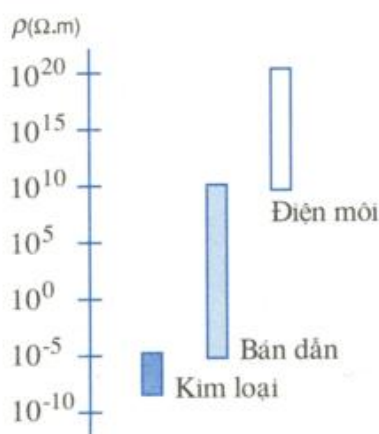
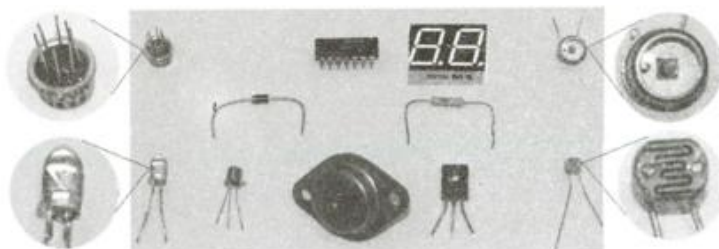
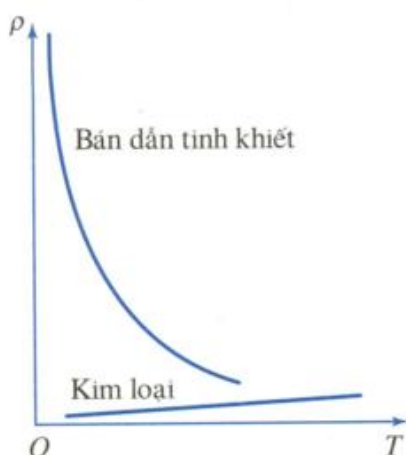


Ảnh bên trình bày các linh kiện bán dẫn : điôt, tranzito, vi mạch... Chúng có mặt trong mọi thiết bị điện tử dùng trong đời sống và trong khoa học, kĩ thuật.

Do những tính chất đặc biệt như thế nào mà chất bán dẫn (bán dẫn) được sử dụng rộng rãi như vậy ?



**Hình 23.1** Điện trở suất của kim loại, bán dẫn, điện môi.



**Hình 23.2** Điện trở suất của kim loại và bán dẫn tinh khiết phụ thuộc khác nhau vào nhiệt độ.

## 1. Tính chất điện của bán dẫn

a) Bán dẫn điển hình và được dùng phổ biến nhất là silic (Si). Ngoài ra, còn có các bán dẫn đơn chất khác như Ge, Se, các bán dẫn hợp chất như GaAs, CdTe, ZnS..., nhiều ôxit, sunfua, sêlenua, telurua... và một số chất pôlime.

b) Bán dẫn có những tính chất khác biệt so với kim loại.

- Điện trở suất  $\rho$  của bán dẫn có giá trị trung gian giữa kim loại và điện môi (Hình 23.1).

- Điện trở suất của bán dẫn tinh khiết giảm mạnh khi nhiệt độ tăng (Hình 23.2). Do đó ở nhiệt độ thấp, bán dẫn dẫn điện rất kém (giống như điện môi), còn ở nhiệt độ cao, bán dẫn dẫn điện khá tốt (giống như kim loại).

- Tính chất điện của bán dẫn phụ thuộc rất mạnh vào các tạp chất có mặt trong tinh thể.

## 2. Sự dẫn điện của bán dẫn tinh khiết

- Ta hãy xét trường hợp bán dẫn điển hình là Si. Nếu trong mạng tinh thể chỉ có một loại nguyên tử là Si, thì ta gọi đó là *bán dẫn tinh khiết*.

Silic là nguyên tố có hoá trị 4, tức là lớp êlectron ngoài cùng của nguyên tử Si có bốn êlectron (Hình 23.3). Trong tinh thể, mỗi nguyên tử Si liên kết với bốn nguyên tử lân cận thông qua các liên kết

cộng hoá trị. Như vậy, xung quanh mỗi nguyên tử Si có tám electron, tạo thành lớp electron đầy (Hình 23.4). Do đó, liên kết giữa các nguyên tử trong tinh thể Si rất bền vững.

- Ở nhiệt độ thấp, gần 0 K, các electron hoá trị gắn bó chặt chẽ với các nguyên tử ở nút mạng. Do đó, trong tinh thể không có hạt tải điện tự do, bán dẫn Si không dẫn điện.

Ở nhiệt độ tương đối cao, nhờ dao động nhiệt của các nguyên tử, một số electron hoá trị thu thêm năng lượng và được giải phóng khỏi các liên kết, trở thành các *electron tự do*. Chúng có thể tham gia vào sự dẫn điện giống như electron dẫn trong kim loại. Trong bài này, electron tự do được gọi là electron.

Đồng thời, khi một electron bứt khỏi liên kết, thì một liên kết bị trống xuất hiện. Người ta gọi nó là *lỗ trống*. Lỗ trống mang một điện tích nguyên tố *dương*, vì liên kết thiếu electron. Một electron ở mỗi liên kết gần đó có thể chuyển đến lấp đầy liên kết bị trống, và tạo thành lỗ trống ở vị trí khác, tức là lỗ trống cũng có thể dịch chuyển trong tinh thể.

Vậy, ở nhiệt độ cao, có sự *phát sinh* ra các cặp electron – lỗ trống (Hình 23.5).

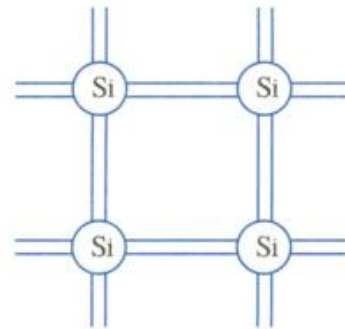
Bên cạnh đó luôn xảy ra quá trình *tái hợp* electron – lỗ trống, trong đó một electron tự do chiếm một mối liên kết bị trống và trở lại thành electron liên kết. Quá trình này làm mất đi đồng thời một electron tự do và một lỗ trống (một cặp electron – lỗ trống). Ở một nhiệt độ xác định, có sự *cân bằng* giữa quá trình phát sinh và quá trình tái hợp.

- Khi có điện trường đặt vào, electron chuyển động ngược chiều điện trường, lỗ trống chuyển động thuận chiều điện trường, gây nên *dòng điện trong bán dẫn*.



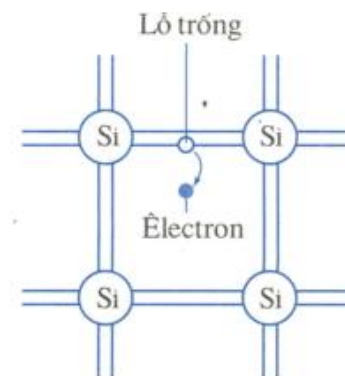
**Hình 23.3** Nguyên tử Si có bốn electron hoá trị.

Ở giữa là hạt nhân, xung quanh là các lớp electron bên trong. Ngoài cùng là bốn electron hoá trị.



**Hình 23.4** Trong tinh thể Si ở nhiệt độ rất thấp, không có hạt mang điện tự do.

Mỗi đoạn thẳng biểu thị một liên kết giữa hai nguyên tử, do một electron thực hiện.



**Hình 23.5** Trong tinh thể Si ở nhiệt độ tương đối cao, có sự phát sinh cặp electron – lỗ trống.

Hình tròn màu xanh biểu thị electron tự do, vòng tròn rỗng biểu thị lỗ trống.

**C1** Giải thích vì sao điện trở suất của kim loại và bán dẫn lại phụ thuộc vào nhiệt độ theo cách khác nhau, như thấy ở Hình 23.2.



Hình 23.6 Quang điện trở bán dẫn.

Vậy, **dòng điện trong bán dẫn là dòng chuyển dời có hướng của các electron và lỗ trống.**

**Ở bán dẫn tinh khiết, số electron và số lỗ trống bằng nhau.** Nói chính xác hơn, trong bán dẫn tinh khiết, mật độ electron và mật độ lỗ trống bằng nhau. Sự dẫn điện trong trường hợp này gọi là *sự dẫn điện riêng* của bán dẫn. Bán dẫn tinh khiết còn được gọi là *bán dẫn loại i*.

- Nhiệt độ càng cao thì số electron và lỗ trống càng lớn. Do đó, **độ dẫn điện của bán dẫn tinh khiết tăng khi nhiệt độ tăng.**

Ở nhiệt độ phòng, bán dẫn Si tinh khiết dẫn điện kém, vì có rất ít electron tự do và lỗ trống.

Người ta ứng dụng sự phụ thuộc mạnh của điện trở bán dẫn vào nhiệt độ để làm *nhật điện trở* bán dẫn. Đó là dụng cụ gồm một mẫu bán dẫn nối với hai dây dẫn. Nhật điện trở được dùng để đo nhiệt độ, để điều chỉnh và khống chế nhiệt độ.

- Cặp electron – lỗ trống còn phát sinh khi ta chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp vào bán dẫn. Do đó, điện trở suất của bán dẫn giảm khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào. Đó là *hiện tượng quang dẫn*. Hiện tượng này được ứng dụng để làm *quang điện trở* bán dẫn (Hình 23.6); điện trở của nó giảm khi cường độ ánh sáng chiếu vào tăng.

### 3. Sự dẫn điện của bán dẫn có tạp chất

Nếu bán dẫn Si có pha tạp chất, tức là ngoài các nguyên tử Si, còn có các nguyên tử khác, thì tính dẫn điện của bán dẫn thay đổi rất nhiều. Chỉ cần một lượng rất nhỏ tạp chất (với tỉ lệ vài phần triệu), độ dẫn điện của bán dẫn có thể tăng hàng vạn, hàng triệu lần. Khi đó, cùng với sự dẫn điện riêng, còn có *sự dẫn điện do tạp chất*.

### a) Bán dẫn loại *n*

Giả sử trong mạng tinh thể Si có lẫn một nguyên tử photpho (P). Nguyên tử P có năm electron ở lớp ngoài (Hình 23.7a), trong đó bốn electron tham gia liên kết cộng hoá trị với các nguyên tử Si ở xung quanh. Electron còn lại liên kết yếu với nguyên tử P, nên ngay ở nhiệt độ thấp, nó đã có thể dễ dàng bứt khỏi nguyên tử P và trở thành electron tự do (Hình 23.7b). Nguyên tử P trở thành một ion dương, nằm tại nút mạng.

Như vậy, tạp chất P đã tạo nên thêm các electron dẫn, mà không làm tăng thêm số lỗ trống. Do đó, bán dẫn Si pha P có số electron dẫn nhiều hơn số lỗ trống, tức là mật độ electron lớn hơn mật độ lỗ trống. Ta gọi electron là *hạt tải điện cơ bản* hay *đa số*, lỗ trống là *hạt tải điện không cơ bản* hay *thiếu số*. Bán dẫn như vậy được gọi là *bán dẫn electron* hay *bán dẫn loại n*.

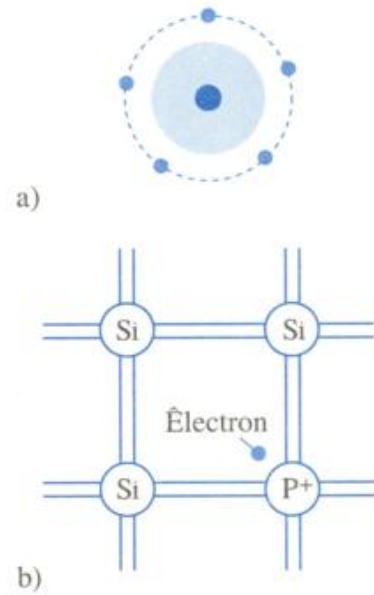
### b) Bán dẫn loại *p*

Nếu tạp chất là nguyên tố hoá trị 3 như bo (B) (Hình 23.8a), thì còn thiếu một electron để tạo thành liên kết giữa nguyên tử B với bốn nguyên tử Si lân cận. Một electron ở liên kết gần đó có thể chuyển đến lấp đầy liên kết này và tạo thành lỗ trống. Còn nguyên tử B thì trở thành một ion âm nằm ở nút mạng (Hình 23.8b).

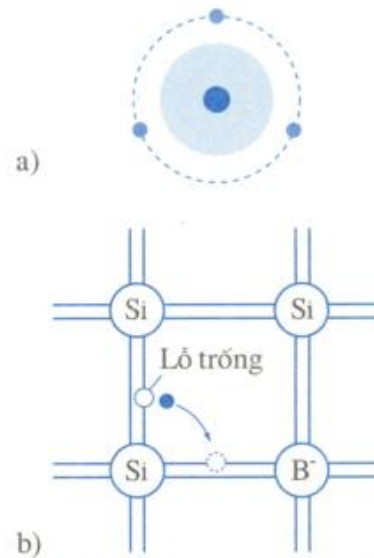
Tạp chất B pha vào bán dẫn Si đã tạo thêm lỗ trống, làm cho số lỗ trống nhiều hơn số electron dẫn, tức là mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron. Lỗ trống là *hạt tải điện cơ bản* (hay *đa số*), electron là *hạt tải điện không cơ bản* (hay *thiếu số*). Đó là *bán dẫn lỗ trống* hay *bán dẫn loại p*.

Nếu ta pha hai loại tạp chất, chẳng hạn cả P và B, vào bán dẫn Si, thì bán dẫn này có thể là loại *p* hay loại *n*, tùy theo tỉ lệ giữa hai lượng tạp chất.

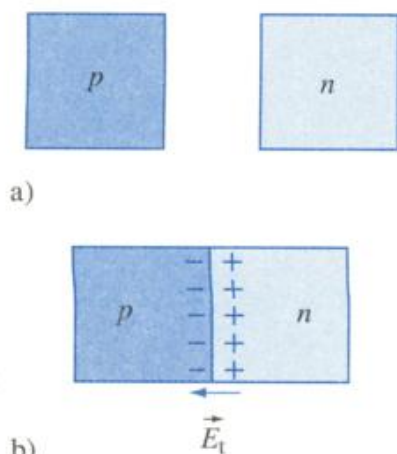
Như vậy, bằng cách chọn loại tạp chất và nồng độ tạp chất pha vào bán dẫn, người ta có thể tạo ra bán dẫn thuộc loại mong muốn và có tính dẫn điện mong muốn. Đây chính là một tính chất rất đặc biệt của bán dẫn, khiến cho nó có nhiều ứng dụng.



Hình 23.7 Tạp chất P tạo thêm electron tự do.



Hình 23.8 Tạp chất B tạo thêm lỗ trống.



**Hình 23.9** Sự hình thành lớp chuyển tiếp  $p-n$ .

Trong thực tế, lớp chuyển tiếp  $p-n$  được tạo thành khi người ta pha các tạp chất một cách thích hợp vào các phần khác nhau của một mẫu bán dẫn.

Lớp này còn được gọi là *lớp nghèo hạt tải điện*, hay gọi tắt là *lớp nghèo*.

## 4. Lớp chuyển tiếp $p-n$

### a) Sự hình thành lớp chuyển tiếp $p-n$

Lớp chuyển tiếp  $p-n$  được hình thành khi ta cho hai mẫu bán dẫn khác loại, loại  $p$  và loại  $n$ , tiếp xúc với nhau (xem Hình 23.9).

Khi có sự tiếp xúc, lỗ trống và electron khuếch tán từ mẫu  $p$  sang mẫu  $n$  và ngược lại. Tuy nhiên, do ở bán dẫn  $p$ , lỗ trống là hạt tải điện đa số, nên dòng khuếch tán từ bán dẫn  $p$  sang  $n$  chủ yếu là dòng lỗ trống. Lỗ trống từ  $p$  sang  $n$  tái hợp với electron tự do. Do đó, ở phía bán dẫn  $n$  gần mặt phân cách hai mẫu bán dẫn, không còn hạt tải điện tự do nữa. Ở đó chỉ có các ion tạp chất mang điện dương. Tương tự, từ phía  $n$  sang phía  $p$ , dòng khuếch tán chủ yếu là electron. Phía  $p$ , gần mặt phân cách hai mẫu, có các ion tạp chất mang điện âm.

Kết quả của sự khuếch tán là ở mặt phân cách giữa hai mẫu bán dẫn, bên phía bán dẫn  $n$  có một lớp điện tích dương, bên phía bán dẫn  $p$  có một lớp điện tích âm. Tại đó xuất hiện một *điện trường trong*  $\vec{E}_t$ , hướng từ phía  $n$  sang  $p$ , có tác dụng ngăn cản sự khuếch tán các hạt mang điện đa số (và thúc đẩy sự khuếch tán các hạt thiểu số). Cường độ của điện trường  $\vec{E}_t$  tăng dần, làm cho dòng khuếch tán các hạt tải điện đa số giảm dần. Sự khuếch tán dừng lại khi cường độ điện trường này đạt giá trị ổn định. Ta nói rằng ở chỗ tiếp xúc hai loại bán dẫn đã hình thành *lớp chuyển tiếp  $p-n$* . Lớp chuyển tiếp có điện trở lớn, vì ở đó hầu như không có hạt tải điện tự do.

### b) Dòng điện qua lớp chuyển tiếp $p-n$

- Ta mắc hai đầu của mẫu bán dẫn có lớp chuyển tiếp  $p-n$  vào một nguồn điện có hiệu điện thế  $U$ , sao cho cực dương của nguồn nối với bán dẫn  $p$ , cực âm nối với bán dẫn  $n$ , như trên Hình 23.10.

Điện trường ngoài  $\vec{E}_n$  do nguồn điện gây ra ngược chiều với điện trường trong  $\vec{E}_t$  của lớp chuyển tiếp, làm yếu điện trường trong. Do đó,

dòng chuyển dời của các hạt tải điện đa số được tăng cường, gây nên dòng điện  $I$  có cường độ lớn chạy theo chiều từ bán dẫn  $p$  sang bán dẫn  $n$ . Đó là *dòng điện thuận*, được gây nên bởi *hiệu điện thế thuận* của nguồn điện. Dòng này tăng nhanh khi hiệu điện thế  $U$  tăng. Đây là trường hợp lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc theo chiều thuận, còn gọi là lớp chuyển tiếp  $p-n$  được *phân cực thuận*.

Như vậy, khi lớp chuyển tiếp được phân cực thuận, các hạt tải điện đa số ở hai phía đều đi đến lớp chuyển tiếp và vượt qua lớp này, gây nên sự *phun lỗ trống vào bán dẫn loại  $n$* , và *phun electron vào bán dẫn loại  $p$* .

- Ta đổi cực của nguồn điện mắc vào mẫu bán dẫn, tức là mắc cực dương vào bán dẫn  $n$ , cực âm vào bán dẫn  $p$  (Hình 23.11).

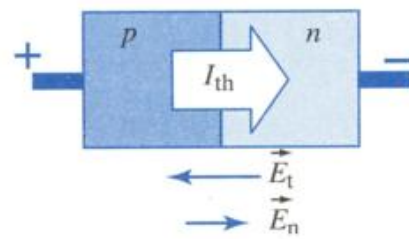
Điện trường ngoài  $\vec{E}_n$  cùng chiều với điện trường trong  $\vec{E}_t$ . Vì thế, chuyển dời của các hạt tải điện đa số hoàn toàn bị ngăn cản. Qua lớp chuyển tiếp, chỉ có dòng các hạt tải điện thiểu số, gây nên dòng điện  $I$  chạy từ phía  $n$  sang phía  $p$ , có cường độ nhỏ và hầu như không thay đổi khi ta tăng hiệu điện thế  $U$ . Đó là *dòng điện ngược*, do *hiệu điện thế ngược* của nguồn gây nên. Đây là trường hợp lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc theo chiều ngược (hay *phân cực ngược*).

- Như vậy, dòng điện qua lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc theo chiều thuận (từ  $p$  sang  $n$ ) có cường độ lớn, dòng điện qua lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc theo chiều ngược có cường độ rất nhỏ. **Lớp chuyển tiếp  $p-n$  dẫn điện tốt theo một chiều, từ  $p$  sang  $n$ . Lớp chuyển tiếp  $p-n$  có tính chất chỉnh lưu.**

### c) Đặc tuyến vôn-ampe của lớp chuyển tiếp $p-n$

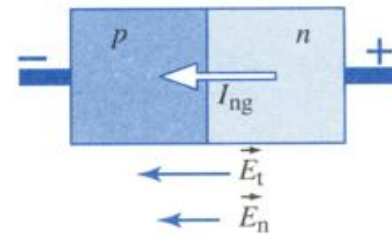
Khảo sát sự biến thiên của cường độ dòng điện theo hiệu điện thế, có thể thu được đường đặc trưng vôn-ampe, còn gọi là đặc tuyến vôn-ampe, của lớp chuyển tiếp  $p-n$  như trên Hình 23.12.

Tính chất của lớp chuyển tiếp  $p-n$  được ứng dụng trong nhiều dụng cụ bán dẫn như điốt, tranzito...



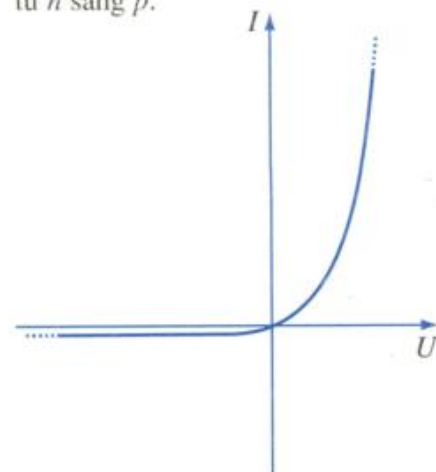
**Hình 23.10** Lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc vào nguồn điện theo chiều thuận.

Điện trường ngoài  $\vec{E}_n$  ngược chiều với điện trường trong  $\vec{E}_t$ . Dòng điện thuận ( $I_{th}$ ) có cường độ lớn chạy từ  $p$  sang  $n$ .



**Hình 23.11** Lớp chuyển tiếp  $p-n$  mắc vào nguồn điện theo chiều ngược.

Điện trường ngoài  $\vec{E}_n$  cùng chiều với điện trường trong  $\vec{E}_t$ . Dòng điện ngược  $I_{ng}$  có cường độ rất nhỏ, chạy từ  $n$  sang  $p$ .



**Hình 23.12** Đặc tuyến vôn-ampe của lớp chuyển tiếp  $p-n$ .

Dòng điện thuận có cường độ lớn và tăng nhanh theo hiệu điện thế thuận. Dòng điện ngược rất nhỏ và ít phụ thuộc hiệu điện thế.

## CÂU HỎI

---

1. Hãy nêu sự khác nhau về tính chất điện giữa kim loại và bán dẫn tinh khiết.
2. Có những loại bán dẫn nào ? Trong mỗi loại bán dẫn đó, các hạt tải điện là những loại nào, có số lượng ra sao và được tạo thành như thế nào ?
3. Hãy giải thích sự hình thành lớp chuyển tiếp  $p-n$ . Vì sao ta nói lớp chuyển tiếp  $p-n$  có tính chất chỉnh lưu ?
4. Hãy giải thích hình dạng của đường đặc trưng vôn-ampe của lớp chuyển tiếp  $p-n$ .

## BÀI TẬP

---

1. Tìm câu đúng.
  - A. Trong bán dẫn, mật độ electron luôn luôn bằng mật độ lỗ trống.
  - B. Nhiệt độ càng cao, bán dẫn dẫn điện càng tốt.
  - C. Bán dẫn loại  $p$  tích điện dương, vì mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron.
  - D. Bán dẫn có điện trở suất cao hơn kim loại, vì trong bán dẫn có hai loại hạt tải điện trái dấu, còn trong kim loại chỉ có một loại.
2. Chọn câu đúng.
  - A. Điện trở của lớp chuyển tiếp  $p-n$  là nhỏ, khi lớp chuyển tiếp được mắc vào nguồn điện theo chiều ngược.
  - B. Nhiệt độ càng cao, tính chỉnh lưu của lớp chuyển tiếp  $p-n$  càng kém.
  - C. Khi lớp chuyển tiếp  $p-n$  được hình thành thì luôn có dòng điện chạy theo chiều từ bán dẫn loại  $p$  sang bán dẫn loại  $n$ , do sự khuếch tán của các hạt tải điện cơ bản mạnh hơn so với sự khuếch tán của các hạt tải điện không cơ bản.
  - D. Khi lớp chuyển tiếp  $p-n$  được hình thành thì luôn có dòng điện từ bán dẫn loại  $n$  sang bán dẫn loại  $p$ , do điện trường trong ở lớp chuyển tiếp thúc đẩy chuyển động của các hạt tải điện thiểu số.
3. Ở nhiệt độ phòng, trong bán dẫn Si tinh khiết, số cặp electron – lỗ trống bằng  $10^{-13}$  số nguyên tử Si. Nếu ta pha P vào Si với tỉ lệ một phần triệu, thì số hạt tải điện tăng lên bao nhiêu lần ?