}} + I_{\text{Pphot}} + I_{C \text{ tối}}$$

Thành phần dòng điện tối $I_{C \text{ tối}}$ sẽ hạn chế khả năng khuếch đại tín hiệu quang của tranzito. Để khắc phục hạn chế này người ta dùng tranzito quang 3 chân cực để giảm dòng điện tối và tăng trở kháng ra của mạch. Sơ đồ đầu tranzito 3 chân cực như trong hình 28. Với cách mắc này các tham số của mạch phụ thuộc vào dòng điện cực gốc rõ rệt. Tại giá trị dòng cực gốc tối ưu nào đó sẽ cho các thông số tối ưu: dòng điện tối có thể giảm xuống 10 lần, trở kháng ra tăng lên khoảng 10 lần, và các hệ số khuếch đại dòng điện và điện áp tăng lên đáng kể so với mạch để hở cực gốc. Trong các mạch, tranzito quang cũng có thể mắc theo 3 cách mắc.

Đó là các sơ đồ: cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung như tranzito thường chỉ có khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang.

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ



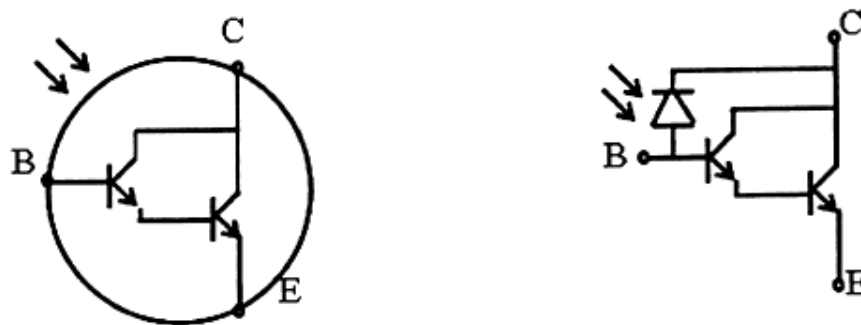
Hình 4.15.

a- Sơ đồ mắc tranzito quang 3 chân cực để tối ưu các thông số

b- Sơ đồ tương đương của tranzito quang: điôt quang là tiếp xúc góc- góp

Về mặt cấu trúc có thể coi tranzito quang như một mạch tích hợp đơn giản gồm một điôt quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và một tranzito có nhiệm vụ khuếch đại.

Để có hệ số khuếch đại dòng quang lớn, người ta dùng sơ đồ Dacling- ton đối với các tranzito quang, xem hình 29. Tranzito quang Dacling-ton được chế tạo như chỉ ra trong hình.



a/ Sơ đồ tranzito quang Dacling ton

b/ Sơ đồ tương đương

Hình 4.16. Sơ đồ tranzito quang Darlington

Từ sơ đồ tương đương ta thấy độ nhạy phổ của tranzito quang cũng giống như đối với các điôt quang tương ứng, tuy nhiên vì tranzito quang có khả năng khuếch đại nên độ nhạy của nó cao hơn điôt quang khoảng vài trăm lần. Tần số làm việc của tranzito quang thấp hơn điôt quang. Tranzito quang làm việc với tần số đến vài trăm KHz (khoảng 300KHz, còn sơ đồ Darling- ton chỉ khoảng 30KHz) trong khi điôt quang làm việc đến vài chục MHz.

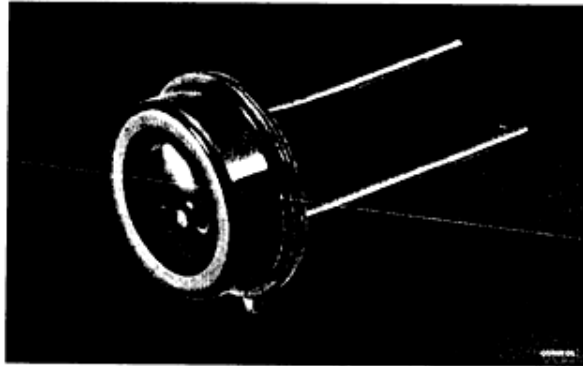
BPW 21

Features

- Especially suitable for applications from 350nm to 820nm
- Adapted to human eye sensitivity ($V\lambda$)
- Hermetically sealed metal package (similar to TO-5)

Application

- Exposure meter for daylight
- For artificial light of high color temperature in photographic fields and color analysis



Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$, standard light A, $T = 2856\text{K}$) (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Kurzschlußstrom, $E_v = 1000\text{ lx}$ Short-circuit current	I_{SC}	10	μA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $V_R = 5\text{ V}$; $\lambda = 550\text{ nm}$; $I_p = 10\text{ }\mu\text{A}$	t_r, t_f	1.5	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}$, $E = 0$ Forward voltage	V_F	1.2	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	580	pF
Temperaturkoeffizient von V_0 Temperature coefficient of V_0	TC_V	-2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_{SC} Temperature coefficient of I_{SC}	TC_I	-0.05	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 550\text{ nm}$	NEP	7.2×10^{-14}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 550\text{ nm}$ Detection limit	D^*	1×10^{12}	$\frac{\text{cm} \times \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

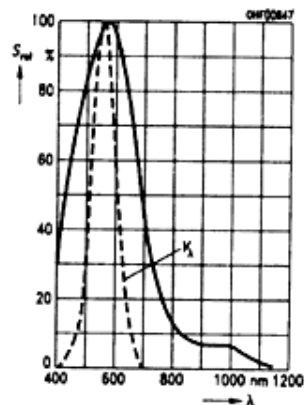
Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 80	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	10	V
Verlustleistung, $T_A = 25\text{ °C}$ Total power dissipation	P_{tot}	250	mW

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)
 Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$)

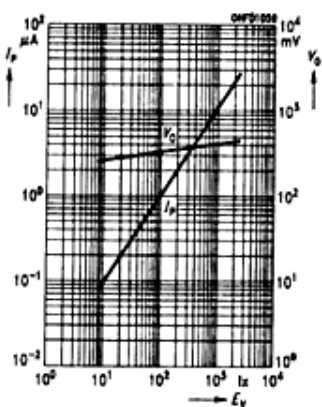
Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Fotoempfindlichkeit, $V_R = 5\text{ V}$ Spectral sensitivity	S	10 (≥ 5.5)	nA/lx
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\max}$	550	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{\max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{\max}	λ	350 ... 820	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	7.34	mm ²
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	2.73 × 2.73	mm × mm
Halbwinkel Half angle	φ	±55	Grad deg.
Dunkelstrom $V_R = 10\text{ V}$ Dark current $V_R = 5\text{ V}$ $V_R = 10\text{ mV}$	I_R I_R	2 (≤ 30) 8 (≤ 200)	nA pA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 550\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.34	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 550\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.80	Electrons Photon
Leerlaufspannung, $E_v = 1000\text{ lx}$ Open-circuit voltage	V_O	400 (≥ 320)	mV

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

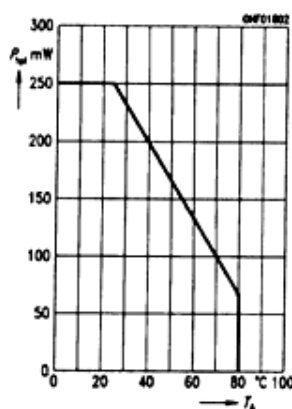
Relative Spectral Sensitivity
 $S_{rel} = f(\lambda)$



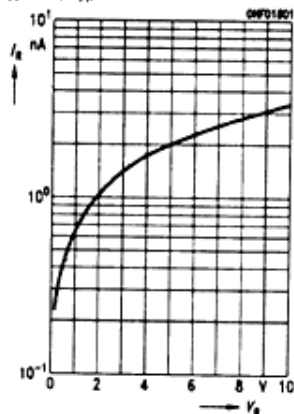
Photocurrent $I_p = f(E_v)$, $V_R = 5 V$
 Open-Circuit Voltage $V_O = f(E_v)$



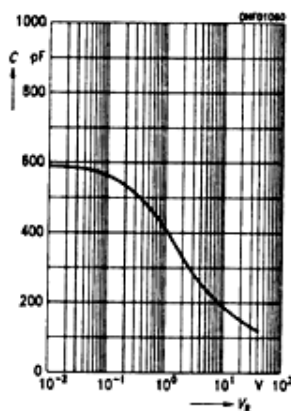
Total Power Dissipation
 $P_{tot} = f(T_A)$



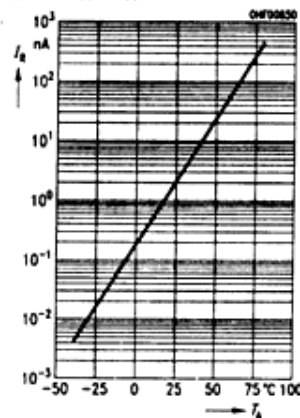
Dark Current
 $I_R = f(V_R)$



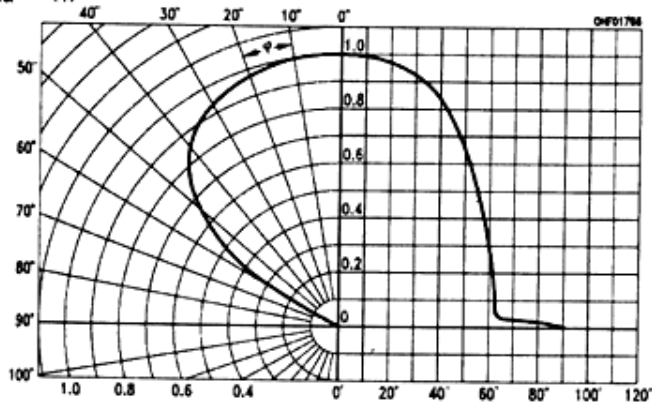
Capacitance
 $C = f(V_R)$, $f = 1 \text{ MHz}$, $E = 0$



Dark Current
 $I_R = f(T_A)$, $V_R = 5 V$



Directional Characteristics
 $S_{rel} = f(\varphi)$



Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ

4.3. Các linh kiện thu quang (hiệu ứng quang điện bên ngoài)

4.3.1. Vacuum photodetectors

Dùng 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

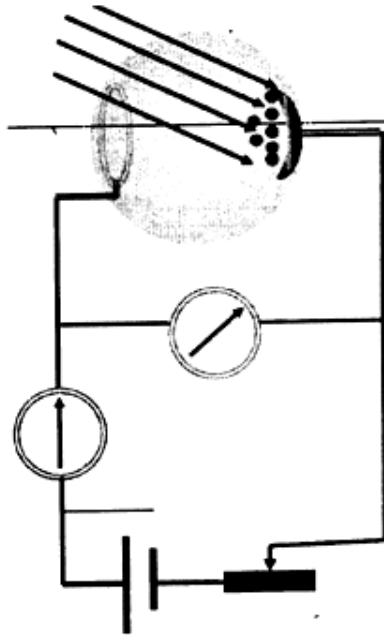
Cathode cấu tạo từ bề mặt kim loại cong có phủ lớp oxide.

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).

$$E_{kmax} = hf - W$$

- W: công thoát điện tử
- h: hằng số planck
- f: tần số photon



Hình 4.17. Vacuum photodetectors

2. Các đặc trưng cơ bản

Stopping voltage: Thế áp đặt để làm triệt tiêu $E_{k \max}$ 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.

4.3.2. Photomultiplier - Ống nhân quang

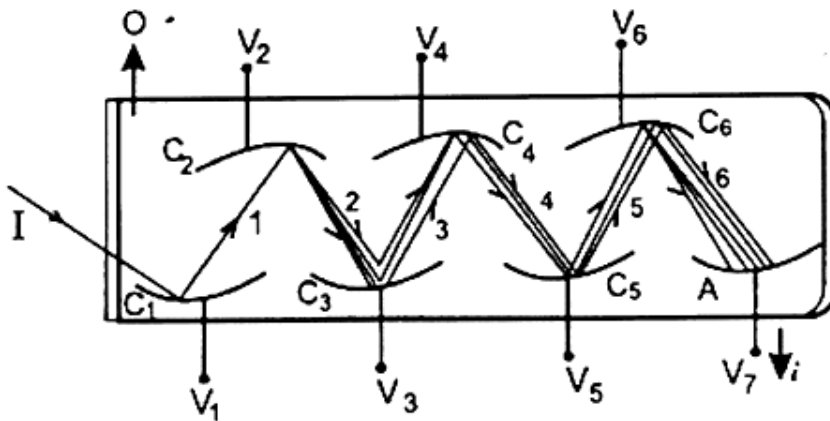
Loại đèn điện tử dùng để khuếch đại dòng photon yếu.

Cấu trúc gồm bóng chân không, photocatôt C_1 , các cực trung gian $C_2, C_3...$ (còn gọi là các đinôt) và anôt A.

Dòng photon yếu đập vào photocatôt làm phát xạ dòng electron, giữa các đôi điện cực $C_1C_2, C_2C_3...$ có đặt hiệu thế gia tốc tăng dần, dựa vào hiệu ứng phát xạ thứ cấp của các đinôt, dòng điện tử đến anôt có thể tăng lên $10^5, 10^9$ lần.

Hiện nay có nhiều loại Ống nhân quang khác nhau về cấu tạo catôt quang, phương pháp chiếu sáng, hệ thống các cực phát xạ thứ cấp, hệ thống hội tụ điện tử thứ cấp. Ống nhân quang dùng để khuếch đại những tia sáng yếu, biến thiên nhanh. Được sử dụng trong các hệ truyền hình, truyền ảnh và các ống đếm nhấp nháy.

Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ



Hình 4.18. Ống nhân quang điện

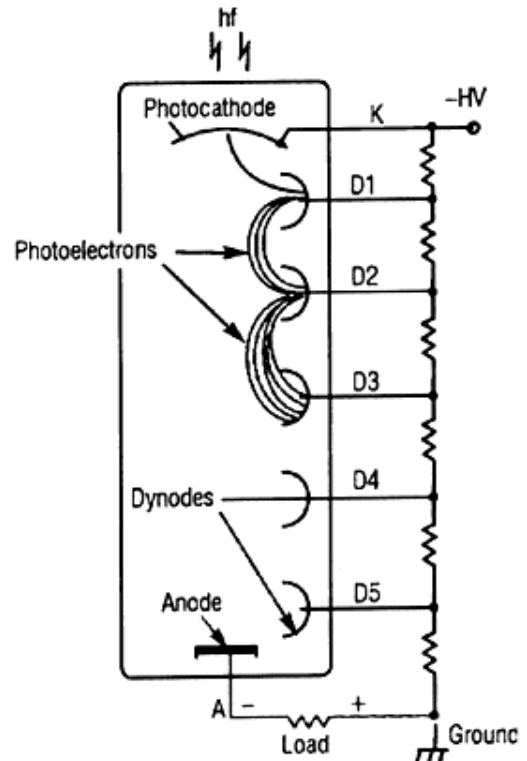
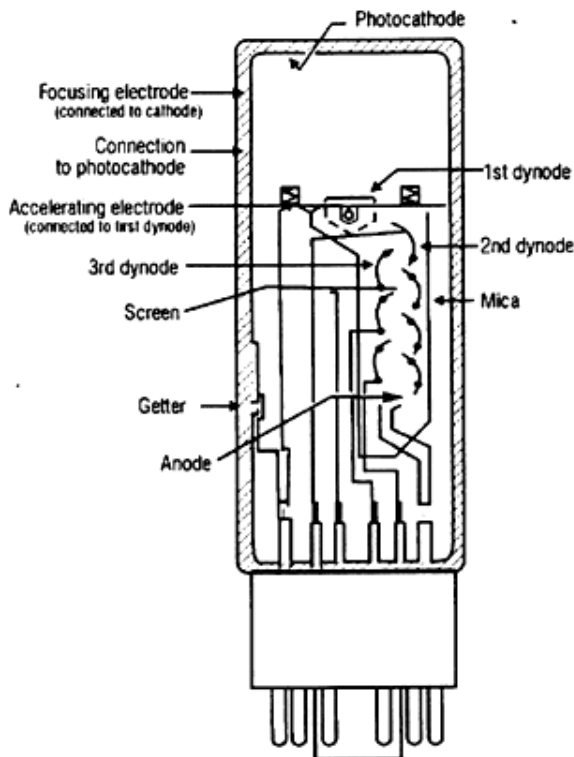
O - Ống chân không;

$V_1 < V_2 \dots < V_7$; 1,2,3,4,5,6 - Chùm điện tử;

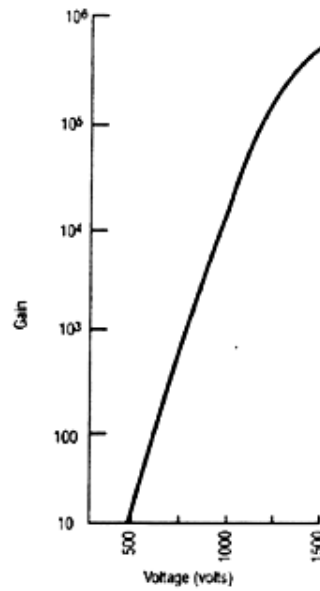
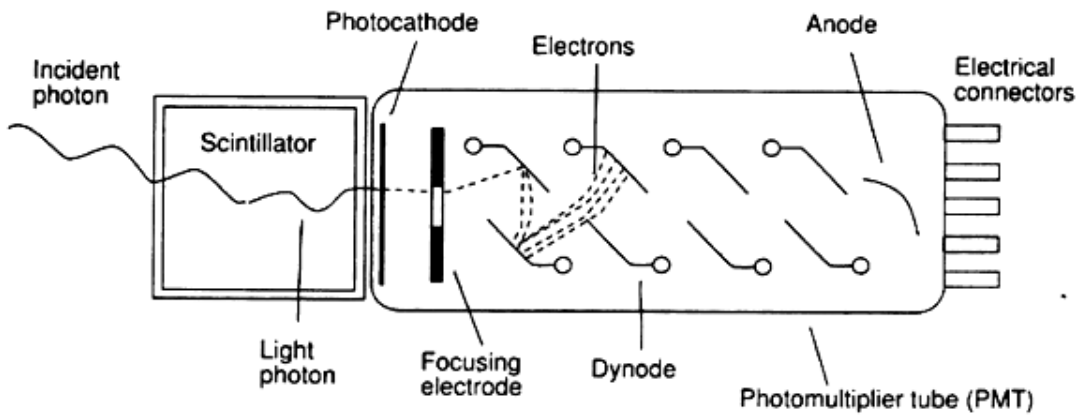
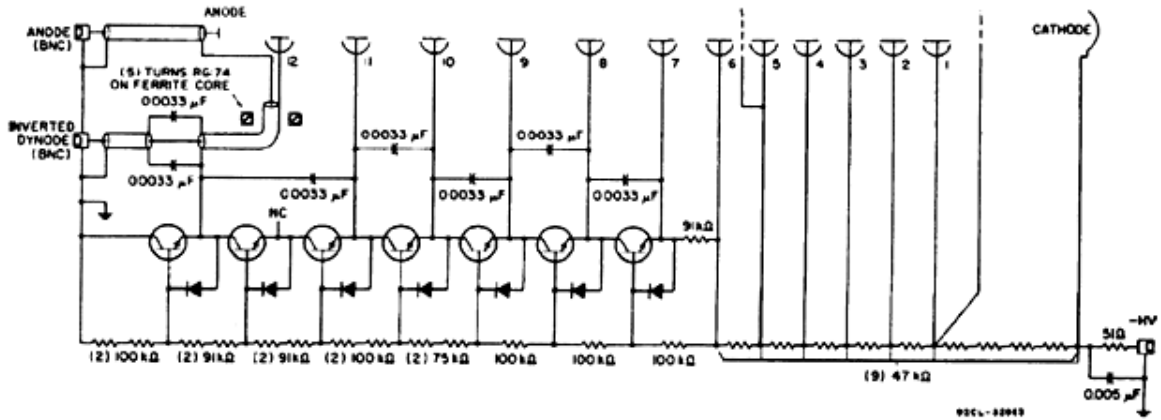
I - Bức xạ, tia phóng xạ;

$C_1 \dots C_6$ - Catôt. A - Anôt. i - Dòng anôt;

Cặp (C_1, C_2) gọi là đinôt, tương tự như vậy là $(C_2, C_3), (C_3, C_4) \dots$



Chương 4: Các dụng cụ phát hiện bức xạ



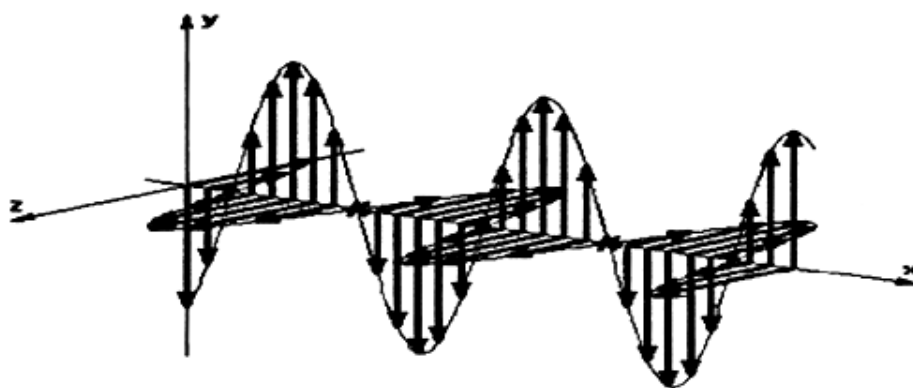
Chương 5

LCD - LIQUID CRYSTAL DISPLAY

5.1. Nguyên tắc hoạt động và cấu tạo

5.1.1. Hiện tượng phân cực ánh sáng

Ánh sáng là sóng điện từ có độ dài từ $0.4 \mu\text{m}$ đến $0.7 \mu\text{m}$. Một nguồn sáng như một ngọn đèn, một ngọn lửa gồm vô số các hạt phát ra ánh sáng. Các hạt này là các phân tử, nguyên tử hay ion.



Hình 5.1. Lan truyền sóng điện từ

Các sóng điện từ phát ra bởi các hạt đó có vectơ cường độ điện trường E hướng theo tất cả mọi phương thẳng góc với phương truyền tia sáng. Ánh sáng như vậy được gọi là *ánh sáng tự nhiên*. Vậy ánh sáng tự nhiên được coi là gồm vô số các dao động thẳng, phân bố đều nhau theo tất cả mọi phương thẳng góc với phương truyền của tia sáng, không có một phương nào được ưu đãi.

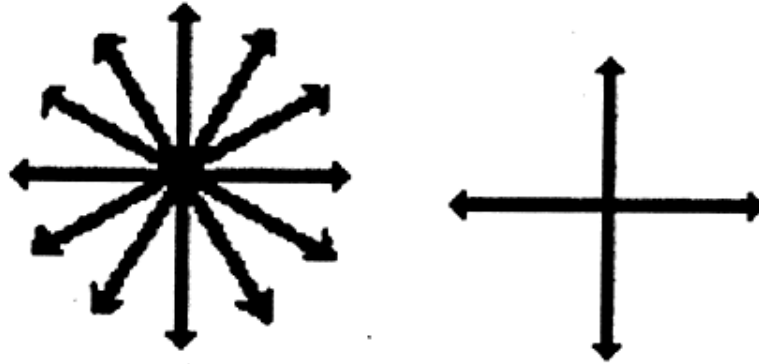
Nếu bằng cách nào đó ta làm mất sự đối xứng này của các phương dao động sáng thì ánh sáng đó được gọi là *ánh sáng phân cực*.

Có thể có ánh sáng phân cực một phần hay ánh sáng phân cực hoàn toàn.

Sự phân cực (Polarization): Hiện tượng vector dao động bị giới hạn phương dao động.

Ánh sáng tự nhiên: Vector E dao động theo mọi phương

Ánh sáng phân cực: Phương dao động của vector E không còn tính đối xứng xung quanh phương truyền nữa.



Hình 5.2. Ánh sáng không phân cực hay phân cực một phần

1. Hiện tượng phân cực do phản xạ

Ánh sáng tự nhiên bị phản xạ qua một bề mặt với một góc thích hợp sẽ bị phân cực.

2. Định luật Brewster

Để có ánh sáng phân cực hoàn toàn do sự phản xạ trên một bề mặt của một môi trường trong suốt, góc tới i phải có một trị số xác định tùy thuộc vào bản chất của môi trường và được tính bởi công thức

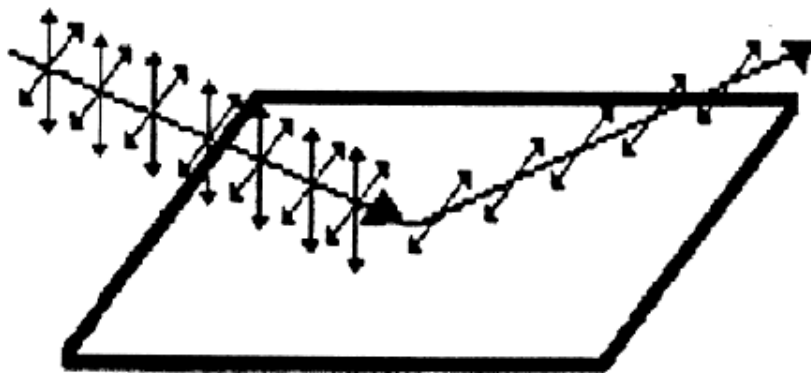
$$\operatorname{tg} i = n$$

n là chiết suất của môi trường

Góc i được gọi là góc Brewster (i_B)

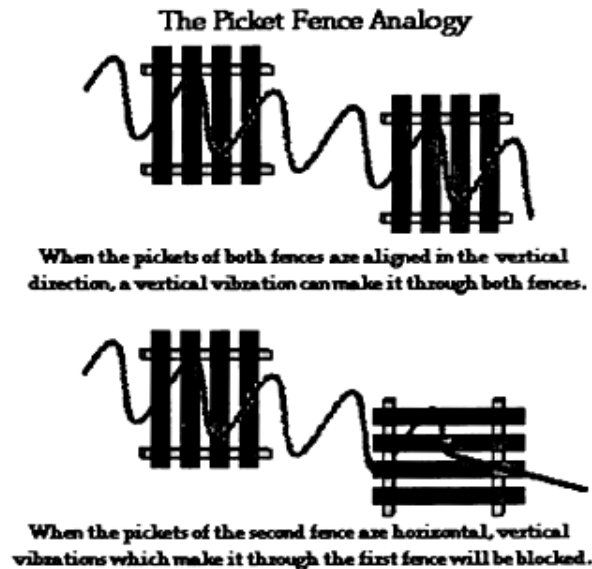
Nếu môi trường tới là thủy tinh có $n = 1,5$

$$\operatorname{tg} i_B = 1,5. \text{ Suy ra } i_B = 57^\circ.$$



Hình 5.3. Ánh sáng phân cực Brewster

3. Hiện tượng phân cực do truyền qua môi trường dị hướng



Hình 5.4. Ánh sáng phân cực do truyền qua môi trường dị hướng

5.1.2. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD - Liquid Crystal Display)

LCD có những lợi điểm sau:

- Rất ít tổn điện, khoảng $10\mu\text{W}$
- Chữ số hiện rõ ràng dễ đọc ở nơi có nhiều ánh sáng
- Cấu trúc phẳng, đẹp, có độ bền cơ học cao
- Có thể được điều khiển trực tiếp bằng các linh kiện TTL, hay CMOS
- Có thể chỉ thị những dấu hiệu phức tạp

Tuy nhiên, LCD cũng có những bất lợi sau:

- Đòi sống tương đối ngắn so với LED
- Khi trời tối chỉ có thể đọc được với ánh đèn từ bên ngoài hay chiếu từ phía sau
- Thời gian tắt và mở tương đối chậm

Với những tính chất như trên, LCD được dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính, máy đo digital, các đồng hồ trong xe hơi, trò chơi trẻ em.... LCD là linh kiện thụ động, nó không phát sáng, càng dễ đọc hơn khi chung quanh càng sáng.

Ngày nay đã có LCD màu. Thời gian tắt mở của LCD loại mới cũng cải tiến nhanh hơn để dùng làm màn hình Tivi, máy tính cá nhân....

1. Khái niệm

Mặt hiển thị tinh thể lỏng LCD (Liquid Crystal Display) 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.

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng – LCD – không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chấm – ma trận. LCD có tuổi thọ khá cao từ 10000 giờ đến 100 000 giờ và ngày nay nó thay thế dần các mặt chỉ thị loại LED, Plasma hay huỳnh quang.

2. Vật liệu

Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.

Hiệu ứng quang học dùng cho LCD chỉ hạn chế trong khoảng "không đẳng hướng", do vậy dải nhiệt độ làm việc của LCD bị hạn chế và xác định bởi hai điểm nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ trong suốt.

Hiện nay, có nhiều hãng điện tử chế tạo các loại LCD như Hitachi, Sharp, Seiko, Samsung, Hanntronic, Optex, Phillip, Powertip,... Thông dụng nhất là LCD của hãng Hitachi.

Các LCD trên có khác nhau về

- Kích thước: có loại kích thước nhỏ, trung bình và lớn. Loại kích thước nhỏ cho các thiết bị điện tử số dùng trong gia đình. Loại kích thước trung bình cho các thiết bị điện tử số dùng trong công nghiệp và ti vi. Loại kích thước lớn dành cho màn hình đồ họa và các biển quảng cáo.
- Cách trao đổi tin: song song (cho các thiết bị ở gần) và nối tiếp (cho các thiết bị ở xa).
- Hiển thị: Chữ/ số hay hình ảnh (đồ họa).

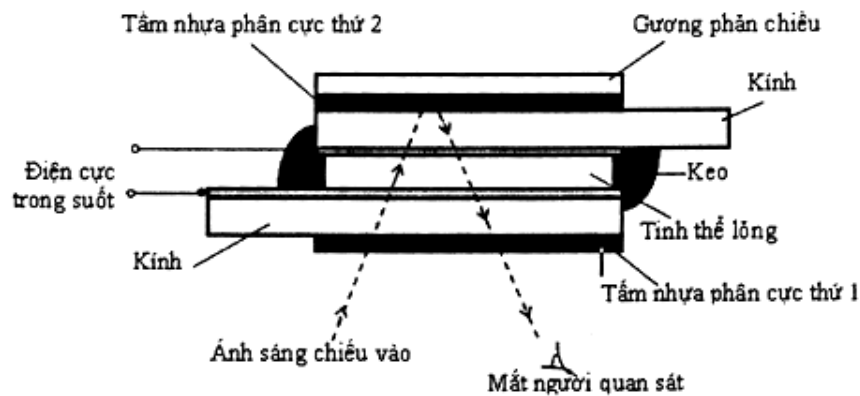
Chương 5: LCD

Hãng	Ký hiệu	Ma trận	Công dụng	Loại
Optex	DMC	5x7, 1 hay 2 dòng	Cho thiết bị số	Chữ/số, song song
Sharp	LM	5x7, 1 hay 2 dòng	Cho thiết bị số	Chữ/số, song song
Hitachi	HD 44780	5x7, 1 hay 2 dòng	Cho thiết bị số	Chữ/số, song song
Seiko	KS0066	5x7, 1 hay 2 dòng	Cho thiết bị số	Chữ/số, song song
Hanntronic	LCM1	5x7, 1 hay 2 dòng	Cho thiết bị số	Chữ/số, song song
Matrix Orbital	LCD4021	124x64	Cho quảng cáo	Chữ/số, nối tiếp
Matrix Orbital	LCD4021	240x64	Cho quảng cáo	Chữ/số, nối tiếp
Hanntronic		128x240	Cho quảng cáo	Đồ họa
Hanntronic		240x64	Cho quảng cáo	Đồ họa
Hanntronic		320x240	Cho quảng cáo	Đồ họa
Powertip	NCL	128x64	Cho quảng cáo	Đồ họa
Powertip	NCL	240x128	Cho quảng cáo	Đồ họa

Hình 5.5. Các loại màn hình tinh thể lỏng (LCD)

3. Cấu tạo của thanh LCD

Cấu tạo của LCD gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng $10\mu\text{m}$. Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực. Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại. Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



Hình 5.6. Cấu tạo của một thanh LCD

4. Nguyên lý làm việc

Chế độ phản chiếu:

- Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc thì ánh sáng sẽ đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất, qua chất tinh thể lỏng, qua tấm nhựa phân cực thứ 2 đến gương phản chiếu và phản chiếu trở về phía người quan sát và thanh LCD không nhìn thấy - Mặt chỉ thị trong suốt.
- Khi có điện áp cung cấp cho thanh LCD, trục dài của các phân tử chất tinh thể lỏng được định hướng theo hướng của điện trường. Như vậy, ánh sáng đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất sẽ bị thay đổi do chất tinh thể đã hoạt hóa, do đó, ánh sáng không thể đi qua tấm phân cực thứ 2 để phản chiếu lại bằng gương phản chiếu. Như thế thanh tinh thể lỏng chịu tác động của điện trường sẽ bị tối đi.

Với 2 màng lọc phân cực 90^0 ta có nền của mặt chỉ thị trong suốt và những chữ, số, dấu hiệu tối đen. Đây là mặt chỉ thị hoạt động ở chế độ phản chiếu.

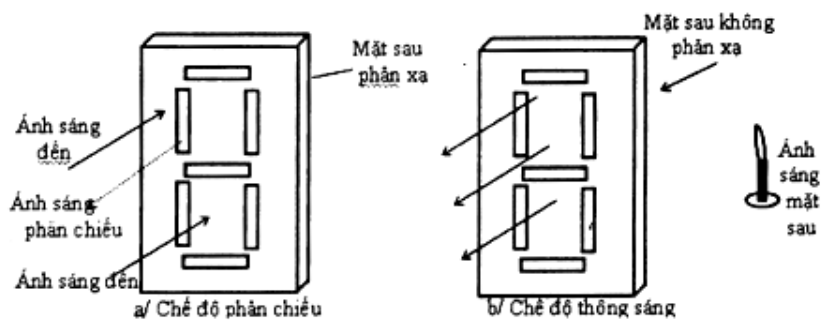
Nhược điểm của chế độ phản chiếu là mặt chỉ thị phải dựa vào một nguồn sáng từ bên ngoài. Nếu không có ánh sáng ngoài hay trong một phòng tối thì mặt chỉ thị sẽ không nhìn thấy.

Chế độ thông sáng:

- Nếu 2 màng lọc phân cực song song thì ta có mặt chỉ thị có nền tối và các chữ, số và dấu hiệu sẽ trong suốt. Loại này thích hợp với việc chiếu sáng từ phía sau mặt chỉ thị và ta gọi là chế độ thông sáng.

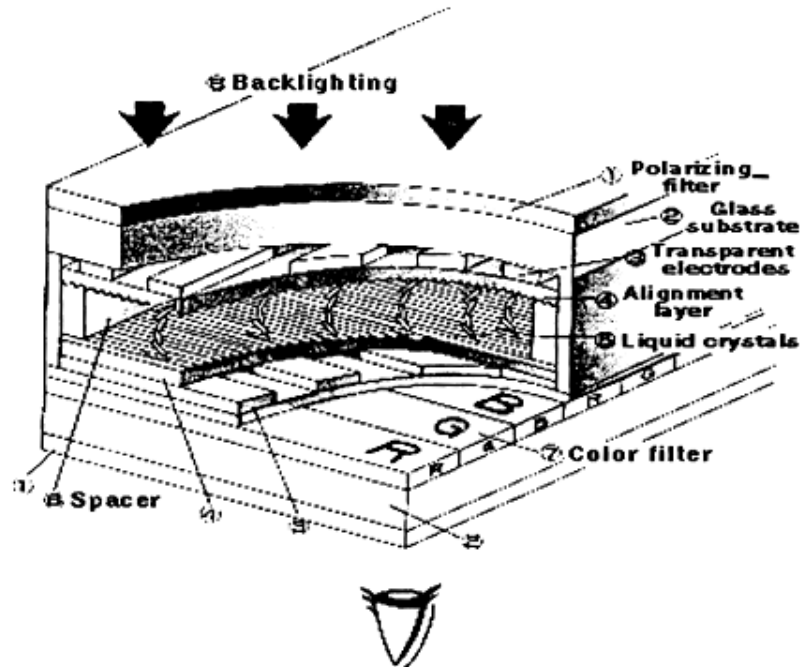
Ở chế độ này, ánh sáng đi qua các phần không hoạt hóa nhưng được đưa vào khuôn bằng các thanh hoạt hóa. Vì vậy chữ số đã chọn sẽ nhìn thấy. Để ánh sáng chiếu đều, cần có một tấm kính tán xạ đặt giữa LCD và nguồn sáng.

LCD này dùng điện áp xoay chiều từ 3V đến 8V, thời gian hiện số là 100 msec và thời gian tắt từ 200 msec đến 300 msec.



Hình 5.7. Chế độ làm việc của LCD

5. Cấu tạo LCD màu



Hình 5.8. Cấu tạo LCD màu

1. **Polarizing filter (Bộ lọc phân cực)** điều khiển ánh sáng đi vào và thoát ra.
2. **Glass substrate (Hợp chất thủy tinh đặc biệt)** lọc chặn điện từ các điện cực
3. **Transparent electrodes (Điện cực trong suốt)** là các thanh dẫn điện trong suốt cho phép ánh sáng xuyên qua.
4. **Alignment layer (Sắp xếp lớp)** là hai bề mặt có rãnh, ở giữa là các phân tử tinh thể lỏng, các phân tử được sắp xếp theo hình xoắn ốc 90° .
5. **Liquid crystals (Các tinh thể lỏng).**
6. **Spacer (Khoảng trống)** duy trì khoảng cách đều giữa các tấm kính.
7. **Color filter (Bộ lọc màu)** màu được lọc và thể hiện khi dùng các bộ lọc R, G và B.
8. **Backlighting (Ánh sáng phía sau)** Ánh sáng được chiếu từ phía sau màn hình xuyên qua các lớp trên. Ở màn hình điện thoại, người ta sử dụng ánh sáng chiếu từ xung quanh sau đó dùng lớp phản xạ để hướng ánh sáng chiếu thẳng góc với màn hình từ sau về phía trước.

Màu được hiển thị nhờ các bộ lọc màu dành cho mỗi thành phần hiển thị, trong hệ thống ma trận điểm, các điểm màu đỏ (R), xanh lá (G), xanh dương (B) nhận được do sử dụng các bộ lọc màu, ba màu cơ bản trên kết hợp lại cho ta một điểm ảnh, mỗi điểm ảnh sẽ cho một màu có cường độ sáng khác nhau, một điểm ảnh có thể cho vô số màu và là màu tổng hợp được từ ba màu cơ bản trên.

6. LCD với hiệu ứng trường

Màn ảnh LCD dùng cho máy tính và tivi được chế tạo với kỹ thuật màng mỏng transistor TFT – (thin film transistor) hay kỹ thuật cấu trúc hình sợi chỉ xoắn STN (super twisted nematic).

Với kỹ thuật STN, giữa hai tấm kính là một lớp mỏng chất lỏng hữu cơ đặc biệt có phân tử với kích thước khá dài. Chất lỏng này là tinh thể lỏng dùng để ngắt mở ánh sáng. Với lớp phủ trên hai tấm kính, người ta tạo những khe cực bé với kỹ thuật mài đặc biệt.

Các khe này chạy dọc theo cùng một hướng và được dùng để định hướng các phân tử tinh thể lỏng theo cách cơ học. Các phân tử tinh thể lỏng sắp xếp theo hướng các khe này. Vì những lực giữa các phân tử tác dụng lẫn nhau, các phân tử luôn định hướng theo phân tử kế bên. Sự định hướng này được bắt đầu và tiếp diễn từ các khe cực nhỏ trên tấm kính. Vì hướng của các khe tấm kính trên thẳng góc với hướng các khe của tấm kính dưới, do đó các phân tử bị cưỡng bức theo hai hướng này. Hướng của trục các phân tử theo từng lớp bị làm lệch tuần tự từ tấm kính này sang tấm kính kia. Bên ngoài hai tấm kính được phủ hai màng lọc phân cực chỉ cho ánh sáng xuyên qua theo một mặt phẳng định hướng. Vì định hướng của kính lọc phân cực trùng với hướng của các khe cho mỗi tấm kính, cho nên hai hướng của kính lọc phân cực xoay nhau một góc 90° . Vì rằng mặt phẳng của ánh sáng xuyên qua một kính lọc phân cực sẽ xoay theo hướng của các trục của các phân tử tinh thể lỏng, cho nên mặt phẳng dao động của ánh sáng cũng được xoay đi một góc 90° và như thế ánh sáng có thể xuyên qua kính lọc phân cực thứ hai. Ở trạng thái không có điện áp màn ảnh sẽ trong suốt và cho ánh sáng đi qua.

Dưới tác dụng của điện trường các phân tử tinh thể lỏng định hướng theo chiều điện trường – một đường thẳng. Khi mặt kính được phủ một lớp dẫn điện và được dùng như điện cực, khi có điện áp, các phân tử xoay đi và nằm theo trục thẳng góc với hai tấm kính.

Như thế, mặt phẳng ánh sáng không bị xoay, hai kính lọc có chiều phân cực thẳng góc nhau sẽ không cho ánh sáng xuyên qua. Ở điểm nào trên hai tấm kính có sự chồng lấp hai điện cực, ở đây cho ta một điểm tối theo hình thù và độ lớn của sự chồng lấp của hai điện cực. Trong những màn ảnh LCD, điện cực là các phân đoạn hay những điểm của một ma trận. Cho màn ảnh LCD màu, trước mỗi điểm ảnh là một kính lọc màu. Ba điểm màu đỏ, xanh lá cây, xanh da trời tạo nên một điểm ảnh màu.

Như thế một màn ảnh LCD màu với cùng độ phân giải như màn ảnh một màu có số điểm Pixel nhiều gấp 3 lần.

Các màn ảnh LCD hiện nay đều cần được chiếu sáng từ phía sau bởi các đèn huỳnh quang, tấm dẫn quang, sợi dẫn quang bằng chất dẻo hay màng nhựa điện phát quang.

Để cho ánh sáng chiếu đều, cần có 1 tấm kính tán xạ đặt giữa LCD và nguồn sáng. Chỉ có khoảng 3% đến 5% ánh sáng đến mắt người xem. 50% ánh sáng bị hấp thu bởi kính lọc phân cực và 30% bởi kính lọc màu. Hãng 3M đã chế tạo một màng

Chương 5: LCD

nhựa. Trên đây có hàng triệu lăng kính cực nhỏ đưa ánh sáng từ nguồn sáng chiếu thẳng góc với màn ảnh. Điều này rất quan trọng cho các thiết bị cầm tay cần tiết kiệm điện. Màn ảnh LCD nêu trên là loại thụ động STN. Nó được điều khiển bởi một ma trận hai chiều gồm các đường dẫn điện trong suốt. Ở các vị trí cắt nhau của các đường dẫn điện trên hai tấm kính cho ta một điểm ảnh. Ma trận được vận động theo phương pháp quét cho nên vận tốc chậm. Nếu hình ảnh thay đổi nhanh, những bóng hình ảnh sẽ được tạo ra. Để tránh những nhược điểm này, loại màn ảnh LCD tích cực TFT được phát triển. Mỗi điểm ảnh là một transistor riêng biệt trên một trong hai tấm kính được tạo nên với kỹ thuật màng mỏng. Với kỹ thuật này, người ta đạt độ phân giải cao, hình ảnh có thể thay đổi nhanh hơn và với điện trường cao hơn cho ta hình ảnh có độ tương phản rõ nét hơn.

Với kỹ thuật TFT có hàng triệu transistor được hình thành trên tấm kính.

Một trong những nhược điểm của màn ảnh LCD là góc nhìn khá bé (15 đến 40 grad, vòng tròn = 400 grad = 360⁰). Với kỹ thuật IPS (in – Plane Switching – Mode) hay Super – TFT ta đạt góc nhìn đến 140 grad. Với kỹ thuật này 2 điện cực và transistor cho một điểm ảnh được chế tạo trên cùng một tấm kính. Điện trường được hình thành không ở giữa hai tấm kính mà giữa hai điện cực trên cùng một tấm kính. Nếu không có điện cực các phân tử nằm song song với các khe cực nhỏ trên mặt tấm kính. Sự xoay theo hình xoắn ốc của các phân tử trong tinh thể lỏng không được tạo ra theo phương pháp mới này. Vì màng lọc phân cực có định hướng 90⁰ cho nên khi không có điện áp điểm ảnh tối đi.

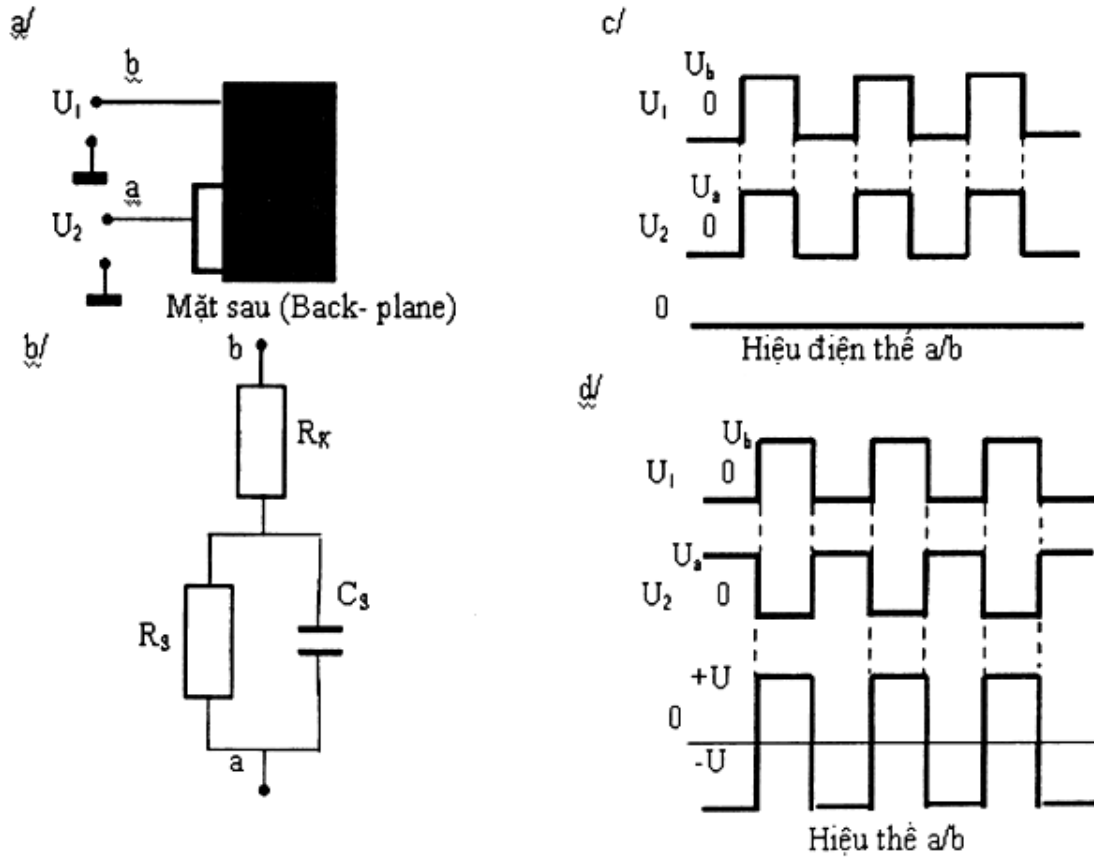
Khi có điện áp, các phân tử tinh thể lỏng vẫn nằm song song với mặt kính nhưng xoay đi một góc 90⁰ trong mặt phẳng nằm ngang vì điện trường giữa hai điện cực nằm thẳng góc với các khe trên tấm kính. Điện trường càng lớn, sự xoay các phân tử càng mạnh và ánh sáng lọt qua càng nhiều.

5.2. Mạch điện điều khiển LCD

Phần đoạn tinh thể lỏng và mạch điện tương đương của nó được mô tả trong hình 8- 21a,b. Trong hình vẽ có

- a : điện cực của một phân đoạn
- b : điện cực chung.
- R_K : điện trở của các vật liệu giữa nguồn điện và phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng vài KΩ).
- R_S : điện trở của tinh thể lỏng (khoảng vài MΩ)
- C_S : điện dung giữa hai cực điện của một phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng từ 100pF → 200pF , 300pF cho LCD loại lớn).

Điện dung CS không gây ảnh hưởng ở tần số làm việc từ 30 Hz đến 150 Hz, hoặc 200 Hz.



Hình 5.9. Mạch điện điều khiển LCD

a- Phân đoạn LCD với các chân điện cực.

b- Mạch điện tương đương của một phân đoạn LCD.

c- Hai điện cực a và b có điện áp cùng pha.

d- Hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau.

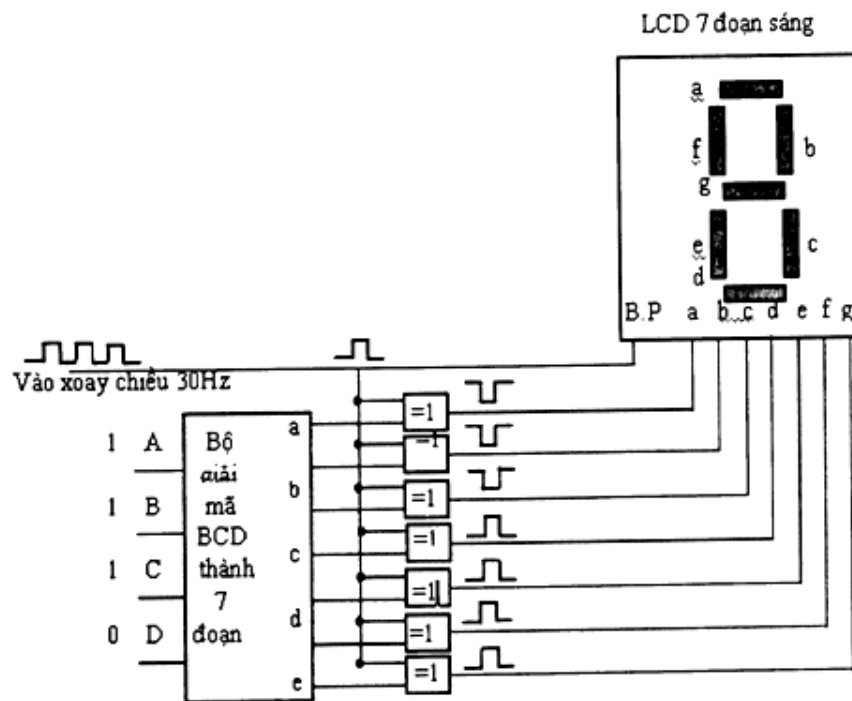
Chương 5: LCD

Với các tần số < 30 Hz, các chữ số bị chập chờn; và với tần số > 100 Hz, điện áp khá cao, các phân đoạn không có điện áp cũng bị chập chờn. Để hạn chế hiện tượng này, các phân đoạn không sử dụng phải nối với điện cực mặt sau (Back -plane).

Trong hình (c) cho ta thấy, khi điện áp trên hai điện cực a và b của phân đoạn LCD cùng pha thì hiệu thế của phân đoạn là 0V nên nó không có kích hoạt.

Trong hình (d) Khi hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau thì hiệu thế giữa điện cực a và điện cực b là một điện áp xoay chiều với biên độ bằng $2U_b$ và phân đoạn LCD được kích thích hoạt động.

Như đã biết, để LCD làm việc ta cần một điện áp xoay chiều không có lần điện áp một chiều. Với điện áp một chiều lớn, màng điện cực trong suốt từ chất Indium/ oxit kẽm bị khử thành Indium/kẽm. Màng điện cực sẽ tối đi và LCD bị mù.



Hình 5.10. Hoạt động của LCD với bộ giải mã 7 đoạn sáng và cổng X-OR (CMOS).

LCD thông thường, yêu cầu điện áp một chiều lần vào phải < 100 mV; còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều lần vào phải < 50 mV. Do vậy, ta nên dùng mạch điều khiển với IC họ CMOS sẽ cho ta một điện áp ít méo nhất. Vì LCD có công suất thấp nên dùng các cổng CMOS điều khiển là tốt nhất. Hình trên mô tả hoạt động của mặt chỉ thị LCD 7 đoạn với bộ giải mã BCD thành 7 đoạn.

Theo như hình trên, một phân đoạn trên mặt chỉ thị LCD sẽ trở nên đen nếu nó ngược pha với B.P.(điện cực Back plane); nó sẽ trở nên trong suốt nếu điện áp trên nó cùng pha với điện áp trên B.P.

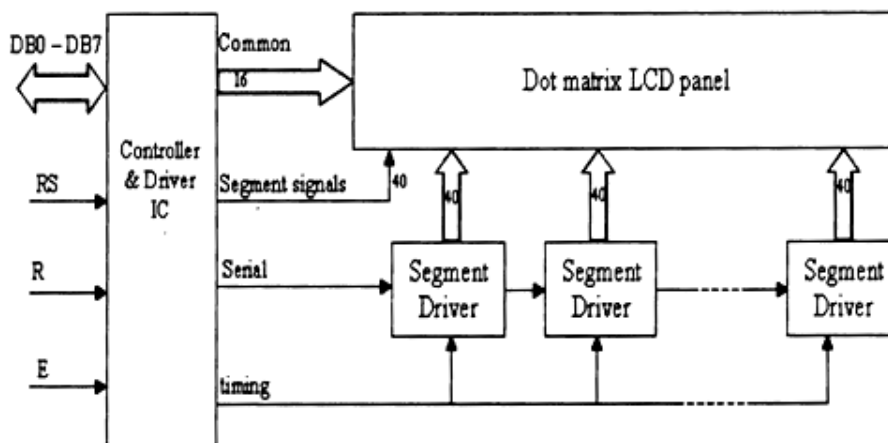
5.2.1. Các tham số chính của LCD

Tham số	Đơn vị	min	Loại tiêu chuẩn	max
Khoảng nhiệt độ làm việc	$^{\circ}\text{C}$	- 10		+60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	$^{\circ}\text{C}$	- 25		+70
Điện áp làm việc	$V_{T B}$	3	4,5	6
Thành phần dc	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	nA/mm^2		15	30
Thời gian lên	ms		40	
Thời gian tắt	ms		80	
Thời gian lên + thời gian tắt	ms			250

Hình 5.11. Bảng tham số của LCD.

- Thời gian lên: Thời gian lúc có tín hiệu đến khi LCD hiển thị
- Thời gian xuống: Thời gian từ lúc không còn tín hiệu đến khi LCD không còn hiển thị

5.2.2. Nguyên tắc điều khiển hiển thị LCD



Hình 5.12. Sơ đồ khối nguyên tắc điều khiển hiển thị LCD

Chương 5: LCD

Các LCD của các hãng khác nhau nhưng đều có một cấu trúc và tính năng thống nhất về hệ lệnh và cách lập trình.

Sơ đồ khối:

Trên hình ta thấy LCD có sơ đồ khối gồm:

- Màn hình tinh thể lỏng ma trận điểm (dot matrix LCD panel).
- Vi mạch điều khiển (controller & driver IC).
- Các bộ điều khiển các đoạn (segment driver).

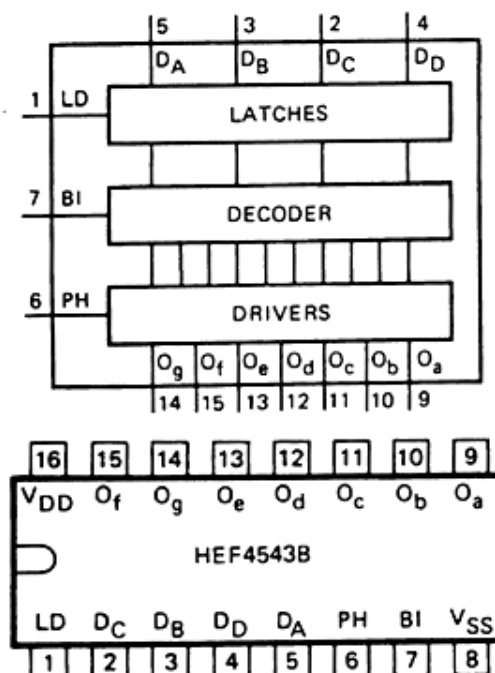
5.2.3. Segment driver dùng IC 4543

BCD to 7-segment latch/decoder/driver

HEF4543B

DESCRIPTION

The HEF4543B is a BCD to 7-segment latch/decoder/driver for liquid crystal and LED displays. It has four address inputs (DA to DD), an active HIGH latch disable input (LD), an active HIGH blanking input (BI), an active HIGH phase input (PH) and seven buffered segment outputs (Oa to Og). The circuit provides the function of a 4-bit storage latch and an 8-4-2-1 BCD to 7-segment decoder/driver. It can invert the logic levels of the output combination. The phase (PH), blanking (BI) and latch disable (LD) inputs are used to reverse the function table phase, blank the display and store a BCD code, respectively. For liquid crystal displays a square-wave is applied to PH and the electrical common back-plane of the display. The outputs of the device are directly connected to the segments of the liquid crystal.



FUNCTION TABLE

Notes

1. H = HIGH state (the more positive voltage)
2. L = LOW state (the less positive voltage)
3. X = state is immaterial
4. For liquid crystal displays, apply a square-wave to PH.
 For common cathode LED displays, select PH = LOW.
 For common anode LED displays, select PH = HIGH.
4. Depends upon the BCD-code previously applied when LD = HIGH.

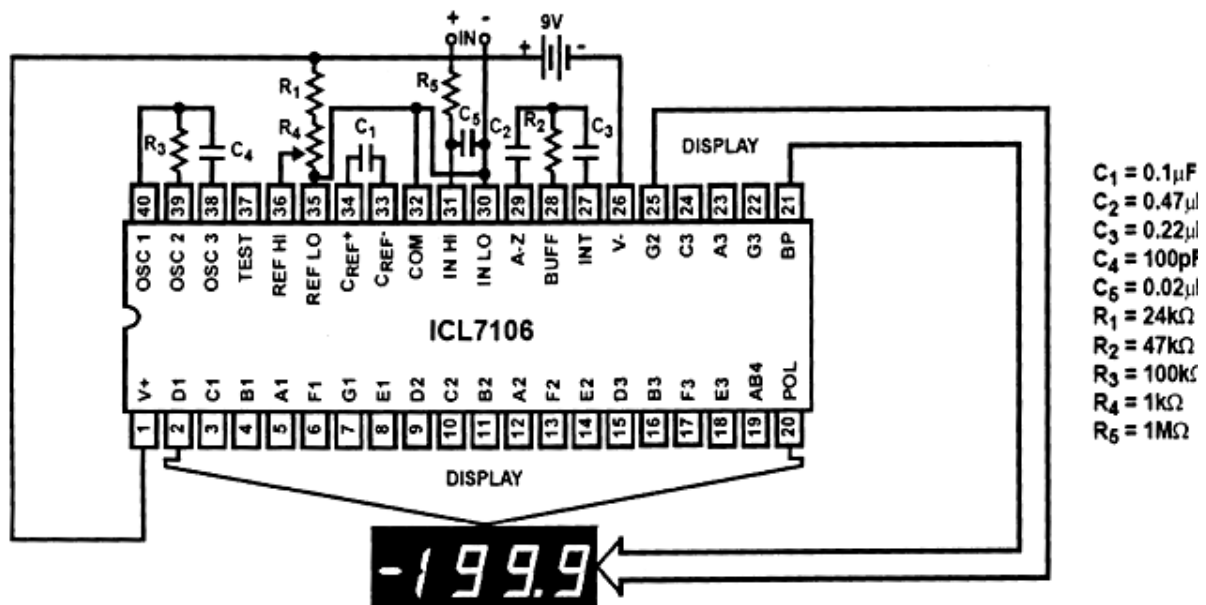
FUNCTION TABLE

INPUTS							OUTPUTS							
LD	BI	PH ⁽⁴⁾	D _D	D _C	D _B	D _A	O _a	O _b	O _c	O _d	O _e	O _f	O _g	DISPLAY
X	H	L	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	blank
H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	0
H	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	1
H	L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	2
H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	H	3
H	L	L	L	H	L	L	L	H	H	L	L	H	H	4
H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	H	5
H	L	L	L	H	H	L	H	L	H	H	H	H	H	6
H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	7
H	L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	8
H	L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	9
H	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	blank
H	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	blank
H	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	blank
H	L	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	blank
L	L	L	X	X	X	X	(5)							(5)
as above		H	as above				inverse of above							as above

5.3. Hiện thị số đo số liệu dạng tương tự dùng IC 7106

ICL7106, ICL7107, ICL7107S
3 1/2 Digit, LCD/LED Display, A/D
Converters

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3 1/2 digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display. The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features autozero to less than 10 μ V, zero drift of less than 1 μ V/oC, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.



Chương 5: LCD

