



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0037818

(51)^{2017.01} C01B 32/19; B01F 3/08; B01F 7/04

(13) B

(21) 1-2020-04877

(22) 25/08/2020

(45) 25/12/2023 429

(43) 25/06/2021 399

(73) Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VN)
18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Bùi Hùng Thắng (VN); Phan Ngọc Minh (VN); Vasili Rubanik (BY); Đoàn Đình
Phuong (VN); Nikifarava Iryna (BY); Nguyễn Việt Dũng (VN).

(54) QUY TRÌNH TÁCH LỚP GRAPHIT TRONG PHA LỎNG ĐỂ CHẾ TẠO VẬT LIỆU GRAPHEN

(57) Sáng chế đề xuất quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le với ưu điểm tạo ra lực cắt và gia tốc lớn hơn, mở rộng vùng không gian tách lớp, qua đó nâng cao khả năng tách lớp, nâng cao công suất và hiệu suất chế tạo graphen. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bao gồm các bước như sau: phân tán vật liệu graphit (1) vào trong chất lỏng nền (2) để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphit (4). Sau đó, đưa chất lỏng chứa vật liệu graphit (4) vào bể (11) của máy khuấy cắt hai trục so le (3) để tiến hành tách lớp với thời gian, tốc độ và nhiệt độ thích hợp để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphen (5). Sau đó, làm sạch chất lỏng chứa vật liệu graphen (5) bằng hệ thống lọc hút chân không (6) để thu được vật liệu graphen ướt (7). Cuối cùng, sấy khô vật liệu graphen ướt (7) trong tủ sấy 8 để tạo thành sản phẩm cuối cùng là vật liệu graphen (9) có độ sạch cao.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế này đề cập đến quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le. Vật liệu graphen được biết đến với các tính chất ưu việt như tính chất cơ lý tốt, độ dẫn nhiệt cao, độ dẫn điện linh hoạt và có nhiều ứng dụng trong khoa học kỹ thuật. Sáng chế này đề xuất quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le với ưu điểm tạo ra lực cắt và gia tốc lớn hơn, mở rộng vùng không gian tách lớp qua đó nâng cao khả năng tách lớp, công suất và hiệu suất chế tạo graphen.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những thập kỷ gần đây, sự phát triển của công nghệ nano đã tạo ra một cuộc cách mạng mới trong khoa học công nghệ. Nhiều loại vật liệu mới ra đời, với nhiều tính chất ưu việt, trong đó có vật liệu cacbon cấu trúc nano như vật liệu graphen và ống nano cacbon với tiềm năng ứng dụng to lớn. Vật liệu graphen có cấu tạo bao gồm một hoặc vài lớp nguyên tử cacbon liên kết với nhau ở dạng lưới hình lục giác bằng liên kết sp^2 , với nhiều tính chất ưu việt như: tính chất cơ – lý tốt, độ dẫn nhiệt cao và độ dẫn điện linh hoạt.

Vật liệu graphen có độ linh động điện tử khá cao, giá trị ở nhiệt độ phòng vào khoảng $15.000 \text{ cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$, so sánh với độ linh động điện tử của silíc (Si) vào khoảng $1400 \text{ cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$, của ống nanô cacbon là xấp xỉ $10.000 \text{ cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$ và của chất bán dẫn hữu cơ (polyme, oligome) vào khoảng $10 \text{ cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$. Điện trở suất của graphen cỡ $10^{-8} \Omega.m$, thấp hơn so với điện trở suất của bạc (Ag, $1,62.10^{-6} \Omega.m$). Vì vậy graphen được biết đến như là vật liệu có điện trở suất thấp nhất trong các loại vật liệu ở nhiệt độ phòng. Điều này mở ra tiềm năng ứng dụng to lớn của graphen cho các linh kiện điện tử tiên tiến.

Độ dẫn nhiệt của vật liệu graphen đo được ở nhiệt độ phòng vào khoảng $5000 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ cao hơn các dạng thù hình khác của cacbon, than chì và kim cương. Graphen dẫn nhiệt như nhau theo các hướng trong cùng mặt phẳng. Ngày nay, khi kích thước các linh kiện điện tử điển hình như tranzito, mạch logic ngày càng thu nhỏ, mật độ mạch tích hợp ngày càng cao thì yêu cầu tản nhiệt cho các linh kiện càng trở lên quan trọng. Do đó, với khả năng dẫn nhiệt đặc biệt tốt như vậy, graphen hứa hẹn sẽ là vật liệu tản nhiệt tiềm năng có khả năng ứng dụng trong các linh kiện điện tử công suất lớn.

Vật liệu graphen hầu như trong suốt, chỉ hấp thụ 2,3% cường độ ánh sáng và hầu như không phụ thuộc vào bước sóng trong vùng quang học. Vì thế màng mỏng trong suốt, dẫn điện cao làm bằng vật liệu graphen đang được tích cực nghiên cứu và thử nghiệm. Ngoài ra, bề mặt graphen có thể hấp thụ và giải hấp thụ nhiều nguyên tử, phân tử và nhóm chức khác nhau (NO_2 , NH_3 , $-\text{K}$ và $-\text{OH}$). Các chất hấp thụ liên kết yếu thể hiện vai trò như các chất cho/nhận và làm thay đổi nồng độ các hạt tải vì thế graphen có tính dẫn điện cao. Điều này có thể được khai thác cho các ứng dụng làm cảm biến hóa học.

Vật liệu graphen có rất nhiều ứng dụng, mỗi ứng dụng đòi hỏi số lượng và chủng loại graphen khác nhau. Chẳng hạn như ứng dụng trong vật liệu composit cần một lượng lớp vật liệu tiền chất graphen. Chính vì thế trong quá trình chế tạo graphen cần tìm ra được phương pháp điều chế một lượng lớn graphen nhưng vẫn đảm bảo các thông số kỹ thuật của vật liệu.

Hiện nay, có nhiều phương pháp khác nhau để chế tạo graphen, tiêu biểu bao gồm các phương pháp sau đây:

- Phương pháp tách cơ học
- Phương pháp epitaxy
- Phương pháp tách hóa học
- Phương pháp tách mở ống nano cacbon

- Phương pháp tách pha lỏng
- Phương pháp lắng đọng pha hơi hóa học (CVD).

Mỗi một phương pháp chế tạo đều có ưu, nhược điểm riêng như phương pháp tách cơ học với nguyên tắc phá hủy lực liên kết Van Der Waals tương đối yếu giữa các lớp graphit để tách thành các lớp mỏng một vài đơn lớp cacbon sẽ thu được graphen. Hạn chế của phương pháp này là chất lượng màng không đồng đều nên ảnh hưởng đến tính chất điện tử của màng, đồng thời không chế tạo được màng graphen có diện tích lớn.

Phương pháp epitaxy được làm trong điều kiện chân không siêu cao hoặc môi trường khí argon nên ưu điểm của phương pháp này tạo ra đơn lớp graphen có độ sạch, độ tinh khiết cao nhưng chi phí cơ sở vật chất cao, lực liên kết mạnh giữa graphen và SiC làm cho graphen khó tách rời khỏi đế và di chuyển lên bề mặt khác, đồng thời do hệ số dẫn nhiệt khác nhau cũng gây ảnh hưởng đến tính chất điện của lớp màng graphen.

Phương pháp tách hóa học là phương pháp sử dụng axit mạnh oxi hóa để chèn các phân tử oxi vào khoảng giữa các lớp graphit. Sự oxi hóa đủ mạnh tạo ra đơn lớp graphen. Ưu điểm của phương pháp này là sản xuất được graphen với số lượng lớn dưới dạng quy mô công nghiệp nhưng chất lượng màng không cao và không thể tạo ra được tấm graphen với kích thước lớn. Trong khi đó, phương pháp tách pha lỏng được thực hiện đầu tiên bởi Y. Hernandez, ông đã nghiên cứu sự tác động của dung môi lên graphit bằng cách cho một lượng nhỏ graphit vào dung môi N-methylpyrrolidon (NMP), do sự tương tác về năng lượng giữa bề mặt graphit và dung môi, năng lượng này đủ lớn để thắng được lực liên kết Van Der Waals giữa các đơn lớp graphit, từ đó phân tách graphit thành các tấm mỏng graphen phân tán trong dung môi. Dung dịch sau đó sẽ được quay ly tâm để tách lấy graphen.

Phương pháp tách pha lỏng có thể tiến hành trong nhiều dung môi khác như: N,N-Dimethylacetamid (DMA), Dimethyl sulfoxit (DMSO), 1-Vinyl-2-pyrrolidinon (NVP), v.v.. Phương pháp này có ưu điểm đơn giản và có thể sản

xuất số lượng lớn graphen phân tán trong nhiều dung môi. Tuy nhiên việc chế tạo graphen bằng phương pháp tách pha lỏng graphit tồn tại một số hạn chế cơ bản đó là kích thước màng mỏng graphen thu được là nhỏ, chỉ khoảng 1-2 μm và điện trở bề mặt khá lớn (5000-8000 Ω/sq). Vì vậy, vật liệu graphen chế tạo từ phương pháp này chủ yếu thích hợp cho các ứng dụng của graphen trong vật liệu composit để nâng cao các tính chất cơ học, vật lý của vật liệu.

Hiện nay, phương pháp tách pha lỏng chủ yếu sử dụng một trục khuấy, kỹ thuật này cho hiệu quả chưa được cao, công suất thấp, khả năng tách lớp chưa tốt, do vậy cần được tiếp tục nghiên cứu và phát triển. Trong sáng chế này, chúng tôi đề xuất quy trình tách lớp graphit trong chất lỏng bằng phương pháp hai trục khuấy so le với những ưu điểm về lực cắt và gia tốc lớn hơn, vùng không gian tách lớp được mở rộng, qua đó nâng cao hiệu quả tách lớp graphit cũng như nâng cao công suất và hiệu suất chế tạo graphen.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vật liệu graphit bao gồm nhiều lớp graphen, các lớp này liên kết yếu với nhau bằng lực Van Der Waals, vì vậy có thể dùng các phương pháp hóa học hay phương pháp cơ học tách lớp vật liệu graphit để tạo thành graphen.

Khuấy cắt pha lỏng là phương pháp sử dụng các cánh khuấy quay ở tốc độ cao để tạo ra lực cơ học đủ lớn tác động và làm tách lớp vật liệu graphit để tạo thành vật liệu graphen.

Phương pháp tách pha lỏng chủ yếu sử dụng đến một trục khuấy, kỹ thuật này cho hiệu quả chưa được cao, công suất thấp, khả năng tách lớp chưa tốt và cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển. Vì vậy, trong sáng chế này chúng tôi đề xuất quy trình tách lớp graphit bằng hai trục khuấy so le trong chất lỏng chế tạo graphen với lực cắt và gia tốc lớn hơn, qua đó nâng cao khả năng tách lớp graphit, nâng cao công suất và hiệu suất chế tạo graphen.

Cụ thể hơn, máy khuấy cắt hai trục so le là máy khuấy cắt bao gồm hai trục, trong đó mỗi trục có nhiều cánh khuấy đặt so le với cánh khuấy của trục bên kia, khi hoạt động các cánh khuấy quay ngược chiều ở vùng giao nhau tạo ra lực cơ học lớn hơn so với phương pháp sử dụng máy khuấy cắt một trục khuấy. Máy khuấy cắt hai trục so le giúp nâng cao hiệu quả tách lớp vật liệu, cải thiện hiệu suất, công suất chế tạo graphen.

Về bản chất, quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bao gồm các bước sau: phân tán vật liệu graphit 1 vào trong chất lỏng nền 2 để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphit 4. Sau đó đưa hỗn hợp chất lỏng chứa vật liệu graphit 4 vào máy khuấy cắt hai trục so le 3, trong đó trục khuấy so le gồm có hai bộ phận: trục khuấy 13 và cánh tay khuấy 12 được làm bằng kim loại hoặc hợp kim có khả năng chịu nhiệt, trơ với dung môi sử dụng. Cánh khuấy của mỗi trục khuấy được xếp so le, khi hoạt động các cánh khuấy quay ngược chiều ở vùng giao nhau. Sau đó, tiến hành tách lớp vật liệu graphit bằng máy khuấy cắt hai trục so le 3 trong thời gian, tốc độ và nhiệt độ thích hợp tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphen 5. Bước tiếp theo, làm sạch chất lỏng chứa vật liệu graphen 5 bằng hệ thống lọc hút chân không 6 để thu được vật liệu graphen ướt 7. Sau đó, sấy khô vật liệu graphen ướt 7 trong tủ sấy 8 để tạo thành sản phẩm cuối cùng vật liệu graphen 9 có độ tinh khiết cao. Trong một phương án khác, để tăng hiệu quả phân tán và tách lớp graphit thì quy trình có thể sử dụng hỗn hợp chất lỏng nền và chất hoạt động bề mặt 10 thay vì chất lỏng nền 2.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: Mặt cắt thẳng đứng kết cấu thiết bị khuấy cắt hai trục so le để tách lớp graphit trong chất lỏng chế tạo vật liệu graphen.

Hình 2: Mặt cắt ngang kết cấu thiết bị khuấy cắt hai trục so le để tách lớp graphit trong chất lỏng chế tạo vật liệu graphen.

Hình 3: Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le.

Hình 4: Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le trong đó có sử dụng thêm chất hoạt động bề mặt.

Mô tả chi tiết sáng chế

Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bao gồm các bước như sau: phân tán vật liệu graphit 1 vào trong chất lỏng nền 2 để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphit 4. Sau đó, đưa chất lỏng chứa vật liệu graphit 4 vào bể 11 của máy khuấy cắt hai trục so le 3, trong đó trục khuấy so le của máy khuấy cắt bao gồm hai bộ phận: trục khuấy 13 và hệ thống cánh tay khuấy 12 được làm bằng kim loại hoặc hợp kim có khả năng chịu nhiệt và trợ với dung môi sử dụng trong quy trình này, mỗi hệ thống cánh tay khuấy 12 bao gồm tối thiểu hai cánh tay khuấy, đồng thời hai hệ thống cánh tay khuấy của hai trục khuấy được xếp so le sao cho khi hoạt động các cánh khuấy sẽ quay ngược chiều ở vùng giao nhau. Bước tiếp theo, tách lớp chất lỏng chứa vật liệu graphit 4 bằng máy khuấy cắt hai trục so le 3 trong thời gian 3 - 48 giờ, tốc độ từ 3.000 - 9.000 vòng/phút và nhiệt độ từ 35°C – 75°C để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphen 5. Sau đó, làm sạch chất lỏng chứa vật liệu graphen 5 bằng hệ thống lọc hút chân không 6 để thu được vật liệu graphen ướt 7. Cuối cùng, sấy khô vật liệu graphen ướt 7 trong tủ sấy 8 để tạo thành sản phẩm cuối cùng vật liệu graphen 9 có độ sạch cao.

Trong một phương án khác, quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen như trên, trong đó chất lỏng chứa vật liệu graphen 5 được làm sạch bằng máy quay li tâm 14 để thu được vật liệu graphen ướt 7.

Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo một trong số bất kỳ các điểm trên, trong đó chất lỏng nền 2 có thể là: nước cất,

dung môi N-metylpyrrolidon (NMP), N,N-dimetylaxetamid (DMA), dimetylformamid (DMF), dimetyl sulfoxit (DMSO), 1-vinyl-2-pyrrolidinon (NVP) hoặc bất kỳ một dung môi thích hợp nào khác.

Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo một trong số bất kỳ các điểm trên, trong đó chất lỏng nền còn có thêm chất hoạt động bề mặt 10 để tăng hiệu quả phân tán và tách lớp graphit thành graphen.

Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen được nêu như ở điểm trên, trong đó có sử dụng chất hoạt động bề mặt là: natri dodexyl sulfat (SDS), polyvinyl pyrrolidon (PVP), gôm arabi (GA), xetyl trimetyl nhôm bromit (CTAB), natri dodexyl benzen sulfonat (SDBS), Tween 60, và Tween 80 hoặc bất kỳ chất hoạt động bề mặt thích hợp nào khác.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sáng chế trở nên rõ ràng hơn thông qua ví dụ sau: phân tán vật liệu graphit vào trong dung môi N-metylpyrrolidon (NMP) với nồng độ 10 gam/lít để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphit. Sau đó, đưa chất lỏng chứa vật liệu graphit vào máy khuấy cắt hai trục so le có thể tích buồng khuấy là 4 lít. Trục khuấy so le của máy khuấy cắt bao gồm hai trục khuấy và hai hệ thống cánh tay khuấy được làm từ hợp kim thép không gỉ, mỗi hệ thống cánh tay khuấy bao gồm 5 cánh tay khuấy, đồng thời hai hệ thống cánh tay khuấy của hai trục khuấy được xếp so le sao cho khi hoạt động các cánh khuấy sẽ quay ngược chiều ở vùng giao nhau. Bước tiếp theo, tách lớp chất lỏng chứa vật liệu graphit bằng máy khuấy cắt hai trục so le trong thời gian 24 giờ ở tốc độ 6.000 vòng/phút và nhiệt độ khoảng 50°C để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphen. Sau đó, làm sạch chất lỏng chứa vật liệu graphen bằng hệ thống lọc hút chân không để thu được vật liệu graphen ướt. Cuối cùng, sấy khô vật liệu graphen ướt trong tủ sấy 8 để tạo thành sản phẩm cuối cùng vật liệu graphen 9 có độ sạch cao.

Hiệu quả của kỹ thuật sáng chế

Sáng chế này đề xuất quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bằng cách sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le. Phương pháp khuấy cắt có ưu điểm vượt trội hơn các phương pháp chế tạo thông thường vì phương pháp này có thể tạo ra được một số lượng lớn sản phẩm graphen mà vẫn đảm bảo được các thông số kỹ thuật tốt của vật liệu. Hiệu quả của sáng chế thể hiện ở các yếu tố chính sau đây:

Thứ nhất, sử dụng nguồn nguyên liệu graphit vốn có phẩm chất tốt và giá thành rẻ sẽ giúp đảm bảo các tính chất ổn định của graphen vốn không bị oxi hóa, không tác dụng với axit, bazơ... ở nhiệt độ thường. Nguồn nguyên liệu graphit có phẩm chất tốt và giá thành hợp lý đóng vai trò nền tảng, nguồn gốc để tạo ra sản phẩm vật liệu graphen có chất lượng tốt và giá thành so với những phương pháp chế tạo khác.

Thứ hai, sử dụng chất lỏng nền là các dung môi như n-metylpyrrolidon (NMP), N,N-dimethylacetamid (DMA), dimethylformamid (DMF), dimethyl sulfoxit (DMSO), 1-vinyl-2-pyrrolidinon (NVP), v.v... giúp tăng khả năng phân tán và hiệu quả tách lớp của graphit trong chất lỏng và giữ cho sản phẩm graphen tạo thành được phân tán ổn định trong chất lỏng nền.

Thứ ba, sử dụng chất hoạt động bề mặt như natri dodecyl sulfat (SDS), polyvinyl pyrrolidon (PVP), gôm arabi (GA), xetyl trimetyl nhôm bromit (CTAB), natri dodecyl benzen sulfonat (SDBS), Tween 60, và Tween 80 hoặc bất kỳ chất hoạt động bề mặt nào khác giúp tăng khả năng phân tán và tách lớp graphit trong chất lỏng nền.

Thứ tư, sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le giúp tạo ra lực cắt và gia tốc lớn trong vùng không gian giao nhau của cánh khuấy qua đó làm nâng cao khả năng tách lớp vật liệu graphit để tạo thành graphen có số lớp và kích thước nhỏ hơn so với phương pháp chế tạo sử dụng một trục khuấy.

Thứ năm, sử dụng máy khuấy cắt hai trục so le giúp tạo ra vùng giao nhau giữa các cánh khuấy có không gian lớn hơn, do vậy dung tích vùng không gian xảy ra quá trình tách lớp rộng hơn, qua đó làm nâng cao hiệu suất và công suất tách lớp graphit so với phương pháp chế tạo sử dụng một trục khuấy.

Thứ sáu, sử dụng máy khuấy cắt hai trục khuấy so le giúp tạo ra gia tốc và lực cắt đồng đều tại vùng giao nhau giữa hai hệ thống cánh khuấy, qua đó giúp tạo thành vật liệu graphen có thông số kỹ thuật ổn định cũng như độ đồng đều cao hơn.

Thứ bảy, sử dụng máy lọc hút chân không hoặc máy quay ly tâm giúp loại bỏ một cách hiệu quả dung môi trong quá trình lọc hút chân không để thu được vật liệu graphen có độ sạch cao.

Thứ tám, giá thành graphen rẻ hơn so với các phương pháp chế tạo khác vì không phải sử dụng đến nhiều hóa chất và công đoạn sản xuất phức tạp.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen bao gồm các bước sau:

phân tán vật liệu graphit (1) vào trong chất lỏng nền (2) để tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphit (4);

đưa chất lỏng chứa vật liệu graphit (4) vào bể (11) của máy khuấy cắt hai trục so le (3), trong đó trục khuấy của máy khuấy cắt hai trục so le bao gồm hai bộ phận: trục khuấy (13) và hệ thống cánh tay khuấy (12) được làm bằng kim loại hoặc hợp kim có khả năng chịu nhiệt và trơ với dung môi sử dụng trong quy trình này, mỗi hệ thống cánh tay khuấy (12) bao gồm tối thiểu hai cánh tay khuấy, đồng thời hai hệ thống cánh tay khuấy của hai trục khuấy được xếp so le theo chiều thẳng đứng sao cho khi hoạt động, các cánh tay khuấy sẽ quay so le ngược chiều ở vùng giao nhau;

tách lớp chất lỏng chứa vật liệu graphit (4) bằng máy khuấy cắt hai trục so le (3) trong thời gian 3 - 48 giờ, tốc độ từ 3000 - 9000 vòng/phút và nhiệt độ từ 35°C – 75°C tạo thành chất lỏng chứa vật liệu graphen (5);

làm sạch chất lỏng chứa vật liệu graphen (5) bằng hệ thống lọc hút chân không (6) để thu được vật liệu graphen ướt (7);

sấy khô vật liệu graphen ướt (7) trong tủ sấy (8) để tạo thành sản phẩm cuối cùng là vật liệu graphen (9) có độ sạch cao.

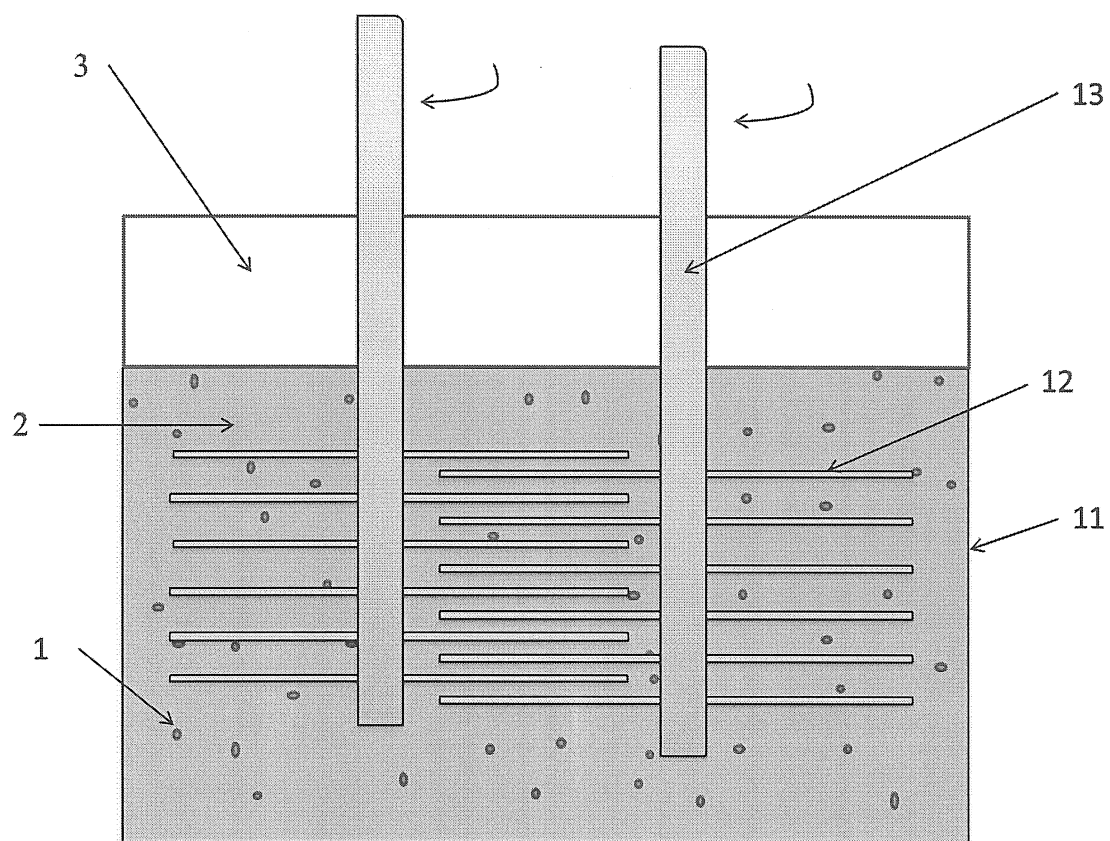
2. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo điểm 1, trong đó chất lỏng chứa vật liệu graphen (5) được làm sạch bằng máy quay li tâm (14) để thu được vật liệu graphen ướt (7).

3. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo một trong số các điểm bất kỳ nêu trên, trong đó chất lỏng nền (2) là một trong số các

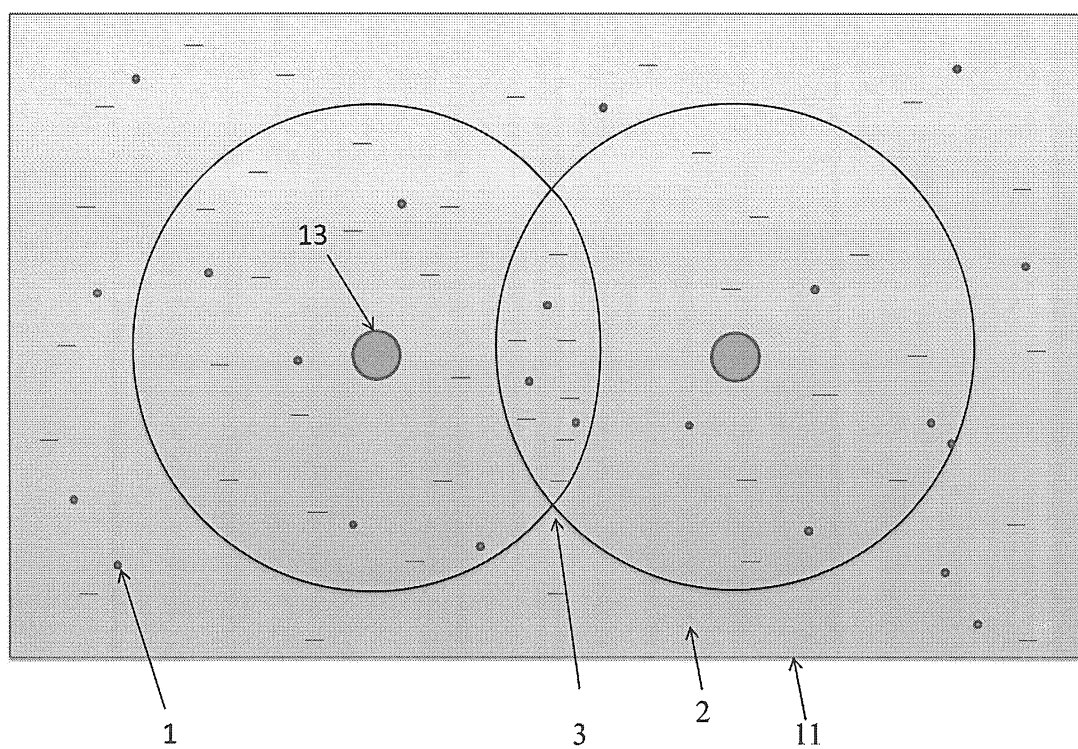
chất: nước cất, dung môi N-Metylpyrrolidon (NMP), N,N-dimetylaxetamid (DMA), dimetylformamid (DMF), dimetyl sulfoxit (DMSO), 1-vinyl-2-pyrrolidinon (NVP).

4. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo một trong số các điểm bất kỳ nêu trên, trong đó chất lỏng nền còn có thêm chất hoạt động bề mặt (10) tăng hiệu quả phân tán và tách lớp graphit thành graphen.

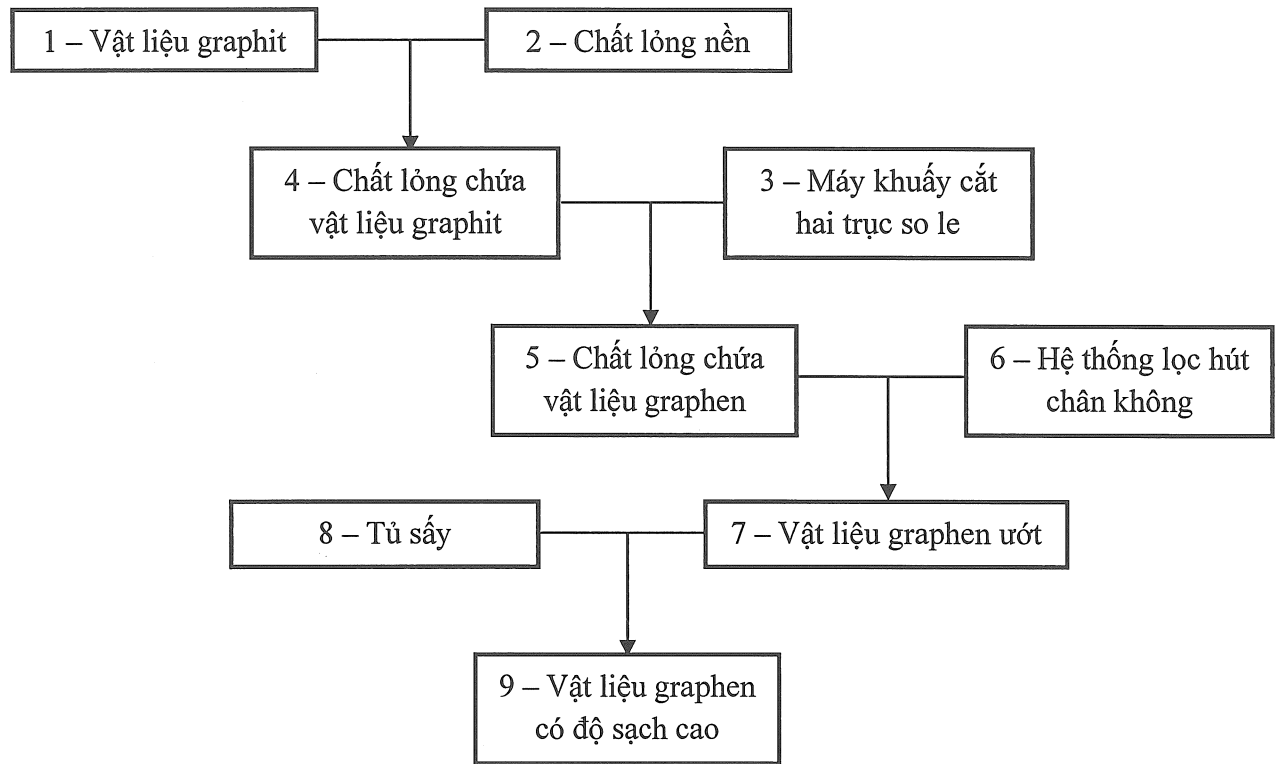
5. Quy trình tách lớp graphit trong pha lỏng để chế tạo vật liệu graphen theo điểm 4, trong đó chất hoạt động bề mặt được chọn từ một trong số các chất: natri dodecyl sulfat (SDS), polyvinyl pyrrolidon (PVP), gôm arabi (GA), xetyl trimetyl nhôm bromit (CTAB), natri dodecyl benzen sulfonat (SDBS).



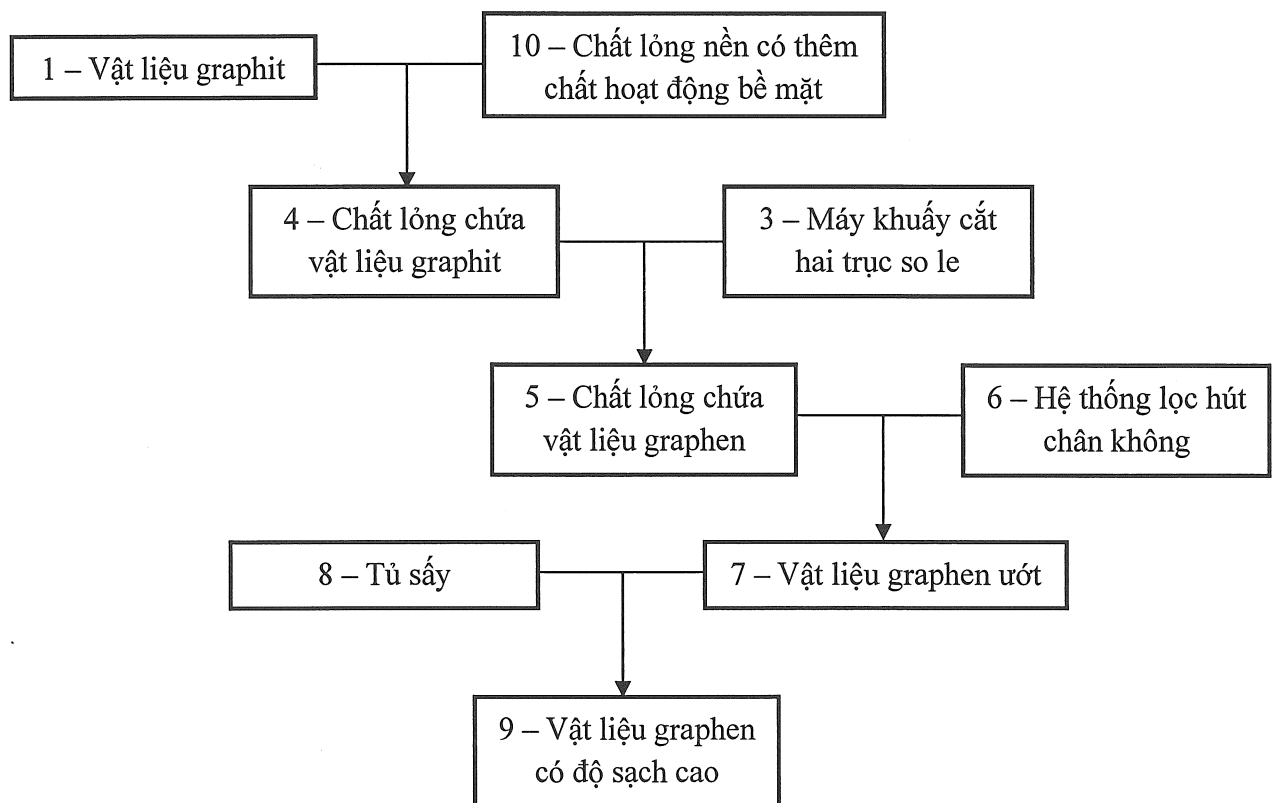
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4