

PHÁT TRIỂN SẢN XUẤT VÀ ỨNG DỤNG VẬT LIỆU ỐNG NANOCARBON (CNT) TỪ CÁC NGUỒN KHÍ THIÊN NHIÊN CỦA VIỆT NAM CÓ HÀM LƯỢNG CO₂ CAO

Lê Mạnh Hùng¹, Phan Minh Quốc Bình², Nguyễn Hữu Lương²

¹Chủ tịch HĐQT Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam (PVN)

²Viện Dầu khí Việt Nam (VPI)

Email: hunglm@pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.02-01>

Tóm tắt

Nanocarbon được xem là thế hệ vật liệu thứ 4, loại vật liệu này đã, đang và sẽ dần thay thế các ứng dụng của thế hệ vật liệu thứ 3 gốc silic. Với khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, thị trường vật liệu nanocarbon là vô cùng lớn. Riêng tại Việt Nam, ước tính sơ bộ thị trường sản phẩm nanocarbon đến 2030 có thể đạt khoảng 3.700 tấn/năm. Khí thiên nhiên có hàm lượng CO₂ cao là nguồn nguyên liệu tiềm năng để tổng hợp CNT. Đây là loại vật liệu có giá trị gia tăng cao, ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực và phù hợp với điều kiện của Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam. Nhóm nghiên cứu của Petrovietnam/Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) đã nghiên cứu phát triển thành công công nghệ tiên tiến để tổng hợp vật liệu CNT từ các nguồn khí có hàm lượng CO₂ cao theo phương pháp CVD trên cơ sở ứng dụng hệ xúc tác dạng bản mỏng kim loại. Sản phẩm CNT thu được (không cần qua quá trình tinh chế) có độ tinh khiết đạt 99,8%. Ở Việt Nam, Cá Voi Xanh được đánh giá là mỏ khí có trữ lượng lớn và có thành phần nằm ở giới hạn biên về thành phần và tỷ lệ thuận lợi cho tổng hợp CNT.

Các ứng dụng tiềm năng và phù hợp của vật liệu CNT tại Việt Nam là làm phụ gia để tạo ra các sản phẩm tiên tiến có tính năng vượt trội trong các lĩnh vực sơn phủ, dầu nhờn, phân bón và nhựa. Song song với việc hoàn thiện công nghệ sản xuất vật liệu CNT, việc nghiên cứu và phát triển các ứng dụng của loại vật liệu này là cần thiết và cũng cần sớm được thực hiện. Trên cơ sở phân tích đánh giá sơ bộ về thị trường, cung - cầu, nguồn lực và khả năng nghiên cứu phát triển của Petrovietnam/VPI, lộ trình nghiên cứu và phát triển 2 nhóm sản phẩm được đề xuất gồm: (i) Vật liệu nanocarbon làm nguyên vật liệu cho các ngành công nghiệp khác; và (ii) Các sản phẩm đặc trưng sử dụng vật liệu nanocarbon.

Từ khóa: CNT, CVD, graphene, nanocarbon, ống nanocarbon, khí thiên nhiên có hàm lượng CO₂ cao, mỏ khí Cá Voi Xanh.

1. Nhu cầu phát triển vật liệu CNT tại Việt Nam

Vật liệu nano carbon (CNT, GONR, graphene) là nhóm vật liệu được ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp hiện nay. Theo Future Market, trong giai đoạn 2020 - 2030, tiềm năng tiêu thụ vật liệu nano carbon được dự báo tăng nhanh với lĩnh vực ứng dụng phong phú và đan xen, lĩnh vực này có thể sử dụng sản phẩm của lĩnh vực khác. Hình 1 cho thấy mối liên hệ của các ứng dụng trong công nghiệp [1]. Vật liệu CNT có thể được tổng hợp từ các nguồn nguyên liệu chứa carbon khác nhau, bao gồm: graphite, methane, ethylene, acetylene, benzene, ethanol... Tùy thuộc vào đặc

tính của nguyên liệu, các phương pháp công nghệ và điều kiện tổng hợp CNT khác nhau có thể được áp dụng. Đối với phương pháp lắng đọng pha hơi (chemical vapor deposition - CVD), methane là nguyên liệu được sử dụng nhiều nhất do có khả năng hình thành CNT ít khuyết tật và sự thuận lợi khi nâng quy mô công suất để triển khai sản xuất công nghiệp. Vì vậy, các nguồn khí thiên nhiên với thành phần chủ yếu là methane sẽ là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho quá trình tổng hợp CNT ở quy mô công nghiệp.

Ở Việt Nam, thị trường vật liệu CNT và graphene vẫn còn khá mới, chưa có nhiều số liệu thống kê về loại vật liệu này ở thị trường trong nước. Các nghiên cứu chủ yếu dừng ở quy mô phòng thí nghiệm là chủ yếu. Nhìn chung, cho đến thời điểm hiện tại, ứng dụng ở thị trường trong nước của vật liệu nanocarbon, bao gồm CNT và graphene,

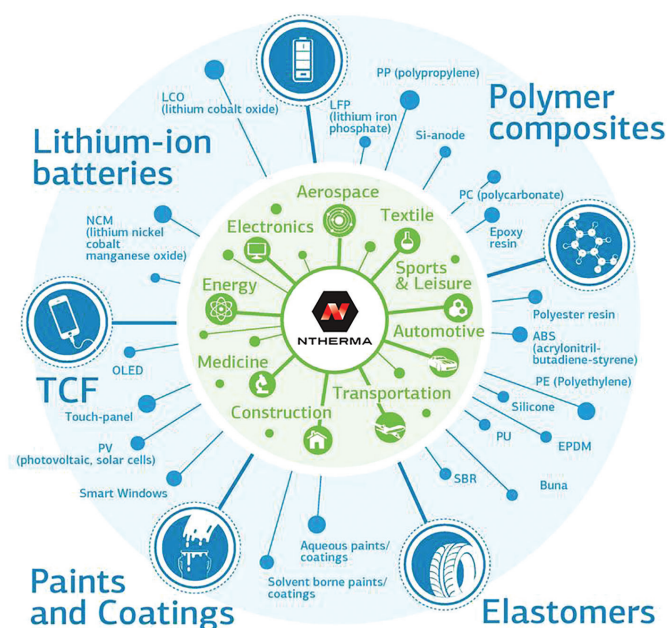


Ngày nhận bài: 26/3/2025.

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/3 - 11/4/2025.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 11/4/2025.

còn hạn chế do đây là thế hệ vật liệu mới, cần có thời gian để thâm nhập vào thị trường. Không những vậy, năng lực sản xuất cũng như mức giá của các loại vật liệu này vẫn là rào cản để triển khai ứng dụng ở quy mô lớn hơn. Tuy nhiên, với sự phát triển nhanh chóng của khoa học công nghệ và các ngành công nghiệp, CNT và graphene được dự đoán có tiềm năng phát triển mạnh trong thời gian tới. Nanocarbon được xem là thế hệ vật liệu thứ 4, loại vật liệu này đã, đang và sẽ dần thay thế các ứng dụng của thế hệ vật liệu thứ 3 trên cơ sở silic. Việt Nam cũng không nằm ngoài xu hướng phát triển này. Bảng 1 thể hiện ước tính sơ bộ tiềm năng tiêu thụ vật liệu nanocarbon ở Việt Nam khi sử dụng vật liệu này làm phụ gia cho một số sản phẩm tiềm năng tại thị trường Việt Nam, bao gồm: pin cho thiết bị điện tử, nguyên vật liệu cho ngành nhựa, sơn phủ, phụ gia dầu bôi trơn, xi măng, phân bón vô cơ và nhựa đường. Ước tính dựa trên giả định tỷ lệ sử dụng vật liệu này trong các sản phẩm trên khoảng 100 ppm và 10% sản phẩm với mức tiêu thụ hiện tại của các ứng dụng sẽ sử dụng vật liệu này trong năm 2030.



Hình 1. Các lĩnh vực ứng dụng của vật liệu nanocarbon [1].

Với ước tính sơ bộ như trên, thị trường sản phẩm nanocarbon tại Việt Nam đến 2030 đạt khoảng 3.700 tấn/năm, cho thấy tiềm năng không nhỏ của loại vật liệu này trong tương lai, đặc biệt trong bối cảnh các nước trên thế giới đang tăng cường đầu tư vào Việt Nam ở các lĩnh vực sản xuất có mức độ tiêu thụ nanocarbon lớn như điện tử, năng lượng và sơn phủ. Mặt khác, mặc dù ứng dụng của vật liệu nanocarbon trong lĩnh vực dầu khí còn khá hạn chế nhưng với 5 sản phẩm liên quan trực tiếp là nhựa, sơn phủ, dầu bôi trơn, nhựa đường và phân bón thì nhu cầu tiềm năng của dòng sản phẩm này có thể đạt tới khoảng 2.700 tấn/năm, chiếm > 70% các lĩnh vực ứng dụng tiềm năng của loại vật liệu này tại thị trường Việt Nam. Cho đến hiện tại, CNT và các loại vật liệu nanocarbon nói chung vẫn là một loại vật liệu mới và ngày càng có nhiều ứng dụng mới trong các lĩnh vực khác nhau. Trong tương lai, khi thực tế thị trường sử dụng CNT được mở rộng về cả số lĩnh vực ứng dụng và tỷ lệ thay thế thị phần thì nhu cầu CNT và lượng tiêu thụ khí thiên nhiên có thể đạt cao hơn. Với ưu thế về nguồn khí trong nước, Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam cần tận dụng được lợi thế cạnh tranh của mình trong việc phát triển lĩnh vực mới mẻ nhưng đầy tiềm năng này.

Khi sử dụng các nguồn khí thiên nhiên có hàm lượng CO₂ cao làm nguyên liệu để sản xuất các loại vật liệu nanocarbon nói chung và CNT nói riêng, sản phẩm CNT thu được có cấu trúc từ vài lớp đến đa lớp, phụ thuộc vào điều kiện tổng hợp và thành phần CO₂ có trong nguyên liệu. Loại vật liệu CNT này phù hợp cho các ứng dụng làm phụ gia trong lĩnh vực dầu khí như sơn phủ, dầu bôi trơn, nhựa đường và phân bón. Với mục đích phát triển bền vững, sử dụng hiệu quả các nguồn tài nguyên trong nước và tìm kiếm các hướng đi đột phá, Tập đoàn Dầu khí Việt Nam đã ban hành khung chương trình nghiên cứu khoa học dài hạn giai đoạn 2021 - 2025 (Quyết định số 3379/QĐ-

Bảng 1. Ước tính tiềm năng tiêu thụ vật liệu nanocarbon trong một số lĩnh vực tại Việt Nam đến 2030

TT	Lĩnh vực	Mức tiêu thụ sản phẩm (triệu tấn/năm)	Tỷ lệ sử dụng nanocarbon trong sản phẩm (ppm)	Nhu cầu nanocarbon tiềm năng (tấn/năm)
1	Pin cho thiết bị điện tử	15	100	150
2	Nhựa	2,5	100	25
3	Sơn phủ	250	100	2.500
4	Dầu bôi trơn	0,09	100	0,9
5	Xi măng	90	100	900
6	Phân bón vô cơ	9	100	90
7	Nhựa đường	0,66	100	33
Tổng				3.699

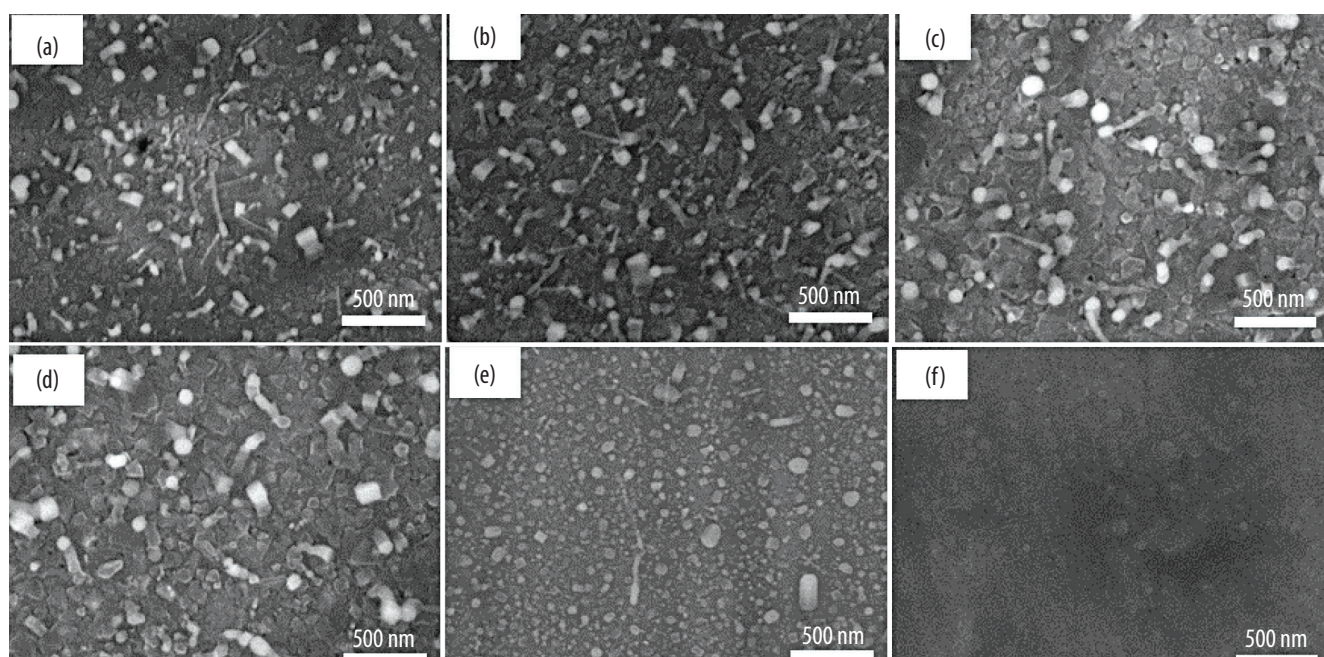
ĐKVN ngày 17/6/2021), bao gồm 6 chương trình nhánh phục vụ cho các hoạt động cốt lõi của Petrovietnam. Trong đó, định hướng phát triển công nghệ sản xuất vật liệu nanocarbon từ các nguồn khí có hàm lượng CO_2 cao thuộc chương trình nhánh “Phát triển sản xuất và ứng dụng các sản phẩm hóa chất và hóa dầu mới, vật liệu tiên tiến và nhiên liệu sạch từ các nguồn nguyên liệu trong nước, có thị trường lớn, có khả năng xuất khẩu và biên lợi nhuận cao”.

2. Ảnh hưởng của thành phần CO_2 trong khí thiên nhiên đến quá trình tổng hợp CNT

Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) đã nghiên cứu phát triển thành công công nghệ tiên tiến để tổng hợp vật liệu CNT từ các nguồn khí có hàm lượng CO_2 cao theo phương pháp CVD trên cơ sở ứng dụng hệ xúc tác dạng bản mỏng kim loại. Sản phẩm CNT thu được (không cần qua quá trình tinh chế) có độ tinh khiết đạt 99,8%. Trong khi đó, CNT từ xúc tác dạng bột cần được xử lý qua quá trình tinh chế để loại bỏ thành phần xúc tác đi cùng với sản phẩm CNT. Tùy thuộc vào quá trình tinh chế sử dụng (xử lý bằng acid/kiềm, oxy hóa, thủy nhiệt, dung môi, hoặc kết hợp các quá trình khác nhau), sản phẩm CNT thu được sau quá trình xử lý có thể đạt độ tinh khiết 82 - 98% [2]. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng, quá trình tinh chế sẽ làm giảm chất lượng và hiệu suất thu CNT, đồng thời tạo ra lượng nước thải cần được xử lý. Điều này cho thấy ưu điểm vượt trội của phương pháp sử dụng xúc tác dạng bản mỏng kim loại so với phương pháp sử dụng xúc tác dạng bột truyền thống khi áp dụng công nghệ CVD cho quá trình tổng hợp CNT.

Để đánh giá ảnh hưởng của thành phần CO_2 trong khí thiên nhiên đến quá trình tổng hợp CNT, nhóm nghiên cứu của Viện Dầu khí Việt Nam đã tiến hành thử nghiệm với đối tượng nguyên liệu mô phỏng là hỗn hợp khí bao gồm CH_4 và CO_2 , với các tỷ lệ CH_4/CO_2 khác nhau, bao gồm: ∞ (chỉ chứa thành phần CH_4), 0 (chỉ chứa thành phần CO_2), 1/1, 2/1, 3/1 và 4/1. Quá trình tổng hợp CNT được thực hiện theo phương pháp CVD sử dụng xúc tác dạng bản mỏng kim loại. Kết quả phân tích SEM của bề mặt các mẫu xúc tác sau quá trình tổng hợp CNT (Hình 2) cho thấy, tùy theo tỷ lệ CH_4/CO_2 trong hỗn hợp khí mà có thể cho kết quả hình thành CNT khác nhau. Với tỷ lệ $\text{CH}_4/\text{CO}_2 \geq 2$ và khí CH_4 , kết quả cho thấy có sự hình thành CNT trên bề mặt mẫu xúc tác. Với tỷ lệ CO_2 trong nguyên liệu cao hơn như $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1/1$ và 0 thì không thấy sự xuất hiện của CNT trên bề mặt xúc tác.

Kết quả phân tích Raman của các mẫu được thể hiện ở Hình 3 cho kết quả phù hợp với phân tích SEM. Cụ thể, với nguyên liệu CH_4 và tỷ lệ CH_4/CO_2 cao thì sự hình thành CNT thông qua các đỉnh (peak) đặc trưng, bao gồm đỉnh D ($\sim 1.355 \text{ cm}^{-1}$), G ($\sim 1.575 \text{ cm}^{-1}$), G^+ ($\sim 1.650 \text{ cm}^{-1}$) và G' ($\sim 2.620 \text{ cm}^{-1}$). Trong đó, 2 đỉnh cực đại G và G' ở 1.405 cm^{-1} và 2.432 cm^{-1} tương ứng với carbon sp^2 trong cấu trúc graphene. Đỉnh G^+ liên quan đến dao động dọc theo ống CNT [3, 4]. Trong khi đó, với nguyên liệu CH_4/CO_2 có tỷ lệ $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2$, khi quan sát phổ Raman chỉ thấy dải G, sự phân biệt 2 đỉnh không rõ, tập trung chủ yếu ở đỉnh G và đây là sự xuất hiện của MWCNT (multi-walled carbon nanotube). Tuy nhiên, với tỷ lệ $\text{CH}_4/\text{CO}_2 < 2$ và nguyên liệu



Hình 2. Hình ảnh SEM trên bề mặt xúc tác sau phản ứng ở một số tỷ lệ CH_4/CO_2 khác nhau: (a) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = \infty$; (b) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 4/1$; (c) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 3/1$; (d) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2/1$; (e) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1/1$; (f) 0.

chỉ có khí CO_2 thì không có sự hình thành CNT thể hiện qua kết quả phân tích Raman và SEM.

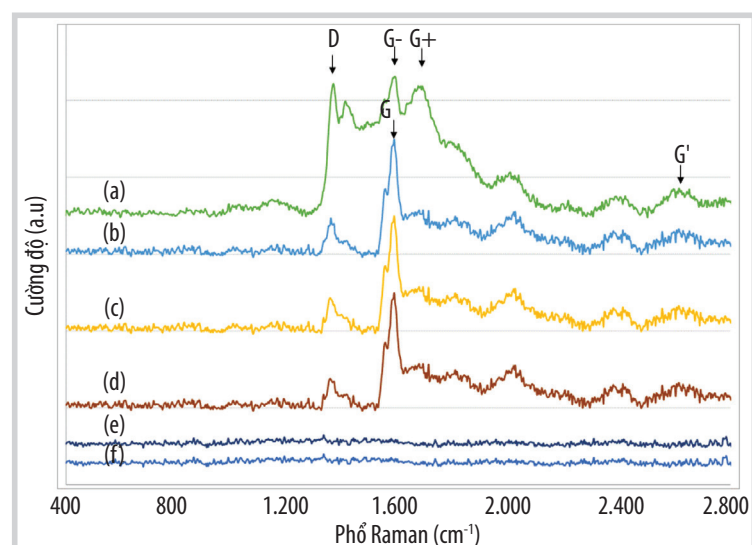
Có thể thấy, tùy theo thành phần hỗn hợp khí nguyên liệu CH_4/CO_2 , sự hình thành CNT có những thay đổi về số lượng và chất lượng. Kết quả phân tích hình ảnh SEM và Raman cho thấy, với hàm lượng $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 3$, kết quả CNT được hình thành đều hơn, và ít khuyết tật hơn với tỷ lệ $I_D/I_G = 0,54 < 1$. Như vậy, việc xuất hiện của CO_2 trong hỗn hợp khí chứa CH_4 , với các tỷ lệ khác nhau, ảnh hưởng đến việc hình thành CNT. CO_2 là hợp chất rất bền, do đó, việc sử dụng CO_2 làm tiền chất carbon để tổng hợp CNT tương đối khó khăn. Ở điều kiện phản ứng 800 - 900°C với nguyên liệu là hỗn hợp CH_4 và CO_2 , phản ứng dry reforming ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$) sẽ xảy ra cạnh tranh với phản ứng nhiệt phân CH_4 tạo CNT khi có sự hiện diện của

các kim loại Fe và Ni trong xúc tác. Ngoài ra, khi tăng hàm lượng CO_2 trong nguyên liệu, phản ứng Boudouard ngược cũng xảy ra mạnh hơn làm giảm khả năng thu hồi carbon. Tuy nhiên, một số tính chất của CNT được cải thiện đáng kể khi có sự hiện diện của CO_2 với tỷ lệ phù hợp. Sự cải thiện chất lượng CNT có thể được giải thích thông qua việc thúc đẩy 2 hiệu ứng sau đây: (i) hiệu ứng “ CO_2 cleaning” - CO_2 phản ứng với carbon khuyết tật ở nhiệt độ cao (phản ứng Boudouard ngược: $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$); (ii) hiệu ứng “in situ cooling” - sự tái cấu trúc CNT do nhiệt độ cục bộ giảm đột ngột (gây ra bởi phản ứng Boudouard ngược) [5]. Ngoài ra, hiệu ứng “ CO_2 cleaning” còn có thể kéo dài tuổi thọ xúc tác khi loại bỏ được carbon vô định hình bao bọc xúc tác. Ảnh hưởng của CO_2 trong quá trình tổng hợp CNT thông qua việc phân tích Raman và SEM được tổng hợp ở Bảng 2.

3. Sản xuất CNT từ các mỏ khí trong nước có hàm lượng CO_2 cao

3.1. Xác định nguồn khí có hàm lượng CO_2 cao phù hợp làm nguyên liệu cho quá trình tổng hợp CNT

Ở Việt Nam, một số mỏ khí được phát hiện với trữ lượng lớn từ năm 2010, phân bố ở 3 miền Bắc, Trung và Nam. Trong đó, mỏ khí Cá Voi Xanh được phát hiện năm 2011, là mỏ khí lớn nhất Việt Nam với trữ lượng ước tính trên 150



Hình 3. Kết quả Raman với các tỷ lệ khác nhau: (a) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = \infty$; (b) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 4/1$; (c) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 3/1$; (d) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2/1$; (e) $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 1/1$; (f) 0.

Bảng 2. Ảnh hưởng của hàm lượng CO_2 đến quá trình tổng hợp CNT

Tỷ lệ CH_4/CO_2	I_D/I_G	Đường kính (nm)	Chiều dài (μm)	Hiệu suất (%)
∞	0,53	15 ± 14	1 - 20	59,5
4/1	0,58	20 ± 25	1 - 25	55,7
3/1	0,54	25 ± 15	1 - 24	53,5
2/1	0,62	25 ± 10	1 - 26	51,6
1/1	-	-	-	-
0	-	-	-	-

Điều kiện phản ứng: Thời gian tiền xử lý: 10 phút; nhiệt độ tiền xử lý và nhiệt độ phản ứng: 850°C; thời gian phản ứng: 60 phút.

Bảng 3. Thành phần một số mỏ khí trong nước có hàm lượng CO_2 cao

TT	Thành phần (%mol)	Lô B	PM3	Cá Voi Xanh	Kèn Bẩu	Khánh Mỹ
1	CO_2	15,46	7,51	29,92	7,25	35,31
2	N_2	3,28	1,80	9,49	5,83	1,52
3	CH_4	73,8	82,17	58,65	75,43	52,53
4	C_2	3,88	7,43	1,11	3,45	3,24
5	C_3	2,18	0,56	0,40	3,57	1,45
6	C_4	0,96	0,28	0,21	2,66	0,51
7	C_5	0,25	0,24	0,06	1,17	0,51
8	C_6^+	0,19	0,0001	0,0001	0,45	-

tỷ m³. Mỏ khí này có hàm lượng methane (CH₄) khoảng 60% và khí CO₂ khoảng 30%. Ngoài ra, nhiều mỏ khí khác cũng có chứa thành phần CO₂ đáng kể như Lô B Ô Môn (~ 21% CO₂), PM3 (~ 8% CO₂)... Mỏ khí Kèn Bầu phát hiện năm 2018 cũng cho thấy hàm lượng CO₂ khoảng 7%. Các nguồn khí mỏ nhỏ, khí cận biên của Việt Nam đa phần chứa từ 10 - 50% thành phần CO₂, như mỏ Khánh Mỹ có hàm lượng CO₂ đến 35% mol (Bảng 3).

Với thành phần một số mỏ khí ở Việt Nam có hàm lượng CO₂ cao cho thấy lượng CO₂ trong các mỏ khí ở Việt Nam ở các mức: 7%, 15%, 30% và cao hơn với mỏ khí cận biên. Qua khảo sát ở trên, tùy theo hỗn hợp khí nguyên liệu CH₄/CO₂, sự hình thành CNT có những thay đổi. Với tỷ lệ CH₄/CO₂ ≤ 1, không có sự hình thành CNT. Với tỷ lệ CH₄/CO₂ ≥ 2, có sự hình thành CNT. Trong đó, tỷ lệ CH₄/CO₂ = 3 hoặc CH₄/CO₂ = 4, cho kết quả CNT hình thành đều và có tỷ lệ I_D/I_G = 0,54. Một số nhận định và xác định nguồn khí thiên nhiên phù hợp để sản xuất CNT ở Việt Nam như Bảng 4.

Các mỏ khí có hàm lượng CO₂ (≤ 30%) và tỷ lệ CH₄/CO₂ ≥ 2 có thể được sử dụng làm nguyên liệu cho quá trình sản xuất CNT. Với các mỏ khí có hàm lượng CO₂ cao hơn thì chưa thuận lợi cho sản xuất CNT với phương pháp CVD và ở các điều kiện khảo sát, do đó, cần được xem xét nghiên cứu thêm để đánh giá và tìm giải pháp phù hợp. Như vậy,

mỏ khí Lô B và Cá Voi Xanh là những nguồn nguyên liệu tiềm năng, có thể sử dụng để tổng hợp CNT với chất lượng tốt. Các mỏ PM3 và Kèn Bầu, mặc dù có thành phần khí phù hợp cho quá trình tổng hợp CNT, nhưng do hạn chế về trữ lượng (PM3) cũng như chưa có kế hoạch khai thác cụ thể (Kèn Bầu), sẽ chưa được xem xét trong giai đoạn này.

3.2. Đánh giá hiệu quả tổng hợp CNT từ nguyên liệu khí Cá Voi Xanh

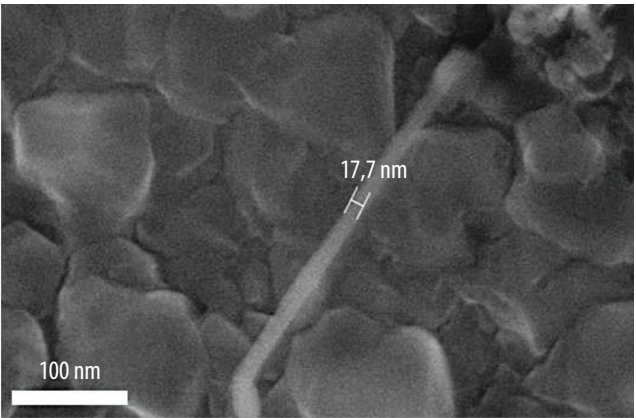
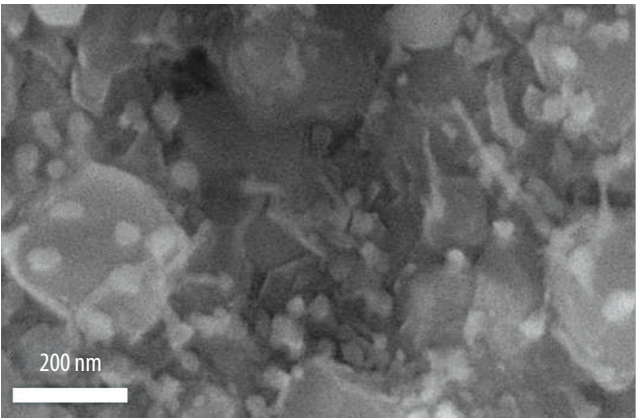
Trong các mỏ khí ở Việt Nam, mỏ Cá Voi Xanh được đánh giá là mỏ khí có trữ lượng lớn và có thành phần nằm ở giới hạn biên về thành phần và tỷ lệ thuận lợi cho tổng hợp CNT. Trong thành phần khí thiên nhiên bên cạnh CH₄ và CO₂ còn có khí trơ (N₂), một số hydrocarbon nặng (C₂₊), và các khí acid như H₂S.

3.2.1. Ảnh hưởng của thành phần hydrocarbon nặng (C₂₊)

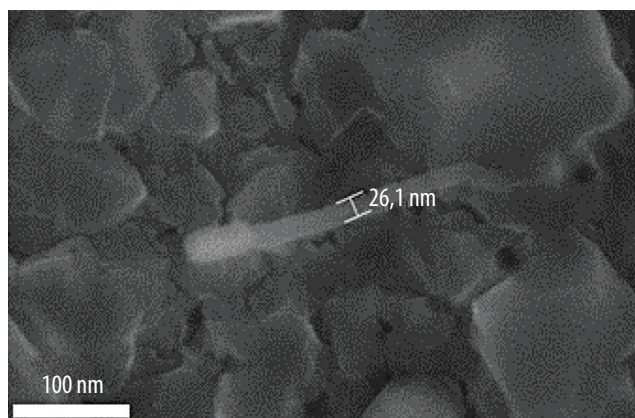
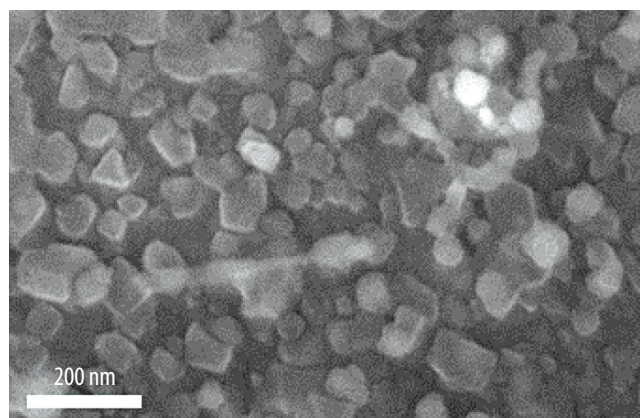
Ảnh hưởng của thành phần hydrocarbon nặng (C₂₊) đến quá trình tổng hợp CNT được khảo sát thông qua việc sử dụng hỗn hợp khí nguyên liệu có chứa khí ethane (C₂) và LPG (C₃/C₄). Về cơ bản, ethane và LPG cũng là nguồn nguyên liệu cho sản xuất CNT. Tuy nhiên, điều kiện phản ứng tối ưu cho mỗi nguyên liệu sẽ khác nhau, cụ thể với phương pháp CVD thì ethane và LPG yêu cầu ở nhiệt độ

Bảng 4. Đánh giá sự phù hợp mỏ khí có hàm lượng CO₂ cao cho sản xuất CNT

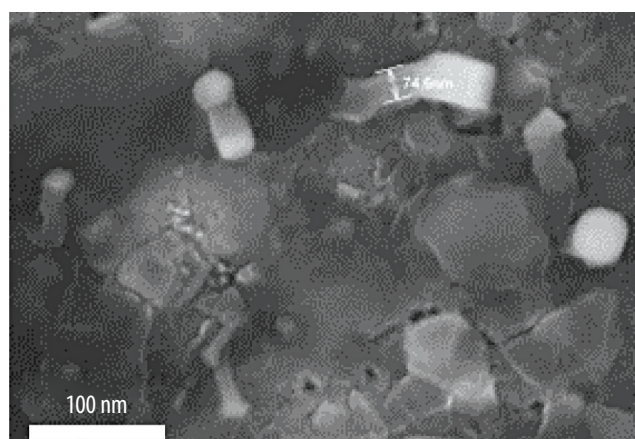
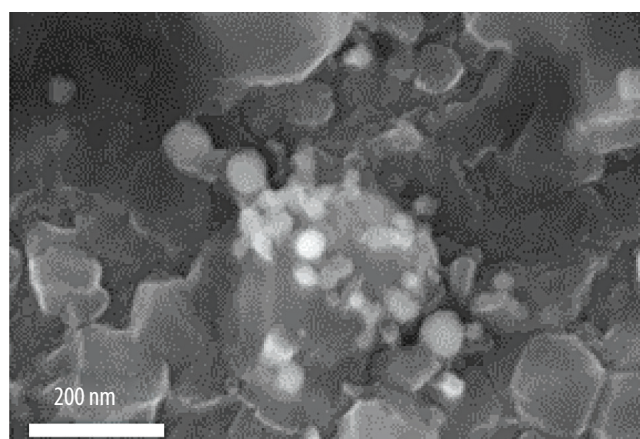
TT	Mỏ khí	Nhận định	Khuyến nghị
1	PM3	Thành phần CO ₂ thấp (khoảng 7 - 8%), thuận lợi cho tổng hợp CNT, nhưng cần xem xét về giá nguyên liệu và trữ lượng.	Thuận lợi cho sản xuất CNT
2	Kèn Bầu	Thành phần CO ₂ thấp (khoảng 7 - 8%), thuận lợi cho tổng hợp CNT, nhưng cần xem xét về giá nguyên liệu.	Thuận lợi cho sản xuất CNT
3	Lô B	Thành phần CO ₂ trung bình (khoảng 15%), thuận lợi cho tổng hợp CNT, nhưng cần xem xét về giá nguyên liệu.	Thuận lợi cho sản xuất CNT
4	Cá Voi Xanh	Thành phần CO ₂ cao (khoảng 30%), CNT được hình thành có kích thước lớn hơn, nhưng vẫn phù hợp và đạt yêu cầu.	Thuận lợi cho sản xuất CNT
5	Khánh Mỹ	Thành phần CO ₂ rất cao (≥ 35%), CNT chưa hình thành với thành phần CO ₂ cao, cần nghiên cứu xem xét phương pháp và điều kiện khác.	Chưa thuận lợi cho sản xuất CNT



Hình 4. Ảnh SEM của CNT tổng hợp từ hỗn hợp khí CH₄/CO₂ có bổ sung ethane.



Hình 5. Ảnh SEM của CNT tổng hợp từ hỗn hợp khí CH_4/CO_2 có bổ sung C_3/C_4 .



Hình 6. Ảnh SEM của CNT tổng hợp từ hỗn hợp khí CH_4/CO_2 có bổ sung $\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2$.

thấp hơn, tức là dễ dàng hơn cho tổng hợp CNT so với nguyên liệu methane [6 - 8]. Do đó, về cơ bản, việc bổ sung C_2 , C_3/C_4 vào trong nguyên liệu sẽ làm ảnh hưởng đến mật độ và tính chất của CNT. Sự bổ sung của hydrocarbon nặng làm giảm mật độ và sự đồng đều của CNT. CNT hình thành có kích thước lớn hơn. Hình ảnh phân tích SEM của CNT hình thành trên hỗn hợp nguyên liệu có chứa 5% C_2 hoặc 5% C_3/C_4 được trình bày ở Hình 4 và 5.

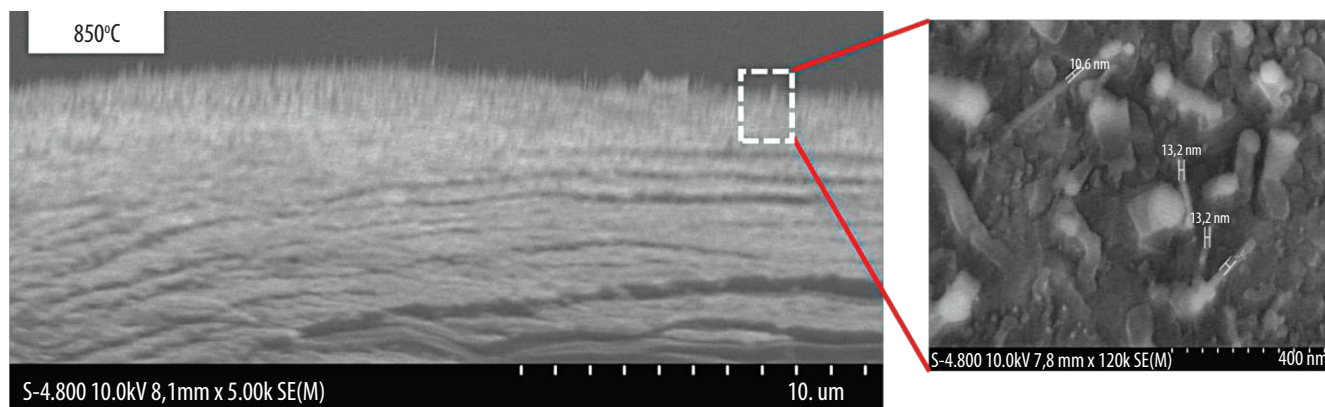
Có thể thấy rằng, việc hỗn hợp nguyên liệu có chứa thành phần hydrocarbon nặng làm ảnh hưởng đến độ tinh khiết của sản phẩm CNT thu được và cơ bản sẽ ảnh hưởng đến độ đồng đều của CNT hình thành. Khi trong thành phần khí nguyên liệu có chứa đến 5% C_{2+} , CNT vẫn hình thành được trên bề mặt xúc tác để bản mỏng với đường kính ~ 20 nm.

3.2.2. Ảnh hưởng của các thành phần khác ($\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2$)

Tương tự khảo sát ảnh hưởng của hydrocarbon nặng, ảnh hưởng của thành phần H_2S trong nguyên liệu đến quá trình tổng hợp CNT được thực hiện với hỗn hợp khí có chứa H_2S trong N_2 . Lượng khí bổ sung được thực hiện là 100 sccm của hỗn hợp $\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2$ tương đương với lượng H_2S

trong hỗn hợp khí nguyên liệu đi vào thiết bị CVD là 100 ppm. Kết quả cho thấy, sự xuất hiện H_2S trong hỗn hợp khí làm yếu quá trình hình thành CNT. Hình ảnh SEM cho thấy lượng CNT giảm khá nhiều, có thể vì H_2S làm cho xúc tác kim loại mất hoạt tính. Trong hỗn hợp nguyên liệu khí có chứa đến 100 ppm H_2S , CNT vẫn được hình thành trên bề mặt xúc tác để bản mỏng nhưng với mật độ và mức độ đồng đều bị giảm mạnh, kích thước đường kính ống lên đến > 70 nm (Hình 6). Do đó, việc giảm hàm lượng H_2S trong nguyên liệu cho sản xuất CNT là cần thiết để kiểm soát sự đồng đều và mật độ CNT hình thành.

Khi sử dụng nguyên liệu là khí từ mỏ khí Cá Voi Xanh, thành phần khí này chứa chủ yếu là CH_4 và CO_2 , là 2 yếu tố có vai trò quan trọng ảnh hưởng đến sự hình thành CNT. Các thành phần khác, bao gồm C_2 (1%), C_3 (0,4%) và H_2S (30 ppm), sẽ không ảnh hưởng nhiều đến quá trình hình thành CNT. Hình 7 trình bày kết quả phân tích ảnh SEM của mẫu CNT được tổng hợp từ hỗn hợp khí nguyên liệu mô phỏng thành phần khí từ mỏ Cá Voi Xanh với tỷ lệ $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2$, có bổ sung 1% ethane và 30 ppm H_2S . Như vậy, khí từ mỏ khí Cá Voi Xanh là một nguồn nguyên liệu tiềm năng thuận lợi cho quá trình sản xuất CNT.



Hình 7. Ảnh SEM của CNT tổng hợp từ hỗn hợp khí mô phỏng khí Cá Voi Xanh.

4. Định hướng phát triển sản xuất và ứng dụng vật liệu CNT và graphene tại Petrovietnam

Định hướng phát triển ứng dụng của CNT hoặc graphene dựa trên các tiêu chí sau:

- Tiềm năng thị trường tại Việt Nam (quy mô, cân bằng cung cầu, giá):

- + Được đánh giá dựa trên thị trường tiềm năng trong nước của các sản phẩm đặc trưng trong lĩnh vực ứng dụng ở Việt Nam hoặc dựa trên xu hướng toàn cầu và có kết nối với công nghiệp ở Việt Nam;

- + Giá trị của nguyên vật liệu nanocarbon và giá của sản phẩm đặc trưng.

- Xu hướng phát triển/mức độ trưởng thành về công nghệ và khả năng áp dụng công nghệ tại Việt Nam: Đây là tiêu chí dựa trên mức độ thương mại hóa và mức độ phát triển của công nghệ ở thời điểm hiện tại và xu hướng thời gian tới. Mức độ thương mại hóa về công nghệ sẽ được đánh giá cho điểm theo thang điểm từ 1 đến 3 tương ứng với các mức: nghiên cứu ở quy mô phòng thí nghiệm/pilot nhỏ, sản xuất quy mô lớn, đã thương mại hóa:

- + Công nghệ sản xuất tạo nanocarbon đã thương mại hóa hay đang giai đoạn nghiên cứu phát triển;

- + Công nghệ phát triển các ứng dụng từ nanocarbon đã thương mại hóa hay đang trong giai đoạn nghiên cứu phát triển.

- Khả năng gắn kết với các dự án, nhà máy của Petrovietnam: Đây là tiêu chí đánh giá khả năng gắn kết, kết hợp hoặc phục vụ cho chuỗi giá trị của các nhà máy khai thác và chế biến dầu khí của Petrovietnam hoặc các ngành mang lại giá trị cao ở Việt Nam. Mức độ cũng được đánh giá theo thang điểm 3 dựa trên khả năng gắn kết, sử dụng/cung cấp nguyên liệu/sản phẩm cho dự án, nhà máy:

- + Việc sử dụng nguồn nguyên liệu khí trong nước (Lô B, Cá Voi Xanh);

- + Tận dụng hệ thống phụ trợ của các nhà máy khí vị trí được đặt ở gần các nhà máy chế biến dầu khí của Petrovietnam.

- Quy hoạch, chiến lược phát triển của VPI/ngành dầu khí: Sản phẩm đặc trưng có trong quy hoạch/chiến lược phát triển của VPI/ngành dầu khí hoặc phù hợp với quy hoạch/chiến lược phát triển của VPI/ngành dầu khí:

- + Quy hoạch hóa chất, quy hoạch ngành công nghiệp phụ trợ;

- + Chiến lược dài hạn về chương trình chế biến khí giàu CO₂: VPI đã có Công văn số 5692/VDKVN-NCCB ngày 19/12/2018: nhằm phát triển các sản phẩm mang thương hiệu Petrovietnam, từ đó góp phần nâng cao lợi thế cạnh tranh của Petrovietnam và phục vụ cho hoạt động sản xuất kinh doanh của các đơn vị trong tập đoàn.

- + Ngày 27/2/2020, Petrovietnam và Vinachem đã hợp về việc triển khai hợp tác giữa 2 tập đoàn, trong đó có các lĩnh vực ưu tiên nghiên cứu như phụ gia, pin, ắc quy. Điều này cũng phù hợp với hướng phát triển dài hạn của VPI bởi vật liệu nanocarbon đã thể hiện được các tính năng trong các ứng dụng về pin, ắc quy thông qua các kết quả nghiên cứu khắp thế giới.

Lộ trình nghiên cứu và phát triển 2 nhóm sản phẩm được phân loại như sau:

- Nhóm 1: Sản xuất vật liệu nanocarbon làm nguyên vật liệu cho các ngành công nghiệp khác;

- Nhóm 2: Các sản phẩm đặc trưng sử dụng vật liệu nanocarbon. Lộ trình R&D của nhóm sản phẩm đặc trưng này được phát triển có thể tách biệt với lộ trình với vật liệu nanocarbon ở Nhóm 1 nêu trên bằng cách sử dụng các sản phẩm nanocarbon đã thương mại.

Về sản phẩm Nhóm 1:

- Vật liệu CNT có khá nhiều ứng dụng và nhiều tiềm năng với nguồn nguyên liệu khí thiên nhiên. Trong CNT thì VPI đã thử nghiệm sơ bộ để sản xuất MWCNT từ CH_4 . Đây là sản phẩm có giá trị và cần được tập trung nghiên cứu và phát triển thương mại hóa.

- Graphene cũng là sản phẩm tiềm năng và nhiều ứng dụng. Tuy nhiên, do một số đơn vị trong nước (như SHTP) đã đầu tư, nghiên cứu và thương mại hóa graphene, nên, với phạm vi của chương trình R&D này thì VPI tập trung theo hướng hợp tác với các đơn vị trong nước thông qua các nghiên cứu hoặc dự án.

Về sản phẩm Nhóm 2 (sản phẩm ứng dụng của nanocarbon): dựa vào phân tích đánh giá sơ bộ về mặt thị trường, cung cầu, nguồn lực và khả năng nghiên cứu phát triển của Petrovietnam/VPI, một số sản phẩm có tiềm năng thương mại hóa được đề xuất cho VPI triển khai trong chương trình nghiên cứu và phát triển theo Bảng 5.

Lộ trình nghiên cứu và phát triển các sản phẩm đặc trưng được thực hiện thông qua các stage-gate để làm cơ sở đánh giá đề xuất. Điểm cuối của chương trình R&D là sản phẩm có thể đưa ra thị trường (ready to market), cụ thể được mô tả ở Hình 8.

Việc xây dựng lộ trình được thực hiện chủ yếu theo 2 giai đoạn chính (stage-gate), bao gồm:

- Stage-gate 1: Phân tích và thực hiện các ý tưởng, hoàn thiện quy trình tổng hợp ở quy mô phòng thí nghiệm, đánh giá về mặt kỹ thuật.

Tiêu chí đánh giá: Đánh giá về mặt kỹ thuật dựa trên một số tiêu chí kỹ thuật quan trọng để xem xét khả năng tiến hành tiếp ở quy mô pilot. Khi thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật thì sản phẩm được đề xuất triển khai ở giai đoạn tiếp theo.

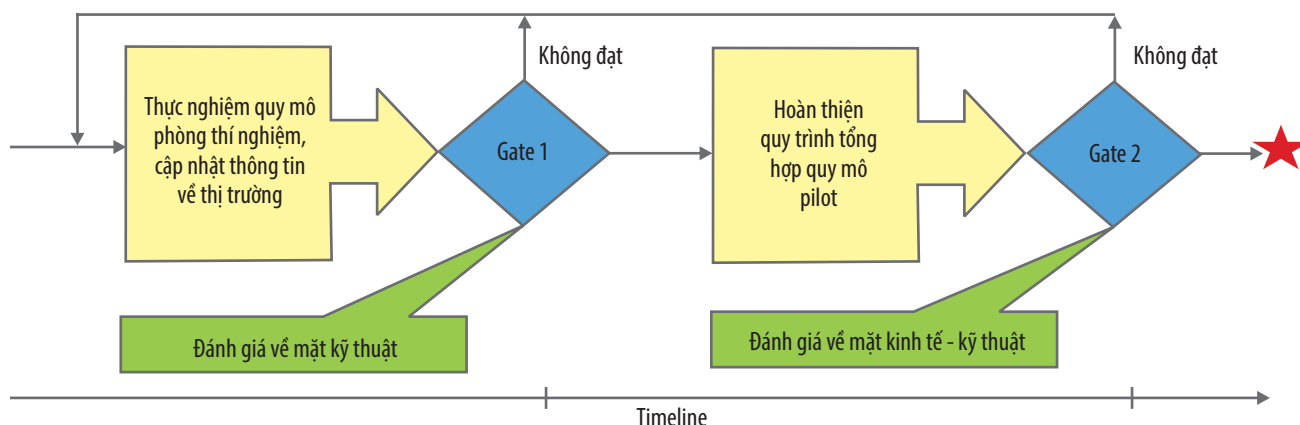
Tiêu chí đánh giá về mặt kỹ thuật được nhóm tác giả xây dựng dựa trên thực nghiệm sơ bộ, tiêu chuẩn chất lượng từ sản phẩm tương tự trên thị trường hoặc từ các nghiên cứu khác ở phòng thí nghiệm.

- Stage-gate 2: Hoàn thiện quy mô sản xuất sản phẩm ở quy mô pilot và có sản phẩm mẫu. Tính toán chi phí sản xuất, giá thành sản phẩm và hiệu quả về mặt kinh tế khi triển khai sản xuất lớn và thương mại.

Tiêu chí đánh giá: Đánh giá chủ yếu về mặt kinh tế - kỹ thuật căn cứ vào giá thành sản xuất sản phẩm đặc trưng và chỉ tiêu chất lượng đạt được để so sánh với mức giá thành có thể được thị trường chấp nhận. Khi thỏa mãn tiêu chí này thì sản phẩm đặc trưng có thể đưa ra thị trường.

Bảng 5. Danh sách sản phẩm đặc trưng được đề xuất

TT	Sản phẩm đặc trưng	Lĩnh vực ứng dụng
1	Hệ phụ gia cải thiện tính năng sơn phủ	Dân dụng, công nghiệp
2	Phụ gia cho vật liệu composite	Dệt may, da giày
3	Hệ phụ gia dầu mỡ bôi trơn	Dầu mỡ bôi trơn
4	Phụ gia cho bitumen	Xây dựng, giao thông vận tải, đặc biệt trong các hệ thống đường cao tốc, các tuyến đường có tải trọng lớn và lưu lượng cao
5	Hệ phụ gia cải thiện tính năng xăng/dầu	Dầu khí
6	Hệ phụ gia tăng độ bền cơ học cho xi măng	Xây dựng
7	Chất mang vi lượng trong phân bón	Dầu khí (phân bón)
8	Vật liệu tồn trữ hydrogen	Năng lượng
9	Màng phân tách/lọc	Phân tách khí, xử lý môi trường



Hình 8. Lộ trình nghiên cứu và phát triển sản phẩm đặc trưng theo stage-gate.

Tiêu chí đánh giá về mặt kinh tế được nhóm tác giả xây dựng dựa trên kết quả đánh giá ở quy mô pilot, giá thành sản phẩm tương tự có mặt trên thị trường hoặc các ước tính sơ bộ từ các đơn vị nghiên cứu, sản xuất.

Dựa trên lộ trình chung nêu trên, kế hoạch phát triển một số sản phẩm Nhóm 1 (sản phẩm làm nguyên liệu cho sản xuất công nghiệp) và Nhóm 2 (sản phẩm đặc trưng từ vật liệu nanocarbon) được đề xuất như sau:

Nhóm 1: Tập trung vào nghiên cứu và phát triển sản xuất vật liệu CNT từ các nguồn nguyên liệu của Việt Nam.

- Giai đoạn 2020 - 2025:
 - + Tập trung nghiên cứu phát triển MWCNT từ nguồn nguyên liệu khí có hàm lượng CO₂ cao, sau đó đa dạng hóa sản phẩm từ các nguồn nguyên liệu khác (ethylene, acetylene, biogas,...) và thử nghiệm ở quy mô pilot để đưa sản phẩm ra thị trường;
 - + Hợp tác nghiên cứu phát triển sản phẩm graphene (khi có đối tác).
- Giai đoạn 2026 - 2030:

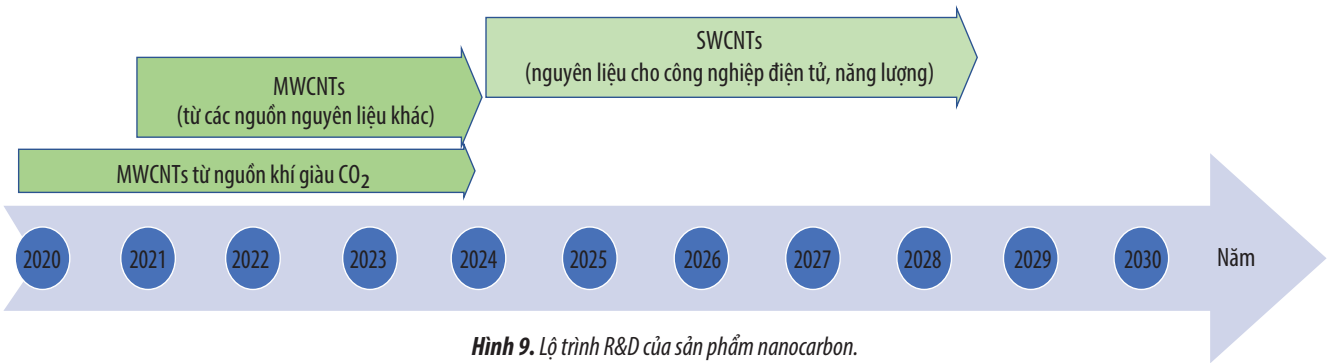
Nghiên cứu và đánh giá khả năng đưa sản phẩm SWCNT (single-walled carbon nanotube) ra thị trường.

Nhóm 2: Phát triển một số sản phẩm đặc trưng từ nanocarbon, ứng dụng cho một số lĩnh vực tiềm năng.

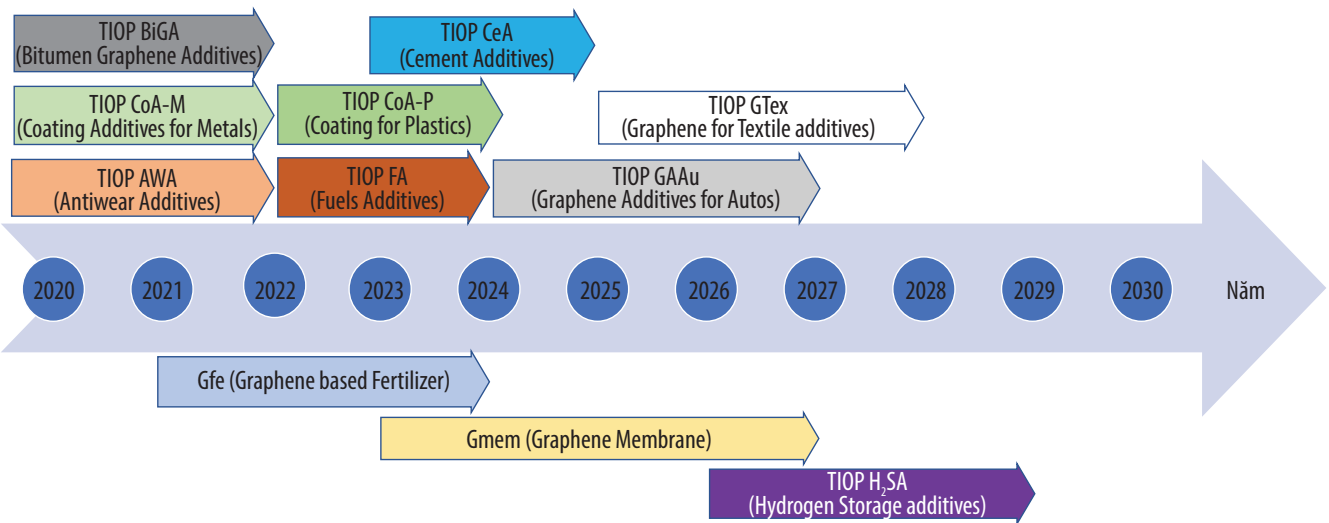
- 2020 - 2025:

Nghiên cứu phát triển một số hệ phụ gia đa chức năng, có thể ứng dụng vào một số lĩnh vực tiềm năng và chưa yêu cầu nhiều:

 - + Phụ gia chống ăn mòn (TIOP-AWA);
 - + Phụ gia cho sơn phủ kim loại (TIOP-CoA-M) và sơn phủ cho bề mặt nhựa (TIOP-CoA-P) trên cơ sở graphene;
 - + Phụ gia cải thiện tính năng của bitumen (TIOP-BiGA) trên cơ sở graphene;
 - + Phụ gia cải thiện tính năng nhả chậm cho phân bón (GFe);
 - + Phụ gia tăng RON của xăng (TIOP FA);
 - + Phụ gia cải thiện độ bền cơ học cho xi măng.
- 2026 - 2030:
 - + Thử nghiệm, đánh giá và thương mại hóa sản phẩm như phụ gia đa chức năng phục vụ cho lĩnh vực ô tô điện (TIOP GAAu);



Hình 9. Lộ trình R&D của sản phẩm nanocarbon.



Hình 10. Tổng hợp lộ trình R&D của sản phẩm đặc trưng từ nanocarbon.

+ Phát triển và thương mại hóa một số sản phẩm phụ gia đa chức năng cho lĩnh vực dệt may (TIOP GTex);

+ Vật liệu màng cho tách khí và xử lý môi trường dựa trên cơ sở graphene (GMem);

+ Vật liệu tồn trữ hydrogen trên cơ sở nanocarbon (TIOP H2SA).

Trong giai đoạn 2017 - 2022, Petrovietnam/VPI đã thực hiện các nghiên cứu quy mô phòng thí nghiệm và pilot về tổng hợp và ứng dụng của vật liệu nanocarbon và đã đạt được một số kết quả ban đầu như sau:

- Nghiên cứu, tổng hợp thành công vật liệu CNT từ các nguồn khí CH_4 chứa CO_2 và hệ khí mô phỏng thành phần khí từ mỏ khí Cá Voi Xanh bằng phương pháp CVD trên hệ xúc tác bản mỏng, làm cơ sở cho việc tổng hợp CNT từ nguồn khí thiên nhiên có hàm lượng CO_2 cao trong tương lai;

- Nghiên cứu, xây dựng quy trình tổng hợp vật liệu graphene từ CNT bằng phương pháp oxy hóa khử, sản phẩm thu được có độ tinh khiết cao, chất lượng đồng đều;

- Đã khảo sát một số ứng dụng của vật liệu nanocarbon trong lĩnh vực dầu khí cho kết quả khả quan, cụ thể:

+ Ứng dụng vật liệu CNT biến tính, graphene trong vai trò phụ gia chống mài mòn cho dầu bôi trơn. Sản phẩm này hiện đã được thương mại hóa và đưa ra sử dụng tại thị trường Việt Nam;

+ Ứng dụng vật liệu graphene làm phụ gia đa chức năng trong hệ sơn phủ bề mặt kim loại ở khu vực khí hậu biển;

+ Ứng dụng vật liệu graphene trong vai trò phụ gia tăng tính năng cơ lý của cao su, bitumen và xi măng biến tính;

+ Ứng dụng vật liệu graphene để sản xuất các dạng phân bón thông minh có khả năng kiểm soát tốc độ cung cấp chất dinh dưỡng vào môi trường đất trồng.

Các kết quả thu được góp phần khẳng định về tiềm năng ứng dụng của loại vật liệu này trong lĩnh vực dầu khí, làm cơ sở cho việc mở rộng các ứng dụng trong thời gian tới.

4. Kết luận

Tiềm năng phát triển của vật liệu nanocarbon (CNT và graphene) trên thế giới và Việt Nam rất lớn. Khí thiên nhiên có hàm lượng CO_2 cao là một nguồn nguyên liệu đầy tiềm năng để tổng hợp CNT, tạo ra được sản phẩm có giá trị cao và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Với khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, thị trường vật liệu nanocarbon là vô cùng lớn. Đây là loại vật liệu có giá trị gia tăng cao và phù hợp với điều kiện của Petrovietnam.

Nhóm tác giả đã tổng hợp thành công vật liệu CNT từ các nguồn khí CH_4 chứa CO_2 và hệ khí mô phỏng thành phần khí từ mỏ khí Cá Voi Xanh. Trong các mỏ khí ở Việt Nam, mỏ Cá Voi Xanh được đánh giá là mỏ khí có trữ lượng lớn và có thành phần nằm ở giới hạn biên về thành phần và tỷ lệ thuận lợi cho tổng hợp CNT. Khí từ mỏ Cá Voi Xanh có thành phần chủ yếu là CH_4 và CO_2 , là 2 cấu tử có vai trò quan trọng ảnh hưởng đến sự hình thành CNT. Các thành phần cấu tử khác, bao gồm C_2 (1%), C_3 (0,4%) và H_2S (30 ppm), sẽ không ảnh hưởng nhiều đến quá trình hình thành CNT. Như vậy, khí từ mỏ khí Cá Voi Xanh là một nguồn nguyên liệu tiềm năng thuận lợi cho quá trình sản xuất CNT. Bên cạnh đó, cần tiếp tục thử nghiệm với nguồn khí và nguyên liệu khác để có thể đa dạng hóa nguồn nguyên liệu, giảm giá thành và chi phí sản xuất, nhằm đưa sản phẩm CNT ra thị trường với giá thấp.

Song song với việc hoàn thiện công nghệ sản xuất vật liệu CNT, việc nghiên cứu và phát triển các ứng dụng của loại vật liệu này là cần thiết và cũng cần sớm được thực hiện. Trên cơ sở phân tích đánh giá sơ bộ về mặt thị trường, cung cầu, nguồn lực và khả năng nghiên cứu phát triển của Petrovietnam/VPI, lộ trình nghiên cứu và phát triển 2 nhóm sản phẩm được đề xuất, bao gồm: (i) Sản xuất vật liệu nanocarbon làm nguyên vật liệu cho các ngành công nghiệp khác; và (ii) Các sản phẩm đặc trưng sử dụng vật liệu nanocarbon. Các ứng dụng tiềm năng và phù hợp của vật liệu CNT tại Việt Nam là làm phụ gia để tạo ra các sản phẩm tiên tiến có tính năng vượt trội trong các lĩnh vực sơn phủ, dầu nhờn, phân bón và nhựa.

Tài liệu tham khảo

- [1] Cattien V. Nguyen, "Advanced technology utilising CO_2 -containing methane for production of CNTs and graphene and their applications", *Petrovietnam Journal*, Volume 10, pp. 59 - 70, 2019.
- [2] E.R. Edwards, E.F. Antunes, E.C. Botelho, M.R. Baldan, and E.J. Corat, "Evaluation of residual iron in carbon nanotubes purified by acid treatments", *Applied Surface Science*, Volume 258, Issue 2, pp. 641 - 648, 2011. DOI: 10.1016/j.apsusc.2011.07.032.
- [3] R. Saito, M. Hofmann, G. Dresselhaus, A. Jorio, and M. S. Dresselhaus, "Raman spectroscopy of graphene and carbon nanotubes", *Advances in Physics*, Volume 60, Issue 3, pp. 413 - 550, 2011. DOI: 10.1080/00018732.2011.582251.
- [4] Dmitry Yu. Usachov, Valery Yu. Davydov, Vladimir S. Levitskii, Viktor O. Shevelev, Dmitry Marchenko, Boris V. Senkovskiy, Oleg Yu. Vilkov, Artem G. Rybkin, Lada V.

Yashina, Evgueni V. Chulkov, Irina Yu. Sklyadneva, Rolf Heid, Klaus-Peter Bohnen, Clemens Laubschat, and Denis V. Vyalikh, "Raman spectroscopy of lattice-matched graphene on strongly interacting metal surfaces", *ACS Nano*, Volume 11, Issue 6, pp. 6336 - 6345, 2017. DOI: 10.1021/acsnano.7b02686.

[5] Steven Corthals, Jasper Van Noyen, Jan Geboers, Tom Vosch, D. Liang, Xiaoxing Ke, Johan Hofkens, Gustaaf van Tendeloo, Jacobs Pierre, and Bert F Sels, "The beneficial effect of CO₂ in the low temperature synthesis of high quality carbon nanofibers and thin multiwalled carbon nanotubes from CH₄ over Ni catalysts", *Carbon*, Volume 50, Issue 2, pp. 372 - 384, 2012. DOI:10.1016/j.carbon.2011.08.047.

[6] Giuseppe Gulino, Ricardo Vieira, Julien Amadou, Patrick Nguyen, Marc J. Ledoux, Signorino Galvagno, Gabriele Centi, and Cuong Pham-Huu, "C₂H₆ as an active carbon source for a large scale synthesis of carbon nanotubes by CVD", *Applied Catalysis A: General*, Volume 279, Issues 1-2, pp. 89 - 97, 2005. DOI: 10.1016/j.apcata.2004.10.016.

[7] Buppachat Toboonsung and Pisith Singjai, "Growth of CNTs using liquefied petroleum gas as carbon source by chemical vapor deposition method", *Advanced Materials Research*, Volume 770, pp. 116 - 119, 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.770.116.

[8] I.D. Rahatwan, Praswasti P.D.K. Wulan, and M. Solahudin, "Techno-economic analysis of pilot scale carbon nanotube production from LPG with Fe-Co-Mo/MgO catalyst in Indonesia", *AIP Conference Proceedings*, Volume 2230, Issue 1, 2020.

[9] Nguyễn Hữu Lương, Huỳnh Minh Thuận, Nguyễn Mạnh Huân, Đỗ Phạm Noa Uy, Nguyễn Thị Châu Giang, và Đặng Ngọc Lương, "Tiềm năng phát triển vật liệu carbon nanotube từ nguồn khí thiên nhiên giàu CO₂ của Việt Nam", *Tạp chí Dầu khí*, Số 9, trang 31 - 40, 2022. DOI: 10.47800/PVJ.2022.09-05.

[10] Tập đoàn Dầu khí Việt Nam, "Khung chương trình nghiên cứu khoa học dài hạn giai đoạn 2021 - 2025", Quyết định số 3379/QĐ-DKVN ngày 17/6/2021.

ADVANCING THE PRODUCTION AND APPLICATION OF CARBON NANOTUBES (CNT) FROM VIETNAM'S HIGH-CO₂ NATURAL GAS SOURCES

Le Manh Hung¹, Phan Minh Quoc Binh², Nguyen Huu Luong²

¹Chairman of the Board of Directors, Vietnam National Industry-Energy Group (PVN)

²Vietnam Petroleum Institute (VPI)

Email: hunglm@pvn.vn

Summary

Nanocarbon is considered the fourth-generation materials, gradually replacing applications of third-generation silicon-based materials. With its wide range of applications across various sectors, the nanocarbon material market holds immense potential. In Vietnam alone, preliminary estimates indicate that the nanocarbon market could reach approximately 3,700 tons/year by 2030. Natural gas with high CO₂ content represents a highly promising feedstock for synthesizing carbon nanotubes (CNTs). This is a high-value-added material with wide-ranging applications across multiple fields and is highly suitable for future development by the Vietnam National Industry-Energy Group.

The Petrovietnam/Vietnam Petroleum Institute (VPI) has successfully developed an advanced technology to synthesize CNTs from high-CO₂-content gas sources using the chemical vapor deposition (CVD) method based on the application of thin-film metal catalyst systems. The obtained CNT products, without requiring purification, achieve a purity level of 99.8%. In Vietnam, the Ca Voi Xanh gas field is assessed as a major reserve with compositions lying at a favorable threshold in terms of constituent components and ratios for CNT synthesis. Potential and suitable applications of CNT materials in Vietnam include their use as additives to create advanced products with superior properties in coatings, lubricants, fertilizers, and plastics. In parallel with completing CNT production technology, research and development of CNT-based applications are necessary and should be initiated soon. Informed by a preliminary analysis of market trends, supply and demand, available resources, and the research and development capabilities of Petrovietnam/VPI, a roadmap for research and development of two product groups is proposed: (i) Nanocarbon materials as raw inputs for other industries; and (ii) Specialized products incorporating nanocarbon materials.

Key words: CNT, CVD, graphene, nanocarbon, carbon nanotubes, CO₂-rich natural gas, Ca Voi Xanh gas field.