

I – MỤC TIÊU

Trả lời được các câu hỏi :

1. Chất bán dẫn là gì ? Nêu những đặc điểm của chất bán dẫn.
2. Hai loại hạt tải điện trong bán dẫn là gì ? Lỗ trống là gì ?
3. Chất bán dẫn loại n và loại p là gì ?
4. Lớp chuyển tiếp $p-n$ là gì ?
5. Tranzito $n-p-n$ là gì ?

II – CHUẨN BỊ

Giáo viên

1. Chuẩn bị Hình 17.1 và Bảng 17.1 (SGK) ra giấy to.

2. Chuẩn bị một số linh kiện bán dẫn thường dùng như điôt bán dẫn, tranzito, LED,... Nếu có linh kiện hỏng thì bóc vỏ ra để chỉ cho HS xem miếng bán dẫn ở trong linh kiện ấy.

Học sinh

Ôn tập các kiến thức quan trọng chính :

1. Thuyết electron về tính dẫn điện của kim loại.
2. Vài thông số quan trọng của kim loại :

$$\rho \sim (1 \div 10) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} ; \alpha = (3 \div 7) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} ; n \approx 10^{28} \text{ m}^{-3}.$$

III – THÔNG TIN BỔ SUNG

1. Lịch sử của phát minh ra chất bán dẫn

Năm 1833, M. Fa-ra-đây nhận thấy bạc sunfua có tính chất điện không giống cả kim loại lẫn điện môi. Nó có hệ số nhiệt điện trở âm, tức là nhiệt độ tăng thì điện trở giảm. Nguyên nhân có thể do mật độ hạt tải tăng theo nhiệt độ. Nhiệt độ có khả năng biến electron liên kết thành hạt tải điện.

Năm 1873, W. Smit quan sát được hiện tượng giảm mạnh điện trở của selen khi được chiếu sáng bằng ánh sáng mặt trời. Ánh sáng thích hợp có thể biến electron liên kết thành hạt tải điện.

Năm 1874, F. Brao nhận thấy galen (chì sunfua) và pirit (sắt sunfua) có tính chỉnh lưu.

Chẳng bao lâu sau người ta phát hiện ra cả một họ các chất có tính chất như vậy và gọi chúng là chất bán dẫn.

Năm 1879, phát hiện ra hiệu ứng Hôn. Lấy một mẫu đo dạng hình hộp chữ nhật, ba cạnh trùng với các phương x, y, z . Khi cho dòng điện chạy theo phương x , từ trường tác dụng theo phương y thì ở hai cực đối diện trên phương z xuất hiện hiệu điện thế gọi là hiệu điện thế Hôn. Nhờ hiệu ứng này ta có thể đo được mật độ và dấu của điện tích của hạt tải điện.

Năm 1886, C. E. Frit làm ra chỉnh lưu selen.

Năm 1909, K. Ba-đê-ke dùng hiệu ứng Hôn nghiên cứu đồng iôdua một cách có hệ thống.

Năm 1914, J. Kô-nic-bec-ghe dùng hiệu ứng Hôn để nghiên cứu hàng loạt chất bán dẫn và kim loại khác. Kết quả cho thấy mật độ hạt tải trong bán dẫn nhỏ hơn trong kim loại đáng kể, nhưng độ linh động lại lớn hơn. Nhiệt độ tăng, mật độ hạt tải tăng rất nhanh. Dấu của điện tích của hạt tải trong bán dẫn có thể

dương hoặc âm, nhưng hạt tải lại không phải ion : Hạt tải điện trong bán dẫn phải có bản chất electron, và câu hỏi đặt ra là vì sao nó có thể xử sự như một hạt tích điện dương ?

Năm 1927, L. O. Grôn-đal và P.H.Gây-ghe làm ra chỉnh lưu bằng đồng ôxít. Và từ đấy người ta bắt đầu quan tâm mạnh đến nghiên cứu chất bán dẫn để áp dụng trong công nghiệp.

Năm 1928, Bloc đề ra thuyết vùng năng lượng. Thuyết vùng năng lượng có thể xem là bước đột phá quan trọng nhất giúp ta mô tả đầy đủ tính chất điện của chất bán dẫn, và mở đường cho chất bán dẫn trở thành vật liệu rất quan trọng cho công nghiệp sau này.

Năm 1931, Vác-ne nghiên cứu liên kết hoá học trong chất bán dẫn và phát hiện ra bán dẫn "dư" (nay gọi là bán dẫn loại n) và bán dẫn "khuyết" (nay gọi là bán dẫn loại p).

Năm 1949, J. Bác-đin và W. H. Brát-ten phát minh ra tranzito.

Cuối năm 1958, J. Kil-bai và đầu năm 1959, R. Nao-sơ đã độc lập với nhau làm ra mạch tổ hợp đầu tiên.

Năm 1962, R. N. Hôn và tập thể tác giả làm ra laze bán dẫn đầu tiên.

2. Electron và lỗ trống

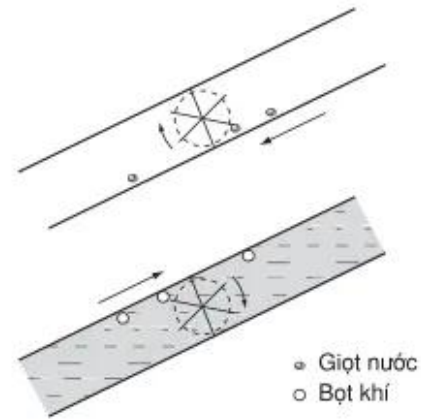
Có thể xem bán dẫn là một loại điện môi có vùng cấm hẹp, khiến chuyển động nhiệt có thể đưa một số electron từ vùng hoá trị lên vùng kích thích (lúc này vùng kích thích gọi là vùng dẫn). Kết quả là vùng dẫn và vùng hoá trị đều có electron và mức năng lượng trống, do đó electron ở cả hai vùng đều có khả năng nhận năng lượng của điện trường ngoài và tham gia vào việc dẫn điện. Tuy nhiên cách xử sự của electron ở vùng hoá trị và vùng dẫn khác hẳn nhau.

Số electron trong vùng dẫn rất nhỏ so với số mức năng lượng trong vùng, nên bên cạnh mức năng lượng đang bị electron chiếm luôn có rất nhiều mức năng lượng trống. Electron đang xét có thể liên tục nhảy từ mức năng lượng này lên mức năng lượng khác, nghĩa là chuyển động như một electron tự do, và *liên tục tham gia vào việc dẫn điện*. Chính những electron này là hạt tải điện mang điện tích âm mà ta gọi là "electron".

Số mức năng lượng trống trong vùng hoá trị rất nhỏ so với số electron trong vùng, nên hầu như không có hai mức năng lượng trống ở cạnh nhau. Sau khi một electron nhận năng lượng của điện trường để nhảy vào mức năng lượng trống này thì nó không còn khả năng nhận tiếp được năng lượng nữa, nhưng electron trước kia ở cạnh nó bây giờ lại có khả năng ấy. Thành thử từng electron thì *không tham gia liên tục vào việc dẫn điện*, mà các electron trong vùng hoá trị luân phiên nhau

làm việc này. Tuy nhiên vẫn có một đối tượng có mật suất quá trình này, đó là mức năng lượng trống, cho nên ta xem hạt tải điện trong trường hợp này là lỗ trống. Có thể mô phỏng sự dẫn điện bằng electron và lỗ trống qua hình ảnh trong Hình 17.1.

Vùng năng lượng ví như một ống kín. Vùng chứa đầy electron như một ống đầy nước. Vùng không chứa electron như một ống rỗng. Điện trường tác dụng lên electron mô phỏng bằng trọng lực tác dụng lên các hạt nước khi ống để nghiêng. Để minh họa công của dòng điện, ta đặt trong ống một chiếc chong chóng, nếu nó quay là có sinh công.



Hình 17.1

Minh họa chuyển động của electron và lỗ trống qua chuyển động của giọt nước và bọt khí.

Để nghiêng một ống đầy nước hoặc một ống rỗng, chong chóng không quay đó là hình ảnh vùng năng lượng chứa đầy electron hoặc rỗng không tham gia vào việc dẫn điện. Nếu trong ống có vài giọt nước, nước bị gia tốc theo chiều trọng trường, làm chong chóng quay. Nếu ống gần đầy nước (chỉ có vài bọt khí), ta thấy bọt khí nổi lên (bị gia tốc ngược chiều trọng trường) và cũng làm chong chóng quay. Giọt nước trong ống gần rỗng là hình ảnh của electron tự do, còn bọt khí trong ống gần đầy nước là hình ảnh của lỗ trống.

3. Cân bằng động giữa electron và lỗ trống

Electron và lỗ trống được *sinh* ra và tiêu *huỷ* thường xuyên trong chất bán dẫn. Tốc độ sinh hạt tải hầu như không phụ thuộc mật độ hạt tải, còn tốc độ huỷ hạt tải tăng theo mật độ hạt tải, vì mật độ của chúng càng cao, chúng càng nhiều cơ hội gặp nhau. Khi một lỗ trống gặp một electron, một cặp *electron – lỗ trống* biến mất. Vì thế với bán dẫn, ở mỗi nhiệt độ, mật độ electron n và lỗ trống p có giá trị xác định gọi là *mật độ hạt tải cân bằng*. Nếu cố tình làm *tăng* mật độ một loại hạt tải bằng cách pha tạp (ví dụ pha tạp đơn để làm tăng mật độ electron), quá trình huỷ làm cho mật độ hạt tải kia (bây giờ là lỗ trống) *giảm*. Kết quả :

Trong bán dẫn tinh khiết i , $n = p = n_i = p_i$.

Trong bán dẫn loại p , $p = p_p \approx N_A \gg p_i \gg n_p$.

Trong bán dẫn loại n , $n = n_n \approx N_D \gg n_i \gg p_n$.

Nếu dùng tác nhân vật lí để nhất thời làm mật độ hạt tải tăng cao hơn mật độ cân bằng (ví dụ trong bán dẫn loại p ta tạo ra $n = n_p + \Delta n_0 > n_p$), khi tác nhân ấy

mất đi, quá trình huỷ sẽ làm mật độ hạt tải dư Δn suy giảm theo thời gian theo quy luật $\Delta n = \Delta n_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, với hằng số thời gian τ (gọi là thời gian sống của hạt tải dư) nhỏ hơn miligiây. Trong thời gian ấy các hạt tải dư đi được quãng đường L nhỏ hơn milimét (gọi là quãng đường khuếch tán của hạt tải dư).

Trong tranzito $n-p-n$ ta yêu cầu độ dày d_p của miền p nhỏ nhằm thoả mãn điều kiện $d_p \ll L$; Khi ấy hầu hết electron từ emitter phun vào bazơ có thể đến được collector.

Dòng điện ngược của lớp chuyển tiếp $p-n$

Khi lớp chuyển tiếp $p-n$ phân cực theo chiều ngược, các lỗ trống ở miền p và electron ở miền n không đến được miền nghèo. Trái lại electron ở miền p và lỗ trống ở miền n thì đến được, và sinh ra dòng ngược (dòng bão hoà) I_S . Vì p_n và n_p rất nhỏ, chỉ tùy thuộc nhiệt độ và mức độ pha tạp của các miền n và p , nên dòng ngược không phụ thuộc vào thế phân cực lớp chuyển tiếp $p-n$.

Trong thực tế, ở miền nghèo luôn có quá trình sinh và huỷ hạt tải, nhưng quá trình huỷ có thể bỏ qua vì mật độ hạt tải ở đây rất nhỏ. Những hạt tải mới sinh cũng tạo thêm dòng điện ngược của lớp chuyển tiếp. Điện áp phân cực ngược càng cao, vùng nghèo càng dày, thành phần dòng này càng tăng, nên thực tế dòng ngược tăng theo điện áp phân cực ngược.

Lưu ý : Khi điốt phân cực thuận, trong miền n có lỗ trống dư, trong miền p có electron dư với mật độ đáng kể. Khi đột ngột đổi chiều phân cực các hạt tải dư có thể đổi chiều chuyển động và chạy qua lớp chuyển tiếp $p-n$ làm cho trong một thời gian ngắn dòng ngược có giá trị lớn. Đó là nguyên nhân khiến điốt bán dẫn không chỉnh lưu được dòng điện xoay chiều tần số quá lớn.

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

1. Khi dạy và học bài này cần lưu ý điều chỉnh lại một số hiểu biết không chính xác của HS về chất bán dẫn :

- Bán dẫn không phải vật liệu chỉ cho điện chạy theo một chiều.
- Bán dẫn không phải luôn luôn có hệ số nhiệt điện trở âm.

2. Nói về chuyển động của lỗ trống nên lấy hình ảnh của nước chảy trong một ống nghiêng : thực tế chỉ có trọng lực làm nước chảy từ trên xuống dưới, nhưng khi nhìn ống nước ta thấy :

- Nếu ít nước thì nước chảy từ trên xuống dưới.

– Nếu ống gần đầy nước thì thấy bọt khí (chỗ trống) chảy từ dưới lên trên.

Bài này được dạy trong hai tiết. Có thể phân bố nội dung trong hai tiết đó như sau :

Tiết thứ nhất : I – Chất bán dẫn và tính chất

II – Hạt tải điện trong chất bán dẫn. Bán dẫn loại n và bán dẫn loại p

Tiết thứ hai : III – Lớp chuyển tiếp $p-n$

IV – Điốt bán dẫn và mạch chỉnh lưu dùng điốt bán dẫn

V – Tranzito lưỡng cực $n-p-n$. Cấu tạo và nguyên lí hoạt động

3. Mục I (Chất bán dẫn và tính chất).

Các chất bán dẫn (tinh khiết và tạp chất) có giá trị điện trở suất nằm trung gian giữa điện trở suất của kim loại và điện trở suất của điện môi. Do đó, người ta mới dùng thuật ngữ "bán dẫn" (semiconductor). Tuy nhiên, không phải mọi chất có điện trở suất trung gian giữa điện trở suất của kim loại và của điện môi đều là chất bán dẫn.

Tính chất này được dùng để nhận biết chất bán dẫn. Hai tính chất đặc thù còn lại là : điện trở suất của chất bán dẫn phụ thuộc rất mạnh vào nồng độ tạp chất và điện trở suất của bán dẫn không có tạp chất giảm nhanh khi nhiệt độ tăng.

Phương pháp dạy học phù hợp cho mục này là cho HS đọc SGK kết hợp với việc trả lời câu hỏi của GV.

4. Mục II (Hạt tải điện trong chất bán dẫn. Bán dẫn loại n và bán dẫn loại p).

Đây là một nội dung khó của bài. Do đó phải chú ý đặt những câu hỏi gợi mở để HS nắm được những nội dung chính. Đó là :

– Đối với bán dẫn tinh khiết, cứ có một electron dẫn là có một lỗ trống tự do đi kèm. Hạt tải điện trong chất bán dẫn tinh khiết vừa là electron, vừa là lỗ trống.

– Đối với bán dẫn tạp chất thì có hai loại : bán dẫn loại n và bán dẫn loại p .

– Bán dẫn loại n là một bán dẫn tinh khiết có pha tạp bằng những nguyên tử có số electron hoá trị lớn hơn số electron hoá trị của nguyên tử chất bán dẫn tinh khiết, electron thừa sẽ tham gia dẫn điện. Ví dụ : silic (Si) pha tạp photpho (P) là bán dẫn loại n . Các nguyên tử tạp chất trong trường hợp này gọi là tạp chất cho hay đono.

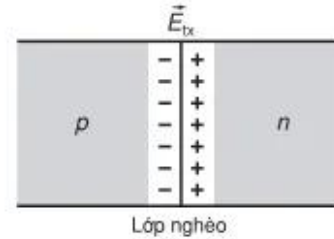
– Bán dẫn loại p là một bán dẫn tinh khiết có pha tạp bằng những nguyên tử có số electron hoá trị nhỏ hơn số electron hoá trị của nguyên tử chất bán dẫn tinh khiết. Nguyên tử tạp chất này sẵn sàng chiếm một electron liên kết của nguyên tử bên cạnh tạo ra một lỗ trống tự do. Ví dụ : silic (Si) pha tạp bo (B). Các nguyên tử tạp chất này gọi là tạp chất nhận hay axepcto.

5. Mục III (Lớp chuyển tiếp $p-n$).

Đây là một mục khó nhất trong bài. HS sẽ hiểu được hoạt động của lớp chuyển tiếp $p-n$, nếu nắm được quá trình hình thành lớp đó.

Ở trình độ phổ thông, có thể giải thích sự hình thành lớp chuyển tiếp $p-n$ theo mô hình đơn giản dưới đây.

Khi chất bán dẫn loại n tiếp xúc với chất bán dẫn loại p thì electron ở bán dẫn loại n sẽ khuếch tán sang bán dẫn loại p , hình thành một lớp điện tích dương trong bán dẫn loại n (Hình 17.2). Ngược lại, lỗ trống trong bán dẫn loại p cũng khuếch tán sang bán dẫn loại n , để lại một lớp điện tích âm trong bán dẫn loại p . Tại chỗ tiếp xúc hình thành điện trường tiếp



Hình 17.2

xúc \vec{E}_{tx} hướng từ lớp điện tích dương (trong miền n) đến lớp điện tích âm (trong miền p). Điện trường này đẩy mọi hạt tải điện tại đây đi nơi khác, dẫn đến giữa hai lớp điện tích trên hầu như không có hạt tải điện tự do. Ta gọi lớp này là lớp nghèo.

Như vậy ở lớp chuyển tiếp $p-n$ có một lớp nghèo ; một nửa lớp nghèo tích điện dương, nửa kia tích điện âm. Trong lớp nghèo có điện trường \vec{E}_{tx} .

Trong lớp nghèo luôn có hai dòng điện chạy qua : Dòng khuếch tán I_{kt} (chạy từ miền p sang miền n) sinh ra do lỗ trống khuếch tán từ miền p sang miền n và electron khuếch tán từ miền n sang miền p . Dòng cuốn trôi I_{tr} sinh ra do điện trường tiếp xúc \vec{E}_{tx} đẩy lỗ trống từ miền n sang miền p và đẩy electron từ miền p sang miền n . Khi không có nguồn điện ngoài, hai dòng điện này bù trừ lẫn nhau, nên dòng điện tổng cộng bằng không. Ta bảo điện trường \vec{E}_{tx} có tác dụng làm vô hiệu hoá sự khuếch tán của electron từ bán dẫn loại n qua lớp nghèo sang bán dẫn loại p , cũng như sự khuếch tán của lỗ trống qua lớp nghèo sang bán dẫn loại n .

Khi đặt điện trường ngoài \vec{E}_n hướng từ bán dẫn loại p sang bán dẫn loại n (tức là ngược chiều với điện trường \vec{E}_{tx}) thì tác dụng của điện trường \vec{E}_{tx} sẽ giảm đi, do đó dòng electron khuếch tán từ n sang p và lỗ trống từ p sang n vượt trội so với dòng cuốn trôi. Điều đó có nghĩa là khi đặt điện trường ngoài theo chiều từ p sang n thì sẽ có dòng điện chạy theo chiều điện trường. Chiều của điện trường ngoài lúc đó gọi là chiều thuận. Sự đặt các điện cực ngoài theo chiều này (cực (+) nối với bán dẫn loại p ; cực (-) nối với bán dẫn loại n) gọi sự phân cực thuận lớp chuyển tiếp.

Ngược lại, nếu cho lớp chuyển tiếp $p-n$ phân cực ngược, tức là cực (+) của nguồn nối với bán dẫn loại n , cực (-) của nguồn nối với bán dẫn loại p thì điện trường \vec{E}_n sẽ cùng chiều với điện trường \vec{E}_{tx} và làm cho electron và lỗ trống càng khó khuếch tán qua lớp nghèo. Trong sự phân cực ngược thì hầu như không có dòng điện chạy qua lớp chuyển tiếp.

Phương pháp dạy học thích hợp nhất cho mục này là giảng giải và minh họa bằng những hình ảnh cụ thể kết hợp với phát vấn.

6. Mục IV (Điốt bán dẫn và mạch chỉnh lưu dùng điốt bán dẫn).

Nội dung mục này là sự ứng dụng trực tiếp của mục trên. Ngoài ra, kiến thức về "mạch cầu chỉnh lưu" không phải là trọng tâm của bài học (sẽ học lại lớp 12). Vì vậy, có thể cho HS về nhà tự đọc mục này.

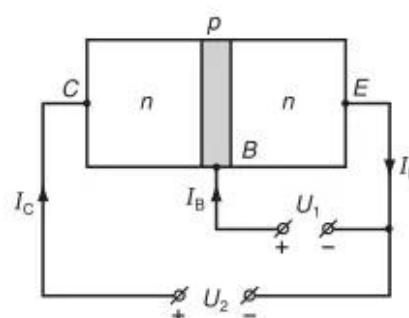
7. Mục V (Tranzito lưỡng cực $n-p-n$. Cấu tạo và nguyên lí hoạt động).

Điểm đặc biệt trong cấu tạo của tranzito lưỡng cực là có một lớp bán dẫn loại p rất mỏng nằm kẹp giữa hai khối bán dẫn loại n (Hình 17.3).

Điểm đặc biệt trong hoạt động của tranzito là hiệu ứng tranzito. Đó là sự phun của dòng electron từ lớp n nối với êmitơ E xuyên qua lớp p đến lớp n nối với colectơ C , làm giảm điện trở của lớp tiếp xúc colectơ – đáy phân cực ngược.

Lớp chuyển tiếp $p-n$ giữa bazơ và êmitơ được nối theo chiều thuận. Lúc đó sẽ có một dòng electron chạy theo chiều từ êmitơ đến bazơ. Tuy nhiên, trong dòng electron này chỉ có một phần nhỏ chạy đến cực bazơ, tạo thành dòng bazơ I_B .

Phần lớn dòng electron này chạy sang cực colectơ, tạo thành dòng colectơ I_C , với $I_C \gg I_B$.



Hình 17.3

$$\text{Đặt : } \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

β gọi là hệ số khuếch đại dòng. Như vậy, nếu ta đưa một tín hiệu nhỏ cần khuếch đại vào mạch bazơ $E-B$ thì ta sẽ thu được một tín hiệu lớn ở mạch colectơ $E-C$.

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

V – TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

C1. $\rho_{\text{kim loại}} \ll \rho_{\text{gemani } 10^{-3}\% \text{ tạp}} \ll \rho_{\text{gemani } 10^{-6}\% \text{ tạp}} \ll \rho_{\text{gemani } 0\% \text{ tạp}}$

C2. Các ion dương và âm có mặt ở lớp nghèo là do kết quả của sự ra đi của electron và lỗ trống từ các mặt bên đó vào trong lớp nghèo và tái hợp với nhau.

C3. Được, đó là tranzito $p-n-p$.

1. Xem SGK.

2. Số electron hoá trị của tạp donor lớn hơn 4, của tạp acceptor nhỏ hơn 4.

3. Trong bán dẫn tinh khiết một cặp electron và lỗ trống sinh ra khi có một electron chuyển từ trạng thái liên kết sang trạng thái tự do. Trong bán dẫn loại n và loại p ngoài cơ chế trên, electron còn do tạp donor giải phóng ra, và lỗ trống do tạp acceptor lấy electron liên kết từ các nguyên tử lân cận.

4. Dòng điện (cường độ lớn) chỉ chạy qua lớp chuyển tiếp $p-n$ theo chiều từ p sang n .

5. Khi lớp p đủ mỏng.

6. D.

7. D.