

30 năm nghiên cứu về ống nano các-bon

Riichiro Saito¹

¹Khoa Vật Lý, Đại học Tohoku, Japan, Nhật Bản



Tác giả: GS. Riichiro Saito

Đơn vị công tác: Khoa Vật lý, Đại học Tohoku, Japan, Nhật Bản

Email: rsaito@flex.phys.tohoku.ac.jp
Website: <http://flex.phys.tohoku.ac.jp>

R. Saito was born on March 13th, 1958, in Tokyo and received PhD degree in Physics from the University of Tokyo in 1985. After being a research associate at the University of Tokyo in 1985 and an Associate Professor at the University of Electro-Communication (Tokyo) in 1990, Saito is a Professor in Department of Physics, Tohoku University in Sendai since 2003. Saito wrote a book titled "Physical Properties of Carbon Nanotubes" with Professor Gene Dresselhaus and Professor Mildred S. Dresselhaus published by Imperial College Press in 1998 (book citation 10,462 2020.9).

<https://doi.org/10.15625/vap.2021.0002>

TÓM TẮT:

Đã 30 năm trôi qua kể từ ngày phát hiện ra ống nano các-bon vào năm 1991. Khi đó tác giả 33 tuổi, năm nay tác giả 63 tuổi, và sẽ nghỉ hưu vào năm 2023. Nghiên cứu về ống nano các-bon được bắt đầu từ con số không vào năm 1991. Ngày nay nó đã được đưa vào ứng dụng thực tế với hàng loạt các nhà máy tại Nhật Bản, Trung Quốc và Hàn Quốc. Nhìn lại 30 năm nghiên cứu về ống nano các-bon và thông qua bài viết này tôi có đôi lời nhắn nhủ đến những độc giả Việt Nam, những bạn có mong muốn được học tập tại Nhật Bản cũng như tại các quốc gia khác trên thế giới.

Từ khóa: Ống nano các-bon

1. Lời giới thiệu

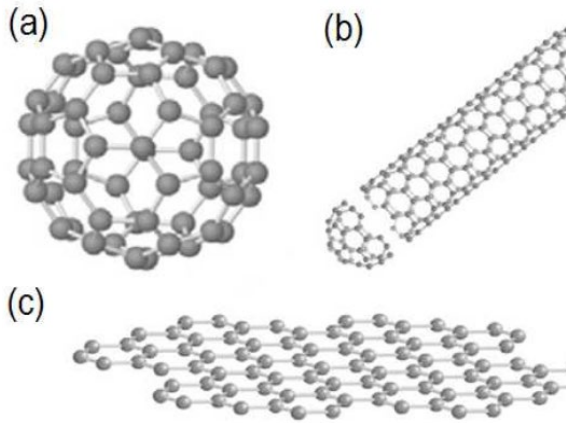
Có nhiều cấu trúc khác nhau được hình thành bởi nguyên tử các-bon, và mỗi một cấu trúc có một tên gọi riêng. Trong đó, cấu trúc các-bon được tổng hợp vào năm 1980 với kích thước đặc trưng (đường kính, bán kính, hoặc độ dày) khoảng 1 nm (1 phần tỷ mét) được gọi là vật liệu nano các-bon. Hình 1 mô tả các vật liệu nano các-bon điển hình bao gồm C60 với cấu trúc 0 chiều, ống nano các-bon với cấu trúc 1 chiều, và graphene với cấu trúc hai chiều.

Cấu trúc của ống nano các-bon được hình dung như một tấm graphene phẳng (Hình 1c) được cuộn lại thành một hình trụ rỗng. Ống nano các-bon là một vật liệu được tổng hợp thay vì được tìm thấy trong tự nhiên. Với đường kính khoảng 1 nm và chiều dài từ 1 μ m trở lên, ống nano các-bon được coi là vật liệu 1 chiều với tỷ lệ đường kính và chiều dài là 1:1000 hoặc hơn.

Có vô số cách để cuộn một tấm graphene thành một ống nano các-bon với đường kính và độ xoắn ốc khác nhau. Điều đặc biệt là ống nano các-bon có thể là chất kim loại hoặc chất bán dẫn. Tính chất này phụ thuộc vào đặc trưng hình học của ống nano các-bon. Do đó, ống nano các-bon có tiềm năng ứng dụng như là một vật liệu bán dẫn từ các-bon.

Ống nano các-bon được lần đầu phát hiện vào năm 1991 bởi Sumio Iijima. Về mặt lý thuyết, mô hình cấu trúc và tính chất điện tử của nó được thảo luận bởi Saito (tác giả), Mitsutaka Fujita, Gene Dresselhaus và M. S. Dresselhaus. Năm 1991, tác giả đã thực hiện nghiên cứu này trong thời gian 10 tháng ở MIT với tư cách là một học giả được cử đi nghiên cứu nước ngoài bởi Bộ Giáo dục Nhật Bản.

30 năm kể từ khi đó, kỷ nguyên về ống nano các-bon đã có những bước tiến dài. Tại Nhật Bản, Trung Quốc và Hàn Quốc, các nhà máy sản xuất ống nano các-bon đã được xây dựng. Các nghiên cứu thực tiễn cũng được tiến hành công nghiệp hoá ống nano các-bon. Các hội nghị quốc tế về ống nano các-bon đã và vẫn đang diễn ra từ cuối thế kỷ XX cho đến nay. Số lượng bài báo về ống nano các-bon vẫn đang có xu hướng tăng lên.



Hình 1. Cấu trúc của vật liệu nano cac-bon: (a) 0 chiều C60, (b) 1 chiều ống nano cac-bon, và (c) 2

Các bạn sẽ tự hỏi rằng liệu có bình thường không khi chúng ta dành ra 30 năm để nghiên cứu về một vật liệu hứa hẹn. Trên thực tế, có những khó khăn đặc thù khi nghiên cứu về ống nano cac-bon. Tôi sẽ liệt kê các khó khăn đó như sau: (1) Việc tổng hợp các ống nano cac-bon rất khó khăn, phải mất 10 năm để nghiên cứu tổng hợp ống nano cac-bon trong các phòng thí nghiệm. (2) Kích thước ống nano cac-bon rất nhỏ với kích thước nano, do đó chúng ta phải đợi chờ sự tiến bộ của các công nghệ thăm dò, đo đạc. (3) Nhiều tính chất của ống nano cac-bon không thể giải thích bằng lý thuyết vật lý chất rắn thông thường. Do đó chúng ta cần xây dựng các lý thuyết vật lý mới để nghiên cứu ống nano cac-bon. (4) Các phòng thí nghiệm thông thường tại các trường đại học không đủ trang thiết bị để có thể đo các tính chất lượng tử của ống nano cac-bon. (5) Sự đổi mới và tiến bộ của công nghệ silicon là rất đáng chú ý và chưa có bước ngoặt nào cho việc ứng dụng các ống nano cac-bon. (6) Một cấu trúc nano cac-bon mới được gọi là graphene, được phát hiện vào năm 2014, đã thu hút lượng lớn các nhà nghiên cứu trên thế giới. (6) Các công ty do dự đầu tư cho nghiên cứu ống nano cac-bon vì họ thận trọng về sự an toàn của ống nano cac-bon cũng như e ngại rằng quỹ đầu tư cho nghiên cứu sẽ rất lớn. Do đó, 30 năm nghiên cứu về ống nano cac-bon đã không dễ dàng.

Khám phá khoa học và những thành tựu khoa học đem đến những kết quả ngoạn mục cho nhân loại. Tuy nhiên những kết quả khoa học đột phá luôn có nhiều thách thức và thất bại. Khoa học là giao phó những thách thức cho tương lai và thực hiện một hành trình bất tận. Thời gian 30 năm là tương đương với cuộc đời khoa học của một nhà nghiên cứu. Nhưng trong lịch sử khoa học, nó chỉ là một khoảnh khắc. Tôi đã rất vui mừng khi được gặp một chất gọi là ống nano cac-bon ở độ tuổi khá trẻ thời bấy giờ.

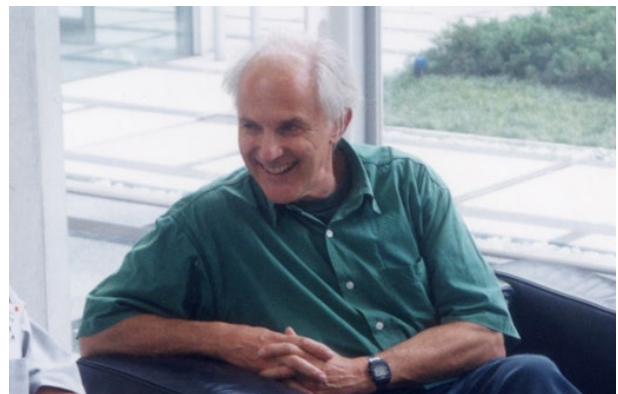
Trong bài viết này, tôi sẽ giới thiệu con đường mà các nhà nghiên cứu ống nano cac-bon đã đi qua và giải thích vật lý cũng như các nghiên cứu ứng dụng đã được triển khai như thế nào.

2. Lịch sử trước khi phát hiện ra ống nano cac-bon
Vào đầu thế kỷ XX, cơ học lượng tử xuất hiện và đã được sử dụng rộng rãi như một lý thuyết mô tả về hóa học của các phân tử cũng như là vật lý của các chất rắn tinh thể. Đối tượng để nghiên cứu với cơ học lượng tử là các phân tử có cấu trúc lớn trong hoá học và cấu trúc nhỏ trong vật lý. Tại nơi giao thoa giữa hai cấu trúc này, công nghệ nano đã ra đời để đáp ứng các nghiên cứu và ứng dụng đối với các vật liệu có kích thước từ 1 nm đến 100 nm. Trong bài phát biểu vào năm 1958 của mình, Richard P. Feynman đã tuyên bố rằng “Các vật liệu với kích thước 1-100 nm là vẫn chưa được khai thác”. Tuyên bố này được coi là nguồn gốc của công nghệ nano.

Chúng ta luôn mong muốn sử dụng công nghệ để tạo ra những điều tốt đẹp hơn cho nhân loại. Ở mỗi một quốc gia, sẽ có những nghề thủ công được sử dụng với công nghệ đi trước cả thời đại. Nhưng bạn có biết rằng có tồn tại một giới hạn còn thấp hơn cả “bước sóng ánh sáng”?

Bước sóng nhìn thấy của ánh sáng có độ dài bước sóng là 380-750 nm. Đối với chất có bước sóng nhỏ hơn bước sóng ánh sáng thì ánh sáng bị nhiễu xạ xung quanh chất đó. Do đó hình ảnh của chúng sẽ bị mờ đi ngay cả bạn nhìn chúng thông qua kính hiển vi quang học. Bạn không thể khảo sát các đặc tính của của một chất mà bạn không có khả năng nhìn thấy. Tuy nhiên trong thế giới tự nhiên, có vô số chất có kích thước từ 1 nm đến 100 nm, chúng nhỏ hơn nhiều so với độ dài bước sóng. Mặc dù vậy, chúng ta không thể làm gì chúng khi chúng ta không có những tiến bộ trong công nghệ nano.

Năm 1985, H. Kroto (hình 2), nước Anh, đã quan sát sóng vô tuyến từ không gian và nghiên cứu các chất tồn tại trên các thiên thể. Có một chất không tồn tại trên trái đất được quan sát bởi sóng vô tuyến. Chất không tồn tại đó là gì? Để giải đáp các hoài nghi, Kroto và Richard Smalley đã hợp tác với các đồng nghiệp trên khắp nước Mỹ để tổng hợp các chất mới.



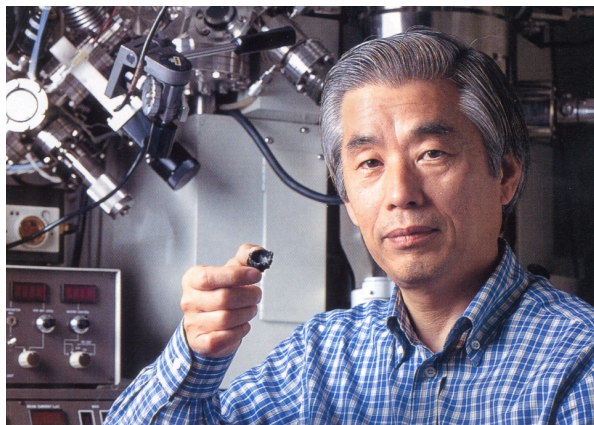
Hình 2. H. Kroto (hình ảnh được cung cấp bởi Giáo sư Hisanori Shinohara, Đại học Nagoya)

Ông đã cố gắng tập hợp một cụm nguyên tử lại với nhau bằng cách chiếu một chùm tia laser mạnh vào graphite để làm bốc hơi các nguyên tử các-bon trên bề mặt graphite. Kết quả thật đáng ngạc nhiên, chỉ có những cụm gồm 60 nguyên tử các-bon được hình thành với số lượng lớn. Tuy nhiên người ta không thể giải thích tại sao những cụm như vậy lại được hình thành hàng loạt và hình dáng của chúng ra sao.

Vào một ngày nọ, Samlley xem một trận bóng đá trên TV và những hình lục giác và ngũ giác của trái bóng tròn đã truyền cảm hứng cho ông. Trên thực tế các hình lục giác và ngũ giác là các phân tử đa diện của C60 có đường kính 1 nm [Kroto et al., Nature 318, 162 (1985)]. Sau đó nguồn cảm hứng này đã được xác nhận bằng thực nghiệm, và tính toán lý thuyết cũng được phát triển bởi Eiji Osawa vào năm 1970. Năm 1996, Kroto và các đồng nghiệp đã nhận giải Nobel hóa học cho phát hiện về C60.

Tại hội thảo khoa học được tổ chức ở Washington DC vào tháng 12 năm 1990, M. S. Dresselhaus đã trình bày về ống nano các-bon. Khi đó, Smalley đã đặt câu hỏi: Sợi các-bon có đường kính bằng đường kính của C60 không? Để trả lời câu hỏi này, tại một hội nghị khác được tổ chức tại Philadelphia vào tháng 8 năm 1991, M. S. Dresselhaus đã cắt một nửa cầu C60 và ghép vào đầu của một ống nano các-bon, như được đề xuất trong hình 1(b). Dựa trên tính đối xứng của C60, người ta cho rằng chỉ có ba cách để cắt một nửa của chúng và ghép nối với các ống nano các-bon [M. S. Dresselhaus et al., Phys. Rev. B 45, 6234 (1992)].

Năm 1991, Sumio Iijima (hình 3) quan tâm đến việc lắng đọng trên các điện cực được sử dụng trong quá trình tổng hợp C60 (phương pháp phóng hồ quang điện) trong phòng thí nghiệm tại Trường Đại học Meijo. Phóng điện hồ quang là sự phóng điện xảy ra ở tại áp suất gần với áp suất khí quyển. Do đó, về bản chất, sét là một dạng phóng điện hồ quang. Khi phóng điện hồ quang, các điện cực bằng các-bon sẽ bị đốt cháy và một lượng lớn muội than được hình thành. Nó đã được



Hình 3. Giáo sư Sumio Iijima với điện cực phóng hồ quang (hình ảnh được đăng với sự cho phép của Giáo sư Iijima)

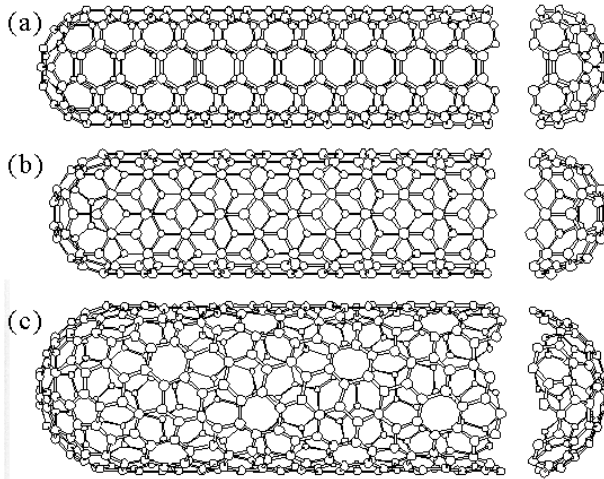
biết đến rằng khi các muội than này được hòa tan trong một dung môi hữu cơ, chúng sẽ hình thành các phân tử C60. Trong thiết bị phóng điện hồ quang, dòng điện được sử dụng là điện một chiều, và người ta quan sát thấy rằng, điện cực ở phía cực dương của dòng điện sẽ bị bốc cháy và ngừng lại do quá trình phóng điện. Nhưng ngược lại, điện cực ở phía cực âm xuất hiện các cặn bị lắng đọng.

Iijima đã quan sát lớp lắng đọng này bằng một kính hiển vi điện tử có độ phân giải cao và phát hiện ra một ống nano các-bon có cấu trúc nhiều lớp. Kính hiển vi cũng có chức năng của một máy đo nhiễu xạ, và phân tích hình ảnh nhiễu xạ bằng thực nghiệm cho thấy chất kéo dài xuất hiện trong hình ảnh của kính hiển vi có cấu trúc hình trụ [S. Iijima, Nature 354, 56 (1991)].

Tôi đã có cơ hội gặp Dreselhaus và vợ của ông ấy ở Tokyo vào tháng 6 năm 1991 và nói chuyện về ống nano các-bon. Sau khi đến Mỹ vào tháng 10 năm 1991, tôi và Mitsutaka Fujita, người đến Mỹ hai tuần sau đó, quyết định khảo sát cấu trúc và trạng thái điện tử của ống nano các-bon. Vào thời điểm đó, Bộ Giáo dục Nhật Bản có chương trình cho phép các nhà nghiên cứu trẻ dưới 35 tuổi đi học tập ở nước ngoài khoảng 10 tháng. Tuy nhiên, chương trình này chỉ có thể cử một người từ một trường đại học mỗi năm. Và do đó cơ hội là rất khó đối với tôi, người mới được bổ nhiệm là phó giáo sư vào thời điểm đó. Tuy nhiên, Hiệu trưởng Trường Đại học Viên thông Tokyo, Minoru Tsunoda, đã trao cơ hội cho tôi khi đó. Tôi muốn nói lời cảm ơn tới Tiệu trưởng Minoru Tsunoda.

Đối với tôi, việc tính toán tính chất dẫn điện của ống nano các-bon không thực sự khó [R. Saito et al. Phys. Rev. B 46, 1804 (1992)] vì bài toán của tính chất điện tử của hình trụ là câu hỏi số 2 của kỳ thi cuối học kỳ I trong môn Cơ học lượng tử trong những ngày tháng học đại học. Kết quả này có thể tính được tính chất điện tử của graphene. Tôi đã làm quen với tính chất điện tử của graphene vì tôi đã sử dụng phương pháp tính toán chặt chẽ trong luận án tiến sĩ của mình. Thay vào đó, khó khăn là phải mất nhiều thời gian để hiểu được cấu trúc của ống nano các-bon (hình 4).

Tôi đã thảo luận và tìm hiểu cấu trúc của ống nano các-bon với Fujita. Hơn nữa, tôi đã rất ngạc nhiên khi thấy rằng tính chất điện tử có thể là kim loại hoặc bán dẫn tùy thuộc vào cấu trúc trong không gian ba chiều của ống nano các-bon. Mặc dù nghiên cứu này đã được chúng tôi công bố [R. Saito et al. Appl. Phys. Lett. 60 2204 (1992)], trước đó bài báo đã được gửi cho một tạp chí vật lý khác và bị từ chối. Do đó, chúng tôi đã mất một thời gian dài để công bố nghiên cứu này. Trong thời gian đó, các kết quả gần như tương tự đã được công bố bởi nhóm của ông Hamada của NEC và ông Tanaka của Đại học Kyoto. Tôi nhớ rằng tôi đã có một chút thất vọng. Do đó, chúng tôi đã phải chấp nhận rằng nguồn gốc của nghiên cứu về ống nano các-bon



Hình 4. Các cấu trúc khác nhau của ống nano các-bon. (a) Cấu trúc ghé bành, (b) cấu trúc zigzag, và (c) cấu trúc chiral.

là được xuất hiện đồng thời bởi nhiều nhóm khác nhau. Chúng tôi sẽ đánh giá cao nếu bạn lưu ý rằng tài liệu trong bài viết này không nhất thiết phải là bài báo được công bố đầu tiên.

3. Lịch sử nghiên cứu ống nano các-bon

Thập kỷ đầu tiên trong nghiên cứu ống nano các-bon là vô cùng khó khăn. Chúng tôi chỉ có thể quan sát ống nano các-bon bằng kính hiển vi điện tử có độ phân giải cao, ngoài ra không có gì khác. Hầu hết các nghiên cứu là dựa trên lý thuyết, và việc xác minh bằng thực nghiệm là không thể triển khai nếu không có một mẫu ống nano các-bon. Ngay cả khi có một mẫu ống nano các-bon dưới dạng bột, cũng không có một kỹ thuật nào để gắn một điện cực vào một ống nano các-bon để dòng điện có thể chạy qua dưới sự quan sát của kính hiển vi điện tử. Các nỗ lực được thực hiện bằng cách sử dụng các ống nano dày bao gồm nhiều ống lồng vào nhau để có thể nhìn thấy bằng kính hiển vi điện tử.

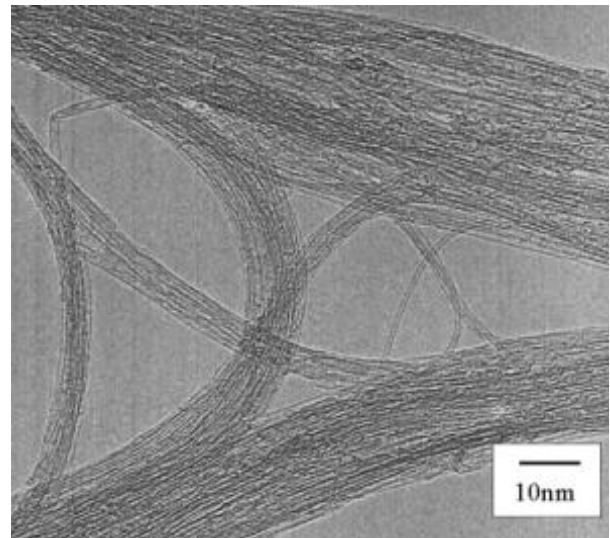
Năm 1993, nhiều nhóm nghiên cứu đã cho rằng việc bổ sung chất xúc tác sắt vào các điện cực hồ quang có thể dẫn đến việc tổng các ống nano các-bon đơn lớp. Chất xúc tác sắt đã được Morinobu Endo và các cộng sự sử dụng khi tổng hợp các bó ống nano các-bon bằng phương pháp pha khí. Các bó ống nano các-bon này cho thấy một lượng lớn các ống nano các-bon đa lớp.

Năm 1996, nhóm của A. Thess và Smalley đã công bố một công nghệ có thể tổng hợp được lượng lớn các ống nano các-bon đơn lớp bằng phương pháp cắt đốt laser, nó đã đánh dấu một bước ngoặt lớn [A. Thess et al. Science 273, 483 (1996)]. Khi một chùm laser mạnh được chiếu vào hỗn hợp bao gồm chất xúc tác và các-bon, các-bon sẽ tan chảy vào chất xúc tác và hình thành hợp kim. Khi nhiệt độ được giảm xuống và các-bon trở lên bão hòa, các ống nano các-bon sẽ được hình thành và phát triển thành từng bó từ chất xúc tác

(hình 5). Sau khi tối ưu hoá toàn bộ quá trình, chúng ta có thể tổng hợp được các ống nano các-bon rất dài. Nhóm của S. Bandow và P. Eklund đã đề xuất phương pháp phân tách một bó ống nano các-bon trong dung dịch nước bằng cách áp dụng sóng siêu âm mạnh trong dung dịch nước có chứa các chất hoạt động bề mặt [S. Bandow et al. J. Phys. B 101, 8839 (1997)]. Bằng phương pháp này, một ống nano các-bon duy nhất được tách ra từ một bó ống nano các-bon. Ống nano các-bon này được cô lập bởi các chất hoạt động bề mặt bao quanh và có chiều dài ngắn hơn một chút so với bó ống nano các-bon. Chúng sẽ được sử dụng cho các thí nghiệm như đo quang phổ Raman.

Có một vấn đề trong cả hai phương pháp cắt đốt bằng laser và phóng điện hồ quang, đó là không thể tổng hợp được ống nano các-bon với năng suất cao bởi vì các-bon cần được bay hơi và tiêu thụ một năng lượng rất lớn. Do đó, tổng hợp ống nano các-bon bằng phương pháp pha khí hoá học (CVD) đã được nghiên cứu rộng rãi như là một phương pháp tăng năng suất ở quy mô công nghiệp và kiểm soát đường kính.

Nguyên lý của phương pháp CVD là khi một khí hydrocarbon được tiếp xúc với một chất xúc tác kim loại có đường kính khoảng vài nm tại nhiệt độ khoảng 1000 độ C, các-bon sẽ hoà tan vào trong chất xúc tác và khi các-bon bão hòa, các ống nano các-bon sẽ được hình thành và phát triển liên tục (hình 5). Với sự phát triển của phương pháp CVD, nghiên cứu sâu rộng về các điều kiện hình thành ống nano các-bon như loại chất xúc tác, nhiệt độ, loại khí và áp suất trong ống CVD đã được thực hiện. Từ đó, các ống nano các-bon đã được thương mại hóa và được bán dưới dạng bột hoặc hòa tan trong một dung dịch nước. Điều này cũng



Hình 5. Hình ảnh kính hiển vi của một bó ống nano các-bon được tổng hợp bằng phương pháp CVD (hình ảnh được cung cấp bởi Giáo sư Shigeo Maruyama, Đại học Tokyo).

cho phép thực hiện các nghiên cứu ứng dụng. Tôi sẽ miên tả các nghiên cứu này trong phần tiếp theo.

Việc tổng hợp được các ống nano các-bon đơn lớp sẽ mang lại những nghiên cứu vượt bậc trong nghiên cứu cơ bản. Một là thành lập công nghệ tách chiết và tinh sạch các cấu trúc tùy ý của ống nano các-bon. Điều này giúp chúng ta có thể quan sát được các hiện tượng vật lý tùy thuộc vào cấu trúc hình học. Cũng kể từ thời điểm này, một lượng lớn các nhà nghiên cứu đã tham gia vào nghiên cứu về ống nano các-bon. Vì vậy mà tôi sẽ tiếp tục bài viết mà không đưa ra các tài liệu trích dẫn cụ thể như phần trên.

Là một nghiên cứu có tác động vào thời điểm đó, chúng tôi đã đo cấu trúc của một ống nano các-bon trên chất nền Si bằng kính hiển vi sử dụng hiệu ứng đường hầm (STM), và bằng việc sử dụng quang phổ từ hiệu ứng đường hầm (STS), nó đã xác nhận lý thuyết của chúng tôi về cấu trúc hình học của ống nano các-bon vào năm 1992. Đây là một nghiên cứu đã được xác minh bằng thực nghiệm về mối quan hệ giữa cấu trúc và tính chất điện tử của ống nano các-bon. Ngoài ra người ta còn đo được độ dẫn điện của một ống nano các-bon và quan sát được các chấm lượng tử một chiều. Phần lớn công việc này được thực hiện bởi C. Dekker và các cộng sự tại Viện Công nghệ Delft. Những nghiên cứu này đòi hỏi các thiết bị thí nghiệm để thực hiện được các công nghệ nano như phòng sạch, kính hiển vi điện tử STM/STS. Các cơ sở nghiên cứu sau đó cũng được thiết lập nhanh chóng trên thế giới.

4. Vật lý chất rắn của ống nano các-bon

Ngoài mối quan hệ giữ cấu trúc hình học và tính chất điện tử, nghiên cứu lý thuyết ban đầu của chúng tôi đã cho thấy một đặc trưng van Hove một chiều trong mật độ trạng thái điện tử. Đặc trưng này sẽ dẫn đến khả năng hấp thụ và phát xạ ánh sáng tùy thuộc vào cấu trúc hình học. Lợi dụng đặc tính này, người ta có thể thay đổi năng lượng laser bằng phương pháp quang phổ cộng hưởng Raman và quan sát phổ Raman của các ống nano các-bon với cấu trúc cụ thể.

Hơn thế nữa, vào năm 2001, A. Jorio và cộng sự đã đo đặc quang phổ Raman của một ống nano các-bon đơn lớp (hình 6), và nhận ra rằng tần số của một dao động của đường kính của ống nano các-bon, trong đó đường kính sẽ bị phình ra hoặc co vào bởi dao động này. Dao động này được gọi là RBM và tỷ lệ nghịch với đường kính. Sử dụng kết quả này, chúng tôi đã thành công trong việc xác định cặp số nguyên (n, m) từ thực nghiệm Raman. Đây là một cặp số nguyên đặc trưng cho cấu trúc hình học của ống nano.

Bên cạnh đó, vào năm 2002, O'Connell và cộng sự đã phát hiện ra rằng trong số các ống nano các-bon bị cô lập và phân tán bởi chất hoạt động bề mặt, các ống bán dẫn sẽ phát ra ánh sáng hồng ngoại. Và từ biểu đồ hai chiều của quang phổ phát xạ và hấp thụ, một kỹ thuật

mới để xác định cặp số nguyên (n, m) đã được công nhận. Phương pháp này cũng được sử dụng trong công nghiệp như là một phương pháp đánh giá sự phân bố của đường kính và độ xoắn ốc của các ống nano các-bon tổng hợp.

Năm 1999, Kataura đã công bố “đồ thị Kataura” với trục hoành là đường kính và trục tung là năng lượng hấp thụ hoặc phát xạ của ống nano các-bon như là một hàm của (n, m). Nó đã trở thành một đồ thị rất phổ biến để xác định các ống nano các-bon.

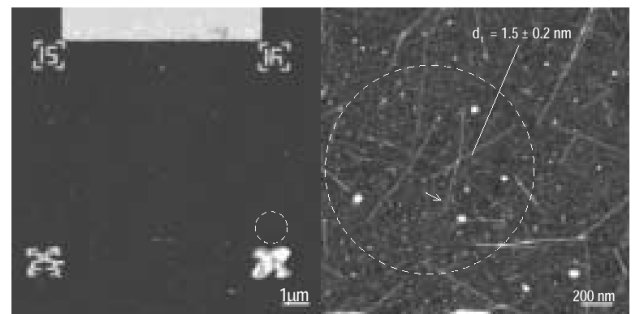
Năm 1997, Tsueya Ando và cộng sự bằng lý thuyết đã chỉ ra rằng, ảnh hưởng của exciton trong vật liệu một chiều là rất quan trọng ngay cả tại nhiệt độ phòng. Các nghiên cứu về exciton đã được thực hiện rộng rãi và trở thành một lĩnh vực lớn của quang học.

Công nghệ tách chiết và tinh sạch các ống nano các-bon đã được phát triển cho tới ngày nay với công nghệ tách chiết ống bán dẫn (rất quang trọng cho các ứng dụng điện tử) từ các ống kim loại. Công nghệ tách chiết này dựa trên đồng phân đôi quang. Do giới hạn không gian của bài viết, các tiến bộ trong công nghệ này sẽ không được đề cập trong bài.

5. Nghiên cứu ứng dụng của ống nano các-bon

Dựa trên các tiến bộ trong tổng hợp ống nano các-bon và nghiên cứu cơ bản, nghiên cứu ứng dụng đã trở nên tích cực trong thế kỷ XXI. Vì ống nano các-bon có độ bền cơ học, độ dẫn điện, độ dẫn nhiệt tốt và là các chất bán dẫn, các ứng dụng khác nhau đã được đề xuất.

Liên kết sp^2 của các-bon là liên hóa học bền nhất tồn tại trong tự nhiên. Hơn nữa, các-bon là nguyên tố có trọng lượng nhẹ. Do đó, độ bền cơ học trên mỗi đơn vị diện tích mặt cắt ngang của nó lớn hơn bất kỳ vật liệu nào hiện nay. Tuy nhiên, ống nano các-bon rất nhỏ và



Hình 6. (Trái) chất nền Si với các con số được in bằng vàng. Có những ống nano các-bon, nhưng chúng ta không thể nhìn thấy chúng. (Phải) khi quan sát bằng kính hiển vi lực nguyên tử (AFM), nó có thể nhìn thấy các ống nano (đường thẳng). Quang phổ Raman được đo bằng cách chiếu ánh sáng hội tụ vào chất nền này bằng kính hiển vi quang học (hình ảnh do Giáo sư A. Jorio cung cấp).

ngắn hơn nhiều so với con người. Có hai cách được sử dụng để áp dụng tính chất cơ học này.

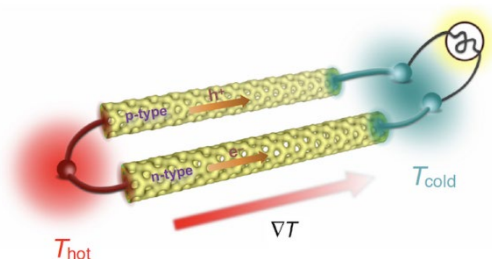
Một là ứng dụng trong các vật liệu composite (bằng cách trộn nó với kim loại hoặc nhựa) để tăng độ bền vật liệu. Các sợi các-bon được làm từ các ống nano các-bon đa lớp và được sử dụng trong thân máy bay để giảm trọng lượng cũng như tăng độ bền. Ngoài ra, các ống nano các-bon được tổng hợp dưới dạng bột. Do đó, nó có thể dễ dàng được xử lý tinh cho các bánh răng với kích thước micro.

Ứng dụng còn lại được thực hiện bằng cách bện các ống nano các-bon lên nhau thành một sợi dây. Khi đó độ bền của sợi dây các-bon được hình thành dựa trên lực ma sát giữa các ống. Đó là lý do tại sao chúng ta có thể bện được sợi dây thừng từ rơm rạ và không cần sử dụng chất kết dính, do diện tích tiếp xúc giữa rơm rạ được tăng lên bằng cách bện chúng lại.

Sợi dây ống nano các-bon này nhẹ và bền đến mức nó có thể sử dụng làm dây kéo trong một “thang máy vũ trụ”. Thang máy vũ trụ này sẽ nối liền giữa trái đất và các vệ tinh, và năng lượng để vận hành nó là thấp hơn nhiều so với năng lượng tiêu thụ trong các tên lửa thông thường. Nó có thể được hiện thực hóa trong tương lai gần.

Với sự hiện diện của các ống kim loại, vật liệu composite cũng có thể có khả năng dẫn điện. Đi đầu trong lĩnh vực này là sự phát triển của các dây dẫn composite bằng đồng và ống nano. Đây có thể là vật liệu lý tưởng để truyền điện do độ dẫn điện cao cũng như độ bền lớn.

Các thiết bị bán dẫn hậu silicon được dự kiến sẽ phát triển vào những năm 2020. Các thiết bị sử dụng silicon hiện nay được gia công tuân theo định luật Moore và được hỗ trợ bởi các kỹ thuật phát triển khổng lồ. Tuy nhiên, các thiết bị silicon được cho là sẽ đạt tới giới hạn khi kích thước nhỏ hơn 5 nm. Do đó, ống nano các-bon đang thu hút sự chú ý như một vật liệu thay thế trong các thiết bị bán dẫn.



Hình 7. Hình minh họa một thiết bị nhiệt điện dựa trên ống nano các-bon. Thiết kế bởi Nguyễn Tuấn Hưng (hình ảnh được sử dụng với sự cho phép của tạp chí *Phys. Rev. B*).

Các ống nano cũng có thể được xếp chồng ngẫu nhiên lên nhau để tạo thành một màng mỏng dẫn điện. Màng mỏng này có độ trong suốt là 95%, điện trở khoảng từ 100Ω trở xuống và công nghệ tổng hợp màng mỏng trực tiếp từ CVD là có sẵn. Màng mỏng ống nano các-bon đã được đưa vào sử dụng thực tế trên các màn hình cảm ứng trên các mẫu điện thoại thông minh của Foxcom. Đây là vật liệu vượt trội so với màng dẫn điện trong suốt ITO (sử dụng các kim loại hiếm) thông thường. Chúng cũng vượt trội về việc tiết kiệm chi phí cũng như khả năng tái chế.

Màng dẫn điện đang bắt đầu được sử dụng làm điện cực trong các ứng dụng lưu trữ năng lượng như pin Li-ion. Các thanh điện cực bằng các-bon đã được sử dụng từ lâu, nhưng người ta hy vọng rằng việc xem xét ở cấu trúc micro, nó sẽ khắc phục được một số vấn đề trong việc nâng cao hiệu quả lưu trữ năng lượng.

Ống nano được đặc trưng bởi tính chất bán dẫn, độ dẫn điện và độ dẫn nhiệt cũng đang thu hút sự chú ý như là một vật liệu nhiệt điện thấp chiều, cái mà có thể chuyển đổi trực tiếp nhiệt năng thành điện năng.

Năm 2015, Nguyễn Tuấn Hưng và các cộng sự đã nghiên cứu tính chất nhiệt điện của ống nano các-bon và thảo luận về hiệu ứng tăng cường lượng tử của vật liệu nhiệt điện, đặc biệt là vật liệu thấp chiều (1 chiều hoặc 2 chiều). Kết quả thu được cho thấy tính chất nhiệt điện của ống nano như là một hàm của (n, m) (hình 7). Các thiết bị nhiệt điện sử dụng ống nano bán dẫn đã được phát triển trong các phòng thí nghiệm và được kỳ vọng là nguồn cung cấp năng lượng cho các thiết bị đeo tay không sử dụng pin, thay vào đó nó sử dụng các nguồn năng lượng nhiệt miễn phí như là nhiệt độ của cơ thể. Năm 2016, Nguyễn và các cộng sự (dựa trên nghiên cứu của Hicks và Dresselhaus công bố vào năm 1993) đã khảo sát ảnh hưởng của hiệu ứng tăng cường hiệu quả nhiệt điện cho vật liệu một chiều và hai chiều. Kết quả cho thấy hiệu ứng tăng cường chỉ xảy ra với các vật liệu có kích thước cực nhỏ. Kết quả này đã được kiểm chứng bởi nhiều nhóm thực nghiệm sau đó.

Các đèn LED sử dụng ống nano bán dẫn cũng được chế tạo trong các phòng thí nghiệm. Chúng được mong đợi rằng các thiết bị điện quang này có thể được gắn trên một bảng mạch bán dẫn.

Vào năm 2019, Max Shulaker và cộng sự đã chế tạo thành công một bảng mạch tích hợp sử dụng ống nano trong các FET, và họ đã thu được một CPU 16 bit. Thiết kế một CPU với ống nano các-bon mà không sử dụng silicon là một cột mốc lớn. Mong rằng các công ty sẽ phát triển công nghệ thông qua những bước đột phá như vậy.

Vật liệu các-bon phát ra các tia hồng ngoại cực mạnh ở nhiệt độ cao. Đó là bức xạ đen tuyệt đối. Khi công

tắc được bật và có một dòng điện, nhiệt độ sẽ tăng lên do nhiệt Joule, bức xạ đen tuyệt đối sẽ xảy ra. Và khi công tắc được đóng lại thì bức xạ cũng dừng lại. Năm 2019, Maki và các cộng sự đã chỉ ra rằng sự chuyển đổi này có thể được bật tắt ở tốc độ một trăm triệu lần trên một giây. Do đó truyền thông GHz có thể được thực hiện bằng tia hồng ngoại.

Các thảo luận ở trên đã cho thấy các ứng dụng khác nhau của ống nano cac-bon từ vật liệu bán dẫn, vật liệu cơ khí, vật liệu quang học, vật liệu nhiệt điện,... Các ứng dụng này đang chủ yếu được các công ty nghiên cứu và phát triển để triển khai thành các sản phẩm thực tế.

6. Thông điệp cho những người trẻ trong tương lai

Ống nano cac-bon đã được phát triển đều đặn trong 30 năm qua và các nghiên cứu ứng dụng đang được tiến hành để có thể áp dụng vào thực tế. Đây là điều rất giá trị khi các bạn tham gia và một nghiên cứu đã trưởng thành và tạo ra những đột phá. Tuy nhiên, nếu độc giả muốn trở thành một nhà khoa học trẻ, tôi muốn nhắn nhủ các bạn nên xây dựng nền tảng khoa học từ những điều không ai nghĩ tới hơn là phát triển một vấn đề khoa học đang nổi lên tại thời điểm bây giờ.

Khoa học và công nghệ là hai cụm từ thường đi với nhau, tuy nhiên chúng mang các giá trị hoàn toàn khác nhau. Khoa học không nghiên cứu những gì được coi là hữu ích hơn, trong khi công nghệ lại tập trung vào cải tiến những gì hiện có để làm cho chúng hữu ích hơn. Trong công nghệ, mục tiêu và thành quả là rất rõ ràng. Trong khoa học, không có mục tiêu hay phần thưởng cụ thể nào. Tuy nhiên, chúng ta biết rằng khoa học luôn là cơ sở quan trọng trong các cuộc đổi mới công nghệ trong tương lai. Nếu không có bất cứ nghiên cứu nào được thực hiện, thì cũng sẽ không thể đưa ra được các phương hướng để đạt được các mục tiêu công nghệ.



Hình 8. Khi các nhà khoa học gặp nhau, các cuộc thảo luận sẽ bắt đầu với bất kỳ ai, mọi lúc và mọi nơi. Người phụ nữ mặc áo đỏ bên tay trái là Giáo sư Dresselhaus, và người đang nhìn vào máy tính xách tay bên tay phải là Giáo sư Morinobu Endo

Trong công nghiệp, khoa học là tạo ra các hạt giống mới, và công nghệ là gieo trồng hạt giống đó. Việc thu hoạch quả là rất quan trọng vì đây là kết quả của công nghệ, tuy nhiên không có hạt giống tốt thì sẽ không bao giờ có một vụ mùa bội thu.

Cái gì đã bám chặt trên cực âm của điện cực cac-bon? Sự tò mò này đã dẫn đến phát hiện ra ống nano cac-bon. Tò mò là mầm mống của khoa học và có thể dẫn đến các khám phá. Chúng có thể là sự may rủi, tuy nhiên các nhà khoa học có một cơ hội lớn để tạo nên một khám phá lớn hơn là sự may mắn. Bởi vì sự tò mò là dựa trên các ý tưởng khoa học. Nắm vững những kiến thức cơ bản sẽ giúp bạn có được sự tò mò đúng hướng. Điều quan trọng là không phải học hỏi kiến thức mà là đặt câu hỏi “Tại sao nó lại diễn ra?” và hiểu được câu hỏi đó. Ví dụ, rất nhiều người trong chúng ta đều biết rằng động năng được mô tả bởi công thức $p^2/2m$, nhưng không có nhiều người có thể giải thích được tại sao lại vậy.

Nghiên cứu khoa học là cần thiết. Tuy nhiên việc nghiên cứu khó có thể được thực hiện, ngay cả khi bạn đã vào cao học. Việc học là để thu được những kiến thức dựa trên những câu trả lời có sẵn. Mặc khác, không có sẵn những câu trả lời trong nghiên cứu khoa học. Sử dụng Google sẽ không phải cách để tìm kiếm câu trả lời. Nếu câu trả lời được tìm kiếm bằng Google, thì đó sẽ không còn là mục tiêu của khoa học nữa. Làm thế nào để có được câu trả lời chưa biết khác với việc học. Do đó, thảo luận là một phần quan trọng trong nghiên cứu khoa học.

Chỉ có một nhà nghiên cứu giàu kinh nghiệm hoặc một thiên tài trăm năm có một mới có thể vào một phòng thí nghiệm và tự mình nghiên cứu và viết một bài báo khi còn đang học cao học. Nghiên cứu sinh làm nghiên cứu một mình có thể đem lại giá trị tư duy cho bản thân, nhưng ý nghĩa khoa học lại không cao. Tôi không biết những khám phá như vậy có thể trở thành các khám phá lớn hay không?

Thảo luận khoa học sẽ giúp bạn hiểu sâu hơn kết quả bằng cách giải thích cho người hướng dẫn của bạn về những gì bạn nghĩ và những kết quả bạn thu được, cũng như bằng cách trả lời các câu hỏi từ người hướng dẫn (hình 8). Để làm được điều này, điều quan trọng là đến phòng thí nghiệm nơi mà bạn có thể thảo luận. Nếu bạn bước vào một phòng thí nghiệm nơi diễn ra các cuộc thảo luận sôi nổi và bạn tích cực tham gia các cuộc thảo luận đó. Tôi nghĩ rằng bạn sẽ có cơ hội trở thành một nhà nghiên cứu giỏi. Không thảo luận chỉ bởi vì hôm nay bạn không có kết quả đồng nghĩa với việc bạn đang đánh mất cơ hội của mình.

Du học Nhật bản, Châu Âu và Mỹ là điều rất tốt vì điều này có thể tham gia nghiên cứu ở những môi trường khoa học hàng đầu. Không phải tất cả các môi trường nghiên cứu là giống nhau. Có thể nói việc lựa chọn



môi trường nghiên cứu là quyết định của cả cuộc đời. Kroto cũng đã đến Mỹ để nghiên cứu. Tôi đã thảo luận với Dresselhaus và vợ của anh ấy tại MIT trong hơn 25 năm qua. Lịch sử khoa học đã cho thấy rằng nhiều khám phá được thực hiện thông qua những lần gặp gỡ trong các môi trường nghiên cứu mới.

Rất nhiều rắc rối sẽ xảy ra đối với các sinh viên quốc tế khi họ bị căng thẳng khi đối mặt với các môi trường khác nhau. Điều này đơn giản bởi vì họ đang theo đuổi những gì có lợi cho bản thân mà không suy nghĩ đến những hậu quả trong tương lai. Nó cũng xảy ra khi sinh viên đang không có mục tiêu hay kế hoạch mà chỉ nỗ lực mỗi ngày với sự không chắc chắn của bản thân. Vấn đề là họ chỉ đưa ra những quyết định dựa trên bản thân họ khi chính họ không có kinh nghiệm cho việc đó.

Một phần quan trọng của thảo luận là giúp các bạn nhận thức được mình có đang đi đúng hướng hay không. Do đó bạn có thể đi thẳng đến mục tiêu. Và những khám phá quan trọng thường xuất hiện trong những khoảnh khắc bất ngờ. Điều quan trọng là bạn phải luôn tham gia nghiên cứu với một “tâm thế chuẩn bị kỹ càng” để không bị bỏ lỡ cơ hội đó. Trong trường hợp bạn nhận ra rằng mục tiêu không phải là điều bạn mong đợi thì đó cũng là điều bình thường, bạn sẽ vẫn nhận lại được rất nhiều điều khác.

Tôi xin chân thành hy vọng rằng các bạn sẽ thành công và thực hiện được nhiều nghiên cứu ở Nhật Bản.

*Sendai, ngày 1 tháng 9 năm 2020
(Người dịch: Nguyễn Tuấn Hưng,
Trưởng Đại học Tohoku, Nhật Bản)*