

Dòng điện trong các môi trường

13

DÒNG ĐIỆN TRONG KIM LOẠI

I – MỤC TIÊU

1. a) Nêu được tính chất điện chung của các kim loại, sự phụ thuộc của điện trở suất của kim loại theo nhiệt độ.

b) Nêu được nội dung chính của thuyết electron về tính dẫn điện của kim loại, và công thức tính điện trở suất của kim loại. Nêu được bậc độ lớn của các đại lượng đã nói đến trong thuyết này.

2. Giải thích được một cách định tính các tính chất điện chung của kim loại dựa trên thuyết electron về tính dẫn điện của kim loại.

II – CHUẨN BỊ

Giáo viên

1. Chuẩn bị thí nghiệm đã mô tả trong SGK.
2. Chuẩn bị thí nghiệm về cặp nhiệt điện (có thể dùng bất kì cặp nhiệt điện nào).

Học sinh

Ôn lại :

1. Phần nói về tính dẫn điện của kim loại trong SGK lớp 9.
2. Dòng điện trong kim loại tuân theo định luật Ôm.

III – THÔNG TIN BỔ SUNG

1. Thuyết vùng năng lượng

Khi N nguyên tử kết hợp với nhau tạo thành chất rắn (tinh thể), các mức năng lượng của các electron trong chất rắn có giá trị nằm trong một số khoảng năng lượng nhất định gọi là vùng năng lượng (Hình 13.1).

Mỗi vùng năng lượng chứa N mức năng lượng, có khả năng chứa tối đa là $2N$ electron (mỗi mức chứa được 2 electron có spin trái chiều).

Độ rộng năng lượng của vùng năng lượng (khoảng cách năng lượng giữa mức cao nhất và thấp nhất trong một vùng) ở miền năng lượng thấp thì nhỏ, và tăng đáng kể ở miền năng lượng cao.

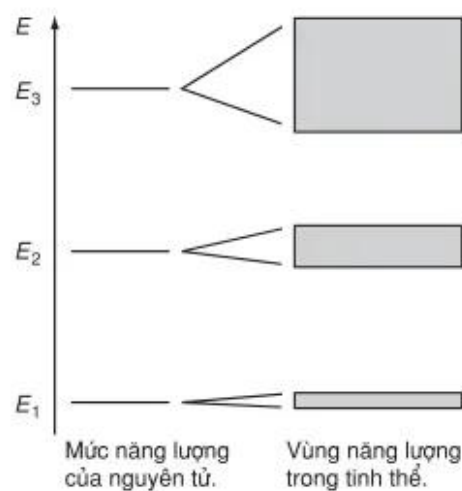
Các vùng năng lượng cách nhau một khoảng không có mức năng lượng. Càng lên các vùng năng lượng cao khoảng này càng hẹp, và thậm chí các vùng này có thể đè lên nhau. Các electron trong chất rắn được xếp vào các vùng ấy từ thấp lên cao, nên các vùng năng lượng nhỏ thường đầy electron.

Vùng năng lượng cao nhất còn chứa đầy electron khi nhiệt độ bằng 0 K gọi là *vùng hoá trị*.

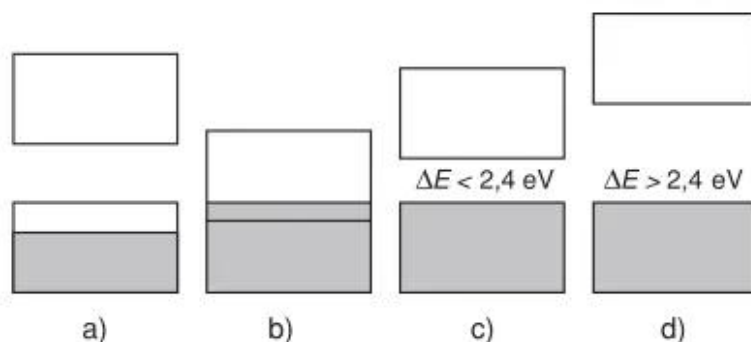
Vùng nằm ngay trên vùng hoá trị gọi là *vùng kích thích*.

Giữa vùng kích thích và vùng hoá trị là *vùng cấm*.

Electron ở một mức năng lượng cho trước chỉ có thể nhận năng lượng của điện trường ngoài (thường rất nhỏ so với điện trường của các hạt nhân nguyên tử trong chất rắn tạo ra), để nhảy lên mức năng lượng cao hơn ở ngay trên nó nếu mức đó còn trống. Vì thế electron ở vùng đã chứa đầy không thể nhận năng lượng nhỏ hơn bề rộng vùng cấm từ điện trường ngoài và được xem như electron liên kết. Electron ở vùng chưa chứa đầy (còn nhiều mức năng lượng trống) có thể nhận năng lượng từ điện trường ngoài, và được xem là electron tự do.



Hình 13.1. Vùng năng lượng của chất rắn



Hình 13.2. Vùng năng lượng của kim loại, bán dẫn, điện môi

Hình 13.2a. Vùng hoá trị và vùng kích thích cách nhau bằng vùng cấm, nhưng vùng hoá trị chưa chứa đầy electron : *Kim loại*.

Hình 13.2b. Vùng hoá trị (chứa đầy electron) đè lên vùng kích thích, tạo ra một vùng hỗn hợp chưa chứa đầy electron ; không có vùng cấm : *Kim loại* (cũng còn gọi là bán kim loại).

Hình 13.2c. Vùng hoá trị (đầy electron) và vùng kích thích (rỗng) cách nhau bằng vùng cấm có độ rộng $\Delta E < 3 \text{ eV}$: *Bán dẫn*.

Hình 13.2d. Vùng hoá trị (đầy electron) và vùng kích thích (rỗng) cách nhau bằng vùng cấm có độ rộng $\Delta E > 3 \text{ eV}$: *Điện môi*.

Kim loại là vật liệu mà vùng hoá trị chưa chứa đầy electron.

Điện môi là vật liệu mà vùng hoá trị đã chứa đầy electron, và vùng cấm tương đối rộng (độ rộng năng lượng của vùng cấm khoảng vài electronvolt). Nếu vùng cấm không quá rộng ta có chất bán dẫn. Ranh giới để phân biệt điện môi và bán dẫn chỉ có tính quy ước. Theo với sự phát triển của công nghệ vật liệu, nhiều chất trước kia gọi là điện môi nay xem là bán dẫn.

2. Nguồn gốc của điện trở của vật rắn

Dòng điện chạy qua vật rắn (kim loại) làm cho nó nóng lên, động năng của chuyển động dao động của các ion tăng. Công suất nhiệt của dòng điện tính theo công thức $\mathcal{P} = RI^2$, trong đó R là điện trở. Khi có dòng điện, chỉ có các electron tự do nhận năng lượng của điện trường, nên đã có sự truyền năng lượng của electron cho mạng tinh thể. Ta bảo electron đã va chạm với các ion của mạng tinh thể hay electron bị tán xạ trên mạng tinh thể. Hiện tượng này là nguyên nhân sinh ra điện trở của chất rắn (kim loại). Khẳng định này đúng, nhưng chưa đầy đủ.

Thật vậy, giả thuyết trên không giải thích được vì sao tinh thể kim loại sạch, kết tinh hoàn hảo, ở nhiệt độ thấp lại có điện trở rất nhỏ. Tính toán lí thuyết cũng cho thấy mạng tinh thể hoàn hảo không cản trở chuyển động của electron, do đó phải thừa nhận là *electron chỉ va chạm tại những chỗ không hoàn hảo của mạng tinh thể, mà ta gọi chung là những sai hỏng của mạng tinh thể*. Các sai hỏng có thể là :

- Sự mất trật tự của các ion trong mạng tinh thể do chuyển động nhiệt (dao động) sinh ra : hệ quả là điện trở của kim loại tăng theo nhiệt độ.
- Sự mất trật tự của mạng tinh thể do có các nguyên tử lạ : hệ quả là tạp chất làm tăng điện trở của kim loại.
- Sự mất trật tự của các ion trong mạng tinh thể do tinh thể bị biến dạng : hệ quả là các quá trình gia công như uốn, kéo dãn làm điện trở của kim loại tăng.

3. Nguyên nhân gây ra suất điện động nhiệt điện trong cặp nhiệt điện kim loại

Suất điện động nhiệt điện trong cặp nhiệt điện bằng vật liệu rắn thường được cho là hình thành từ ba nguồn gốc : a) Sự phụ thuộc của công thoát electron của

vật liệu theo nhiệt độ ; b) Sự chuyển dịch của hạt tải điện trên thời vật liệu từ đầu nóng đến đầu lạnh ; c) Sự thay đổi mật độ hạt tải điện theo nhiệt độ.

Các electron trong chất rắn không thể tự do bay ra không gian bên ngoài. Muốn bay ra được, ta phải cung cấp cho mỗi electron một năng lượng trung bình φ gọi là công thoát electron của chất rắn. Công thoát electron phụ thuộc nhiệt độ, $\varphi = \varphi(T)$. Hai chất rắn A và B khác nhau, có công thoát electron khác nhau : $\varphi_A(T) \neq \varphi_B(T)$. Vì thế khi chúng tiếp xúc với nhau, giữa chúng sẽ xuất hiện hiệu điện thế tiếp xúc $U_{tx}(T) = \left(\frac{1}{e}\right)[\varphi_A(T) - \varphi_B(T)]$. Với một cặp nhiệt

điện bằng chất rắn, khi giữ hai đầu ở hai nhiệt độ T_1 và T_2 khác nhau, sự khác nhau của hiệu thế tiếp xúc ở hai đầu sẽ tạo ra trong mạch một suất điện động nhiệt điện $\mathcal{E}_{tx} = U_{tx}(T_1) - U_{tx}(T_2)$.

Sự dịch chuyển của hạt tải điện trong thời vật liệu từ đầu nóng qua đầu lạnh lại diễn ra theo hai cơ chế : Chuyển động nhiệt của mạng tinh thể và của hạt tải điện ở đầu nóng mạnh hơn ở đầu lạnh, nên có xu hướng đẩy hạt tải điện từ đầu nóng về đầu lạnh. Trong Vật lí chất rắn, người ta coi dao động của mạng tinh thể như những hạt phonon, nên hiện tượng này gọi là hạt tải điện bị phonon cuốn đi. Mặt khác, trong một số chất rắn (ví dụ trong bán dẫn), mật độ hạt tải tăng theo nhiệt độ. Khi ấy hạt tải sẽ khuếch tán từ đầu nóng qua đầu lạnh, làm hai đầu tích điện trái dấu nhau. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng Di-béc (Seebeck). Chênh lệch hiệu điện thế giữa đầu nóng và đầu lạnh do hiệu ứng này gây ra là $U_S = S(T_1 - T_2)$. Trong cặp nhiệt điện, hiệu ứng Di-béc ở hai vật rắn A và B không giống nhau, tạo ra suất điện động $\mathcal{E}_S = (S_A - S_B)(T_1 - T_2)$. Do đó suất điện động nhiệt điện của cặp nhiệt điện là :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_S + \mathcal{E}_{tx} = (S_A - S_B)(T_1 - T_2) + U_{tx}(T_1) - U_{tx}(T_2)$$

Với kim loại, hạt tải điện là electron, có mật độ rất cao và không phụ thuộc nhiệt độ. Hiệu điện thế tiếp xúc U_{tx} xuất hiện giữa hai lớp kim loại rất mỏng ở sát chỗ tiếp xúc. Electron có thể qua lại dễ dàng lớp này bằng hiệu ứng đường hầm (hiệu ứng tunen), nên mật độ electron ở hai bên lớp tiếp xúc gần như bằng nhau và hiệu điện thế tiếp xúc gần như bằng không, $\mathcal{E}_{tx} \approx 0$. Trong \mathcal{E} chỉ có thành phần do sự cuốn theo phonon gây ra, vì thế suất điện động nhiệt điện của cặp nhiệt điện kim loại thường rất nhỏ.

IV – GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

1. Về thí nghiệm, có thể chỉ cần chuẩn bị thí nghiệm về cặp nhiệt điện đồng – constantan. Không nhất thiết phải hàn hai kim loại với nhau, chỉ cần đánh sạch,

quấn vào nhau và kẹp chặt, nhưng nếu hàn được với nhau thì tốt hơn. GV cũng có thể thay dây constantan bằng loại dây khác như dây thép, dây nhôm, dây bếp điện,... Vôn kế ở đây có thể dùng đồng hồ vạn năng ở thang có độ nhạy cao nhất.

2. Bài này được dạy trong một tiết. Trọng tâm của bài là các mục I, II, IV. Mục III chỉ nhằm giới thiệu để HS có khái niệm về hiện tượng siêu dẫn mà trong tương lai có thể có nhiều ứng dụng.

Vì là bài đầu chương và nội dung của bài hơi dài, nên có thể bỏ việc kiểm tra đầu giờ và thu gọn việc củng cố bài và ra bài tập về nhà.

3. Trong bài này ta có nhiều điều kiện để rèn luyện tư duy lí luận, tư duy biện chứng và tư duy vật lí cho HS.

Ví dụ 1 : Mắc một mạch điện gồm nguồn điện, điện trở và ampe kế. Kim ampe kế chỉ một giá trị xác định. Dùng một ngọn lửa đốt nóng điện trở. Cho HS căn cứ vào sự thay đổi của cường độ dòng điện, lập luận để suy ra sự phụ thuộc (định tính) của điện trở vào nhiệt độ.

Ví dụ 2 : Điện trở của kim loại giảm khi nhiệt độ giảm. Vậy khi nhiệt độ giảm đến gần 0 K thì điện trở kim loại sẽ như thế nào ? Ở đây thể hiện tư duy biện chứng : phải căn cứ vào thực nghiệm mới có câu trả lời.

Mục I (Bản chất dòng điện trong kim loại).

Nên kết hợp việc cho HS đọc hiểu với việc phát vấn và giảng giải. Sau khi cho HS đọc toàn bộ mục này, có thể đặt những câu hỏi sau :

- Các hạt tải điện trong kim loại là những hạt nào ? (electron tự do).
- Tại sao gọi là electron tự do ? (chúng chuyển động tự do trong toàn bộ khối kim loại).
- Khí electron tự do trong kim loại là gì ? (các electron này chuyển động tự do trong khối kim loại giống như các phân tử khí chuyển động tự do trong một cái bình).
- Bản chất dòng điện trong kim loại là gì ? (dòng chuyển dời có hướng của đám khí electron).
- Nguyên nhân gây ra điện trở của kim loại là gì ? (là do sự mất trật tự của mạng tinh thể cản trở chuyển động có hướng của electron tự do).

Những nội dung cần giảng giải cho HS rõ là :

- Electron tự do.
- Bản chất dòng điện trong kim loại.
- Nguyên nhân gây ra điện trở của kim loại.

Mục II (Sự phụ thuộc của điện trở suất của kim loại theo nhiệt độ).

Trong SGK cũ thì vấn đề này được đưa vào chương Các định luật của dòng điện không đổi, sau khi hình thành định luật Ôm $U = IR$ và khái niệm điện trở. Trong SGK này, việc đưa vấn đề này vào bài dòng điện trong kim loại là hợp lí hơn vì HS sẽ hiểu được bản chất của sự phụ thuộc của điện trở kim loại vào nhiệt độ.

Có thể dựa vào một thí nghiệm đơn giản để dạy mục này. Mắc một mạch điện gồm một bộ pin 3 V, một sợi dây may so của bếp điện khoảng 10Ω và một miliampe kế, cho HS quan sát số chỉ của miliampe kế lúc chưa đốt nóng dây may so và lúc đốt nóng dây bằng ngọn lửa đèn cồn, sau đó đặt những câu hỏi sau đây :

– Cường độ dòng điện trong mạch giảm, điều đó chứng tỏ gì ?

– Có thể rút ra kết luận gì về sự phụ thuộc của điện trở của sợi dây may so vào nhiệt độ ?

Tiếp tục cho HS quan sát đồ thị $\rho(T)$ ở Hình 13.2 SGK, và dùng thước kẻ để thấy rằng trong những khoảng nhiệt độ, chẳng hạn như từ 300 K đến 500 K ; từ 500 K đến 700 K ; từ 700 K đến 900 K, thì đồ thị có thể coi như những đoạn thẳng và những đoạn thẳng này không trùng nhau. Từ đó rút ra kết luận về sự phụ thuộc của ρ theo T là hàm bậc nhất.

Chú ý là Bảng 13.1 SGK cho giá trị của ρ và α trong khoảng nhiệt độ lân cận 20°C .

Mục III (Điện trở của kim loại ở nhiệt độ thấp và hiện tượng siêu dẫn).

Trong mục này cần nêu rõ hai ý :

– Điện trở của đa số kim loại giảm liên tục theo nhiệt độ, ở nhiệt độ rất thấp thì điện trở của kim loại rất nhỏ, tuy nhiên không bị triệt tiêu.

– Chỉ có một số kim loại và vật liệu đặc biệt, gọi là các chất siêu dẫn, thì khi nhiệt độ giảm đến nhiệt độ tới hạn T_c , điện trở đột ngột giảm xuống bằng 0.

Mục IV (Hiện tượng nhiệt điện).

Phương pháp dạy học thích hợp cho mục này là phương pháp giảng giải minh họa.

– Thoạt tiên phải giảng về hiện tượng Di-béc (tức là sự tạo hiệu điện thế giữa hai đầu của một dây kim loại có nhiệt độ khác nhau). Rất cần hỏi HS về dấu của hiệu điện thế giữa đầu nóng và đầu lạnh.

– Tiếp đó là giảng về sự hình thành suất điện động nhiệt điện (tổng đại số của hai hiệu điện thế khác nhau do hiệu ứng Di-béc trong hai kim loại khác nhau).

Cuối cùng GV làm thí nghiệm minh họa.

V – TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

C1. Chủ yếu vì bạch kim có điện trở suất tương đối lớn, có nhiệt độ nóng chảy cao và không bị ôxi hoá ở nhiệt độ cao.

C2. Vì cuộn dây siêu dẫn có điện trở bằng không, năng lượng không bị tiêu hao. Không dùng được, dù cuộn dây của động cơ làm bằng chất siêu dẫn vì năng lượng điện bị mất đi do biến thành công của động cơ.

1. Là các electron hoá trị, đã mất liên kết với các ion kim loại, n vào khoảng $10^{28}/\text{m}^3$.

2. Vì khi T tăng, độ mất trật tự của mạng tinh thể tăng.

3. Ở nhiệt độ rất thấp, điện trở của kim loại thường rất nhỏ nhưng lớn hơn 0. Ở nhiệt độ rất thấp, dưới nhiệt độ T_c điện trở của chất siêu dẫn bằng 0.

4. Xem (mục III SGK). 5. B. 6. D.

7. Khi cháy sáng $R_s = 484 \Omega$; ở nhiệt độ phòng $R_t = 48,8 \Omega$.

8. a) Thể tích của 1 mol đồng :

$$V = \frac{64 \cdot 10^{-3}}{8,9 \cdot 10^3} = 7,19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

Mật độ electron tự do trong đồng là :

$$n_0 = \frac{\text{số Avôgadrô}}{V} = \frac{6,023 \cdot 10^{23}}{7,191 \cdot 10^{-6}} \approx 8,38 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

b) Số electron tự do đi qua diện tích S của dây dẫn trong 1 giây : $N = vSn_0$

Cường độ dòng điện qua dây dẫn :

$$I = eN = evSn_0$$

$$\text{suy ra : } v = \frac{I}{eSn_0} = \frac{10}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 8,38 \cdot 10^{28}} \approx 7,46 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

9. Điều kiện : R không đổi, suy ra : $\frac{\rho^*_{\text{Cu}} l}{S_{\text{Cu}}} = \frac{\rho^*_{\text{Al}} l}{S_{\text{Al}}}$.

($l = AB$, S là tiết diện dây, ρ^* là điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn). Khối lượng dây : $m_{\text{Cu}} = \rho_{\text{Cu}} S_{\text{Cu}} l$; $m_{\text{Al}} = \rho_{\text{Al}} S_{\text{Al}} l$ (ρ là khối lượng riêng của vật liệu làm dây dẫn).

Suy ra : $m_{\text{Al}} = 490 \text{ kg}$.