

1. Hiện tượng quang điện trong

Hiện tượng quang điện trong là nền tảng của nhiều linh kiện bán dẫn quang học. Hiểu rõ hiện tượng này giúp chúng ta nắm bắt được nguyên lý hoạt động của các thiết bị như quang điện trở, pin quang điện.

a. Định nghĩa

Hiện tượng quang điện trong là hiện tượng ánh sáng giải phóng các electron liên kết để chúng trở thành các electron dẫn, đồng thời tạo ra các lỗ trống cùng tham gia vào quá trình dẫn điện. Các electron và lỗ trống này vẫn ở bên trong khối chất bán dẫn chứ không bị bật ra ngoài như hiện tượng quang điện ngoài.

b. Điều kiện xảy ra

Để hiện tượng quang điện trong xảy ra, năng lượng của photon ánh sáng kích thích (hf) phải lớn hơn hoặc bằng năng lượng cần thiết để giải phóng một electron liên kết thành electron dẫn, gọi là năng lượng kích hoạt (A).

- Công thức: $\epsilon = hf \geq A$
- Điều kiện về bước sóng: $\lambda \leq \lambda_0 = hc/A$

Trong đó:

- λ : Bước sóng của ánh sáng kích thích (m).
- λ_0 : Giới hạn quang điện trong (hay giới hạn quang dẫn) của chất bán dẫn (m).

- **A**: Năng lượng kích hoạt (J), là năng lượng cần thiết để giải phóng electron liên kết. Năng lượng này thường nhỏ hơn công thoát của kim loại.
- **h**: Hằng số Planck ($h \approx 6,625.10^{-34} \text{ J.s}$).
- **c**: Tốc độ ánh sáng trong chân không ($c = 3.10^8 \text{ m/s}$).

Ví dụ 1: Một chất quang dẫn có năng lượng kích hoạt là 1,12 eV. Tính giới hạn quang dẫn của chất này. (Cho $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$).

Giải:

Đổi năng lượng kích hoạt ra đơn vị Joule: $A = 1,12 \text{ eV} = 1,12 \times 1,6.10^{-19} = 1,792.10^{-19} \text{ J}$.

Áp dụng công thức tính giới hạn quang dẫn:

$$\lambda_0 = hc/A = (6,625.10^{-34} \times 3.10^8) / 1,792.10^{-19} \approx 1,11.10^{-6} \text{ m} = 1,11 \mu\text{m}.$$

Đây là giới hạn quang dẫn của Silic (Si), nằm trong vùng hồng ngoại.

Ví dụ 2: Giới hạn quang dẫn của Germanium (Ge) là 1,88 μm . Chiếu vào Ge một bức xạ có bước sóng 1,5 μm . Hiện tượng quang điện trong có xảy ra không? Tại sao?

Giải:

Ta có giới hạn quang dẫn $\lambda_0 = 1,88 \mu\text{m}$.

Bước sóng của bức xạ chiếu tới là $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$.

Vì $\lambda = 1,5 \mu\text{m} < \lambda_0 = 1,88 \mu\text{m}$, nên điều kiện xảy ra hiện tượng quang điện trong được thỏa mãn. Do đó, hiện tượng quang điện trong xảy ra.

2. So sánh hiện tượng quang điện trong và hiện tượng quang điện ngoài

Hai hiện tượng này đều liên quan đến việc photon giải phóng electron, nhưng có những khác biệt cơ bản.

Tiêu chí	Hiện tượng quang điện ngoài	Hiện tượng quang điện trong
Định nghĩa	Hiện tượng electron bị bật ra khỏi bề mặt kim loại khi được chiếu sáng bằng bức xạ điện từ thích hợp.	Hiện tượng giải phóng electron liên kết thành electron dẫn (và tạo ra lỗ trống) bên trong khối chất bán dẫn.
Đối tượng xảy ra	Thường xảy ra với kim loại.	Thường xảy ra với chất bán dẫn.
Năng lượng cần thiết	Công thoát A (thường lớn, cần photon tử ngoại).	Năng lượng kích hoạt A (thường nhỏ hơn, photon hồng ngoại cũng có thể gây ra).
Kết quả	Electron bị bật ra khỏi bề mặt vật liệu.	Tạo ra cặp electron dẫn - lỗ trống, làm tăng mật độ hạt tải điện và tăng độ dẫn điện của vật liệu.
Điều kiện về bước sóng	$\lambda \leq \lambda_0 = hc/A$ (A là công thoát)	$\lambda \leq \lambda_0 = hc/A$ (A là năng lượng kích hoạt)

3. Chất quang dẫn

a. Định nghĩa

Chất quang dẫn là những chất bán dẫn có tính dẫn điện kém khi không bị chiếu sáng và trở nên dẫn điện tốt khi được chiếu sáng bằng bức xạ điện từ thích hợp. Nói cách khác, điện trở suất của chúng giảm mạnh khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào.

b. Cơ chế

Khi không được chiếu sáng, mật độ các hạt tải điện tự do (electron dẫn và lỗ trống) trong chất bán dẫn rất thấp, do đó nó dẫn điện kém. Khi được chiếu sáng bằng bức xạ có bước sóng $\lambda \leq \lambda_0$, mỗi photon bị hấp thụ sẽ tạo ra một cặp electron - lỗ trống. Điều này làm tăng đột ngột mật độ hạt tải điện, khiến cho chất bán dẫn dẫn điện tốt hơn nhiều (điện trở giảm).

c. Ví dụ về chất quang dẫn

Một số chất quang dẫn tiêu biểu được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp:

- Germanium (Ge)
- Silicon (Si)
- Cadmium Sulfide (CdS)
- Lead Sulfide (PbS)

4. Quang điện trở (LDR - Light Dependent Resistor)

a. Định nghĩa và ký hiệu

Quang điện trở (hay LDR) là một linh kiện điện tử được chế tạo từ chất quang dẫn. Đặc điểm nổi bật của nó là có điện trở thay đổi phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào.

Ký hiệu trong mạch điện: Thường là một hình chữ nhật có hai đường mũi tên chéo chỉ vào.

b. Cấu tạo

Cấu tạo của một quang điện trở khá đơn giản, bao gồm:

1. Một lớp mỏng chất quang dẫn (ví dụ: CdS, CdSe).
2. Lớp này được đặt trên một đế cách điện (thường là gốm).
3. Hai điện cực kim loại được nối với lớp quang dẫn để có thể mắc vào mạch điện. Toàn bộ được bọc trong một vỏ trong suốt để ánh sáng có thể đi qua.

c. Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động của quang điện trở dựa hoàn toàn vào hiện tượng quang điện trong.

- **Khi không có ánh sáng (trong bóng tối):** Lớp chất quang dẫn có rất ít hạt tải điện tự do. Do đó, điện trở của LDR rất lớn, có thể lên đến hàng mega-ohm ($M\Omega$).
- **Khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào:** Các photon ánh sáng tạo ra các cặp electron - lỗ trống, làm tăng mật độ hạt tải điện. Điện trở của LDR giảm

xuống rất nhanh, có thể chỉ còn vài chục ohm (Ω).

Kết luận: Điện trở của quang điện trở tỉ lệ nghịch với cường độ chùm sáng chiếu vào nó.

5. Ứng dụng của quang điện trở

Nhờ đặc tính nhạy với ánh sáng, quang điện trở được ứng dụng rộng rãi trong các mạch điện tử tự động và thiết bị đo lường.

a. Mạch cảm biến ánh sáng (Mạch báo trời sáng/tối)

Đây là ứng dụng phổ biến nhất của LDR, dùng để tự động bật/tắt thiết bị dựa trên ánh sáng môi trường.

Ví dụ 1: Đèn đường tự động

Mạch điện của đèn đường sử dụng một LDR mắc nối tiếp với một điện trở khác để tạo thành một cầu phân áp.

- *Khi trời tối:* Cường độ sáng yếu, điện trở LDR tăng rất cao. Điện áp rơi trên LDR lớn, kích hoạt một relay (rơ-le) hoặc transistor đóng mạch, cấp điện cho bóng đèn, làm đèn sáng.

- *Khi trời sáng:* Cường độ sáng mạnh, điện trở LDR giảm mạnh. Điện áp rơi trên LDR nhỏ, không đủ để kích hoạt relay, mạch đèn bị ngắt, đèn tắt.

b. Máy đo ánh sáng

Trong các máy ảnh kỹ thuật số hoặc các thiết bị đo cường độ sáng chuyên dụng, LDR được dùng làm cảm biến chính.

Ví dụ 2: Máy ảnh tự động

LDR trong máy ảnh đo cường độ ánh sáng của cảnh vật cần chụp. Dựa vào giá trị điện trở của LDR, bộ vi xử lý của máy ảnh sẽ tự động tính toán và điều chỉnh các thông số phơi sáng như tốc độ màn trập, độ mở ống kính (khẩu độ) và ISO để có được bức ảnh đúng sáng.

c. Các ứng dụng khác

Ví dụ 3: Hệ thống báo trộm bằng tia hồng ngoại

Một nguồn phát tia hồng ngoại (mắt người không thấy được) chiếu thẳng vào một LDR (nhạy với tia hồng ngoại). Mạch được thiết kế để ở trạng thái bình thường (khi LDR nhận được tia hồng ngoại) thì hệ thống im lặng. Khi có kẻ gian đi qua, chùm tia hồng ngoại bị chặn lại. LDR không nhận được ánh sáng, điện trở của nó tăng vọt. Sự thay đổi đột ngột này kích hoạt một mạch báo động (còi hú, đèn chớp).

Ví dụ 4: Bộ đếm sản phẩm trên băng chuyền

Tương tự như hệ thống báo trộm, một nguồn sáng chiếu ngang qua băng chuyền vào một LDR. Mỗi khi có một sản phẩm đi qua, nó sẽ che khuất chùm sáng. LDR sẽ ghi nhận một lần thay đổi điện trở, và một mạch đếm điện tử sẽ tăng giá trị lên một đơn vị.