

VẬT LIỆU 2 CHIỀU:

Bước đột phá trong khoa học vật liệu và ứng dụng công nghệ

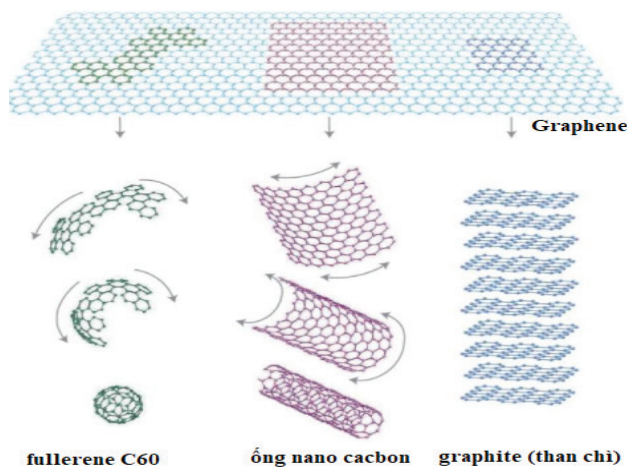
Đinh Văn Chiến

Cục Năng lượng nguyên tử, Bộ KH&CN

Cùng với các vật liệu 2 chiều như: graphene, silicene, phosphorene, germanene, borophene..., beryllonitrene là vật liệu 2 chiều mới nhất vừa được công bố trên Tạp chí Physical Review Letters (Mỹ), hứa hẹn mang lại nhiều giá trị ứng dụng cho các ngành sản xuất công nghiệp như chế tạo máy tính hiệu suất cao, thiết bị mã hóa thông tin, sản xuất linh kiện bán dẫn, pin năng lượng, vật liệu siêu bền phục vụ công nghiệp chế tạo vệ tinh, máy bay, xe hơi...

Graphene - vật liệu 2 chiều đầu tiên được tạo ra

Những năm 30-40 của thế kỷ XX, các nhà vật lý lý thuyết đã rất quan tâm đến việc có tồn tại hay không một loại tinh thể 2 chiều và điều này đã trở thành chủ đề được thảo luận sôi nổi trong cộng đồng vật lý lý thuyết thế giới khi đó. Các nghiên cứu của 2 nhà vật lý lý thuyết có tên tuổi đương thời là Peierls và Landau chỉ ra rằng, không thể có sự tồn tại của một vật liệu 2 chiều trong tự nhiên bởi vì sự dao động nhiệt của nguyên tử sẽ dẫn đến khả năng phá vỡ cấu trúc mạng tinh thể 2 chiều, hay nói cách khác là vật liệu 2 chiều không thể tồn tại do tính chất không bền nhiệt động học của mạng tinh thể 2 chiều [1]. Sau đó, trong công trình nghiên cứu có tên gọi "Crystalline order in two dimensions" liên quan đến sắp xếp cấu trúc tinh thể trong kích thước 2 chiều được đăng tải trên Tạp chí Physical Review năm 1968, nhà vật lý N.D. Mermin tại Đại học Cornell (Mỹ) đã công bố những tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng tính đúng đắn của lý thuyết trên. Kết quả cho thấy, nhiệt độ nóng chảy của một tấm vật liệu giảm theo độ dày của chúng, khi đạt đến độ dày khoảng 1 nanomet (tương đương độ dày kích thước của vài chục nguyên tử) thì tấm vật liệu tự biến dạng và co cụm



Vật liệu 2 chiều graphene được xem như đơn vị cơ sở hình thành nên phân tử fullerene C60, ống nano carbon và graphite (than chì).

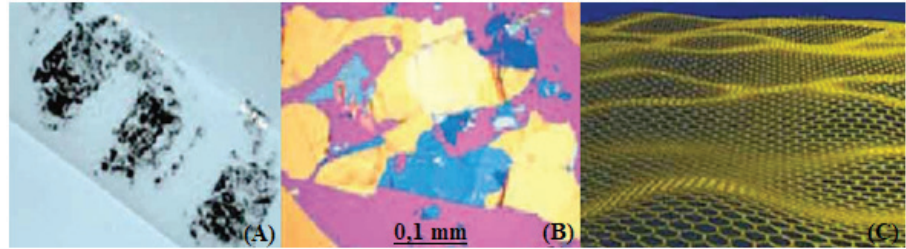
lại thành những khối 3 chiều [2]. Như vậy, một lần nữa cả lý thuyết và kết quả thực nghiệm đều cho thấy việc không thể tồn tại một vật liệu 2 chiều có trong tự nhiên. Tuy nhiên, điều này có lẽ lại trở thành động lực để thôi thúc những tìm tòi khám phá đối với các nhà khoa học trên thế giới.

Năm 2004, những kết quả công bố trên tạp chí khoa học uy tín là Science (Mỹ) số tháng 10/2004 về việc tạo ra graphene - vật liệu 2 chiều đầu tiên trong thế giới tự nhiên của 2 nhà khoa học Andre Geim và Konstantin Novoselov làm việc tại Đại học Manchester (Vương quốc Anh) đã gây tiếng vang trong giới vật

lý lý thuyết nói chung và khoa học vật liệu nói riêng. Theo đó, graphene được tạo ra là loại vật liệu carbon có cấu trúc dạng mạng lưới lục giác kết nối giữa các nguyên tử carbon, có độ dày của chính một nguyên tử carbon, hoặc hiểu theo một cách đơn giản thì graphene là một lớp màng mà các nguyên tử carbon trải rộng, sắp xếp theo mạng lục giác 2 chiều và đây chính là vật liệu 2 chiều đầu tiên có thể được tạo ra trong tự nhiên [3]. Cũng cần phải nói thêm rằng, trước khi graphene xuất hiện, cộng đồng khoa học thế giới cũng đã biết đến sự tồn tại của những cấu trúc tinh thể zero chiều như phân tử

fullerene C60, 1 chiều như ống nano cacbon và 3 chiều như graphite (than chì), trong đó mảng cấu trúc 2 chiều như graphene giống như đơn vị cơ sở hình thành nên chúng. Tuy nhiên, điểm khác biệt trong khám phá graphene đó là các nhà khoa học có thể bóc tách ra một lớp graphene 2 chiều, sự kiện này đã tạo ra cột mốc đầu tiên trong lịch sử khoa học khi có thể quan sát và sử dụng được một vật liệu mỏng tận cùng với bề dày bằng kích thước của một nguyên tử. Kết quả này đã làm đảo lộn những lý thuyết về vật chất 2 chiều giả định, trong đó khẳng định theo các quy luật vật lý không thể có sự tồn tại của vật chất 2 chiều trong tự nhiên và thực tế cũng cho thấy, vật chất mỏng nhất mà con người có thể chế tạo ra trước đó là lớp cách điện silicon dioxide trong công nghiệp bán dẫn với độ dày cỡ vài nanomet, tương đương độ dày của hàng chục lớp nguyên tử xếp chồng (kích cỡ của một nguyên tử khoảng 0,1 nm).

Trong công trình trên, Andre Geim và Konstantin Novoselov đã mô tả việc chế tạo, nhận dạng và chỉ ra những đặc trưng của graphene, trong đó sử dụng lặp lại phương pháp bóc dán thủ công đơn giản bằng loại băng dính thông thường để tách ra những lớp mỏng graphene từ tinh thể graphite (than chì), sau đó quan sát chúng trên nền một lớp silicon dioxide bằng kính hiển vi quang học thông thường. Lớp silicon dioxide này được xem là yếu tố chính quyết định đến việc nhận diện được graphene dựa trên màu sắc khác nhau tùy thuộc vào độ dày của graphene do sự khúc xạ và giao thoa của ánh sáng phản xạ từ nền silicon dioxide. Một điểm đặc biệt đáng chú ý trong phát hiện ra graphene đó là graphene 2 chiều thực sự chỉ có thể quan sát khi độ dày chính xác của lớp silicon dioxide là 315 nm và bất kỳ sự sai lệch nào của con số này sẽ chỉ là hình ảnh quan sát được của mảng graphite mỏng, gồm nhiều lớp



Các lớp graphene được bóc tách thủ công bằng băng dính thông thường (A); màu sắc của các lớp graphene với độ dày khác nhau được quan sát dưới kính hiển vi quang học (B); cấu trúc vi mô của graphene 2 chiều giống lớp mạng lồi lõm trong không gian 3 chiều (C).

graphene xếp chồng hoặc không cho hình ảnh có thể quan sát [4]. Đây là một chi tiết để nói lên ý nghĩa của sự lao động miệt mài trong nghiên cứu, cùng với đó là “cái duyên” cần có trong khoa học để có thể đi đến thành quả cuối cùng.

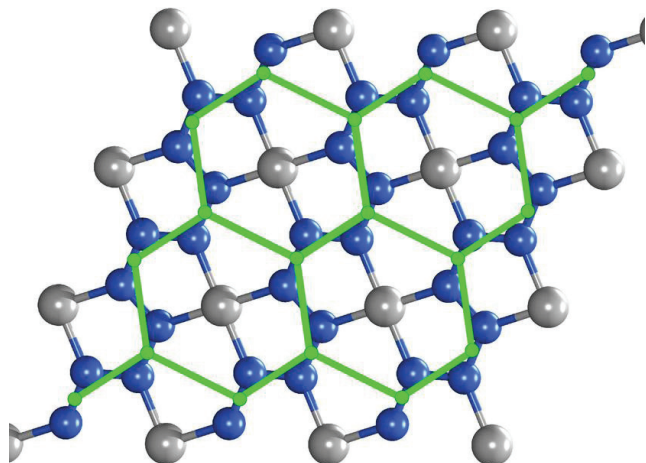
Beryllonitrene - vật liệu 2 chiều mới của thế giới tự nhiên

Trong một công trình nghiên cứu mới đây được đăng tải trên tạp chí chuyên ngành vật lý uy tín Physical Review Letters (số 126, xuất bản tháng 4/2021), nhóm các nhà khoa học tại Đại học Bayreuth (Đức) công bố đã phát hiện ra một loại vật liệu 2 chiều mới - beryllonitrene bằng công nghệ áp suất cao, đây cũng là công nghệ mới so với các công nghệ chế tạo vật liệu 2 chiều truyền thống khác như công nghệ tách plasma, lắng đọng hơi hóa học, hóa ướt. Sự phát triển của khoa học và công nghệ đã giúp cho con người ngày càng được thụ hưởng những thành quả của sự tiến bộ, đó là kết quả của quá trình nghiên cứu lâu dài và ngày càng sáng tỏ hơn về thế giới vi mô trong cấu trúc vật chất mà trong đó nguyên tử là yếu tố nhỏ nhất. Khi xem xét cấu trúc vật chất theo phương diện yếu tố nhỏ nhất là nguyên tử thì một vật liệu 2 chiều là vật liệu có độ dày của một nguyên tử. Cho đến nay, sự tồn tại của vật liệu 2 chiều trong tự nhiên và khả năng ứng dụng trong chế tạo các thiết bị phục vụ cuộc sống vẫn còn rất nhiều điều thú vị và thách thức đối

với các nhà khoa học.

Trong nghiên cứu khám phá ra beryllonitrene, hợp chất polynitrit beryllium triclinic được tổng hợp dưới điều kiện áp suất cao (100 GPa, tương đương khoảng 1 triệu lần áp suất khí quyển), những polynitrit beryllium triclinic này có cấu trúc tinh thể được tạo thành từ nhiều lớp cấu trúc 2 chiều chứa các chuỗi nitơ phức tạp được liên kết bởi các nguyên tử berili. Mỗi lớp cấu trúc 2 chiều này chính là một vật liệu 2 chiều beryllonitrene mới được phát hiện [5]. Cũng tương tự như những loại vật liệu 2 chiều khác, beryllonitrene được trông đợi mang đến những đặc tính cơ học lượng tử và cấu trúc của vật chất cho các cải tiến kỹ thuật, đóng vai trò là tiền thân hình thành nên các loại vật liệu độc đáo được sử dụng trong các ngành công nghiệp như sản xuất máy tính hiệu suất cao hoặc cho các kỹ thuật mã hóa mới trong công nghệ giao tiếp không gian. Mặc dù vẫn còn nhiều thách thức để có thể đưa vào sản xuất vật liệu 2 chiều ở quy mô công nghiệp nhưng việc tạo ra một loại vật liệu 2 chiều mới bằng phương pháp này đã mở ra triển vọng mới cho nghiên cứu áp suất cao trong khoa học vật liệu nói chung và trong việc phát triển các vật liệu 2 chiều nói riêng.

Sự ra đời của những vật liệu 2 chiều mới đang tiếp tục tạo động lực cho các nhà khoa học trong nghiên cứu và ứng dụng với những điều mới



Cấu trúc mạng tinh thể của vật liệu 2 chiều beryllonitrene được tạo ra dưới áp suất cao.

mẻ và thú vị như chính khởi đầu của sự khám phá ra vật liệu 2 chiều đầu tiên (graphene) cùng sự ghi nhận của Giải thưởng Nobel Vật lý năm 2010 cho khám phá đầu tiên này.

Từ phát hiện đầu tiên cho đến những nghiên cứu, ứng dụng ngày nay

Sự xuất hiện những màu sắc mê hoặc của các lớp graphene với độ dày mỏng khác nhau hiện ra dưới kính hiển vi từ năm 2004 đã trở thành niềm cảm hứng cho cộng đồng khoa học với sự gia tăng đột biến các công trình nghiên cứu liên quan đến graphene hàng năm. Trong giai đoạn 2004-2009, số lượng các công trình nghiên cứu liên quan đến graphene được đăng tải trên các tạp chí khoa học uy tín đã tăng gấp 10 lần và đạt gần 2.500 công trình trong năm 2009 [6], trước khi hai nhà khoa học Andre Geim và Konstantin Novoselov chính thức nhận được Giải Nobel vật lý vào năm 2010 cho những khám phá về graphene. Giá trị của khoa học không chỉ ở khía cạnh khai phá những điều ẩn chứa mà còn ở khả năng ứng dụng các kết quả để phục vụ nhu cầu cuộc sống của con người. Trong phát hiện về graphene, các nhà khoa học đã không chỉ dừng lại ở việc có thể tạo ra vật liệu 2 chiều đầu tiên mà còn mô tả được đặc tính

transistor graphene, sự chuyển động của điện tử (electron) và lỗ trống tích điện dương bên trong cấu trúc vật liệu [3]. Transistor graphene cho thấy khả năng hoạt động nhanh hơn gấp nhiều lần các transistor silicon hiện nay trong ngành công nghiệp máy tính hay các transistor tần số cao trong các thiết bị viễn thông như điện thoại di động, máy thu phát sóng vệ tinh, các dụng cụ nano điện tử. Khi kết hợp với plastic, graphene tạo thành chất liệu composite siêu bền, chịu nhiệt tốt, nhẹ, mỏng và dẻo, thích hợp cho ngành công nghiệp sản xuất vệ tinh, máy bay, xe hơi. Với diện tích bề mặt lớn hơn gấp 10 lần xấp than hoạt tính, graphene có ưu thế để tạo ra siêu tụ điện thay thế siêu tụ điện có điện cực xấp than hoạt tính đang thông dụng hiện nay.

Sự xuất hiện của graphene đã thổi bùng lên một cuộc cách mạng không chỉ cho những nghiên cứu lý thuyết vật lý lượng tử và ứng dụng mà còn cho sự xuất hiện của những vật liệu 2 chiều mới, trong đó những vật liệu này có thể được sử dụng để tạo nên những dây vật liệu 2 chiều hoặc kết hợp với graphene để tạo ra những vật liệu thiết kế mới có những đặc tính ưu việt trong ứng dụng của các ngành công nghiệp chế tạo linh kiện bán dẫn, sản xuất thiết bị quang điện,

pin năng lượng, vật liệu bền nhiệt, vật liệu cường lực... đầy hứa hẹn.

Hơn một thập kỷ qua, graphene đã không còn đơn độc trong thế giới 2 chiều khi mà hàng loạt những vật liệu 2 chiều khác đã được tạo ra như silicene (Si), phosphorene (P), germanene (Ge), borophene (B), beryllonitrene..., cùng với đó còn có sự xuất hiện của các cấu trúc dị thể được tạo ra bằng cách xếp chồng những tấm vật liệu 2 chiều khác nhau nhằm tạo ra một loại vật liệu composite có những đặc tính độc đáo và tối ưu. Khả năng ứng dụng của các vật liệu 2 chiều ngày càng được khẳng định rộng rãi trong nhiều lĩnh vực có quy mô, giá trị cao, tuy nhiên đến nay phương pháp tổng hợp để sản xuất trên quy mô công nghiệp, đảm bảo chi phí hợp lý đối với vật liệu 2 chiều vẫn còn là một thách thức cần nhiều nỗ lực nghiên cứu, đầu tư

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Peierls, Landau (1937), "On the theory of phase transitions", *Phys. Z. Sowjetunion*, **11(26)**, pp.193-216.
 [2] N.D. Mermin (1968), "Crystalline order in two dimensions", *Phys. Rev.*, **176**, pp.250-254.
 [3] Andre Geim, Konstantin Novoselov (2004), "Electric field effect in atomically thin carbon films", *Science*, **306**, pp.666-669.
 [4] P. Blake, et al. (2007), "Making graphene visible", *Appl. Phys. Lett.*, **91**, pp.063124.
 [5] Maxim Bykov, et al. (2021), "High-pressure synthesis of dirac materials: Layered van der Waals Bonded BeN4 polymorph", *Phys. Rev. Lett.*, **126(17)**, p.17501.
 [6] D.R. Kauffman, et al. (2010), "Grapheneversuscarbon nanotubes for chemical sensor and fuelcell applications", *Analyst*, **135(11)**, pp.2790-2797.