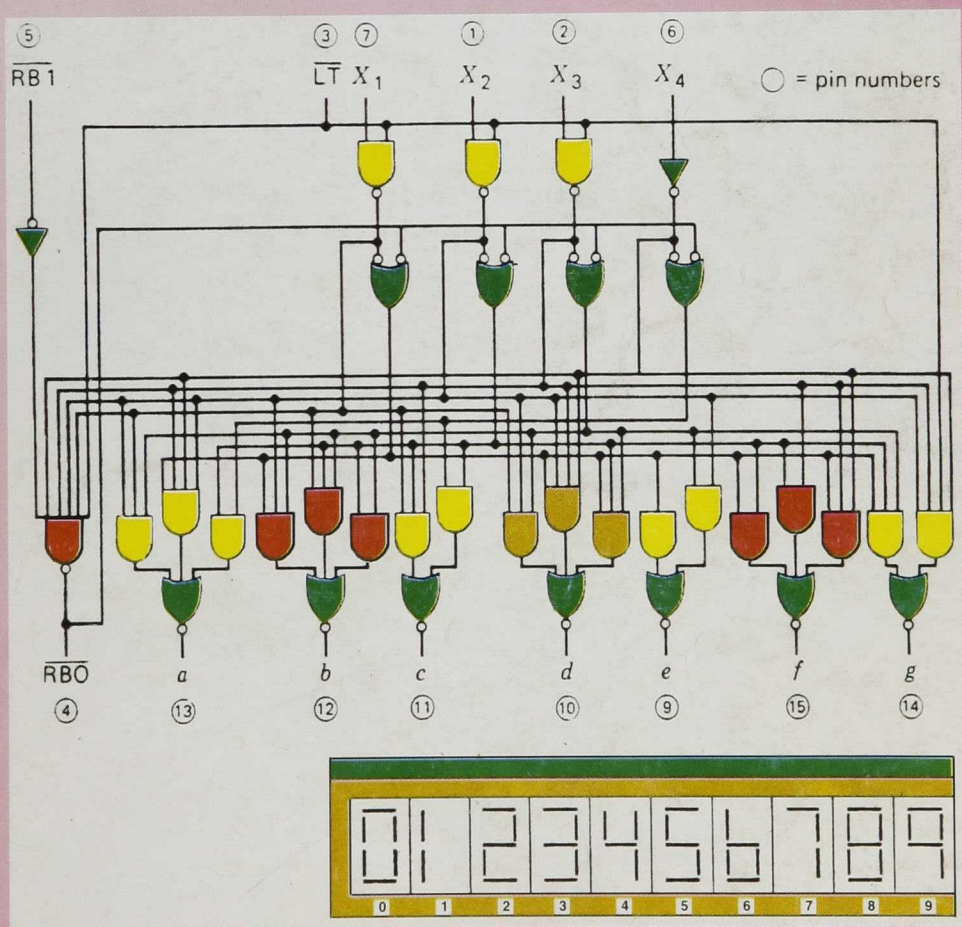


CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ SỐ



BỘ MÔN ĐIỆN TỬ - ĐẠI HỌC THANH HOA BẮC KINH

VŨ ĐỨC THỌ *dịch*

ĐỖ XUÂN THỤ *giới thiệu và hiệu đính*

CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ SỐ

GIÁO TRÌNH TINH GIẢN

(Tái bản lần thứ bảy)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Nhà xuất bản Giáo dục tại Hà Nội giữ quyền công bố tác phẩm.

Mọi tổ chức, cá nhân muốn sử dụng tác phẩm dưới mọi hình thức phải được sự đồng ý của chủ sở hữu quyền tác giả.

LỜI GIỚI THIỆU

Cùng với sự tiến bộ của khoa học và công nghệ, các thiết bị điện tử đang và sẽ tiếp tục được ứng dụng ngày càng rộng rãi và mang lại hiệu quả cao trong hầu hết các lĩnh vực kinh tế kĩ thuật cũng như đời sống xã hội.

Việc gia công xử lí tín hiệu trong các thiết bị điện tử hiện đại đều dựa trên cơ sở nguyên lí số vì các thiết bị làm việc dựa trên cơ sở nguyên lí số có những ưu điểm hơn hẳn các thiết bị điện tử làm việc trên cơ sở nguyên lí tương tự, đặc biệt là trong kĩ thuật tính toán. Bởi vậy sự hiểu biết sâu sắc về điện tử số là không thể thiếu được đối với kĩ sư điện tử hiện nay. Nhu cầu hiểu biết về kĩ thuật số không phải chỉ riêng đối với các kĩ sư điện tử mà còn đối với nhiều cán bộ kĩ thuật các ngành khác có sử dụng các thiết bị điện tử. Để đáp ứng nhu cầu lớn lao này, anh Vũ Đức Thọ cán bộ giảng dạy Khoa Điện tử - Viễn thông Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã chọn dịch cuốn "Cơ sở kĩ thuật điện tử số - Giáo trình tinh giản" của Bộ môn Điện tử Trường đại học Thanh Hoa Bắc Kinh. "Cơ sở kĩ thuật điện tử số - Giáo trình tinh giản" là một tập giáo trình được soạn thảo để dạy cho sinh viên trong Trường Đại học với thời gian 120 tiết (không kể thời gian thực nghiệm). Giáo trình này giới thiệu một cách hệ thống các phần tử cơ bản cần dùng trong các mạch điện tử số, kết hợp với một số mạch điển hình, giải thích các khái niệm cơ bản về cổng điện tử số, các phương pháp phân tích cũng như các phương pháp thiết kế logic cơ bản. Toàn bộ giáo trình bao gồm những kiến thức cơ bản về cấu kiện bán dẫn, mạch cổng logic, cơ sở đại số logic, mạch logic tổ hợp, các mạch trigơ, các mạch logic dãy, sự sản sinh các tín hiệu xung cũng như sự sửa dạng xung, các khái niệm cơ bản về chuyển đổi số - tương tự và tương tự - số. Tất cả gồm 8 chương. Sau mỗi chương đều có phần tóm tắt nội dung để độc giả dễ dàng ghi nhớ, các câu hỏi gợi ý và các bài tập để độc giả kiểm tra mức độ nắm kiến thức sau khi học mỗi chương. Cách cấu trúc giáo trình rất logic đi từ đơn giản đến phức tạp, từ dễ đến khó, phần trước tạo tiền đề kiến thức cho phần sau. Cách trình bày vấn đề rõ ràng khúc triết. Nội dung từng chương rất chặt chẽ, bỏ qua được những dẫn dắt toán học dài dòng, nhưng vẫn đảm bảo tính cơ bản, cốt lõi của vấn đề, các khái niệm mới được nhấn mạnh đúng mức. Trên cơ sở các kiến thức cơ bản kinh điển giáo trình đã cố gắng tiếp cận các vấn đề hiện đại, đồng thời liên hệ với thực tế kĩ thuật. Ví dụ trong giáo trình hầu như đã bỏ qua các mạch điện xây dựng trên cơ sở cấu kiện rời rạc mà chủ yếu nói về các mạch điện xây dựng trên cơ sở mạch tổ hợp vi điện tử (IC). Trong khi chủ yếu giới thiệu các hệ thống xây dựng trên cơ sở các IC cỡ nhỏ và cỡ trung bình đã thích đáng đề cập đến các hệ thống xây dựng trên cơ sở các IC cỡ lớn và siêu lớn.

Chúng tôi nghĩ, đọc giáo trình này, độc giả mau chóng nắm được những vấn đề cốt lõi của kĩ thuật điện tử số, tăng cường năng lực giải quyết các vấn đề kĩ thuật trong thực tế cũng như bồi dưỡng năng lực tự học.

Bởi vậy cuốn sách giáo trình này trước hết thích hợp cho độc giả muốn tự học. Các học sinh cao đẳng kỹ thuật ngành Điện tử - Viễn thông, làm tài liệu bổ trợ cho sinh viên các trường đại học, và nói chung cho tất cả những ai quan tâm đến kỹ thuật điện tử số.

Cũng cần nói thêm rằng thuật ngữ tiếng Việt chúng tôi dùng trong bản dịch này là căn cứ vào các thuật ngữ được dùng trong quá trình giảng dạy tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, rất có thể có những thuật ngữ chưa thỏa đáng, mong độc giả gần xa góp ý kiến. Các ý kiến xin gửi về Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội hoặc Nhà xuất bản Giáo dục.

Xin trân trọng cảm ơn.

ĐỖ XUÂN THỤ

Chủ nhiệm

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

Chương 1

NHỮNG KIẾN THỨC CƠ BẢN VỀ CẤU KIỆN BÁN DẪN

1.1. CÁC KIẾN THỨC CƠ BẢN VỀ VẬT LIỆU BÁN DẪN

1.1.1. Vật liệu dẫn điện, cách điện và bán dẫn

Trong đời sống hàng ngày cũng như trong thực tiễn sản xuất, mọi người đều biết rằng, bạc đồng nhôm sắt... là vật liệu dẫn điện tốt ; còn nhựa, sứ, da, thủy tinh... là vật liệu cách điện tốt (dù cho có cao áp đặt vào vẫn không có dòng điện chạy qua chúng).

Đặc tính dẫn điện của vật liệu bán dẫn nằm giữa dẫn điện và cách điện.

Vì sao vật liệu lại có tính dẫn điện khác nhau như vậy ? nguyên nhân căn bản là ở cách liên kết giữa các nguyên tử với nhau và kết cấu bản thân nguyên tử trong vật liệu. Chúng ta đều biết rằng, nguyên tử được tạo thành từ hạt nhân mang điện dương và các điện tử mang điện âm, các điện tử chia thành nhiều tầng vây quanh hạt nhân và không ngừng chuyển động.

Vật liệu dẫn điện : So sánh tương đối với vật dẫn khác, trong kim loại, các điện tử lớp ngoài của nguyên tử bị hạt nhân hút yếu ; có rất nhiều điện tử không bị ràng buộc với hạt nhân trở thành điện tử tự do. Những điện tử tự do này trở thành các hạt dẫn mang điện. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, chúng di chuyển có hướng và hình thành dòng điện. Do đó kim loại dẫn điện tốt nhất.

Vật liệu cách điện : Trong vật liệu cách điện, lực ràng buộc với hạt nhân của các điện tử rất lớn ; chúng khó có thể tách khỏi hạt nhân, nên số điện tử tự do cực kỳ ít ; do đó tính năng dẫn điện rất kém.

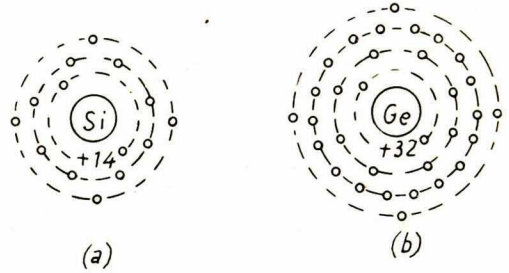
Vật liệu bán dẫn : Cấu trúc nguyên tử của vật liệu bán dẫn tương đối đặc biệt. Các điện tử lớp ngoài không dễ dàng tách khỏi liên kết với hạt nhân như vật liệu dẫn điện, mà cũng không ràng buộc quá chặt với hạt nhân như vật liệu cách điện. Do đó, đặc tính dẫn điện của nó nằm giữa vật liệu dẫn điện và vật liệu cách điện.

1.1.2. Hiện tượng dẫn điện trong vật liệu bán dẫn sạch

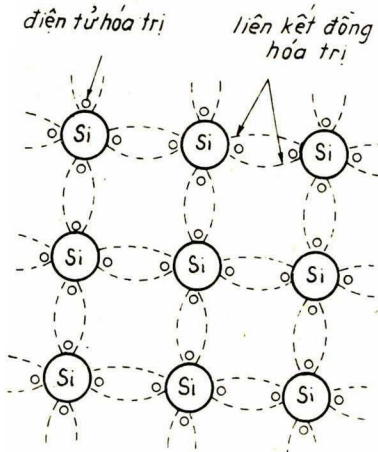
Vật liệu bán dẫn thuần khiết được gọi là bán dẫn sạch mà đặc trưng về tính bán dẫn phụ thuộc nguyên tố hóa học. Hạt dẫn điện của bán dẫn sạch là điện tử hoặc là lỗ trống.

Lỗ trống. Để làm rõ lỗ trống là gì, đầu tiên ta hãy quan sát cấu trúc nguyên tử của hai nguyên tố bán dẫn là Ge và Si biểu thị trên hình 1.1.1. Chúng có đặc điểm chung là tầng ngoài cùng đều có 4 điện tử. Các điện tử này được gọi là điện tử hóa trị. Nguyên tử có hóa trị bằng số điện tử hóa trị của chúng. Vậy Ge và Si là các nguyên tố hóa trị 4.

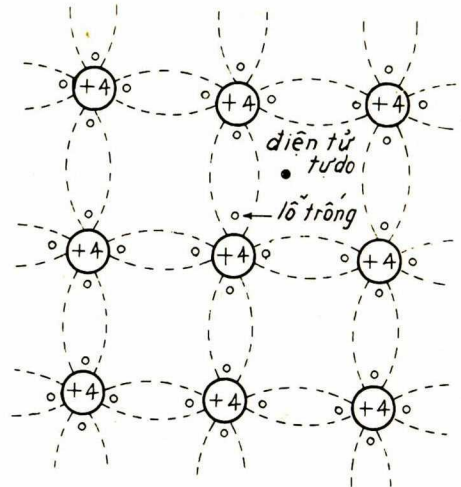
Khi vật liệu bán dẫn Ge, Si được chế tạo thành tinh thể thì từ trạng thái sắp xếp lộn xộn thông thường, chúng trở thành mạng tinh thể hoàn toàn trật tự của cấu trúc tinh thể của các nguyên tử. Khi đó, khoảng cách giữa các nguyên tử đều bằng nhau, vào khoảng $2,35 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}$. Bốn điện tử ở lớp ngoài cùng của mỗi nguyên tử không những chịu sự ràng buộc với hạt nhân bản thân nguyên tử đó, mà còn liên kết với 4 nguyên tử gần kề xung quanh. Hai nguyên tử đứng cạnh nhau có một đôi điện tử góp chung. Mỗi một điện tử trong đôi vừa chuyển động quanh hạt nhân nguyên tử của nó, vừa có mặt trên quỹ đạo của nguyên tử đối tác góp chung. Sự liên kết này được gọi là liên kết đồng hóa trị. Xem hình 1.1.2



Hình 1-1-1. Sơ đồ cấu trúc phẳng của nguyên tử Si (a) và nguyên tử Ge (b).



Hình 1-1-2. Sơ đồ biểu thị mối liên kết đồng hóa trị của tinh thể Si.



Hình 1-1-3. Sơ đồ cấu trúc tinh thể bán dẫn sạch.

Ở nhiệt độ nhất định, do chuyển động nhiệt, một số điện tử góp chung thoát khỏi sự ràng buộc với hạt nhân trở thành điện tử tự do, đó là hạt dẫn điện tử.

Điều đáng chú ý ở đây là, sau khi một điện tử góp chung trong đôi đã trở thành điện tử tự do thì để lại một lỗ trống, như hình 1.1.3 biểu thị. Đã có một lỗ trống như thế, thì điện tử góp chung trong đôi kế cận rất dễ dàng rơi vào lỗ trống đó, tạo thành sự di chuyển của các điện tử góp chung. Sự di chuyển này, dù xét về hiệu quả hay xét trên hiện tượng, đều giống sự di chuyển của hạt mang điện tích

dương. Để phân biệt với sự di chuyển của điện tử tự do, ta gọi đây là sự di chuyển của lỗ trống. Hạt mang điện tích dương ấy là lỗ trống.

Vậy lỗ trống cũng là loại hạt mang điện. Khi đặt điện áp lên vật liệu bán dẫn, thì có hai thành phần trong dòng điện chạy qua nó : thành phần dòng điện do điện tử tự do di chuyển có hướng và thành phần dòng lỗ trống do điện tử góp chung dịch lấp lỗ trống. Sự khác nhau của hai thành phần này là điện tử mang điện âm, còn lỗ trống mang điện dương. Vậy trong vật liệu bán dẫn, không những có hạt dẫn là điện tử, mà còn có hạt dẫn là lỗ trống. Đó là đặc điểm quan trọng của sự dẫn điện bán dẫn.

Vật chất vận động không ngừng, chuyển động nhiệt làm cho trong vật liệu bán dẫn không ngừng sản sinh ra điện tử tự do và đồng thời xuất hiện các lỗ trống có số lượng tương ứng. Vì điện tử là lỗ trống được sinh ra thành cặp, nên ta gọi chúng là cặp điện tử - lỗ trống. Mặt khác, trong quá trình vận động, điện tử và lỗ trống gặp nhau, trung hòa điện tích. Quá trình ngược lại đó được gọi là tái hợp. Sự phát xạ và tái hợp của cặp điện tử - lỗ trống thường cân bằng trong điều kiện nhiệt độ nhất định. Khi ấy, tuy quá trình phát xạ và tái hợp không ngừng diễn ra, nhưng số cặp điện tử - lỗ trống vẫn giữ nguyên một giá trị nào đó.

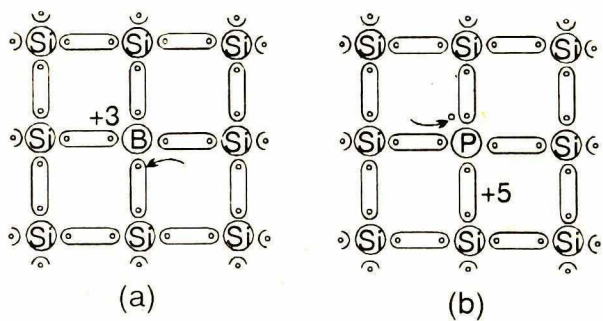
1.1.3. Hiện tượng dẫn điện trong bán dẫn pha tạp

Sự phân tích trên đây là đối với bán dẫn sạch đơn tinh thể. Trong loại vật liệu đó, tuy rằng có thêm hạt mang lỗ trống, nhưng số lượng toàn thể hạt mang vẫn rất ít, khả năng dẫn điện vẫn kém, cho nên ứng dụng ít, nhờ phương pháp khuếch tán tạp chất có ích vào bán dẫn sạch đơn tinh thể nên điều chỉnh chính xác được đặc tính điện của vật liệu bán dẫn.

Ví dụ, khuếch tán một lượng nhỏ B vào đơn tinh thể Si thì số lượng hạt mang lỗ trống trong vật liệu bán dẫn tăng mạnh, làm cho khả năng dẫn điện tăng mạnh, nhờ vậy vật liệu bán dẫn có ứng dụng vô cùng quan trọng.

Chất bán dẫn P. Hình 1.1.4 (a) trình bày sơ đồ cấu trúc liên kết đồng hóa trị do nguyên tử Si và B tạo ra sau khi khuếch tán B vào đơn tinh thể Si.

Hình 1-1-4.
 Khuếch tán tạp chất vào đơn tinh thể Si :
 a) Khuếch tán B tạo thành bán dẫn P ;
 b) Khuếch tán P tạo thành bán dẫn N.



(Mũi tên chỉ vào lỗ trống)

(Mũi tên chỉ vào điện tử)

Vì số lượng nguyên tử B rất nhỏ so với Si nên cấu trúc tinh thể bán dẫn cân bản không đổi. Ta biết rằng, B là nguyên tố hóa trị 3, có ba điện tử lớp ngoài. Nên khi nó cùng với nguyên tử Si tạo thành liên kết đồng hóa trị thì hình thành

ổ trống. Khuếch tán tạp chất B rồi thì mỗi nguyên tử B đều cung cấp một lỗ trống, làm cho số lượng hạt mang lỗ trống trong đơn tinh thể Si tăng lên rất nhiều. Vật liệu bán dẫn loại này hầu như không có điện tử tự do, dẫn điện được chủ yếu dựa vào lỗ trống, nên được gọi là vật liệu bán dẫn lỗ trống, gọi tắt chất bán dẫn P. Trong chất bán dẫn P, nồng độ lỗ trống lớn hơn nhiều nồng độ điện tử, nên lỗ trống được gọi là hạt mang đa số, điện tử là hạt mang thiểu số.

Chất bán dẫn N. Nếu khuếch tán nguyên tố hóa trị 5 như P, Zn... vào đơn tinh thể Si thì xảy ra tình hình khác hẳn. Sau khi nguyên tử Si và P tạo thành liên kết đồng hóa trị, chỉ có 4 trong 5 điện tử lớp ngoài của P tham gia liên kết, còn lại một điện tử ràng buộc yếu với hạt nhân dễ dàng trở thành điện tử tự do. Vậy trong loại bán dẫn này, số lượng hạt mang điện tử rất nhiều, chúng là hạt mang đa số; số lượng hạt mang lỗ trống rất ít, chúng là hạt mang thiểu số. Chất bán dẫn này dẫn điện được chủ yếu dựa vào điện tử, nên gọi là vật liệu bán dẫn điện tử, gọi tắt là chất bán dẫn N. Xem hình 1.1.4b.

1.2. DIỐT BÁN DẪN

1.2.1. Đặc tính của chuyển tiếp PN

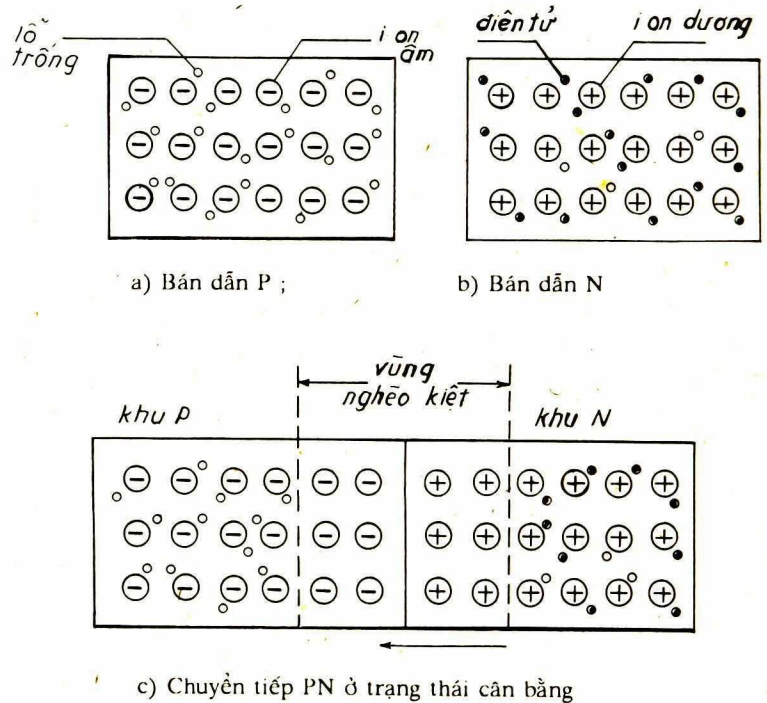
1) Chuyển động của hạt dẫn trong chuyển tiếp PN

Khi chất bán dẫn P ghép với chất bán dẫn N thành một khối thì tất yếu xảy ra sự khuếch tán hạt dẫn do nồng độ không đều của chúng: lỗ trống trong khu vực P khuếch tán sang khu vực N, điện tử trong khu vực N khuếch tán sang khu vực P. Xem hình 1.2.1.a, b.

Nhờ quá trình khuếch tán mà số lỗ trống khu vực P giảm nhỏ tạo thành vùng ion âm, còn điện tử khu vực N giảm nhỏ tạo thành vùng ion dương.

Vậy nên sinh ra điện trường trong vùng tiếp giáp. Điện trường này có hướng ngược với hướng khuếch tán của dòng hạt dẫn, như mũi tên từ khu vực N sang khu vực P trên hình 1.2.1c

hở rõ. Điện trường trong cản trở sự khuếch tán của lỗ trống sang khu vực N và của điện tử sang khu vực P. Trạng thái cân bằng động xảy ra khi điện tích không gian vùng tiếp giáp không tăng nữa. Khi cân bằng động, vùng tiếp giáp hình thành một lớp thiếu vắng hạt dẫn, như hình 1.2.1c biểu thị, vùng đó được gọi là vùng điện



Hình 1-2-1. Chuyển động của hạt dẫn trong chuyển tiếp PN
(Mũi tên dưới cùng chỉ điện trường trong)