

23 DÒNG ĐIỆN TRONG CHẤT BÁN DẪN

I - Mục tiêu

– Trình bày được các tính chất điện đặc biệt của chất bán dẫn làm cho nó được xếp vào một loại vật dẫn riêng, khác với vật dẫn quen thuộc là kim loại.

- Hiểu được các hạt tải điện là electron tự do và lỗ trống và giải thích được cơ chế tạo thành các hạt tải điện đó trong bán dẫn tinh khiết.
- Giải thích được tác dụng của tạp chất làm thay đổi một cách cơ bản tính chất điện của bán dẫn. Bằng cách pha tạp chất thích hợp, người ta có thể tạo nên bán dẫn loại n và loại p với nồng độ hạt tải mong muốn.
- Trình bày được sự hình thành lớp chuyển tiếp $p-n$ và giải thích được tính chất chính lưu của lớp chuyển tiếp $p-n$.

II - Chuẩn bị

Giáo viên

Bản vẽ minh họa tính dẫn điện của bán dẫn, dòng điện qua lớp chuyển tiếp $p-n$.

Học sinh

Xem lại bài về dòng điện trong kim loại.

III - Những điều cần lưu ý

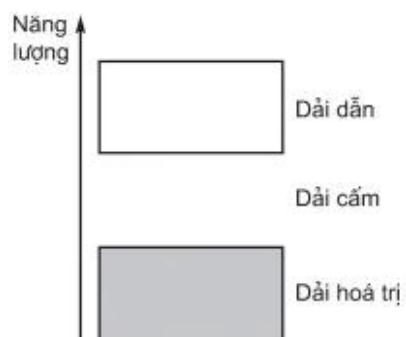
1. Bán dẫn là một loại vật liệu dẫn điện. Khi khảo sát các tính chất điện của bán dẫn, người ta thường so sánh chúng với các tính chất điện của kim loại, là loại vật dẫn điện quen thuộc hơn. Một sự khác biệt dễ nhận thấy là kim loại thường dẫn điện tốt hơn bán dẫn. Tuy nhiên, có những hợp kim có điện trở suất khá lớn và cũng có những trường hợp mà bán dẫn có điện trở suất nhỏ. Vì vậy sự phân biệt dựa vào điện trở suất chỉ có tính chất tương đối. Theo tiêu chuẩn này, thì không có ranh giới rõ rệt giữa kim loại và điện môi, cũng như giữa điện môi và bán dẫn. Để phân biệt kim loại và bán dẫn rõ rệt hơn, người ta dựa vào sự phụ thuộc của điện trở suất vào nhiệt độ : kim loại có điện trở suất tăng theo nhiệt độ, còn bán dẫn lại có điện trở suất giảm mạnh khi nhiệt độ tăng. Điện trở suất của điện môi cũng giảm khi nhiệt độ tăng. Tuy nhiên với điện môi, cần phải nâng nhiệt độ lên khá cao thì mới nhận thấy sự giảm của điện trở.

Cũng nên lưu ý rằng đối với bán dẫn pha tạp, thì có thể xảy ra là trong một phạm vi nhiệt độ không rộng lắm, điện trở suất tăng khi nhiệt độ tăng.

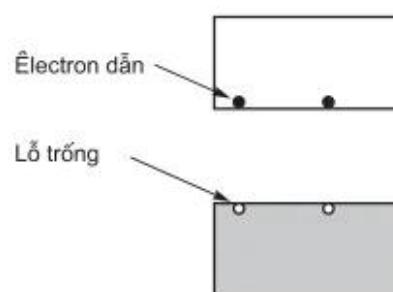
2. Theo lí thuyết hiện đại (tức là lí thuyết lượng tử) về chất rắn, còn được gọi là *lý thuyết dải* (hay *vùng*) *năng lượng*, thì điện môi và bán dẫn có cấu trúc các dải năng lượng (hay vùng năng lượng) giống nhau. Ở nhiệt độ rất thấp, xấp xỉ 0 K, dải năng lượng cao nhất bị chiếm bởi electron là một dải đầy, gọi là *dải hoá trị*. Dải năng lượng cao hơn là một dải trống, không có electron, gọi là *dải dẫn*. Giữa dải hoá trị và dải dẫn là *dải cấm*, trong đó không thể có electron (Hình 23.1).

Ở nhiệt độ cao hơn 0 K, một số electron thu được năng lượng cần thiết, sẽ vượt qua dải cấm và nhảy lên chiếm phần đáy của dải dẫn (Hình 23.2). Những electron này có thể nhận các giá trị năng lượng khác nhau bên trong dải dẫn khi có điện trường ngoài đặt vào bán dẫn: chúng là những electron dẫn. Các trạng thái ở đỉnh dải hoá trị bị thiếu electron là các lỗ trống. Các lỗ trống có thể thay đổi năng lượng của mình trong dải hoá trị và vì thế cũng tham gia vào dẫn điện. Nhiệt độ càng cao thì số cặp electron-lỗ trống càng lớn và điện trở suất của bán dẫn càng nhỏ.

Để dễ hiểu về tính chất của lỗ trống, ta có thể so sánh nó với một cái bọt khí trong chất lỏng: bọt khí là khu vực mà ở đó không có (thiếu) chất lỏng. Bình thường thì bọt nước nổi lên phía trên chất lỏng, đó là vì ở đó thế năng của bọt khí là nhỏ nhất. Tương tự, lỗ trống chiếm các mức năng lượng ở đỉnh của dải hoá trị. Khi thu được thêm năng lượng (chẳng hạn do điện trường ngoài cung cấp), lỗ trống chuyển đến các mức năng lượng cao hơn (nhưng lại ở phía dưới của dải hoá trị). Còn electron, khi nhảy lên dải dẫn và trở thành electron dẫn thì chiếm các mức năng lượng ở đáy dải, ứng với năng lượng thấp nhất. Nếu thu thêm được năng lượng, electron dẫn chuyển lên các mức trên có năng lượng cao hơn trong dải dẫn.



Hình 23.1 Dải năng lượng của bán dẫn ở nhiệt độ $T = 0$ K.
Trục tung biểu thị năng lượng của electron.



Hình 23.2 Sự phân bố electron trong các dải năng lượng khi nhiệt độ $T > 0$ K.
Các hình tròn đen biểu thị electron dẫn.
Các vòng tròn biểu thị lỗ trống.

– Nếu chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp vào bán dẫn, thì ta cũng có thể cung cấp cho electron một lượng năng lượng đủ để nó nhảy từ dải kinh điện lên dải kinh. Khi đó số lượng hạt tải điện trong bán dẫn tăng lên và điện trở suất của bán dẫn giảm đi. Đó chính là *hiện tượng quang dẫn*. Bước sóng λ phải thoả mãn điều kiện là năng lượng phôtôen $\frac{hc}{\lambda}$ bằng hoặc lớn hơn bề rộng dải cấm mới gây nên hiện tượng quang dẫn (h là hằng số Plaing, c là tốc độ ánh sáng trong chân không), nghĩa là bước sóng phải nhỏ hơn một giá trị nào đó, tuỳ thuộc vào từng bán dẫn.

– Theo lí thuyết dải năng lượng, thì bán dẫn và điện môi có các dải năng lượng bố trí giống nhau. Sự khác nhau chỉ là ở bề rộng của dải cấm : Ở điện môi, dải cấm có bề rộng lớn hơn ở bán dẫn. Chính vì thế mà độ dẫn điện của điện môi chỉ giảm đáng kể khi nhiệt độ khá cao, vì chỉ khi đó mới có số electron đáng kể thu được năng lượng đủ để vượt qua dải cấm. Không có ranh giới rõ ràng giữa bán dẫn và điện môi, tuy nhiên trong nhiều trường hợp, người ta quy ước coi các vật liệu có bề rộng dải cấm lớn hơn 3 eV là điện môi, còn dưới 3 eV là bán dẫn.

– Theo lí thuyết dải năng lượng, thì ở các kim loại, dải năng lượng cao nhất bị chiếm bởi electron là một *dải chưa đầy*. Các electron trong dải này có thể chuyển lên các mức năng lượng cao hơn trong dải, khi có điện trường ngoài đặt vào kim loại. Chúng là các electron kinh. Khi nhiệt độ tăng lên, số electron không tăng lên. Nhưng nhiệt độ càng cao thì dao động của mạng tinh thể kim loại càng mạnh, do đó chuyển động của electron kinh càng bị cản trở. Kết quả là điện trở của kim loại tăng khi nhiệt độ tăng.

– Có thể thấy rằng cách giải thích như trình bày trong sách giáo khoa và cách giải thích theo lí thuyết dải năng lượng về vật rắn đưa đến cùng những nhận xét về tính kinh điện của bán dẫn, về sự phụ thuộc của điện trở suất bán dẫn và kim loại vào nhiệt độ. Tuy nhiên, khi muốn xác định các tính chất vật lí một cách định lượng, chính xác, thì cần sử dụng lí thuyết lượng tử.

3. Một điểm cần nhấn mạnh khi khảo sát bán dẫn là các tính chất kinh điện của bán dẫn phụ thuộc rất nhiều vào các tạp chất có mặt trong bán dẫn. Tạp chất được pha vào bán dẫn làm tăng số hạt tải điện. Tuỳ thuộc tạp chất mà những hạt tải điện tăng thêm đó là electron hay lỗ trống.



Hình 23.3 Trong kim loại, dải năng lượng bị chiếm cao nhất là một dải chưa đầy.

Chẳng hạn, nếu ta pha phôtpho vào bán dẫn silic, thì tạp chất này làm tăng số electron, nhưng không làm tăng số lỗ trống.

Như vậy, việc pha tạp chất vào bán dẫn tinh khiết không những làm tăng mạnh số lượng các hạt tải điện, mà còn làm thay đổi số lượng tương đối của hai loại hạt tải : electron và lỗ trống, và do đó làm thay đổi loại bán dẫn, chuyển từ bán dẫn tinh khiết, hay bán dẫn riêng, còn gọi là *bán dẫn loại i* (từ tiếng Anh intrinsic có nghĩa là riêng) sang loại *p* hoặc *n*.

Có những trường hợp bán dẫn chứa vài ba loại tạp chất, trong đó có tạp chất tạo ra electron, có tạp chất tạo ra lỗ trống. Khi đó loại của bán dẫn (loại *p* hoặc loại *n*) và nồng độ hạt tải điện tuỳ thuộc vào tương quan nồng độ giữa các loại tạp chất. Người ta lợi dụng tính chất này để thay đổi loại của bán dẫn và nồng độ hạt tải điện, thông qua việc pha các tạp chất một cách thích hợp.

– Theo lí thuyết lượng tử về chất rắn, nếu ta pha phôtpho (P) vào bán dẫn Si, thì tạp chất P tạo thành một mức năng lượng nằm trong dải cấm, rất gần đáy của dải dẫn gọi là *mức tạp chất* (Hình 23.4).

Khoảng cách từ mức tạp chất đến đáy dải dẫn chính là năng lượng cần thiết để electron ở nguyên tử tạp chất bứt ra khỏi nguyên tử và trở thành electron dẫn, tức là để electron chuyển từ mức tạp chất lên dải dẫn. Khi đó, nguyên tử tạp chất trở thành ion dương, và ta nói rằng tạp chất đã bị ion hoá. Tạp chất, như loại ta đang xét, làm nhiệm vụ cung cấp electron cho dải dẫn nên được gọi là *tạp chất cho* hay *tạp chất ônô* (từ tiếng Anh *dono* có nghĩa là cho). Như vậy tạp chất ônô làm phát sinh electron dẫn mà không tạo ra lỗ trống. Do đó, trong bán dẫn, số electron lớn hơn số lỗ trống rất nhiều, và bán dẫn là bán dẫn loại *n* (từ tiếng Anh *negative* nghĩa là âm, để nói rằng các hạt tải điện đa số mang điện tích âm).

Khi pha bo (B) vào bán dẫn Si, thì tạp chất này tạo thành mức tạp chất nằm trong dải cấm, nhưng rất gần đỉnh dải hoá trị. Electron ở dải hoá trị chỉ cần có năng lượng bằng khoảng cách từ đỉnh dải hoá trị đến mức tạp

Mức tạp chất ônô



Hình 23.4 Phôtpho pha vào Si tạo thành mức tạp chất ônô nằm trong dải cấm, nhưng rất gần đáy dải dẫn.

Mức tạp chất axepto



Hình 23.5 Bo pha vào Si tạo thành mức tạp chất axepto nằm trong dải cấm, nhưng rất gần đỉnh dải hoá trị.

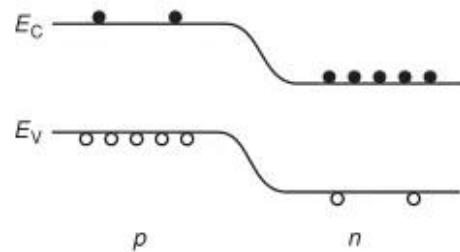
chất là có thể chuyển lên mức tạp chất và do đó tạo thành lỗ trống trong dải hoà trị. Khi đó nguyên tử tạp chất bị ion hoá. Tạp chất loại ta đang xét có nhiệm vụ tiếp nhận electron từ dải hoà trị để tạo thành lỗ trống nên được gọi là tạp chất nhận hay *雜質接受子* (từ tiếng Anh *acceptor* có nghĩa là nhận). Tạp chất acceptor tạo ra lỗ trống mà không tạo ra electron. Do đó trong bán dẫn, số lỗ trống lớn hơn số electron rất nhiều, và bán dẫn là *bán dẫn loại p* (từ tiếng Anh *positive*, để nói rằng các hạt tải điện đa số mang điện tích dương).

– Khoảng cách giữa các mức tạp chất và các dải tương ứng thường là rất nhỏ, cỡ phần trăm eV. Do đó, ngay cả ở những nhiệt độ rất thấp, khoảng vài chục kenvin, thì các hạt tải do tạp chất tạo nên đã tồn tại trong bán dẫn và các nguyên tử tạp chất đã bị ion hoá, trong khi mà số các hạt tải điện do sự dẫn điện riêng gây ra còn rất ít. Ở khu vực nhiệt độ cao hơn, như ở nhiệt độ phòng, thì trong những bán dẫn thông dụng (như Si, có bề rộng dải cấm 1,1 eV) sự dẫn điện riêng còn yếu, vì vậy sự dẫn điện do tạp chất vẫn quyết định. Ở nhiệt độ cao hơn nữa (chẳng hạn, trên 150°C với bán dẫn Si), thì sự dẫn điện riêng chiếm ưu thế. Khi đó các linh kiện dựa trên lớp chuyển tiếp *p-n* không làm việc được nữa (vì sự khác nhau giữa bán dẫn loại *p* và loại *n* hầu như không còn nữa).

Trong khoảng nhiệt độ tương đối thấp, mà ở đó các tạp chất đã ion hoá hết nhưng sự dẫn điện riêng còn rất yếu, thì có thể xảy ra tình huống là khi nhiệt độ tăng, điện trở suất của bán dẫn tăng. Đó là vì trong những trường hợp này, khi nhiệt độ tăng, số lượng hạt tải (do sự tạo thành các cặp electron-lỗ trống gây nên) hầu như không tăng, nhưng cản trở do dao động mạng gây nên đổi với chuyển động của các hạt tải lại tăng lên mạnh.

4. Lớp chuyển tiếp *p-n* là cơ sở cho rất nhiều ứng dụng của bán dẫn. Tuyệt đại đa số các dụng cụ bán dẫn đều gồm các lớp chuyển tiếp *p-n*.

Theo lí thuyết dải năng lượng, thì khi hình thành lớp chuyển tiếp *p-n*, các dải năng lượng bị cong đi ở lớp chuyển tiếp (xem Hình 23.6). Trên hình, ta chỉ rõ đáy của dải dẫn (kí hiệu là E_c) và đỉnh của dải hoà trị (kí hiệu là E_v). Giữa hai phía của lớp chuyển tiếp có sự chênh lệch về năng lượng của các electron, cũng như của các lỗ trống.



Hình 23.6. Sơ đồ dải năng lượng của lớp chuyển tiếp *p-n*.

Sở dĩ như vậy là vì có sự chênh lệch điện thế giữa hai phía của lớp chuyển tiếp, ứng với điện thế cao ở phía bán dẫn n , điện thế thấp ở phía p . Hiệu điện thế này, gọi là *hiệu điện thế tiếp xúc* giữa hai loại bán dẫn, liên hệ với điện trường trong \vec{E}_t ở lớp chuyển tiếp có chiều từ p sang n .

Dựa vào hình vẽ, ta có thể thấy ở phía bán dẫn loại p có rất ít electron (vì chúng là các hạt tải điện thiểu số), nhưng chúng lại có năng lượng cao. Chúng có xu hướng chuyển sang phía n , vì bên đó năng lượng của chúng thấp hơn. Còn ở phía bán dẫn loại n thì số lượng electron lớn, nhưng năng lượng của các electron này lại thấp. Vì electron ở bên n có số lượng lớn, có mật độ cao, nên chúng có xu hướng khuếch tán sang phía p là nơi có mật độ electron thấp. Ở điều kiện cân bằng, dòng chuyển động của electron từ p sang n và từ n sang p là như nhau, do đó dòng tổng cộng bằng không.

Đối với lỗ trống, ta cũng có thể lập luận một cách tương tự (nhưng cần lưu ý rằng năng lượng của lỗ trống tăng lên khi đi xuống phía dưới trong dải hoá trị). Tóm lại là ở điều kiện cân bằng, khi không có hiệu điện thế đặt vào lớp chuyển tiếp, thì dòng tổng cộng của electron và của lỗ trống đều bằng không, tức là không có dòng điện qua lớp chuyển tiếp.

5. Khi ta đặt hiệu điện thế thuận vào lớp chuyển tiếp, tức là mắc cực dương của nguồn điện vào phía p và cực âm vào phía n , thì điện trường ngoài \vec{E}_n do nguồn điện gây nên ngược chiều với điện trường trong \vec{E}_t . Khi đó, hiệu điện thế giữa hai phía lớp chuyển tiếp giảm đi, làm cho *chênh lệch về năng lượng của electron và lỗ trống giữa hai phia giảm đi*. Điều này làm tăng cường chuyển động của các hạt tải điện đa số ở cả phía bán dẫn p và bán dẫn n . Kết quả là qua lớp chuyển tiếp, có dòng điện thuận do các hạt đa số gây nên, có cường độ lớn và có chiều từ p sang n . Hiệu điện thế thuận tăng lên, thì chênh lệch điện thế giữa hai phia giảm đi và dòng điện thuận tăng lên nhanh chóng.

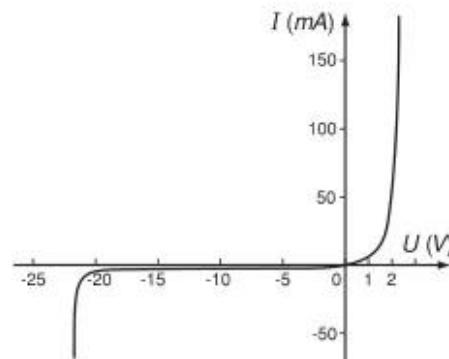
Khi ta đặt hiệu điện thế ngược vào lớp chuyển tiếp, điện trường ngoài cùng chiều với điện trường trong, hiệu điện thế giữa hai phia của lớp chuyển tiếp tăng lên. Sự chuyển động của các hạt tải điện đa số bị ngăn chặn, sự chuyển động của các hạt tải điện thiểu số được tăng cường. Tuy nhiên, do số lượng các hạt tải điện thiểu số là rất nhỏ, nên dòng điện ngược có cường độ nhỏ. Dòng điện này giữ giá trị không đổi dù cho hiệu điện thế ngược tăng.

Như vậy, lớp chuyển tiếp chỉ dẫn điện một cách đáng kể theo một chiều. Ta nói nó có tính chất chỉnh lưu. Tên gọi này xuất phát từ một ứng dụng của lớp chuyển tiếp trong việc biến dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều, gọi là chỉnh lưu (có nghĩa là nắn dòng điện). Để đặc trưng cho tính chất chỉnh lưu của lớp chuyển tiếp $p-n$, người ta dùng *hệ số chỉnh lưu*, được xác định bằng tỉ số cường độ dòng thuận và dòng ngược ứng với cùng một trị số của hiệu điện thế.

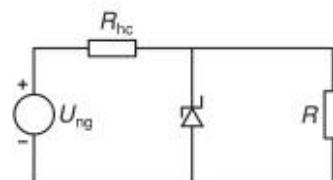
– Sự phụ thuộc của dòng điện vào hiệu điện thế, cả về dấu và độ lớn, ở lớp chuyển tiếp $p-n$, được biểu diễn bằng đồ thị gọi là đặc tuyến vôn-ampe (Hình 23.12 SGK). Trong thực tế, người ta chỉ sử dụng diốt phân cực thuận đến giá trị hiệu điện thế thuận cỡ một vài volt. Đó là vì, với điện thế thuận cao hơn, dòng điện thuận có giá trị rất lớn, làm hỏng lớp chuyển tiếp.

Khi diốt phân cực ngược, dòng ngược rất nhỏ và hầu như không tăng theo hiệu điện thế. Tuy nhiên, nếu hiệu điện thế ngược quá lớn, điện trường trong E_t ở lớp chuyển tiếp quá lớn, thì sẽ xảy ra hiện tượng "đánh thủng" lớp chuyển tiếp và dòng ngược tăng lên mạnh (Hình 23.7). Nói chung, khi đó lớp chuyển tiếp bị hỏng.

– Trong một số loại diốt, người ta có thể làm cho sự đánh thủng không làm hỏng lớp chuyển tiếp (còn gọi là đánh thủng thuận nghịch). Đó là những diốt Ze-nơ, được dùng để ổn định điện áp. Nếu nhìn vào Hình 23.7, ta thấy khi xảy ra sự đánh thủng, thì dòng điện tăng nhanh, nhưng hiệu điện thế lại ít thay đổi. Người ta chế ra các diốt có hiệu điện thế đánh thủng khác nhau, dùng để ổn định các giá trị điện áp khác nhau. Sơ đồ một mạch ổn áp đơn giản được vẽ trên Hình 23.8. Khi hiệu điện thế của nguồn điện U_{ng} thay đổi nhưng vẫn cao hơn điện áp đánh thủng của diốt Ze-nơ, thì ở hai đầu của diốt, cũng tức là trên điện trở tải R luôn có điện áp ổn định, bằng điện áp đánh thủng của diốt.



Hình 23.7 Đặc tuyến vôn-ampe của lớp chuyển tiếp $p-n$. Khi hiệu điện thế ngược khá lớn, sẽ xảy ra hiện tượng đánh thủng và dòng ngược tăng mạnh.



Hình 23.8 Sơ đồ ổn áp dùng diốt Ze-nơ.

6. Khi dạy bài này, nên làm các thí nghiệm về sự giảm điện trở của bán dẫn khi nhiệt độ tăng để nhấn mạnh tính chất đặc biệt đó của bán dẫn. Có thể dùng một nhiệt điện trở bán dẫn mắc nối tiếp với một ampe kế và một bóng đèn, rồi mắc vào một nguồn điện. Khi đóng kín mạch, dòng điện rất nhỏ, đèn không sáng. Nhưng nếu đưa ngọn lửa que diêm lại gần nhiệt điện trở, thì dòng điện tăng lên và đèn sáng dần lên. Cần chọn loại nhiệt điện trở có kích thước nhỏ, có điện trở ở nhiệt độ phòng dưới $100\ \Omega$ thì đèn mới có thể sáng được khi ta đốt nóng nhiệt điện trở.

Nếu có điều kiện, cũng nên cho học sinh xem thí nghiệm về quang điện trở bán dẫn. Mạch điện tương tự như với nhiệt điện trở, nhưng không mắc bóng đèn. Khi đưa quang điện trở ra chỗ sáng, hoặc chiếu đèn pin vào nó, thì dòng điện qua ampe kế tăng lên.

IV - Gợi ý về phương pháp và tổ chức hoạt động dạy học

1. Tính chất điện của bán dẫn

Đây là lần đầu tiên HS được tìm hiểu tương đối sâu về bán dẫn. Vì vậy cần làm cho HS thấy rõ các tính chất đặc trưng của bán dẫn và sự khác biệt của bán dẫn so với các vật liệu điện đã quen thuộc như kim loại, điện môi. Cần nhấn mạnh sự giảm rõ rệt của điện trở suất bán dẫn khi nhiệt độ tăng và ảnh hưởng mạnh của tạp chất (loại tạp chất và lượng tạp chất) lên tính chất dẫn điện của bán dẫn (loại hạt tải điện và số lượng hạt tải điện, điện trở suất...). Cần nêu các tính chất này để chuẩn bị cho việc giải thích chúng trong các phần sau.

2. Sự dẫn điện của bán dẫn tinh khiết

Khi khảo sát sự dẫn điện của bán dẫn, cần làm cho học sinh hiểu trong bán dẫn có *hai loại hạt tải điện*, đó là electron tự do và lỗ trống. Cơ chế hình thành các hạt tải điện trong bán dẫn cần được làm rõ, vì đây chính là nguồn gốc của sự khác biệt giữa bán dẫn và kim loại.

– Bán dẫn mà ta xét là những vật rắn có cấu tạo tinh thể. Căn cứ vào cấu tạo tinh thể của bán dẫn silic, có thể thấy là ở nhiệt độ thấp, electron bị liên kết chặt chẽ với nguyên tử và do đó không có electron tự do ; vì vậy bán dẫn là một điện môi. Ở đây có thể liên hệ với các kiến thức hoá học : khi lớp điện tử ngoài cùng là lớp đầy, thì nguyên tử rất khó tham gia phản ứng hoá học, tức là ít có khả năng mất bớt hay nhận thêm electron. Chính sự kết hợp của các nguyên tử Si thành tinh thể Si thông qua các mối liên kết cộng hoá trị đã tạo nên tình huống là quanh mỗi nguyên tử Si dường như có 8 electron, tức là có một lớp electron đầy.

Muốn bứt electron ra khỏi nguyên tử để tạo thành electron tự do, tham gia vào sự dẫn điện, thì cần tốn năng lượng. Có thể cung cấp năng lượng bằng cách tăng nhiệt độ của tinh thể, tức là làm tăng nội năng của nó. Do vậy, khi nhiệt độ trên 0 K, đã có một vài electron thu được năng lượng cần thiết. Nhiệt độ càng cao, càng có nhiều electron thoát khỏi liên kết.

– Khái niệm về lỗ trống lần đầu tiên được học sinh biết đến. Cách giải thích như trong SGK về sự tạo thành lỗ trống là một cách giải thích đơn giản, giúp cho học sinh dễ mường tượng. (Muốn giải thích đầy đủ chính xác về sự hình thành lỗ trống, cần sử dụng lí thuyết dải năng lượng, như ở mục trên). Học sinh cần thấy là trong bán dẫn tinh khiết, mỗi khi có một electron tự do được tạo thành thì cũng có một lỗ trống xuất hiện. Vì thế ta nói có sự phát sinh các cặp electron-lỗ trống.

Quá trình ngược lại là sự tái hợp, làm mất đi từng cặp electron-lỗ trống. Ở mỗi nhiệt độ, có sự cân bằng động giữa phát sinh và tái hợp, làm cho số cặp electron - lỗ trống trong bán dẫn có một giá trị xác định (người ta hay nói là mật độ cặp electron - lỗ trống, tức là số cặp trong một đơn vị thể tích bán dẫn, có giá trị xác định). Nhiệt độ càng cao, số electron và lỗ trống càng lớn, do đó điện trở suất càng nhỏ, bán dẫn dẫn điện càng tốt. Có thể sử dụng công thức về mật độ dòng điện $j = nq\bar{u}$, với n là mật độ hạt tải điện, q là điện tích, \bar{u} là vận tốc trung bình của chuyển động định hướng của hạt tải, để nói rõ hơn về điều này. Nếu đặt một hiệu điện thế xác định vào mẫu bán dẫn, thì khi nhiệt độ tăng, mật độ hạt tải điện n tăng lên mạnh, làm j tăng mạnh, ứng với điện trở suất của bán dẫn giảm mạnh. Nếu xét như vậy với kim loại, thì khi nhiệt độ tăng, mật độ electron tự do n không đổi, nhưng \bar{u} lại giảm vì va chạm của electron với các ion nút mạng tinh thể tăng lên ; kết quả là j giảm, ứng với điện trở suất của kim loại tăng lên. Đây cũng là câu trả lời cho C1.

– Nếu chiếu ánh sáng thích hợp vào bán dẫn, ta có thể cung cấp năng lượng đủ để tạo thành cặp electron-lỗ trống. Như vậy, ánh sáng làm tăng nồng độ hạt tải điện, và làm tăng độ dẫn điện của bán dẫn.

3. Sự dẫn điện của bán dẫn có tạp chất

– Cần làm cho HS hiểu vai trò của tạp chất đối với tính chất dẫn điện của bán dẫn : tạp chất làm thay đổi loại hạt tải điện cơ bản trong bán dẫn và mật độ hạt tải điện. Do hiểu được cơ chế của hiện tượng này, nên trong kĩ thuật, người ta có thể chủ động pha các tạp chất thích hợp để thu được các bán dẫn có tính chất mong muốn.

Khi tạp chất có mặt trong tinh thể, tính chất liên kết của nguyên tử tạp chất khác với liên kết của các nguyên tử bán dẫn chủ. Điều đó có thể dẫn đến sự tạo thành điện tử tự do hoặc lỗ trống tùy theo loại tạp chất.

Trong SGK, ta xét hai trường hợp điển hình và hay gặp nhất, đó là bán dẫn Si pha P và B. Từ đây, GV làm cho HS hiểu được rằng tạp chất làm hình thành các hạt tải chỉ thuộc một loại, mà không phải là cặp electron – lỗ trống như trong bán dẫn tinh khiết.

– Cần chú ý rằng trong các trường hợp thông thường, khi ta xét ở nhiệt độ phòng, thì trong bán dẫn đã có electron tự do và lỗ trống được tạo thành, gây nên sự dẫn điện riêng của bán dẫn. Tuy nhiên, với bán dẫn Si, thì ở nhiệt độ phòng nồng độ electron dẫn và lỗ trống do sự dẫn điện riêng là rất thấp. Chính vì vậy mà chỉ cần một lượng tạp chất rất nhỏ, thì số hạt tải điện một loại nào đó đã tăng lên nhiều lần so với số hạt tải điện loại đó trong sự dẫn điện riêng. Kết quả là số hạt tải điện loại này lớn hơn rất nhiều so với loại hạt tải điện trái dấu với nó, và trở thành hạt tải điện đa số. Để hiểu về điều này một cách định lượng, có thể sử dụng và khai thác bài tập ở cuối bài học.

4. Lớp chuyển tiếp p-n

– Khi khảo sát sự hình thành lớp chuyển tiếp p-n, cần đặc biệt nhấn mạnh đến sự khác nhau về nồng độ electron và lỗ trống ở hai bên lớp chuyển tiếp. Chính sự chênh lệch nồng độ đã dẫn đến sự khuếch tán ưu tiên của mỗi loại hạt tải theo một chiều : lỗ trống từ phía bán dẫn p sang phía n, electron tự do từ phía n sang phía p. Sự khuếch tán theo chiều ngược nhau của hai loại hạt mang điện tích trái dấu dẫn đến sự hình thành điện trường trong \vec{E}_t ở lớp chuyển tiếp, có tác dụng ngăn cản sự khuếch tán. Điện trường trong đạt giá trị ổn định khi hai xu hướng cân bằng nhau.

Ở hai bên lớp chuyển tiếp có một khu vực trong đó chỉ có các ion tạp chất, không có các hạt tải điện tự do. Khu vực này gọi là lớp nghèo hạt tải, gọi tắt là lớp nghèo. Lớp nghèo có điện trở lớn.

– Khi lớp chuyển tiếp được mắc vào nguồn điện ngoài, trạng thái cân bằng bị thay đổi. Nếu lớp chuyển tiếp được phân cực thuận, điện trường tại lớp chuyển tiếp giảm đi, sự chuyển động của các hạt tải điện cơ bản qua lớp chuyển tiếp được tăng cường, tạo nên dòng điện thuận có cường độ lớn. Hiện tượng này được gọi là sự phun hạt tải điện. Nó làm cho điện trở của lớp chuyển tiếp giảm đi nhiều. Nếu lớp chuyển tiếp được phân cực ngược, điện trường ở lớp chuyển tiếp tăng lên. Sự chuyển động của các hạt tải không cơ bản qua lớp chuyển tiếp được tăng cường, nhưng cường độ dòng điện ngược là rất nhỏ. Như vậy, lớp chuyển tiếp chỉ dẫn điện một cách đáng kể theo một chiều.

– Khi giảng về đường đặc trưng vôn-ampe của lớp chuyển tiếp p-n, cần giải thích cho HS biết rằng nó cho ta những thông tin gì về độ lớn và chiều của dòng điện qua lớp chuyển tiếp, qua đó nói về tác dụng chỉnh lưu của

lớp chuyển tiếp. Có thể cho học sinh biết qua về cách xác định đường đặc trưng vôn-ampe bằng thực nghiệm. Điều này sẽ được tìm hiểu kĩ hơn và được thực hiện trong bài thực hành 25.

V - Hướng dẫn trả lời câu hỏi và giải bài tập

Câu hỏi

- Xem mục 1 SGK. Cần nói thêm là trong kim loại, chỉ có một loại hạt tải điện là electron tự do, còn trong bán dẫn thì có hai loại hạt tải điện là electron tự do và lỗ trống. Bán dẫn còn được chia thành loại i , loại n và loại p có tính chất điện khác nhau, tuỳ theo tạp chất.
- Có ba loại bán dẫn: bán dẫn tinh khiết (gọi là loại i), bán dẫn loại n và bán dẫn loại p . Bán dẫn loại i có số electron tự do và số lỗ trống bằng nhau. Bán dẫn loại n có số electron tự do rất lớn so với số lỗ trống. Bán dẫn loại p có số lỗ trống rất lớn so với số electron tự do. Để giải thích sự tạo thành các hạt tải trong từng loại bán dẫn, cần xem trong SGK mục 2 và 3 SGK.
- Xem mục 4 SGK.
- Cần lưu ý đến hệ toạ độ của đồ thị. Sự biến đổi của dòng điện thuận theo hiệu điện thế thuận được thấy trên góc phần tư thứ nhất. Khi hiệu điện thế tăng, cường độ dòng điện thuận tăng nhanh. Ở góc phần tư thứ ba, dòng điện ngược có giá trị rất nhỏ và hầu như không thay đổi khi hiệu điện thế ngược tăng. Xem mục 4b trong SGK để giải thích những điều này.

Có thể nhận xét về tính chất chính lưu của lớp chuyển tiếp, nếu để ý rằng với cùng một giá trị (tuyệt đối) của hiệu điện thế, tỉ số giữa cường độ dòng điện thuận và cường độ dòng điện ngược có trị số lớn. Tỉ số đó được gọi là hệ số chính lưu của lớp chuyển tiếp $p-n$, ứng với hiệu điện thế đang xét.

Bài tập

- A sai, vì chỉ có ở bán dẫn tinh khiết (bán dẫn loại i), thì mật độ electron và lỗ trống mới bằng nhau. Ở bán dẫn loại p , mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron ; còn ở bán dẫn loại n thì ngược lại.

C sai, vì bán dẫn dù loại gì cũng luôn trung hoà về điện. Ở bán dẫn loại p , mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron, nhưng những lỗ trống do tạp chất tạo ra lại có điện tích bằng và trái dấu với các ion tạp chất đã tạo ra chúng.

D sai, vì cả electron và lỗ trống trong bán dẫn đều tham gia vào dòng điện, nhưng mật độ của cả electron và lỗ trống trong bán dẫn thường vẫn rất nhỏ so với mật độ electron trong kim loại.

B đúng.

2. B.

3. Tỉ số giữa số hạt tải điện khi có tạp chất và khi chưa có tạp chất là :

$$\frac{2 \cdot 10^{-13} + 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-13}} = 1 + 5 \cdot 10^6 \approx 5 \cdot 10^6$$

tức là số hạt tải điện tăng lên năm triệu lần. Chú ý rằng trong sự dẫn điện riêng, số electron bằng số lỗ trống, do đó có hệ số 2. Còn trong sự dẫn điện do tạp chất, chỉ có một loại hạt tải được tạo thành.