

Graphene xoắn và sự phát triển của đi-ốt siêu dẫn

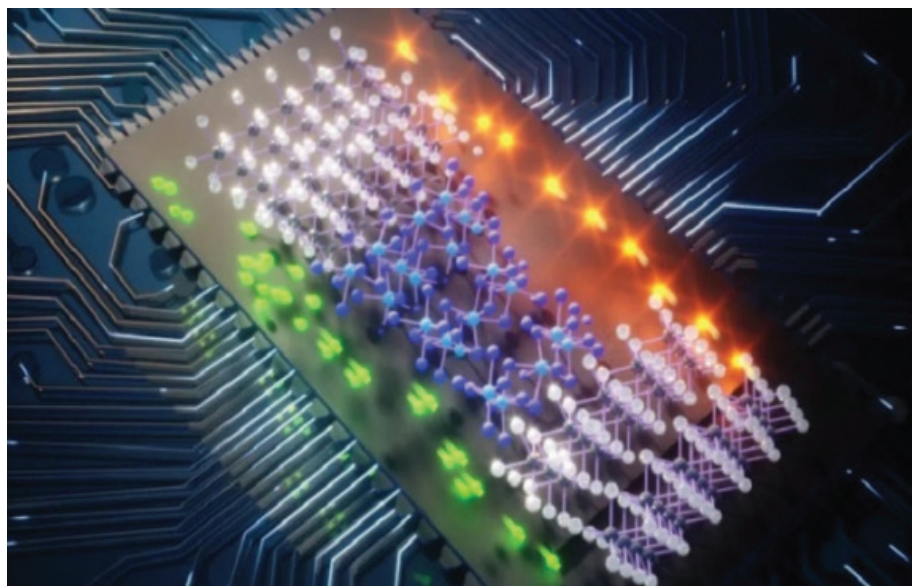
Hoàng Hữu Đô, ThS Trương Đình Dũng
Trường Cao đẳng Kỹ thuật thông tin

Những khám phá mới trong hơn một thế kỷ qua đã ngày càng làm sáng tỏ hơn bức tranh sinh động về những tính chất độc đáo của hiện tượng siêu dẫn. Sự phát triển gần đây của đi-ốt siêu dẫn sử dụng graphene xoắn, nhiều lớp đã làm cho việc tìm hiểu cách thức hoạt động của các chất siêu dẫn khác thường trở thành một chủ đề mới quan trọng của nghiên cứu cơ bản.

Lý thuyết BCS*, mô hình mở đường nghiên cứu chất siêu dẫn

Mặc dù được phát hiện khá sớm nhưng cho đến năm 1950, hệ thống lý thuyết liên quan đến hiện tượng siêu dẫn mới dần được sáng tỏ với những nỗ lực nghiên cứu do một số nhà vật lý xuất sắc của thế kỷ XX xây dựng. Trong đó, công bố đầu tiên về nguyên lý hoạt động của chất siêu dẫn theo mô hình GLAG (theo tên các nhà khoa học Ginzburg, Landau, Abrikosov, Gorkov) đã đặt nền tảng cho những ứng dụng thực tiễn của chất siêu dẫn. Mô hình này đã thành công trong việc dự đoán các tính chất siêu dẫn trên phương diện vĩ mô mặc dù khi đó những gì diễn ra ở cấp độ vi mô vẫn chưa được giải đáp. Đến năm 1957, 3 nhà vật lý John Bardeen, Leon Cooper và Robert Schrieffer đã phát triển một lý thuyết vi mô hoàn chỉnh về hiện tượng siêu dẫn, được đặt tên là lý thuyết BCS. Lý thuyết BCS chứng minh nguyên nhân vật liệu trở nên siêu

*Tên của 3 nhà vật lý (gồm John Bardeen, Leon Cooper, Robert Schrieffer) phát triển một lý thuyết vi mô hoàn chỉnh về hiện tượng siêu dẫn.



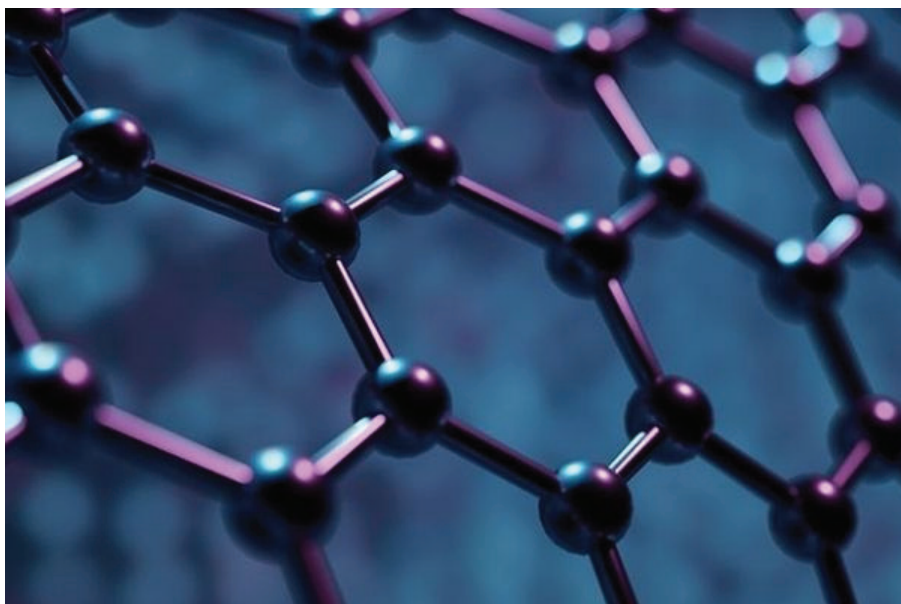
Chip siêu dẫn dựa trên cấu trúc vật liệu mới.

dẫn là do ở điều kiện nhiệt độ rất thấp, các electron tự do có thể bắt cặp với nhau và sắp xếp tạo thành chuỗi nối tiếp (thành dòng). Do đó, các electron chuyển động định hướng bên trong chất siêu dẫn mà không còn trở kháng, tức là dòng điện chuyển động mà không có điện trở.

Graphene xoắn và hiệu ứng siêu dẫn

Năm 2004, Andre Geim cùng các cộng sự đã tách thành công một lớp đơn nguyên tử carbon từ than chì, chứng minh sự tồn tại của một loại vật liệu 2 chiều cấu thành

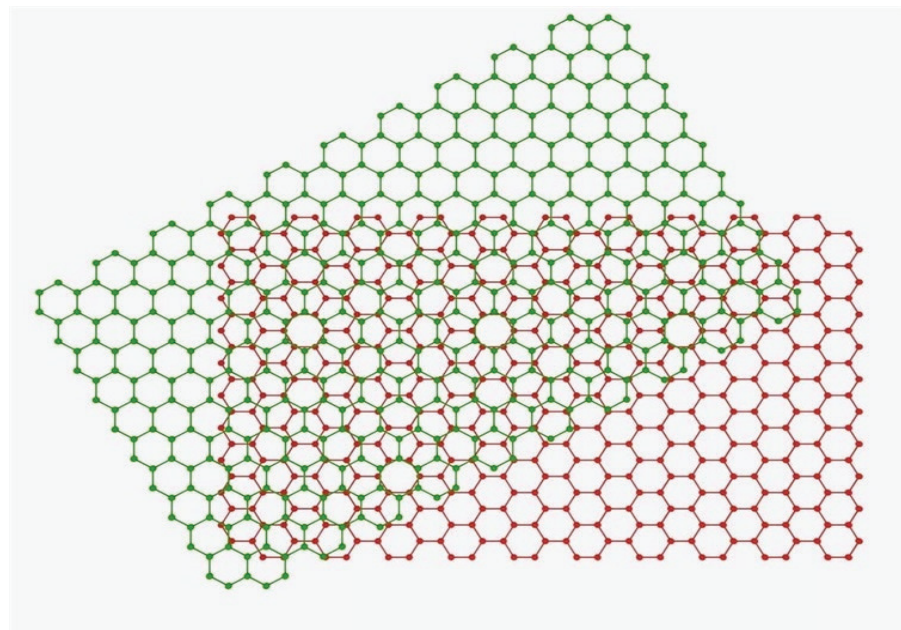
từ carbon, được gọi là graphene. Sự ra đời của graphene cùng những tiên đoán về tính chất điện tử của nó đã hứa hẹn những triển vọng ứng dụng vô cùng to lớn cho ngành công nghệ bán dẫn, đồng thời thúc đẩy mạnh mẽ các nghiên cứu từ cơ bản đến ứng dụng dựa trên graphene cũng như các vật liệu 2 chiều khác. Về cấu trúc, mỗi nguyên tử cacbon trong tấm graphene liên kết chặt chẽ với 3 nguyên tử khác ở các góc giống hệt nhau, tạo thành một cấu trúc phẳng giống như tổ ong.



Cấu trúc graphene.

Nhờ cấu trúc độc đáo này, graphene sở hữu những đặc điểm rất đặc biệt như: tính linh động electron cao (nhanh hơn silicon 100 lần); dẫn nhiệt tốt (hơn kim cương gấp 2 lần); độ dẫn điện của graphene cũng tốt hơn 13 lần so với đồng. Ngoài ra, graphene chỉ

hấp thụ 2,3% ánh sáng phản xạ; nó không thấm nước nên ngay cả nguyên tử nhỏ nhất (heli) cũng không thể đi qua tấm graphene đơn lớp. Graphene còn được gọi là vật liệu 2 chiều (2D) vì chỉ có thể mở rộng theo chiều dài và chiều rộng.

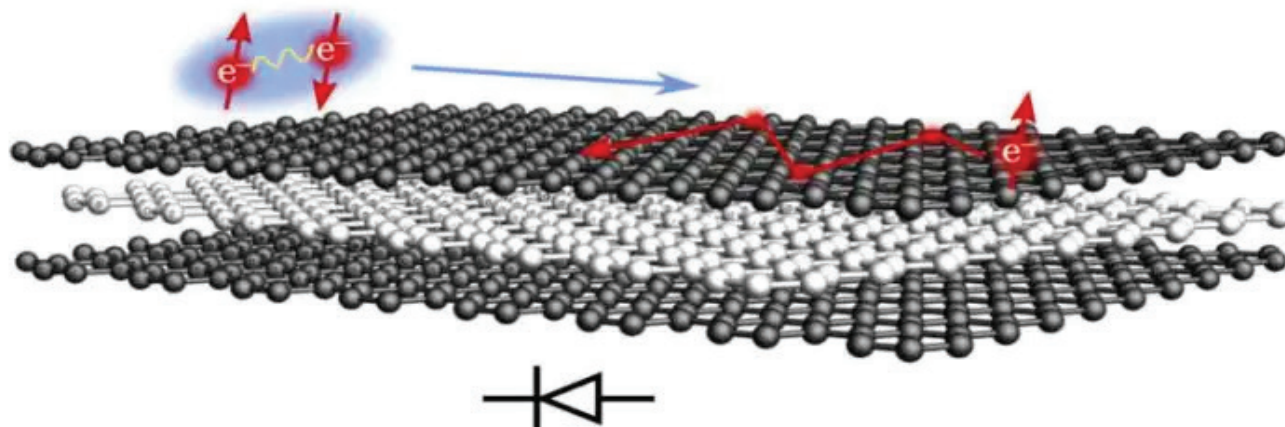


Cấu trúc graphene xoắn 2 lớp.

Năm 2018, các nhà nghiên cứu của Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), Mỹ đã phát hiện ra rằng, họ có thể tạo ra hiện tượng siêu dẫn trong graphene bằng cách xếp chồng 2 lớp vật liệu đơn nguyên tử này theo một góc chính xác là $1,1^\circ$. Họ gọi vật liệu mới này là “graphene xoắn góc ma thuật”. Khi các lớp graphene được xếp chồng lên nhau, tính chất điện của chúng thay đổi. Bằng cách xoắn lớp trên thành một góc $1,1^\circ$, cấu trúc 2 lớp có thể đột ngột thay đổi giữa tính chất cách điện và siêu dẫn của vật liệu được cấu thành.

Trong những nghiên cứu tiếp theo, các nhà nghiên cứu đã thử nghiệm với nhiều lớp hơn. Khi họ xếp chồng 4 lớp graphene và xoắn chúng, cấu trúc này trở thành một chất cách điện. Nhưng lần này, nhóm nghiên cứu đã có thể sử dụng một điện trường để điều chỉnh khả năng cách điện của vật liệu, điều mà trước đây chưa thể làm được. Theo nhóm nghiên cứu, cấu trúc graphene xoắn mang tiềm năng rất lớn để tạo ra các linh kiện điện tử ưu việt.

Graphene xoắn có nhiệt độ tới hạn (là nhiệt độ mà tại đó vật liệu trở thành chất siêu dẫn) thấp hơn nhiều so với các vật liệu siêu dẫn khác, chỉ khoảng 1 K ($-272,15^\circ\text{C}$). Nhiệt độ tới hạn cực thấp thường làm cho vật liệu không phù hợp với nhu cầu siêu dẫn công nghiệp, vì cần quá nhiều năng lượng để làm nguội vật liệu. Nhưng đối với mục đích nghiên cứu, nhiệt độ tới hạn thấp không nhất thiết là một yếu tố hạn chế.



Hiệu ứng đi-ốt siêu dẫn.

Đi-ốt siêu dẫn sử dụng graphene xoắn

Các linh kiện bán dẫn trên cơ sở graphene được coi là sự kế thừa tiềm năng cho một số thành phần silicon hiện đang được sử dụng. Do thực tế là một electron có thể di chuyển nhanh hơn trong graphene so với silicon, cho thấy những tiềm năng lớn cho phép tính toán terahertz (siêu máy tính).

Gần đây, nhóm nghiên cứu của PGS Jia Li tại Đại học Brown (Mỹ) đã nghiên cứu việc sử dụng graphene xoắn để tạo nên đi-ốt siêu dẫn. Hiệu ứng đi-ốt siêu dẫn xảy ra khi có dòng điện qua đi-ốt và đi-ốt hoạt động giống như chất siêu dẫn theo một hướng của dòng điện, giống như một điện trở theo hướng ngược lại. Trái ngược với đi-ốt thông thường, đi-ốt siêu dẫn có điện trở bằng 0 nên không bị mất năng lượng theo chiều thuận. Kết quả nghiên cứu mới này có thể tạo nền tảng cho các thiết bị điện tử lượng tử không tổn hao siêu hiệu quả.

Ban đầu, khái niệm về một đi-ốt siêu dẫn được dự đoán rằng cần có từ trường bên ngoài. Tuy

nhiên, trong các thí nghiệm mới được thực hiện tại Đại học Brown, nhóm của PGS Jia Li đã tạo ra một hiệu ứng đi-ốt cực mạnh mà không có từ trường. Đó là tính chất siêu dẫn của đi-ốt. Kết quả là tính siêu dẫn và từ tính có thể cùng tồn tại trong một hệ thống bao gồm 3 lớp graphene xoắn tương đối với nhau. Điều này có thể được tạo ra bởi từ trường bên trong của chính nó, tạo ra hiệu ứng đi-ốt. Đây là lần đầu tiên sự tồn tại chung giữa hiện tượng siêu dẫn và từ tính được quan sát thấy trong vật liệu 2 chiều, đó là graphene xoắn lớp. Kết quả nghiên cứu này là hướng đi mới để nghiên cứu tác động qua lại giữa hiện tượng siêu dẫn và từ tính.

Mặc dù cho đến nay vẫn còn nhiều thách thức đối với những nghiên cứu về chất siêu dẫn, nhưng những kiểm chứng thực nghiệm dựa trên các dự đoán lý thuyết sẽ là cơ sở vững chắc để các nhà nghiên cứu tiếp tục khám phá ra những chất siêu dẫn ở nhiệt độ phòng với áp suất thấp, phục vụ các mục đích ứng dụng rộng rãi trong cuộc sống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. W. Klose (1969), "Theory of type-II superconductivity: Ginzburg-Landau-abrikosov-gorkov theory", *Vorträge über Supraleitung*, pp.135-159.
2. J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer (1957), "Theory of superconductivity", *Physical Review*, **108**(5), pp.1175-1204.
3. K.S. Novoselov, et al. (2004), "Electric field effect in atomically thin carbon films", *Science*, **306**, pp.666-669.
4. X. Liu, et al. (2022), "Isospin order in superconducting magic-angle twisted trilayer graphene", *Nat. Phys.*, **18**, pp.522-527.
5. <https://materialstoday.com/nanomaterials/news/twisted-graphene-magnetism-superconducting-diode/>.
6. <https://science.org/content/article/twisted-graphene-could-power-new-generation-superconducting-electronics>.