

Chuyên đề: Hiện tượng quang điện trong và Ứng dụng của chất bán dẫn

I. Chất bán dẫn và Hiện tượng quang điện trong

1. Chất bán dẫn

Chất bán dẫn là vật liệu có độ dẫn điện ở mức trung gian giữa chất dẫn điện (kim loại) và chất cách điện (điện môi). Điện trở suất của chất bán dẫn giảm mạnh khi nhiệt độ tăng hoặc khi có tạp chất. Hai loại bán dẫn phổ biến là bán dẫn loại n (thừa electron) và bán dẫn loại p (thừa lỗ trống).

2. 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 trong chất bán dẫn. Kết quả là làm tăng độ dẫn điện của khối bán dẫn khi được chiếu sáng.

- **Giải thích:** Khi một photon có năng lượng đủ lớn chiếu vào chất bán dẫn, nó sẽ truyền năng lượng cho một electron ở vùng hóa trị (valence band), giúp electron này bứt ra khỏi liên kết và nhảy lên vùng dẫn (conduction band), trở thành electron dẫn. Vị trí mà electron để lại sẽ tạo thành một "lỗ trống" mang điện tích dương. Cả electron dẫn và lỗ trống đều tham gia vào quá trình dẫn điện, làm điện trở của khối bán dẫn giảm xuống.
- **Công thức (Điều kiện xảy ra):** Để xảy ra hiện tượng quang điện trong, năng lượng của photon ánh sáng kích thích (ϵ) phải lớn hơn hoặc bằng năng

lượng kích hoạt (A) của chất bán dẫn.

$$\epsilon \geq A \Leftrightarrow hf \geq A \Leftrightarrow hc/\lambda \geq A \Leftrightarrow \lambda \leq hc/A = \lambda_0$$

• **Trong đó:**

- **λ :** Bước sóng của ánh sáng kích thích.
- **λ_0 :** Giới hạn quang điện trong (hay giới hạn quang dẫn).
- **A:** Năng lượng kích hoạt (tương tự công thoát của kim loại), là năng lượng cần thiết để giải phóng một electron liên kết thành electron dẫn.
- **h:** Hằng số Planck (6.625×10^{-34} J.s).
- **c:** Tốc độ ánh sáng trong chân không (3×10^8 m/s).

Ví dụ 1: Năng lượng kích hoạt của chất Germanium (Ge) là 0.66 eV. Tính giới hạn quang dẫn của Ge.

Giải: Ta có $\lambda_0 = hc/A$. Đổi $A = 0.66 \text{ eV} = 0.66 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$\lambda_0 = (6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (0.66 \times 1.6 \times 10^{-19}) \approx 1.88 \times 10^{-6} \text{ m} = 1.88 \mu\text{m}.$$

Đây là bức xạ thuộc vùng hồng ngoại.

Ví dụ 2: Một chất bán dẫn có giới hạn quang dẫn là $1.12 \mu\text{m}$. Chiếu vào chất bán dẫn này bức xạ có bước sóng 950 nm. Hiện tượng quang dẫn có xảy ra không? Tại sao?

Giải: Giới hạn quang dẫn $\lambda_0 = 1.12 \mu\text{m} = 1120 \text{ nm}$. Bước sóng ánh sáng chiếu tới $\lambda = 950 \text{ nm}$.

Vì λ (950 nm) λ_0 (1120 nm), nên hiện tượng quang dẫn (quang điện trong) có xảy ra.

II. So sánh Hiện tượng quang điện trong và Hiện tượng quang điện ngoài

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 lỗ trống) bên trong khối bán dẫn khi được chiếu sáng.
Môi trường xảy ra	Kim loại.	Chất bán dẫn.
Kết quả	Electron bị bật ra khỏi bề mặt vật liệu.	Electron được giải phóng nhưng vẫn ở bên trong khối vật liệu, trở thành hạt tải điện.
Năng lượng cần thiết	Năng lượng photon phải lớn hơn hoặc bằng Công thoát A . Thường cần bức xạ tử ngoại.	Năng lượng photon phải lớn hơn hoặc bằng Năng lượng kích hoạt A . Thường chỉ cần bức xạ nhìn thấy hoặc hồng ngoại.

III. Ứng dụng của Hiện tượng quang điện trong

1. Quang điện trở

- **Cấu tạo:** Là một điện trở làm bằng chất bán dẫn có giá trị điện trở thay đổi được theo cường độ chùm sáng chiếu vào. Thường được làm từ Cadmium Sulfide (CdS) hoặc Cadmium Selenide (CdSe).
- **Nguyên tắc hoạt động:** Dựa trên hiện tượng quang điện trong. Khi không được chiếu sáng, quang điện trở có điện trở rất lớn (vài MΩ). Khi được chiếu sáng, các electron liên kết bị giải phóng, mật độ hạt tải điện tăng lên, làm điện trở của nó giảm xuống đáng kể (chỉ còn vài chục Ω). Cường độ sáng càng mạnh, điện trở càng nhỏ.
- **Ứng dụng:**
 - Làm cảm biến ánh sáng trong các mạch điều khiển tự động (ví dụ: đèn đường tự động bật/tắt, máy ảnh tự động điều chỉnh phơi sáng).
 - Hệ thống báo trộm, báo cháy bằng tia hồng ngoại.
- **Ví dụ:** Trong mạch đèn đường tự động, một quang điện trở được mắc nối tiếp với một rơ-le. Ban ngày, ánh sáng mạnh, điện trở của quang điện trở nhỏ, dòng điện qua mạch lớn, rơ-le ngắt công tắc đèn. Ban đêm, trời tối, điện trở của quang điện trở rất lớn, dòng điện qua mạch yếu, rơ-le đóng công tắc, đèn sáng.

2. Pin quang điện (Pin mặt trời)

- **Cấu tạo:** Là một nguồn điện biến đổi trực tiếp quang năng thành điện năng. Cấu tạo cơ bản gồm một lớp bán dẫn loại p và một lớp bán dẫn loại n ghép

lại với nhau (lớp chuyển tiếp p-n). Trên bề mặt có một lớp chống phản xạ và các điện cực để lấy điện ra ngoài.

- **Nguyên tắc hoạt động:** Dựa trên hiện tượng quang điện trong xảy ra tại lớp chuyển tiếp p-n.

1. Khi ánh sáng chiếu vào lớp chuyển tiếp, photon có năng lượng đủ lớn sẽ tạo ra các cặp electron-lỗ trống.
2. Do điện trường tiếp xúc tại lớp p-n, các electron sẽ bị kéo về phía lớp n, còn các lỗ trống bị kéo về phía lớp p.
3. Kết quả là lớp n trở nên thừa electron (tích điện âm), còn lớp p trở nên thiếu electron (tích điện dương). Giữa hai lớp hình thành một suất điện động (E_{pin}), có giá trị từ 0.5V đến 0.8V đối với pin silicon.

- **Suất điện động của pin:** E_{pin} không phụ thuộc vào cường độ chùm sáng, mà phụ thuộc vào bản chất của hai loại bán dẫn. Dòng điện do pin cung cấp tỉ lệ thuận với cường độ chùm sáng.

- **Ứng dụng:**

- Làm nguồn điện cho các thiết bị ở vùng sâu, vùng xa, hải đảo (nhà máy điện mặt trời, trạm sạc).
- Cung cấp năng lượng cho vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ.
- Sử dụng trong các thiết bị cầm tay như máy tính bỏ túi, đồng hồ.

- **Ví dụ:** Một tấm pin mặt trời trên mái nhà bao gồm nhiều pin quang điện nhỏ mắc nối tiếp và song song với nhau để tạo ra điện áp và dòng điện đủ lớn cung cấp cho các thiết bị điện trong gia đình.

3. Điốt phát quang (LED - Light Emitting Diode)

- **Cấu tạo:** Là một điốt bán dẫn, gồm một lớp chuyển tiếp p-n.
- **Nguyên tắc hoạt động:** Dựa trên hiện tượng phát quang khi các electron và lỗ trống tái hợp ở lớp chuyển tiếp p-n. Đây là quá trình ngược lại với pin quang điện.
 1. Khi đặt một hiệu điện thế thuận vào hai đầu điốt, electron từ lớp n và lỗ trống từ lớp p sẽ di chuyển vào lớp chuyển tiếp.
 2. Tại đây, chúng tái hợp với nhau. Quá trình tái hợp này giải phóng năng lượng dưới dạng các photon ánh sáng.

- **Màu sắc của ánh sáng:** Màu sắc của ánh sáng do LED phát ra phụ thuộc vào năng lượng được giải phóng, tức là phụ thuộc vào độ rộng vùng cấm (năng lượng kích hoạt A) của vật liệu bán dẫn.

Năng lượng photon: $\epsilon = hf = hc/\lambda \approx A$

- **Ứng dụng:**
 - Làm đèn báo, đèn trang trí, đèn quảng cáo.
 - Chiếu sáng dân dụng và công nghiệp (đèn LED tiết kiệm điện).
 - Màn hình TV, điện thoại, máy tính.
 - Điều khiển từ xa (phát ra tia hồng ngoại).
- **Ví dụ 1:** Một đèn LED đỏ được làm từ vật liệu bán dẫn Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP) có năng lượng vùng cấm khoảng 1.9 eV. Bước sóng ánh sáng phát ra là $\lambda = hc/A \approx (6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8) / (1.9 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}) \approx 6.54 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 654 \text{ nm}$ (màu đỏ).

- **Ví dụ 2:** Diốt trong điều khiển TV phát ra bức xạ hồng ngoại có bước sóng 940 nm. Năng lượng kích hoạt của chất bán dẫn làm diốt này là $A = hc/\lambda = (6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8) / (940 \times 10^{-9}) \approx 2.11 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1.32 \text{ eV}$.

VIDOCU.COM