

Vật liệu bán dẫn mới hứa hẹn thay đổi ngành công nghiệp điện tử

ThS Trương Đình Dũng

Trường Cao đẳng Kỹ thuật thông tin

Silicon là một chất bán dẫn phổ biến nhưng không tối ưu trong việc dẫn nhiệt. Đó là lý do gây ra các vấn đề quá nhiệt và phải đầu tư hệ thống làm mát tốn kém trong thiết kế máy tính. Gần đây, nhóm nghiên cứu của GS Jungwoo Shin (Đại học Houston, Hoa Kỳ) đã chỉ ra rằng, arsenide boron hình khối khắc phục được hạn chế của silicon như một vật liệu bán dẫn*. Cấu trúc bán dẫn arsenide boron có độ dẫn nhiệt và tính di động cao cho cả electron cũng như lỗ trống tích điện dương của nó. Theo các nhà nghiên cứu, đây là vật liệu bán dẫn tốt nhất từng được tìm thấy, có khả năng làm thay đổi ngành công nghiệp điện tử trong tương lai.

Hạn chế của silicon

Silic (Si) hay còn được gọi là silicon (nguyên tố phổ biến thứ hai trên trái đất sau oxy) là vật liệu bán dẫn được sử dụng phổ biến trong ngành công nghiệp điện tử. Ở dạng tinh khiết, silicon là chìa khóa của nhiều công nghệ hiện đại, từ vi mạch đến pin mặt trời.

Có rất nhiều người lầm tưởng silicon và silicone là một. Tuy nhiên, chúng khác nhau: silicon là chất tự nhiên có tính bán dẫn, còn silicone là một polymer được tổng hợp và làm từ silicon, oxygen và những nguyên tố hóa học khác, thường được sử dụng nhiều nhất là carbon và hydrogen. Silicon là một chất bán dẫn lý tưởng cho việc dẫn điện, chiếm vị thế vô cùng quan trọng trong ngành công nghiệp điện tử hiện đại với cấu tạo hoàn hảo của nó. Ngược lại, silicone thường là một chất lỏng hoặc chất dẻo tương tự như cao su nên nó cách điện rất tốt.

Trong tự nhiên, silicon thường được tìm thấy ở dạng hợp chất với oxy, nhôm và magiê. Để thu được silicon tinh khiết phải trải qua quá trình chiết xuất từ các hợp chất của chúng. Silicon được sử dụng trong các thiết bị bán dẫn dưới dạng các mạch tích hợp đòi hỏi có cấu trúc đơn tinh thể cùng độ tinh khiết siêu cao "99,999999999%", được tinh chế bằng nhiều quá trình xử lý khác nhau sau khi khai thác. Silicon dạng tinh khiết được xem là một trong những nhân tố quan trọng để tạo ra các linh kiện hoàn chỉnh như diode, transistor, các loại thẻ nhớ, ổ cứng SSD, HDD... Các linh kiện này thông qua sự phối hợp, lắp ghép và liên kết với nhau sẽ tạo nên những bảng mạch điện tử có

vai trò quan trọng trong các thiết bị điện tử ngày nay như: cảm biến nhiệt độ của điều hòa không khí, CPU của máy tính, bộ chuyển đổi tín hiệu trong điện thoại, tivi... (hình 1).



Hình 1. Một số ứng dụng của silicon.

Mạng tinh thể của silicon có cấu trúc lập phương giống cấu trúc tinh thể của kim cương, trong đó mỗi nguyên tử Si được liên kết với 4 nguyên tử Si gần nhất, được xem là cấu trúc tương đối ổn định.

Tuy nhiên, các đặc tính của silicon như một chất bán dẫn vẫn chưa thể đạt đến lý tưởng hoàn toàn. Silicon dẫn nhiệt không tốt lắm, ví dụ như các máy tính luôn cần tới hệ thống làm mát tốn kém, nhưng vẫn xảy ra hiện tượng quá nhiệt. Hơn nữa, mặc dù silicon cho phép các electron chạy qua cấu trúc của nó một cách dễ dàng, nhưng lại ít hỗ trợ sự thiếu vắng electron, còn được gọi là lỗ trống. Các lỗ trống electron trong một kim loại hoặc mạng tinh thể bán dẫn có thể di chuyển qua mạng tinh thể như các electron, và tác động tương

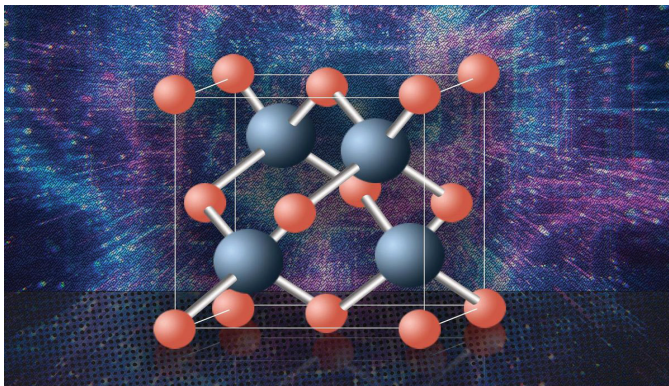
*Nghiên cứu được công bố trên Tạp chí Science, số 377(6604), xuất bản ngày 21/07/2022.

tự như các hạt tích điện dương. Chúng đóng một vai trò quan trọng trong việc vận hành các linh kiện bán dẫn. Những điểm yếu này làm giảm hiệu quả tổng thể của vật liệu bán dẫn silicon.

Hành trình khám phá cấu trúc bán dẫn mới

Gần đây, nhóm nghiên cứu của GS Jungwoo Shin (Đại học Houston, Hoa Kỳ) đã phát hiện ra rằng, một vật liệu bán dẫn cấu trúc arsenide boron (c-BAs) có thể hoạt động tốt hơn nhiều so với silicon. Tính đến thời điểm hiện tại, đây là chất bán dẫn tốt nhất từng được tìm thấy. Phát hiện này chỉ ra một hướng đi mới cho chất bán dẫn, có thể cách mạng hóa ngành công nghiệp bán dẫn trong tương lai.

Vào năm 2018, các thí nghiệm cho thấy, cấu trúc c-BAs - một tinh thể phát triển từ hai nguyên tố tương đối phổ biến boron và asen (hình 2) có tính chất dẫn nhiệt gấp 10 lần so với silicon, chỉ sau kim cương và cấu trúc boron nitride được làm giàu đồng vị.



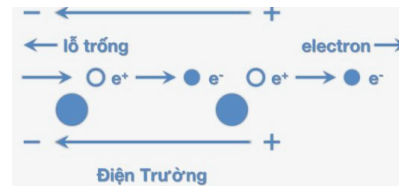
Hình 2. Cấu trúc tinh thể arsenide boron.

Việc phân tích tính linh động của electron và lỗ trống trong cấu trúc c-BAs là một thách thức lớn vì các tinh thể mà nhóm nghiên cứu thực hiện thí nghiệm ở mức độ rất nhỏ. Ngoài ra, chúng còn bị lẫn tạp chất làm phân tán các electron và lỗ trống. Song với phương pháp thăm dò các tinh thể bằng xung động laser, nhóm nghiên cứu nhận thấy rằng, các electron và lỗ trống có tính linh động cao nhất tại các vị trí trên mạng tinh thể với ít tạp chất nhất.

Độ linh động của electron và lỗ trống được đo bằng đơn vị cm^2/Vs . Silicon có độ linh động electron là $1.400 cm^2/Vs$ và độ linh động của lỗ trống là $450 cm^2/Vs$ ở nhiệt độ phòng. Ngược lại, theo phát hiện mới, c-BAs có độ linh động $1.600 cm^2/Vs$ đối với cả electron và lỗ trống chuyển động cùng nhau ở nhiệt độ phòng.

Ngoài ra, nhóm nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, độ linh động của electron trong c-BAs có thể lên tới $3.000 cm^2/Vs$. Sự đột phá này có thể là do các electron nóng có khả

năng bảo toàn năng lượng, được tạo ra bởi các xung laser vốn được sử dụng để kích thích các hạt mang điện tích lâu hơn so với chúng trong hầu hết các vật liệu khác. Các electron nóng còn được gọi là “hạt tải điện nóng”, là các electron đã đạt được mức động năng rất cao sau khi được gia tốc bởi một điện trường mạnh trong các vùng có cường độ điện trường cao của chất bán dẫn. Do có động năng cao, các electron có thể vượt rào cản thế năng cần thiết để phá vỡ cấu trúc hiện có (hình 3).



Hình 3. Dòng điện trong chất bán dẫn.

Thách thức hiện nay là tìm ra cách để tạo ra vật liệu này với số lượng có thể sử dụng được. Các phương pháp sản xuất hiện tại mới chỉ có thể tạo ra các vật liệu không đồng nhất và chủ yếu trong quy mô phòng thí nghiệm, vì vậy nhóm nghiên cứu phải tìm cách kiểm tra các phần nhỏ cục bộ của vật liệu đủ đồng nhất để đạt được dữ liệu đáng tin cậy. Tuy nhiên, các nhà nghiên cứu cho rằng, vật liệu có thể được chế tạo theo cách thực tế và kinh tế, vì các nguyên tố boron, asen và kỹ thuật chế tạo tinh thể đều không quá đắt đỏ.

Đánh giá về những nghiên cứu của mình, GS Jungwoo Shin và cộng sự cho biết, quá nhiệt hiện là một điểm hạn chế lớn đối với nhiều thiết bị điện tử. Cacbua silicon (SiC) đang được sử dụng để thay thế silicon cho thiết bị điện tử công suất lớn trong các ngành công nghiệp ô tô điện bao gồm cả Tesla, vì nó có độ dẫn nhiệt cao gấp 3 lần so với silicon mặc dù tính linh động của electron thấp hơn. Tuy nhiên, hãy tưởng tượng những gì arsenide boron có thể đạt được, với độ dẫn nhiệt cao gấp 10 lần và tính linh động của electron cao hơn nhiều so với silicon. Đây có thể là một yếu tố làm thay đổi ngành công nghiệp điện tử.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Jungwoo Shin, et al. (2022), “High ambipolar mobility in cubic boron arsenide”, *Science*, **377(6604)**, pp.437-440, DOI: 10.1126/science.abn4290.
2. <https://www.greencarcongress.com/2022/07/20220724-mit.html>.
3. <https://phys.org/news/2022-07-high-carrier-mobility-cubic-boron.html>.
4. <https://www.materialstoday.com/electronic-properties/news/electrons-and-holes-cubic-boron-arsenide/>.
5. <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/07/220721141459.htm>.