

5

Quả bóng đá C60 và ống than nano

"There's plenty of room at the bottom"

*(Richard P. Feynman,
Physics Nobel Laureate)*

5.1 Dẫn nhập

Cách đây mười năm, cụm từ "công nghệ nano" (nanotechnology) ít được người biết đến, nhưng ngày hôm nay nó trở thành một thuật ngữ quen thuộc ở mọi giai tầng trong xã hội hiện đại. Người làm kinh tế hay chính trị cũng thường đề cập đến nano dù người nói lẫn người nghe lắm khi vẫn không biết đích xác là gì. Nano là tiếng gọi tắt của nanomét (tiếng Anh: nanometer, ký hiệu nm, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ hay là $0,000000001 \text{ m}$)^[1] là một đơn vị

¹ Đường kính một nguyên tử vào khoảng 0,1 nm.

đo lường ở thứ nguyên nguyên tử hay phân tử. Công nghệ nano liên quan đến việc lợi dụng những hiện tượng ở đơn vị nanomet để thiết kế vật liệu và vật chất với những chức năng đặc biệt ngay từ thang (scale) nguyên tử hoặc phân tử. Người ta gọi đây là phương pháp thiết kế “từ dưới lên” (bottom-up method) khác với phương pháp thiết kế thông thường “từ trên xuống” (top-down method) đang được lưu dụng². Nhà Vật lý học nổi tiếng Richard Feynman đã từng tiên đoán phương pháp “từ dưới lên” trong một bài thuyết trình năm 1959 qua câu nói vừa nghiêm túc vừa hài hước “There’s plenty of room at the bottom” (Có rất nhiều chỗ trống ở miệt dưới). Lời dự đoán thiên tài này cho biết vùng tận cùng “miệt dưới” của nguyên tử và phân tử vẫn còn là những vùng phì nhiêu bát ngát chờ đợi con người đến thao túng khai hoang!

Tuy nhiên con người phải chờ đến 40 năm mới nhìn thấy sự bùng nổ của nền công nghệ nano chủ yếu sử dụng phương pháp “từ dưới lên”. Nền công nghệ này

² Phương pháp “từ trên xuống” là dùng những vật liệu to rồi biến chế thành những công cụ nhỏ. Một thí dụ điển hình của phương pháp này là chế tạo silicon chip cho máy vi tính. Chip được chế tạo càng lúc càng nhỏ để làm ra những chiếc máy vi tính ngày càng hữu hiệu, gọn và mỏng. Một thí dụ của phương pháp “từ dưới lên” là quá trình tổng hợp protein của các vật sống (living body). Phân tử DNA tạo ra RNA để chuyển hóa tạo ra protein với các chức năng khác nhau. Các protein lại kết hợp với nhau để tạo ra tế bào ở một bậc cao hơn rồi sau đó tạo ra vật thể. Quá trình thụ tinh tạo phôi rồi tạo ra sinh vật và con người là một thí dụ tương tự. Trong ngành công nghệ nano chúng ta đang bắt chước thiên nhiên trong quá trình “từ dưới lên”.

đang có tác động mạnh lên nền công nghệ “cổ điển” hiện tại và cũng là một động lực của những công trình nghiên cứu đa ngành (multi-discipline) bao gồm vật lý, hóa học, vật liệu học, sinh học, toán học, tin học v.v... Đây là một cuộc cách mạng kỹ nghệ của loài người ở thế kỷ 21. Nó sẽ mang lại cho nhân loại những thay đổi khoa học kỹ thuật mang tính đột phá và có tầm ảnh hưởng sâu xa trong sinh hoạt xã hội, văn hóa, kinh tế hơn cả cuộc cách mạng kỹ nghệ ở thế kỷ 18.

Đàng sau bức bình phong công nghệ nano là những vật liệu nano. Trong những vật liệu này xuất hiện hai dạng carbon: phân tử fullerene C₆₀ có hình dạng trái bóng đá và ống nano carbon (carbon nanotube). Sự phát hiện của hai dạng carbon ở thập niên 80 và 90 ở thế kỷ trước có một trùng hợp thời điểm với sự ra đời và phát triển của công nghệ nano. Việc khám phá fullerene và ống nano carbon là tập hợp của nhiều sự kiện ngẫu nhiên. Gọi là ngẫu nhiên nhưng thật ra là những kết quả hết sức ngoạn mục phản ánh một tinh thần làm việc miệt mài nhưng vẫn phóng khoáng lạc quan, một tư duy phân tích bén nhạy nhưng không xơ cứng giáo điều của nhà khoa học.

Hiện nay, hàng trăm trung tâm nghiên cứu lớn nhỏ về công nghệ nano được thành lập khắp nơi trên thế giới,

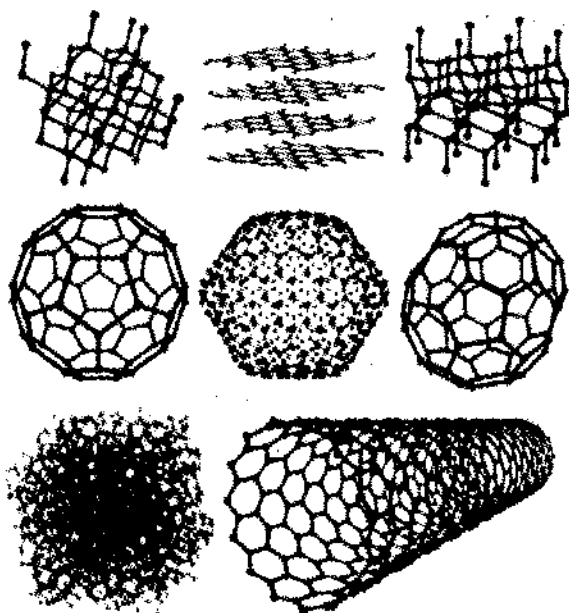
đứng đầu là Mỹ, Nhật Bản, Âu châu, Trung Quốc với kinh phí toàn cầu trong vài năm tới sẽ tăng đến hàng chục tỷ Mỹ kim mỗi năm. Đối với một số nước, công nghệ nano và bộ môn fullerene/ống nano carbon là ưu tiên quốc gia cho các đề án nghiên cứu và triển khai. Trong bài viết này, chúng ta hãy nhìn xem có thật sự là con người đang đi vào một cuộc cách mạng khoa học kỹ thuật mở ra một thời đại hoàng kim công nghệ chưa từng có trong lịch sử nhân loại. Và có thật sự là nền công nghệ silicon của thế kỷ 20 đang từ giả "cuộc hí trường" để được thay thế bởi nền công nghệ carbon.

5.2 Quả bóng đá C60

Năm 1985, một nhóm nghiên cứu bao gồm Harold Kroto (University of Sussex, Anh Quốc) và Sean O'Brien, Robert Curl, Richard Smalley (Rice University, Texas, Mỹ) khám phá ra một phân tử chứa 60 nguyên tử carbon, viết tắt là C60. Giáo sư Kroto là một nhà nghiên cứu hóa học thiên văn. Vào thập niên 70, ông đã có một chương trình nghiên cứu những chuỗi dài các nguyên tử carbon trong các đám mây bụi giữa các vì sao (interstellar dust). Ông liên lạc với nhóm của Curl và Smalley và dùng quang phổ kế laser của nhóm này để mô phỏng điều kiện hình thành của các chuỗi carbon trong các đám mây vũ trụ. Họ không những có thể tái tạo những chuỗi carbon

mà còn tình cờ khám phá một phân tử rất bền chứa chính xác 60 nguyên tử carbon. Việc khám phá ra C60 đã xoay hướng nghiên cứu của nhóm này từ chuyện tìm kiếm những thành phần của vật chất tối (dark matter) trong vũ trụ đến một lĩnh vực hoàn toàn mới lạ liên hệ đến khoa vật liệu (materials science). Năm 1996, Kroto, Curl và Smalley được giải Nobel hóa học cho sự khám phá này.

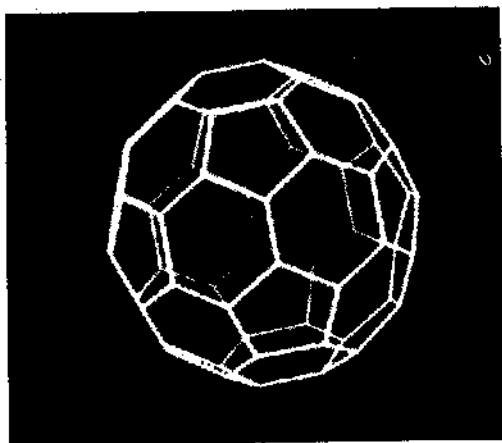
Trước C60, người ta chỉ biết carbon qua ba dạng: dạng vô định hình (amorphous) như than đá, than củi, bồ hóng (lọ nôi), dạng than chì (graphite) dùng cho lõi bút chì và dạng kim cương (Hình 5.1). Sự khác nhau về hình dạng, màu mè, giá cả và cường độ yêu chuộng của nữ giới giữa than đá, than chì và kim cương thì quả là một trời một vực. Tuy nhiên, sự khác nhau trong cấu trúc hóa học lại khá đơn giản. Như cái tên đã định nghĩa, dạng vô định hình không có một cấu trúc nhất định. Trong than chì, các nguyên tử carbon nằm trên một mặt phẳng thành những lục giác giống như một tổ ong. Cấu trúc này hình thành những mặt phẳng nằm chồng chất lên nhau mang những electron π (pi) di động tự do. Than chì dẫn điện nhờ những electron di động này. Trong kim cương, những electron π kết hợp trở thành những nối hóa học liên kết những mặt phẳng carbon và làm cho chất này có một độ cứng khác thường và không dẫn điện.



Hình 5.1: Tám loại carbon theo thứ tự từ trái sang phải: (a) Kim cương, (b) Than chì, (c) Lonsdaleite, (d) C60, (e) C540, (f) C70, (g) Carbon vô định hình (h) Ống nano carbon (Nguồn: Wikipedia).

Việc khám phá ra C60 đã cho carbon một dạng thứ tư. Sau khi nhận diện C60 từ quang phổ hấp thụ, Kroto, Curl và Smalley bắt đầu tạo mô hình cho cấu trúc của C60. Trong quá trình này, các ông nhanh chóng nhận ra rằng các nguyên tử carbon không thể sắp phẳng theo kiểu lục giác tổ ong của than chì, nhưng có thể sắp xếp thành một quả cầu tròn trong đó hình lục giác xen kẽ với hình ngũ

giác giống như trái bóng đá với đường kính vào khoảng 1 nm (Hình 5.1d và 5.2). Phân tử mới này được đặt tên là buckminster fullerene theo tên lót và họ của kiến trúc sư Richard Buckminster Fuller. Ông Fuller là người sáng tạo ra cấu trúc mái vòm hình cầu với mô dạng lục giác (Hình 5.3). Cho vấn tất người ta thường gọi C60 là fullerene hay là bucky ball.



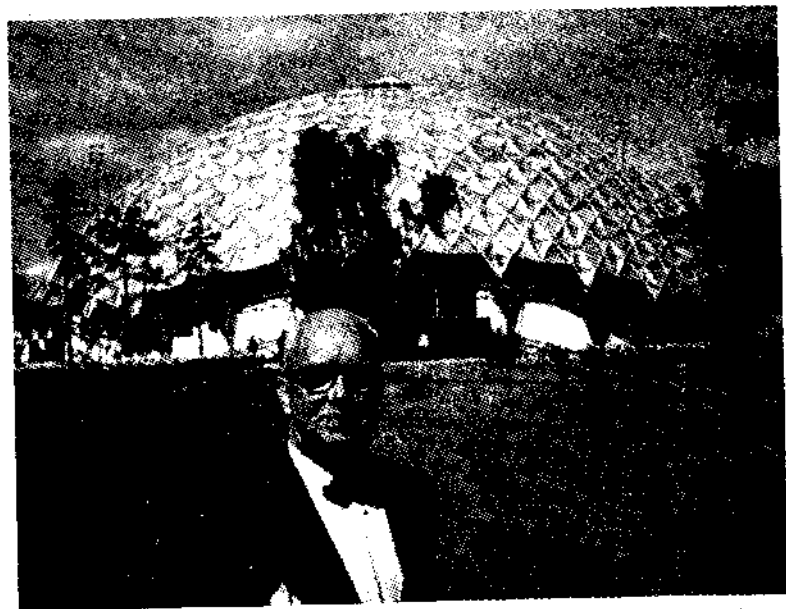
Hình 5.2: Quả bóng đá phân tử C60 với đường kính vào khoảng 1 nm.

Trong việc quyết định trao giải Nobel, Viện Hàn lâm Khoa học Thụy Điển đã quên mất công lao của giáo sư Eiji Osawa. Ông là người đầu tiên đã tiên đoán sự hiện hữu của C60. Người viết tình cờ gặp ông tại một cuộc hội thảo khoa học chuyên ngành. Cũng như phần lớn các

giáo sư người Nhật bản khác, Giáo sư Osawa là một người khá kính, điềm đạm và khiêm tốn. Khi tôi gọi chuyện C60 và giải Nobel, ông nở nụ cười hiền hòa tâm sự: “Không được Nobel, tôi tiếc lắm chứ vì C60 là đứa con khoa học của tôi mà. Tôi tiên đoán C60 vào năm 1970 khi tôi vừa mới được bổ nhiệm giảng viên tại Đại học Hokkaido. Vì tôi viết bằng tiếng Nhật và đăng bài báo cáo của tôi trên tạp chí Kagaku (Hóa học) năm 1970³⁾ nên không được các đồng nghiệp quốc tế lưu ý đến. Một năm sau, tôi viết lại thành một chương cho một quyển sách giáo khoa, cũng bằng tiếng Nhật.” Tôi hỏi: “Nếu thầy đã tiên đoán như vậy thì tại sao thầy không làm một thí nghiệm để kiểm chứng?” Ông bực bạch: “Theo sự tính toán của tôi thì năng lượng hoạt tính của phản ứng tạo ra C60 rất cao. Tôi không thể hình dung được một chất xúc tác nào có thể hạ thấp năng lượng hoạt tính để phản ứng có thể xảy ra. Nhưng tôi đã hình dung được cấu trúc của nó trong một lần tôi nhìn đứa con trai của tôi đùa giỡn với trái bóng đá trong công viên gần nhà. Tôi cũng không nghĩ ra một phương tiện vật lý như dùng laser hoặc tia có năng lượng cao như nhóm Smalley đã làm để kích động phản ứng. Hơn nữa, ở thời điểm đó tôi mới vừa làm giảng viên nên cần phải tạo một dấu ấn nào đó trong phân

³ E. Osawa, “Super-aromaticity”, Kagaku (Chemistry), 25 (1970) 854.

khoa. Tôi cảm thấy việc tổng hợp C60 quá nhiều khó khăn nên đành chọn một hướng nghiên cứu khác.” Có một điều làm cho ông được an ủi phần nào là trong bài diễn văn nhận giải Nobel, Kroto, Curl và Smalley đã đề cập đến thành quả tiên phong của ông. Ông đã gửi tặng tôi bài báo cáo khoa học mang tính lịch sử này (Hình 5.4).



Hình 3: Kiến trúc sư Richard Buckminster Fuller và mái vòm hình cầu với mô dạng lục giác.

超 芳 香 族

大 沢 映 一

1. はじめに

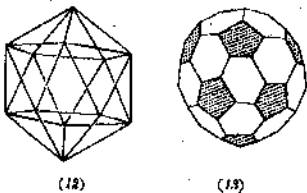
最近数年間の非ベンゼン系芳香族化学の発展の速さと広がり大きさにはまことに目をみはるものがある。その原動力が Hückel の分子軌道法に基づく $(4n+2)$ 則だ。合成化学技術の近代化の二つであることについてはまず異論のないところであろう。とすると驚異の日ざましい新芳香族化合物のうちでシクロプロペナムとアノニレンの発見は実に驚異が深い。しかし逆に考えれば Hückel 則の化学的厳密性に関して、最も劇的な開拓期はすでに過ぎ去り過ぎ、今後は理論、合成両面にわたる精密化と実用化学の時代であるところと

きよう。これまで芳香族性を説明は常に π 電子の 2 次元性ばかりと表裏の關係にもった。さてば π 電子を 3 次元的に求積在位することはできないだろうか？ たゞえばいろいろな正多面体の頂点に π 電子軌道を入れたような球状分子では π 電子の求積性を果敢に比し得ないだろうか？ また従来の π 電子にとらわれず、原子または族原子以外の元素の σ 軌道が球状分子の骨格を形づくると、かつが求積在位することはありえないだろうか？

このような疑念を頭脳で思いめぐらしてみようと、決

2-3 corannulene

多数のベンゼン環の融合した型のいわゆる“融合多環式芳香族炭化水素”は典型的な平面分子である。これらの代表的なベンゼノイド芳香族が球状分子の型をとったなら超芳香族性を示さないだろうか？ たゞえばサッカーボールの公式ボールの表面に描かれている幾何模様を思い浮かべてみよう。それは正多面体として cube のつぎに小さな正二十面体 (icosahedron) (12) の頂点を全部切り落として正五角形を出したもので、truncated icosahedron とでも称されるべき美しい多面体である (13)。図ではわかりにくいところもあるので、もし手もとにサッカーボールがあれば手に取ってながめていただくとはっきりするが、五角形(黒く塗ってある)の間には規則正しく六角形がうずまわっている。一見これらの成分多角形はたいして曲がってもないし、各辺はすべて同じ長さにすることができる。もしこれらの頂点を全部 sp^2 炭素



Hình 5.4: Tựa đề bài báo cáo “Họ chất thơm siêu đẳng” (Super-aromaticity) viết vào năm 1970 và quả bóng đá C60 trong bài viết.

Như giáo sư Osawa đã trình bày, ở điều kiện và nhiệt độ bình thường, việc tổng hợp C60 là một việc bất khả thi theo các tiêu chuẩn nhiệt động học. Vì là một nhà hóa học thiên văn, Kroto tiếp cận vấn đề bằng một phương thức khác. Tháng 9 năm 1985, trong thời gian làm việc tại Rice University, ông dùng tia laser của Curl và Smalley bắn vào than chì để tái tạo sự tương tác của các tia vũ trụ và carbon trong không gian. Trong phổ ký khối lượng (mass spectrography) của các sản phẩm tạo thành xuất hiện hai đỉnh rất to chỉ định C60 và C70. Một bất ngờ nhưng Kroto, Curl và Smalley biết ngay đây là một khám phá đổi đời "kinh thiên động địa". Khi tia laser bắn vào một vùng nào đó của vật chất thì sẽ nâng nhiệt độ vùng đó lên cao hàng ngàn độ, thậm chí hàng chục ngàn độ. Ở nhiệt độ cao, những chướng ngại nhiệt động học không còn là vấn đề và sự tạo thành C60 trở nên rất thuận lợi.

Việc khám phá C60 đã làm chấn động hầu hết mọi ngành nghiên cứu khoa học. Đặc biệt đối với môn hóa học hữu cơ nó đã tạo ra một nguồn sinh khí mới cho ngành nghiên cứu quá cổ điển này. Sự khám phá có tầm quan trọng hơn cả khám phá cấu trúc vòng nhân benzene của Kekule gần 150 năm trước. Benzene đã mở ra toàn bộ ngành hóa học của hợp chất thơm (aromatic compounds). C60 đã mở ra ngành "hóa học fullerene" đi song song với sự phát triển của ngành công nghệ nano hiện nay.

Kroto, Curl và Smalley chỉ cho biết sự hiện hữu của C60, nhưng tổng hợp C60 cho việc nghiên cứu và ứng dụng thì phải đợi đến năm 1990 khi Krätschmer và Huffman đưa ra phương pháp tổng hợp với một sản lượng lớn. Nhờ vào phương pháp này đến năm 1997 đã có hơn 9.000 hợp chất dựa trên fullerene được tổng hợp, hơn 20.000 báo cáo khoa học đăng trên các tạp chí chuyên ngành. Những người nghiên cứu hoá hữu cơ thường có nhiều nỗi ám ảnh và niềm đam mê đối với những cấu trúc phân tử đối xứng và cấu trúc lồng (cage structure), nên fullerene trở thành một lĩnh vực nghiên cứu mầu mỡ trong bộ môn này. Họ tổng hợp những fullerene cao hơn C60 như C70 (70 nguyên tử carbon, hình bóng bầu dục), C84 (84 nguyên tử carbon, hình quả đậu phộng). Họ kết hợp những nhóm chức (functional group) để chức năng hóa (functionalization) fullerene, gắn fullerene vào polymer để tổng hợp những dược liệu hay vật liệu cho ứng dụng quang điện tử.

Lịch sử fullerene lâu đời hay non trẻ tùy vào hai cách nhìn khác nhau. Nghiên cứu fullerene thật ra rất ngắn, chỉ hơn 20 năm kể từ ngày phổ ký khối lượng của Curl và Smalley cho biết sự hiện diện của C60 và C70, nhưng sự hiện hữu của fullerene có lẽ còn sớm hơn sự xuất hiện của loài người. Nó có trong những đám mây bụi trong vũ trụ, mỏ than, bồ hóng từ những ngọn nến lung linh hoặc

những nơi khiếm tốn hơn như ở lò sưởi than, cái bếp nhà quê đen đui đũi vì lò nôi... Người ta không tìm được C60 vì hàm lượng rất nhỏ và thường bị than vô định hình phủ lấp.

Khi màn bí mật C60 được vén mở, người ta nghĩ ngay đến những áp dụng thực tiễn của C60. Người ta kết hợp C60 với potassium (K) để tạo ra chất siêu dẫn hữu cơ ở nhiệt độ 18 K (-255°C). Một số nhà nghiên cứu sinh học hy vọng có thể dùng C60 điều chế dược phẩm trị liệu bệnh AIDS. Trong vật lý, rất nhiều đề nghị áp dụng C60 để chế tạo những dụng cụ quang điện tử trong công nghệ cao. Tuy nhiên, về mặt ứng dụng, các nhà khoa học thường mắc phải một căn bệnh chung là “lạc quan quá độ”. Cấu trúc tròn trịa, đối xứng của C60 đã được tạp chí Science tôn vinh là “phân tử của năm 1991”, nhưng cái xinh đẹp hấp dẫn không phải lúc nào cũng đưa đến kết quả thực tiễn hoàn mỹ.

Hai yếu tố làm C60 giảm tính thực tế là: (1) giá cả quá cao (giá cho một gram là vài trăm Mỹ kim hoặc cao hơn cho tinh chất, so với giá vàng vào khoảng 10 đô-la/g) và (2) C60 không hòa tan trong dung môi nên rất bất lợi cho việc gia công. Những hồ hởi ban đầu trong cộng đồng nghiên cứu khoa học dành cho fullerene bị dập tắt nhanh chóng vì những trở ngại này. Thậm chí ngay trong công

nghe “thấp”, chẳng hạn dùng C60 như một chất phụ gia (additives) cho dầu nhớt làm giảm độ ma sát vẫn không địch nổi về giá cả và hiệu quả với những chất phụ gia thông thường. Tuần báo The Economist có lần phê bình: “Cái công nghệ duy nhất mà quả bóng bucky đã thực sự cách mạng là sản xuất những bài báo cáo khoa học” (The only industry the buckyball has really revolutionized is the generation of scientific papers)!

Nhưng viễn ảnh của C60 trong ứng dụng công nghệ không đến nỗi tầm tối như các nhà bình luận kinh tế đã hấp tấp dự đoán. Sự kiên trì của những người làm khoa học lúc nào cũng cho thấy một niềm lạc quan của “những tia sáng ở cuối đường hầm”. Gần đây công ty Nano-C (Mỹ) tuyên bố khả năng sản xuất hàng tấn C60 cho giới công nghệ. Một nhà máy thí điểm tại Nhật đang có khả năng chế tạo 40 tấn hàng năm và sẽ lên đến vài trăm tấn khi nhà máy được nâng cấp. Phương pháp sản xuất hàng loạt sẽ làm giảm giá C60 đến mức 5 đô-la/g và có thể 1 đô-la/g trong một tương lai không xa. Đây là một bước nhảy vĩ đại so với những năm đầu ở thập niên 1990 khi người ta chỉ thu lượm vài miligram C60 ở mỗi lần tổng hợp khó khăn và giá cho mỗi gram có lúc lên đến 1.500 đô-la/g. Nhà sản xuất dự đoán nhu cầu C60 sẽ tăng nhanh trong vài năm tới cho việc chế biến dược liệu, dầu nhớt cao cấp và mỹ phẩm trang điểm.

Câu chuyện cô bé Lọ Lem mãi mãi là một câu chuyện tình làm thốn thức nhiều con tim trẻ. Cô bé bị bà mẹ ghẻ hành hạ lúc nào cũng phải quét dọn lò sưởi nên mặt mũi dính đầy lọ nôi. Bà Tiên với chiếc đĩa thần biến nàng thành một tiểu thư đài các được trang điểm cực kỳ diễm lệ để dự những buổi khiêu vũ của chàng hoàng tử độc thân đa tình. Có lẽ nàng được trang điểm với những mỹ phẩm chứa C60, nàng sẽ đeo những chuỗi kim cương carbon vô giá. Nhưng sau nửa đêm, nàng sẽ trở lại cô bé đầy lọ... Nhìn từ quan điểm của hóa học carbon, chuyện tình khi được tính khoa học có thể làm thất vọng nhiều tâm hồn lãng mạn nhưng tất cả chỉ là câu chuyện carbon ở những trạng thái khác nhau!

Trở lại thực tế của thế kỷ 21. Khả năng áp dụng fullerene trong công nghệ cao liên quan đến quang học và quang điện tử đang được tích cực khảo sát ở nhiều cơ quan nghiên cứu trên thế giới. Tạp chí Journal of Materials Chemistry xuất bản một số đặc biệt tổng kết những thành quả mới nhất của việc nghiên cứu fullerene^[4]. Một trong ứng dụng có tầm quan trọng đặc biệt là đặc tính photovoltaic của C60, tức là khả năng biến năng lượng mặt trời thành điện hay còn gọi là pin mặt trời. Loại pin này được chế tạo từ hỗn hợp C60 và polymer dẫn điện

⁴ "Functionalised Fullerene Materials", Journal of Materials Chemistry 12 (7) (2002).

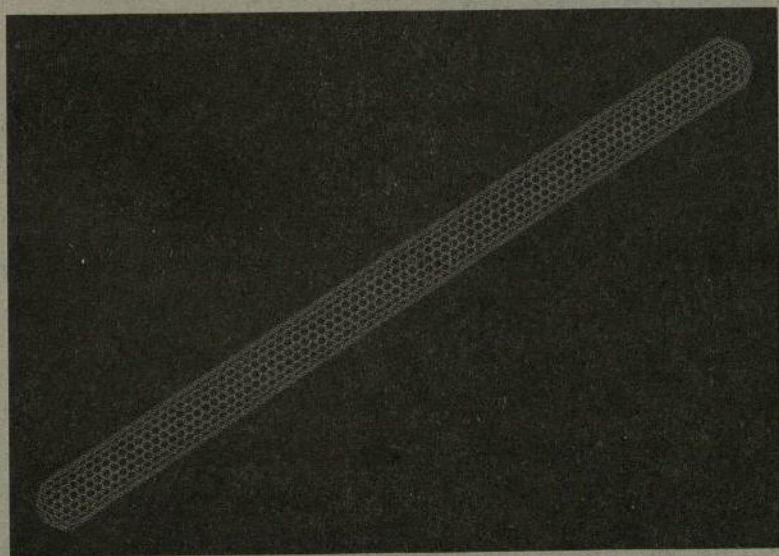
(Chương 8). Mặc dù hiệu suất chuyển hoá năng lượng vẫn chưa bì kịp pin mặt trời silicon đang được phổ biến trên thương trường, loại pin mặt trời hữu cơ này sẽ cho những đặc điểm không có ở silicon như dễ gia công, giá rẻ, nhẹ, mỏng và mềm.

5.3 Ống than nano

Kroto vì niềm đam mê tái tạo những chuỗi carbon dài trong các đám mây bụi vũ trụ tình cờ phát hiện fullerene. Ngẫu nhiên này được nối tiếp với ngẫu nhiên khác. Sáu năm sau (1991), tiến sĩ Sumio Iijima một nghiên cứu viên của công ty NEC (Nhật Bản) cũng vì niềm đam mê tìm hiểu fullerene lại tình cờ phát hiện qua kính hiển vi điện tử ống nano carbon - “người em họ” của C₆₀^[5]. C₆₀ có hình dạng quả bóng đá, nhưng ống than nano (gọi tắt: ống nano) giống như một quả muỗng dài với đường kính vài nanomet (nm) và chiều dài có thể dài đến vài trăm micromet (10⁻⁶ m), vì vậy có cái tên gọi “ống nano” (Hình 5.1h và 5.5). Với đường kính vài nm ống nano carbon nhỏ hơn sợi tóc 100.000 lần. Chỉ trong vòng vài năm từ lúc được phát hiện, “người em họ” cho thấy có rất nhiều ứng

⁵ S. Iijima, “Carbon nanotubes”, MRS Bulletin, November 1994, volume XIX, 43.

dụng thực tế hơn C60. Cấu trúc hình ống có cơ tính và điện tính khác thường và đã làm kinh ngạc nhiều nhà khoa học trong các cơ quan nghiên cứu, đại học và doanh nghiệp trên thế giới. Ống nano có sức bền siêu việt, độ dẫn nhiệt cao (thermal conduction) và nhiều tính chất điện tử thú vị. Với một loạt đặc tính hấp dẫn này, nhiều phòng nghiên cứu đã phải chuyển hướng nghiên cứu từ C60 sang ống nano.



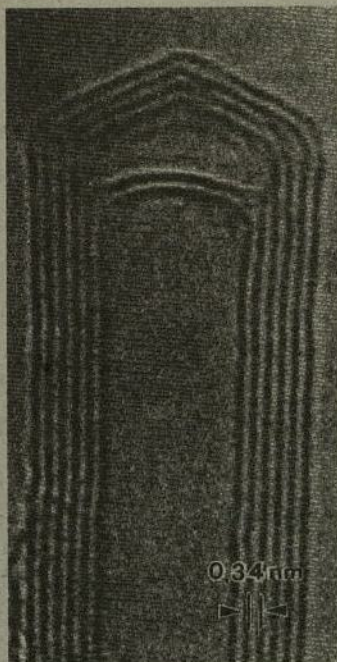
Hình 5: Ống than nano

Việc chế tạo ống nano có thể được thực hiện bằng cách phóng điện hồ quang (arc discharge) hoặc dùng laser (laser ablation) trên một vật liệu gốc chứa carbon hoặc phun vật liệu này qua một lò ở nhiệt độ 800-1200°C (chemical vapour deposition, CVD). Hình thành ống carbon không phức tạp, nhưng tạo ra những ống nano giống nhau cùng đặc tính trong những đợt tổng hợp khác nhau và sau đó tinh chế để gạn lọc tạp chất đòi hỏi những điều kiện vận hành một cách cực kỳ chính xác. Tùy vào điều kiện chế tạo và vật liệu gốc, người ta có thể tổng hợp ống nano một vỏ (single-wall carbon nanotube, SWNT), vỏ đôi (double-wall carbon nanotube, DWNT) và nhiều vỏ (multi-wall carbon nanotube, MWNT). MWNT là một tập hợp của SWNT giống như con búp bê Nga (Russian doll) (Hình 5.6). Ống nano được Iijima phát hiện đầu tiên thuộc loại MWNT. Richard Smalley (Rice University) một lần nữa đã phát huy tài năng của mình qua phương pháp laser để chế tạo SWNT với hiệu suất rất cao. Phương pháp này đã được thương mại hóa để sản xuất SWMT cho công nghệ. Giá cho SWNT và DWNT tinh chế vẫn còn rất cao ở mức 500 đô-la/g. MWNT dễ tổng hợp hơn SWNT nên giá ở mức 100 đô-la/g. Gần đây Mitsui (Nhật Bản) có thể sản xuất 120 tấn MWNT/năm cho nhu cầu công nghệ với giá 75 đô-la/kg.

Người ta đã định được độ bền (strength) và độ cứng (stiffness, Young's modulus) của ống nano. Kết quả thí nghiệm cho thấy ống nano bền hơn thép 100 lần nhưng nhẹ hơn thép 6 lần. Như vậy, có thể nói là ống nano là một vật liệu có cơ tính cao nhất so với các vật liệu người ta biết từ trước đến nay. Tuy nhiên, một vấn đề lớn hiện nay cho các nhà vật liệu học (materials scientist) là làm sao xe những ống nano thành tơ sợi (nanotube fibres) cho những ứng dụng thực tế mà vẫn giữ được cơ tính tuyệt vời cố hữu của các ống nano tạo thành.

Nhóm nghiên cứu của giáo sư

Ray Baughman (University of Texas, Mỹ)^[6] đã phát minh ra một quá trình xe sợi ống nano cho ra sợi với cơ tính cao hơn thép và tương đương với tơ nhện (spider silk). Tơ



Hình 5.6: Ống nano carbon nhiều vỏ (MWNT) chụp bằng kính hiển vi điện tử. Khoảng cách giữa hai vỏ là 0,34 nm và đường kính của vỏ ngoài cùng là 6,5 nm [5].

⁶ A. B. Dalton, S. Collins, E. Muñoz, J. M. Razal, V. H. Ebron, J. P. Ferraris, J. N. Coleman, B. G. Kim and R. H. Baughman, "Super-tough carbon-nanotube fibres", Nature, 423 (2003) 703.

nhện được biết là một loại tơ thiên nhiên có cơ tính cao nhất trong các loại tơ sợi. Kinh nghiệm cho thấy một con ruồi bay với tốc độ cao nhất vẫn không bao giờ làm thủng lưới nhện. Nếu sự kiện này được phóng đại vài chục ngàn lần để sợi tơ nhện có đường kính bằng cây bút chì, sợi tơ có thể kéo ngừng lại chiếc phi cơ 747 đang bay trên không!

Mặc dù độ cứng của sợi ống nano do nhóm Baughman làm ra chỉ bằng 1/10 độ cứng của từng ống nano riêng lẻ, sợi Baughman vẫn chưa phải "siêu cứng" nhưng đã hơn hẳn Kevlar⁷⁾ về sức bền và nếu điều kiện sản xuất hàng loạt cho phép nó có thể thay thế Kevlar dùng trong những chiếc áo giáp cá nhân chống đạn trong tương lai. Quá trình xe sợi của nhóm Baughman chứng tỏ khả năng chế tạo sợi ống nano với những cơ tính vĩ mô càng lúc càng gần đến cơ tính ở thang phân tử. Quá trình này đã kích thích nhiều nhóm nghiên cứu khác trong cuộc chạy đua chế tạo ra một loại sợi siêu cứng, siêu bền và siêu hữu ích chưa từng có trong lịch sử khoa học kỹ thuật.

Với dạng hình ống dài và cơ tính lý tưởng, ống nano carbon được cho vào các loại polymer để tạo những sản

⁷⁾ Kevlar là thương hiệu của sợi poly-paraphenylene terephthalamide được dùng trong áo giáp và mũ cối quân đội.

phẩm nano-composite¹⁸. Thật ra, composite dùng những chất độn (filler) có hình dài để tăng cơ tính không phải là những gì mới lạ. Từ 6.000 năm trước, nhân loại đã trộn bùn với rom để làm gạch. Ở những vùng sâu vùng xa, người dân vẫn còn dùng đất sét và rom để làm tường. Hiện tại, chất độn kim loại hay ceramic là những vật liệu phổ biến được dùng trong polymer để tăng cường cơ tính thay thế kim loại. Người ta tin rằng ống nano carbon sẽ là một chất độn “tối thượng” cho polymer nano-composite. Vài phần trăm ống nano carbon có thể gia tăng độ bền, độ cứng và độ dai (toughness) của polymer lên nhiều lần. Các công ty chế tạo ô tô đang triển khai polymer nanocomposite cho các bộ phận xe hơi. Đặc điểm của các composite này là nhẹ và bền chắc. Công ty ô tô GM (Mỹ) dự trù sẽ dùng 500 tấn ống nano/năm trong vòng vài năm tới. Một cơ tính khác của ống nano đang được khảo sát hiện nay là đặc tính làm giảm sóc (shock damping), chống rung¹⁹. Tính chất rất quan trọng này sẽ mang đến những ứng dụng dân sự lẫn quốc phòng.

Điện tính và đặc tính điện tử của ống nano đã thu hút nhiều sự chú ý của các nhà vật lý và thiết kế điện tử vi

¹⁸. Composite là vật liệu hỗn hợp của (ít nhất) hai vật liệu riêng biệt với những đặc tính bổ sung cho nhau. Gạch làm từ bùn và rom là một thí dụ. Bê tông cũng là một dạng composite.

¹⁹. J. Suhr, N. Koratkar, P. Keblinski and P. Ajayan, Nature Materials, 4 (2005) 134.

mạch. Nhờ ở dạng hình ống và các electron tự do pi trong ống, các electron tự do có thể tải điện nhưng ít chịu sự phân tán electron (gọi là ballistic conduction). Sự phân tán electron là nguyên nhân điện trở gây ra sự phát nhiệt thường thấy ở chất bán dẫn hay kim loại. Nói một cách khác, ống nano có khả năng tải điện hữu hiệu vì ít phát nhiệt.

Công nghiệp điện tử được xây dựng và phát triển dựa vào kỹ thuật thu nhỏ. Transistor là một linh kiện chính trong các mạch điện. Phương pháp “từ trên xuống” đã được áp dụng để thu nhỏ transistor có độ to khoảng vài cm ở thời điểm phát minh (năm 1947) cho đến ngày hôm nay thì đến bậc nanomét; vài triệu lần nhỏ hơn. “Định luật” Moore (Moore’s law) ^[10] cho biết rằng cứ mỗi hai năm, mật độ của các transistor được nhồi nhét vào một silicon chip sẽ tăng gấp đôi nhờ vào kỹ thuật chế biến thu nhỏ và đặc tính của silicon. Định luật đã đúng hơn 40 năm qua kể từ năm 1965 và cũng sẽ tiếp tục đúng trong vòng 10 năm tới. Lúc đó, đặc tính thu nhỏ của silicon sẽ đến một mức bão hòa và dừng lại ở một kích thước nhất định nào đó.

¹⁰. “Định luật” này không đi từ lý thuyết mà chỉ dựa vào sự cảm nhận của Gordon Moore, một trong những nhà sáng lập của công ty Intel.

Độ nhỏ nhất có thể đạt được của một silicon chip là 180 nm và cũng là giới hạn trong kỹ thuật làm chip hiện nay. "Độ lớn" 180 nm rất nhỏ (nhỏ hơn sợi tóc 500 lần) và hiệu năng tải điện của silicon càng giảm vì càng nhỏ sự phát nhiệt càng cao. Tuy nhiên, 180 nm vẫn còn rất to so với đường kính vài nm của ống nano. Ở kích thước này, ống nano vẫn còn có thể tải điện mà không sợ phát nhiệt. Như vậy, đặc tính tải điện không phát nhiệt và khả năng tạo thành các linh kiện điện tử như diode và transistor của ống nano ở kích thước phân tử chỉ ra một hướng nghiên cứu mới là nano-điện tử (nano-electronics) nối tiếp vai trò thu nhỏ của vi điện tử (micro-electronics) mà silicon đang ở địa vị độc tôn.

Một đặc tính khác của ống nano là sự phát xạ trường (field emission). Khi điện thế được áp đặt vào một đầu của ống nano, đầu kia sẽ liên tục phát ra electron^[11]. Đã có nhiều vật liệu hoặc trang cụ (thí dụ: ống tia âm cực, cathode ray tube) có đặc tính phát xạ trường nhưng ống nano có thể vận hành ở điện thế thấp, phát xạ trong một thời gian dài mà không bị tổn hại. Áp dụng trực tiếp của phát xạ trường là màn hình tivi và vi tính. Đây là một công nghệ mang lại hàng tỷ Mỹ kim mỗi năm. Màn hình mỏng tinh thể lỏng đang thay thế dần các màn hình ống

11. P. G. Collins and P. Avouris, "Nanotubes for electronics", Scientific American, December 2000, 62.

tia âm cực nặng nề, kênh càng. Ống nano có thể làm màn hình mỏng hơn nữa, rõ nét và dùng điện 10 lần ít hơn. Đặc tính phát xạ trường của ống nano cho thấy khả năng thay thế màn hình tinh thể lỏng trong một tương lai gần mặc dù màn hình này hiện rất thông dụng và đang được ưa chuộng. Tập đoàn Samsung (Hàn Quốc) tích cực thương mại hóa màn hình ống nano.

Ngoài ra, ống nano còn cho nhiều áp dụng khác chẳng hạn dùng trong bộ cảm ứng để phát hiện ánh sáng, nhiệt, sóng điện từ hoặc những hóa chất độc hại với độ nhạy rất cao. Ống nano tự thân hoặc kết hợp với polymer dẫn điện để biến chế thành cơ bắp nhân tạo (Chương 7). Cơ bắp nhân tạo là một mô phỏng của cơ bắp sinh vật biến đổi điện năng thành cơ năng; khi có một dòng điện chạy qua, cơ bắp sẽ cho một tác lực. Cơ bắp nhân tạo là một trong những bộ phận quan trọng tạo thành con robot hoặc hệ thống cơ điện vi mô (micro electromechanical system, MEMS). Nhóm nghiên cứu của giáo sư Gordon Wallace và Geoff Spinks (University of Wollongong, Úc) có những thành quả nổi bật trong lĩnh vực này. Ống nano cũng có mặt trong sinh học. Một báo cáo khoa học mới đây cho biết tế bào xương rất tương thích (compatible) với ống nano^[12]. Ống nano được sử dụng như giàn giáo (scaf-

12.L. P. Zanello, B. Zhao, H. Hu, R. C. Haddon, Nano Lett., 6 (2006) 562.

fold) để các tế bào xương tăng trưởng và phát triển. Đây là kết quả rất quan trọng có thể triển khai để cách mạng hóa việc ghép và trị liệu xương.

5.4 Lời kết

Trong lĩnh vực áp dụng, ống nano hơn hẳn người anh cả fullerene. Khi những nhà khoa học cùng với các doanh nhân loay hoay tìm kiếm một hướng đi thực dụng cho C60 thì bỗng nhiên thấy kho tàng ống nano hiện ra trước mắt. Quả bóng đá C60 đã đem lại giải Nobel cho Kroto, Curl và Smalley, nhưng ống nano đang đem đến cho con người nhiều ứng dụng thực tiễn và một cuộc cách mạng khoa học chưa từng có bao trùm tất cả mọi hoạt động kinh tế xã hội mà ở thời điểm phát hiện Sumio Iijima có thể chưa hình dung hết. Sự khám phá fullerene và ống nano carbon đang làm thay đổi toàn diện bộ mặt phát triển khoa học và công nghệ của thế kỷ 21. Cơ tính, điện tính, sự truyền nhiệt và tính dẫn điện đặc biệt của ống nano đưa đến hàng trăm đặc tính hữu dụng khác nhau đã kích thích vô số nghiên cứu cơ bản đa ngành cũng như những nghiên cứu ứng dụng từ Vật liệu học đến Điện tử học, từ Vật lý đến Y học.

Những kết quả nghiên cứu đã cho thấy ống nano đang trở thành một bộ phận cấu thành chủ yếu cho các

dụng cụ điện tử tương lai. Sự hiện diện của ống nano trong các áp dụng điện tử học đã làm các nhà thiết kế vi mạch phải suy nghĩ lại cơ cấu vận hành của các công cụ máy móc dựa trên silicon chip. Liệu ống nano sẽ bổ sung cho silicon trong tương lai hay thời đại silicon sẽ chấm dứt để nhường bước cho thời đại ống nano? Dù ở kịch bản nào, những linh kiện điện tử sẽ phải thu nhỏ đến thang phân tử. Phương pháp "từ trên xuống" sẽ được thay thế bằng phương pháp "từ dưới lên". Chúng ta sẽ thấy transistor phân tử (molecular transistor), diode phân tử, tụ điện phân tử v.v... Thời đại phân tử điện tử học (molecular electronics) sẽ xuất hiện với những định luật mới dựa trên cơ học lượng tử và một loạt dụng cụ điện tử thu nhỏ ở kích thước nano. Chúng ta đang vươn tới nền công nghệ nano. Liệu lúc đó ống nano có là một vật liệu chủ yếu như silicon trong ngành vi điện tử hiện tại? Chúng ta hãy chờ xem.

6

Vật liệu phức hợp: Composite và nanocomposite

Chuyện nở như pháo rang
Chuyện dai như chèo rách
Đổ cả bốn chân giường
Xiêu cả một bức vách

("Tết tặng cô dâu", Tú Xương)

6.1 Dẫn nhập

Độ dai, gãy đổ, xiêu vẹo xem như một cuộc vui "phong nguyệt tình hoài" thâu đêm suốt sáng trong những vần thơ của Tú Xương, nhưng lại là mối quan tâm hàng đầu của những nhà thiết kế composite cho cấu trúc của các công trình xây dựng. Từ khi các loại sợi gia cố cao cấp (advanced reinforcing fibres) xuất hiện, hơn nửa thế kỷ nay những áp dụng của composite cao cấp đã lặng lẽ đi vào và tham gia trong cuộc sống đời thường không ai hay biết. Những áp dụng này càng ngày càng lan rộng để

thay thế những vật liệu cổ điển như kim loại, sành gốm (ceramic) trong đó độ dai, độ cứng, độ bền được thiết kế bằng hay tốt hơn nhưng được chế tạo ít tốn kém và nhẹ hơn. Composite được dịch ra tiếng Hán Việt là “vật liệu phức hợp” (từ tiếng Nhật: fukugo zairyo) là hỗn hợp của ít nhất hai vật liệu khác nhau bổ sung cho nhau. Trong hai vật liệu này, vật liệu thứ nhất là chất nền (matrix) và vật liệu thứ hai là chất gia cố. Một trong vật liệu composite xây cất thường thấy là bê tông cốt sắt trong đó xi măng là chất nền và sắt là vật liệu gia cố. Thiên nhiên cũng đã tạo ra những cấu trúc composite mà gỗ là một thí dụ tiêu biểu. Gỗ là hỗn hợp của sợi cellulose trong chất nhựa lignin. Xương động vật là một biểu hiện khác của composite thiên nhiên giống như bê tông cốt sắt. Các khoáng chất (phần lớn là calcium và phosphorus) trong xương giống như xi măng và những giàn giáo protein (collagen) như cốt sắt. Khoáng chất làm xương cứng và giàn giáo protein cho độ bền dai và gia tăng tính đàn hồi.

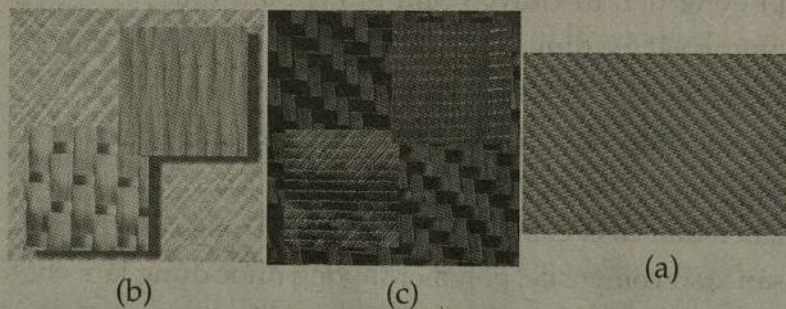
6.2 Các loại sợi gia cố

Ứng dụng composite thật ra đã có từ thời kỳ mông muội của nhân loại khi con người biết di dời chỗ ở từ hang đá để xây dựng nhà riêng, biết săn bắn và biết đánh nhau! Người cổ Ai Cập biết dùng rom rạ trộn với bùn làm gạch xây nhà. Các loại cung nỏ được làm bằng gỗ với

những lớp sừng, gân động vật dán lên để làm tăng sức bật. Ngày hôm nay, composite hiện diện từ những kiến trúc xây dựng to lớn như cầu đường, nhà cao tầng, những phương tiện di chuyển như phi cơ, tàu thủy, ô tô đến những vật gia dụng bình thường. Những chiếc du thuyền hiện đại là lơ trên sóng nước có thân tàu làm từ composite sợi thủy tinh và cột buồm là composite sợi carbon. Cánh của các máy bay hạng nhẹ và thậm chí của các chiến đấu cơ là composite sợi carbon. Trong công nghiệp sản xuất composite, polymer thường được dùng làm chất nền, sợi carbon, sợi thủy tinh (glass fibre) và sợi Kevlar (Hình 6.1) là ba loại sợi gia cố thông dụng dùng để tăng cơ tính của composite mà tiêu biểu là độ cứng (stiffness), độ bền (strength), và độ dai (toughness) ¹⁾. Composite thay thế kim loại trong các áp dụng cổ điển mà cũng là vật liệu chính yếu trong nhiều áp dụng mới khiến cho số lượng tiêu thụ toàn cầu của các sợi gia cố (phần lớn là sợi carbon, thủy tinh và Kevlar) gia tăng nhanh chóng từ

¹⁾ Độ cứng (stiffness, Young's modulus), độ bền (strength) và độ dai (toughness) là những lượng cơ tính có ý nghĩa vật lý hoàn toàn khác nhau. Hãy tưởng tượng khi ta kéo một cái lò xo với một lực F , lò xo sẽ giãn ra một đoạn x ($F = kx$; k là hằng số biểu thị độ cứng). Lò xo càng ít giãn chừng nào thì độ cứng lò xo càng cao chừng đó (k to). Độ bền được đánh giá bằng lực kéo cho đến khi vật thể bị đứt (hoặc nứt) hoặc hủy hoại. Độ dai được đánh giá bằng năng lượng được áp đặt cho đến khi vật thể bị nứt hoặc hủy hoại. Nó là tổng hợp của độ bền và độ giãn (elongation). Nói một cách khác, độ dai tỉ lệ thuận với độ bền và độ giãn của một vật thể. Đối nghĩa với độ dai là độ giòn (brittleness). Thí dụ, thủy tinh và thép có độ cứng rất cao, nhưng thủy tinh dễ bể (ít bền, low strength) và giòn (low toughness) hơn thép.

140.000 tấn/năm đến 180.000 tấn/năm trong vài năm tới với tổng giá trị là 1,2 tỷ đô-la.



Hình 6.1: Các loại sợi được đan vào nhau thành những phiến vải (a) sợi thủy tinh, (b) sợi carbon và (c) Kevlar.

Ba loại sợi có những cơ tính khác nhau nhưng loại nào cũng có tỷ trọng nhẹ hơn thép (Bảng 1). Sự chọn lựa các loại sợi và chất nền để thiết kế composite tùy vào nhu cầu và ứng dụng khác nhau. Tuy nhiên trong bất cứ trường hợp nào, độ cứng vẫn là yếu tố đầu tiên được đặt ra trong việc quyết định cơ tính của sản phẩm. Độ cứng là một lượng vĩ mô (macroscopic quantity) nhưng có liên hệ trực tiếp đến lực nối kết giữa các nguyên tử (interatomic forces). Lực nối kết càng bền chắc thì độ cứng càng cao. Độ cứng chi phối một cách trực tiếp hay gián tiếp những cơ tính khác, chẳng hạn như độ bền, độ dai. Nối nguyên tử (atomic bond) trong kim loại và ceramic phần lớn là

những nối cộng hóa trị (covalent bond). Đây là loại nối có lực nối kết cao nhất so với các nối khác như nối ion, nối hydrogen và nối van der Waals. Mặt khác, các nối nguyên tử trong polymer là hỗn hợp của nối cộng hóa trị và những nối yếu hơn như nối ion, hydrogen và van der Waals. Kim loại và ceramic cứng hơn các vật liệu polymer vài trăm lần là một kết quả hiển nhiên và cũng là những kinh nghiệm bình thường trong sinh hoạt hàng ngày.

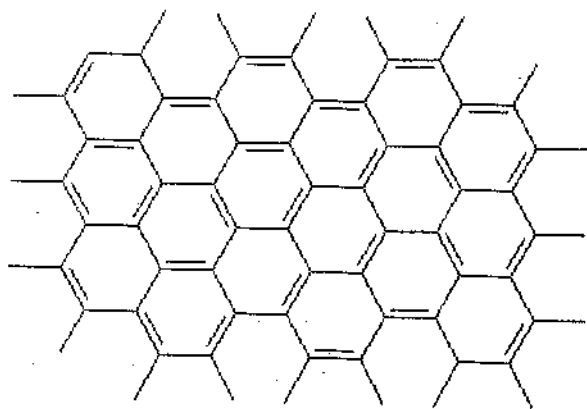
Bảng 1: Cơ tính và tỷ trọng của các loại sợi.

	Độ cứng (GPa)*	Độ bền (GPa)*	Độ giãn (%)**	Tỷ trọng (kg/m ³)
Thép	203	0,6 - 2	-	7.800
Nhôm	75	0,075	1,0	2.600
Sợi carbon (HS)	240	6,4	1,8	1.800
Sợi carbon (HM)	310	3,5	-	1.900
Sợi carbon (UHS)	825	-	-	1.900
Sợi aramid (Kevlar)	180	3,5	3,0	1.500
Sợi thủy tinh (loại E)	76	3,5	4,7	2.900
Sợi thủy tinh (loại S)	96	4,8	-	2.900
Ống nano carbon	650-1.000	150 - 180	-	1.800

* GPa: giga (G) pascal (Pa), 1 GPa = 10⁹ Pa. Pa là lực trên một đơn vị diện tích.

** Độ giãn cho đến khi bị đứt.

Sợi carbon có cấu trúc giống than chì hình tổ ong (Hình 6.2). Những cấu trúc tổ ong này được tạo thành bằng những nối cộng hóa trị (những đường thẳng liên tục trong hình) rất bền chắc cũng như trong kim loại và ceramic. Nó cho thấy một độ cứng siêu việt tiềm ẩn trong những sợi carbon. Thật vậy, nhờ vào phương pháp chế tạo sợi carbon được liên tục cải thiện qua nhiều thập niên, độ cứng của loại sợi này được nâng cao từ 200 đến 600 và bây giờ đã đạt đến 825 GPa, cao hơn thép 4 lần nhưng (tỷ trọng) vẫn nhẹ hơn thép 4 lần (Bảng 1). Như vậy, với một trọng lượng tương đương sợi carbon “siêu cứng” này cứng hơn thép 16 lần.



Hình 6.2: Cấu trúc than chì

Sợi thủy tinh là một loại sợi thông dụng nhất cho nhiều ứng dụng trong tất cả các loại sợi vì có sự cân bằng cần thiết giữa cơ tính, hóa tính (không bị nước hoặc dung môi tấn công), điện tính (cách điện tốt), giá cả phải chăng. Composite sợi thủy tinh được dùng cho những vật dụng trong nhà như chậu rửa mặt, bồn tắm cho đến những ứng dụng cao cấp như thân du thuyền, hộp bảo toàn động cơ hỏa tiễn, vai chịu áp suất. Sợi carbon là loại sợi được dùng nhiều thứ hai sau sợi thủy tinh. Giá của sợi carbon rất cao so với sợi thủy tinh. Những năm gần đây nhờ vào nhu cầu và cải tiến trong phương pháp sản xuất, giá được giảm từ 200 đô-la/kg xuống còn 10-15 đô-la/kg. Sợi aramid (poly phenyleneterephthamide) có thương hiệu là Kevlar được phát minh bởi công ty DuPont và đã thương mại hóa vào đầu thập niên 1960. Trong nhiều ứng dụng, sợi thủy tinh được đan xen với sợi Kevlar hay sợi carbon để làm giảm giá thành và gia tăng tính đàn hồi của composite, vì sợi thủy tinh có độ kéo giãn (elongation) (Bảng 1) lớn hơn sợi carbon và Kevlar; mặt khác, độ cứng vẫn được duy trì từ hai loại sợi này.

Chất nền không những là chất làm các sợi gia cố dính lại với nhau mà còn có tác dụng phân bố lực đồng đều trên toàn bộ composite. Chất nền và sợi phải có sự tương hợp hóa học để tối ưu hóa độ dính giữa chất nền và sợi. Bề mặt sợi thủy tinh thường được xử lý để có những nối

hóa học với chất nền. Trong những ứng dụng bình thường, polyester, vinyl ester, nhựa epoxy là những chất nền thông dụng. Trong những cấu trúc xây dựng đòi hỏi sức chịu lớn, những polymer công nghiệp ^[2] là những chất nền cần thiết. Để có cơ tính cao các nhà sản xuất dùng nhiều phương pháp để gia tăng hàm lượng sợi. Hàm lượng sợi ở khoảng 50-60 % thể tích của composite là mục tối ưu. Hàm lượng sợi nhiều nhất có thể đạt đến là 70-75 % thể tích nhưng ở con số này chất nền không đủ để tạo ra độ dính (adhesion) cần thiết.

Mặc dù sợi thủy tinh là loại sợi thông dụng nhất nhờ vào giá rẻ, nhiều composite phải dùng sợi carbon vì nhẹ hơn, có độ cứng và độ bền cao hơn (Bảng 1). Sợi Kevlar không có độ cứng cao như sợi carbon (Bảng 1) nhưng có độ chống thủng/va đập (penetration/impact resistance) tuyệt vời. Đây là loại sợi chống đạn (ballistic fibre) dùng cho áo giáp và mũ cối quân đội. Dù có đặc tính siêu việt, Kevlar không phải toàn năng. Vì là loại sợi thuộc họ amid, Kevlar dễ bị phân hủy khi gặp nước hoặc thoái hóa khi tiếp xúc với tia tử ngoại ^[3]. Trong trường hợp này, chất

². Chẳng hạn như: polycarbonate, polyimide, polyethylene terephthalate (PET), polyetheretherketone (PEEK).

³. G. A. Holmes, K. Rice and C. R. Snyder, J. Mater. Sci., 41 (2006) 4105.

nên phải là loại “ghét nước” và phải có chất phụ gia hấp thụ tia tử ngoại. Đã có những báo cáo về những trường hợp viên đạn vẫn “thần nhiên” xuyên qua những chiếc áo giáp Kevlar cũ bị thoái hóa không được kiểm soát và bảo quản thường xuyên.

6.3 Các áp dụng của composite

Vỏ bánh ô tô là một composite hiện đại tiêu biểu. Sự phát triển của bánh xe ô tô đi song song với sự phát triển của ô tô khi tốc độ, gia tốc, sức kéo, độ an toàn, tiết giảm nhiên liệu là những yêu cầu chính của chiếc ô tô hiện đại. Độ bền, độ dai và độ cứng của lớp cao su bên ngoài của vỏ xe được tăng cường bởi những lớp sợi được ép vào lớp cao su thành một thể thống nhất. Sự tiến hóa của vỏ xe được thấy qua những loại sợi khác nhau dùng trong một thời gian dài gần 50 năm. Các nhà sản xuất dùng sợi cotton, nylon, thủy tinh. Hiện nay, sợi Kevlar và thép được dùng nhiều nhất cho vỏ xe.

Gần đây, kỹ sư trong ngành xây dựng đã đề xướng ra một phương pháp dùng composite sợi carbon để sửa chữa những đoạn xa lộ, cầu bị hư hao. Đại học Monash (Australia) đã dùng sợi carbon gia cố phần bìa của Westgate Bridge, một cây cầu dài nhất trong thành phố Melbourne bắc ngang sông Yarra. So với phương pháp cổ

điển dùng thép, composite sợi carbon tăng độ bền từ 30 đến 80 %. Composite không những duy trì được độ cứng, độ bền của kim loại, nó còn loại trừ được khả năng bị ăn mòn (corrosion) và những sự cố gây ra bởi những đường nứt xuất phát từ những chỗ dùng ốc siết và bù-lon thường thấy ở kim loại. Đặc điểm của những phần tử cấu trúc (structural component) composite là có thể đúc sẵn trong khuôn. Vì vậy, người ta không cần phải lắp ghép từng mảng bộ phận dùng ốc và bù-lon. Những con ốc này là gót chân của người hùng A-sin (Achilles' heel) vì ốc, ăn mòn và rung động là đầu mối của thảm họa. Khi siết một con ốc, người ta vô tình gây sức căng ở vùng quanh con ốc. Nước thấm vào, sự ăn mòn xảy ra, gây ra những vết nứt nhỏ ở những vùng bị căng này. Khi vật thể bị rung động liên tục như ở cánh, đuôi máy bay, ở những cây cầu trong thành phố, hiện tượng "mỏi" (fatigue)⁴ trong vật thể sẽ đưa đến sự gãy đổ bất thần do sự liên kết của những vết nứt ngầm nếu không bảo quản và kiểm soát thường xuyên. Tú Xương tuy có hơi cường điệu trong việc cùng một lúc "Đổ cả bốn chân giường" vì

⁴ Một thí dụ của hiện tượng mỏi trong vật thể là khi ta bẻ một mảnh kim loại mỏng ra làm đôi. Ta cần phải bẻ qua lại nhiều lần (tương tự như sự rung động), trong những lần bẻ này những vết nứt ngầm xuất hiện nhưng vật thể vẫn còn chịu được sức bẻ cho đến một vài lần cuối thì bất thần mảnh kim loại bị gãy làm đôi.

những chấn động... Nhưng trên phương diện tính toán lý thuyết, vật liệu giống nhau sẽ có cùng tuổi thọ giống nhau nên cơ may đồng loạt “đi đong” trong hiện tượng mệt xem ra cũng không phải là chuyện hiếm.

Trong những cuộc tranh tài thể thao quốc tế, nhất là những kỳ Thế vận hội, người xem không khỏi thắc mắc trước những bút phá kỷ lục lập ra kỷ lục mới của những vận động viên. Nhưng không có lý do gì con người hiện đại hơn thế hệ cha ông trên phương diện thể lực. Thế hệ nào cũng xuất hiện những Hercules hiện đại vai u thịt bắp giỏi leo trèo rượt đuổi. Những kỷ lục được lập ra phần lớn nhờ vào sự rèn luyện kỹ năng và tiến hóa của dụng cụ cho những bộ môn thể thao dụng cụ. Lấy môn nhảy sào làm thí dụ. Kỷ lục nhảy sào cho Thế vận hội lần thứ nhất (năm 1896) là 3,3 m. Vận động viên đã dùng sào bằng gỗ, bằng tre, bằng nhôm. Kỷ lục tăng dần đến 5 m ở thập niên 1970. Sau đó, cây sào composite ra đời, chiều cao tiếp tục tăng và kỷ lục này bây giờ đã vượt hơn 6 m.

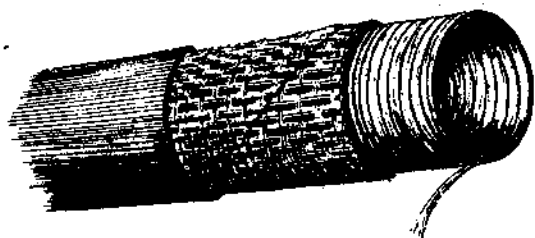
Nhảy sào có thể xem như một thí dụ của động năng (chạy) biến thành thế năng (chiều cao). Nếu vận động viên mang cây sào rất cứng, anh ta chạy để tạo động năng, cắm cây sào vào nền đất và tung người lên vượt rào cản. Với cây sào cứng và nền đất cứng động năng có thể hoàn toàn chuyển thành thế năng một cách hiệu quả. Tuy

nhiên, để vượt qua chiều cao 6 m, anh ta phải chạy với một vận tốc khoảng 11 m/s (~ 40 km/h) ^[5]. Việc này bất khả thi cho một người vừa chạy vừa phải mang một cây sào dài.

Composite với các loại sợi gia cố cao cấp đã tạo một bước nhảy vọt về chất lượng của các dụng cụ thể thao và kỷ lục của các vận động viên. Năm 1991, vận động viên người Ukraine lần đầu tiên tạo ra kỷ lục mới vượt độ cao 6,1 m với cây sào composite sợi thủy tinh. Vì con người không thể vừa mang cây sào dài vừa chạy với một tốc độ gần 40 km/h để có thể vượt qua độ cao 6 m, nguyên nhân nào đã giúp vận động viên người Ukraine phá được kỷ lục? Trong quá trình nhảy sào, vận động viên phải mang sào chạy thật nhanh và khi cắm sào vào nền đất anh ta phải vận dụng sức mạnh vai u thịt bắp của mình bẻ cong cây sào để sau khi buông ra sức bật của cây sào sẽ giúp anh tung người lên cao. Năng lượng để nâng cao vận động viên do đó một phần đi từ đôi chân chạy nhanh và một phần từ sức mạnh đôi tay của anh.

⁵. Dùng những nguyên lý vật lý cơ bản, động năng = $1/2 mv^2$ và thế năng = mgh . Ở đây m = khối lượng của vận động viên, v = vận tốc chạy, g = gia tốc trọng trường là $9,8 \text{ m/s}^2$ và h = chiều cao. Qua cây sào, động năng được hoàn toàn chuyển thành thế năng để đưa anh vận động viên lên chiều cao h . Ta có, $1/2 mv^2 = mgh$ hay là $v = (2gh)^{1/2}$. Nếu $h = 6 \text{ m}$ thì $v = 10,8 \text{ m/s}$. Vận tốc này không tùy thuộc vào sức nặng của vận động viên. Có nghĩa là vận động viên nặng nhẹ khác nhau nhưng muốn tung người lên 6 m thì phải chạy với vận tốc 10,8 m/s (~ 40 km/h).

Từ những phân tích này, nhà thiết kế phải nghĩ ra một vật liệu thích hợp có độ cứng, độ bền, độ dai thích hợp, nhẹ cân và tính đàn hồi tối ưu. Tre và gỗ nhẹ cân nhưng dễ gãy. Nhôm nhẹ cân, độ cứng cao nhưng thiếu tính đàn hồi. Những vật liệu đồng chất (monolithic) không thỏa mãn tất cả yêu cầu của vận động viên. Composite sợi thủy tinh được thiết kế để đáp ứng phần lớn những đòi hỏi này. Sợi thủy tinh có độ giãn (elongation) cao hơn tất cả các loại sợi (Bảng 1). Nhờ vậy cây sào có thể bị bẻ cong và có sức bật tối đa mà không sợ sào gãy và đứt sợi. Hiện nay, người ta có thể thiết kế nhiều loại sào khác nhau với sức nặng, độ cứng và độ bền khác nhau thích ứng cho mỗi vận động viên. Cây sào hiện đại có ba lớp với lớp ngoài cùng là composite sợi carbon/epoxy làm tăng độ cứng và giảm trọng lượng, lớp giữa là composite mạng sợi thủy tinh/epoxy và lớp trong cùng là các vòng sợi thủy tinh (Hình 6.3) ^[6].



Hình 6.3: Cấu trúc của cây sào nhảy hiện đại [6]

⁶ F. H. Froes, "Materials for Sports", MRS Bulletin, March 1998, 32.

Cây vợt tennis cũng có một quá trình phát triển tương tự như cây sào nhảy, nhưng có những đòi hỏi quan trọng khác như tính chống rung (vibration damping). Từ vật liệu gỗ nặng nề đến thép hoặc nhôm ở thập niên 1960, 1970 và bây giờ là composite, cây vợt tennis thoát xác như “vượt biển thành người”! Cây vợt composite hiện đại (state-of-the-art) có 84 % sợi carbon và 12 % sợi Kevlar⁶¹. Sợi carbon được dùng cho độ cứng, độ bền, độ chống rung và để giảm thiểu độ bẻ cong ở đầu vợt và độ vẹo của vợt khi banh chạm ngoài “điểm ngọt” (sweet spot). Kevlar tăng cường đặc tính chống rung. Nếu không có các kỹ sư và nhà khoa học tài ba làm ra vật liệu mới, những vận động viên dù có khoẻ hơn, nhanh nhẹn hơn, thông minh hơn cũng không thể nào tạo ra những cú “serve” thật choáng, biến sức mạnh cơ bắp một cách hiệu quả với vận tốc quả banh có thể vượt tới 230 km/h hoặc nhanh hơn tương đương với vận tốc xe hỏa đầu đạn Shinkansen của Nhật Bản. Vấn đề chống rung không những quan trọng trong kỹ năng chơi banh mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến sức khoẻ của vận động viên. Đặc tính chống rung phần lớn đã giải quyết với vật liệu composite nhưng đến nay vẫn chưa đạt được mức yêu cầu. Với đà nghiên cứu các loại vật liệu cao cấp hiện nay, không có gì là ngạc nhiên nếu trong vài năm tới những chiếc vợt tennis êm ái “công nghệ cao” ra đời với cơ cấu chống rung bằng vật liệu thông minh (smart materials). Lúc đó sẽ có kỹ

lục mới và những trận thư hùng ở những kỳ Đại hội "Open" chắc chắn sẽ thêm nhiều pha hào hứng.

Tính chống rung không phải chỉ hạn hẹp ở cây vợt tennis nhỏ bé mà còn có ảnh hưởng đến những công trình to lớn. Sự rung động vật lý tạo ra tiếng ồn, có thể làm suy sụp một cấu trúc, gây ra sự tiêu hao năng lượng không cần thiết. Sự rung động còn quyết định sự sống còn của một chiếc tàu ngầm. Thao tác của tàu ngầm hoàn toàn dựa vào sự im lặng tuyệt đối, đi lại phải "xuất quỷ nhập thần", hành động phải "xuất kỳ bất ý". Tiếc thay, cái chân vịt tàu ngầm lại là đầu mối của sự ồn ào. Tiếng động của một chân vịt thiết kế tồi có thể vang dội trong lòng nước ở một phạm vi có bán kính 200 km. Nó cũng như bài thú tội "ông ơi, con ở bụi này" mà thiết bị sonar của đối phương sẽ phát hiện dễ dàng. Và theo qui luật của chiến tranh "tiên hạ thủ vi cường", phe nào bị phát hiện trước thì phe đó sẽ nhiều cơ may "đi" trước!

Thật ra, chân vịt tàu ngầm đã được nghiên cứu rất kỹ trên phương diện thiết kế hình dạng, vật liệu, thủy động lực học và âm học. Nó được chế tạo bằng hợp kim nickel, nhôm và đồng, có đường kính 6 m, nặng hơn 40 tấn. Thời gian cần để hoàn thành một chân vịt là 12 tháng. Hợp kim này có khả năng chống rung rất hiệu quả nhưng tiếng ồn gây ra bởi sự tác động giữa nước và khối kim loại khổng

lở nặng 40 tấn vẫn không thể giảm thiểu. Chân vịt composite dùng sợi carbon đang được các nhà khoa học và kỹ sư thiết kế đặc biệt lưu tâm. Đây là một thách thức lớn nhưng cũng có thể là lời giải cho trong việc chống rung giảm tiếng ồn, giảm thời gian sản xuất, giảm tiêu hao nhiên liệu, tăng vận tốc, tăng sự linh hoạt trong thao tác chiến đấu (manoeuvrability).

Trong các ứng dụng của composite ở lĩnh vực hàng không, tập đoàn doanh nghiệp Boeing là người tiên phong đầu tư nhiều nhân lực và tài lực để nghiên cứu và sản xuất máy bay các loại với cấu trúc composite thay nhôm. Máy bay dân dụng sẽ có 20 % composite, các đời sau sẽ tăng đến 50% và cuối cùng là 100%. Boeing có thể gia tốc dịch vụ sản xuất máy bay composite nhưng công ty cần thời gian để trấn an dân chúng về sự an toàn của những chiếc máy bay “nhựa” (plastic aircraft), mới thoát nghe cứ ngỡ như là đồ chơi trẻ con, nhưng thật ra ngoài ưu điểm nhẹ cân bay nhanh, những chiếc máy bay này không rỉ sét, không bị hiện tượng “môi” vì cấu trúc không dùng đinh, ốc, bù-lon như đã đề cập bên trên.

So với máy bay dân dụng, việc sử dụng composite trong các chiến đấu cơ, oanh tạc cơ đã được thực thi rất sớm. Máy bay tàng hình B-2 có cấu trúc phần lớn là composite sợi carbon. Ở đây, sợi carbon có hai tác dụng: cơ

tính và tàng hình. Ngoài những cơ tính siêu việt của sợi carbon, khác với sợi thủy tinh và Kevlar sợi này có đặc tính dẫn điện. Độ dẫn điện không cao như kim loại và nhờ vậy có đặc tính tàng hình. Tàng hình là đặc tính hấp thụ những luồng radar truy sát của đối phương làm giảm thiểu cường độ hoặc triệt tiêu độ phản hồi của radar (Chương 4). Nếu độ dẫn điện cao như kim loại, radar sẽ bị phản hồi hoàn toàn. Nếu độ dẫn điện quá thấp hoặc cách điện như vật liệu polymer, sự hấp thụ radar không xảy ra. Độ dẫn điện của sợi carbon nằm trong vùng thích hợp có khả năng hấp thụ radar vi ba (microwave radar) và có thể được điều chỉnh bằng cách thêm vào polymer dẫn điện hoặc muối kiềm Schiff để cực đại hóa hiệu ứng tàng hình. Đây chỉ là sự phỏng đoán của người viết bài này, vì chi tiết cấu tạo của composite trong máy bay tàng hình là một tối mật quốc phòng.

6.4 Nanocomposite

Từ khi tiến sĩ Sumio Iijima (công ty NEC, Nhật Bản) phát hiện ống nano carbon năm 1991 (Chương 5), nghiên cứu về ống nano bùng phát mãnh liệt trên mọi lĩnh vực bao gồm nhiều nghiên cứu cơ bản lẫn ứng dụng. Số bài báo cáo và bằng phát minh tăng theo mức độ lũy thừa, phản ánh tầm quan trọng của vật liệu này. Chỉ riêng trong năm 2005, đã có hơn 4.000 bài báo cáo khoa học và

hơn 1.000 bằng phát minh được công nhận. Vật liệu nanocomposite dùng polymer và ống nano carbon lần đầu tiên được công bố vào năm 1994 [7]. Cho đến ngày hôm nay, tức hơn 13 năm sau, các nhà khoa học đã đi một bước dài trong việc tìm hiểu cơ cấu tác dụng giữa chất nền polymer và ống nano.

Khác với sợi carbon có cấu trúc phẳng hai chiều (Hình 6.2), ống nano là một cấu trúc ba chiều giống như quả mướp rất dài (Hình 5.5) và nhỏ hơn sợi tóc 30.000 lần. Vì vậy, mặc dù cùng là carbon nhưng hai vật liệu có nhiều đặc tính khác nhau. Dùng kính hiển vi lực nguyên tử (atomic force microscopy), người ta đã đo được độ cứng và độ bền của phân tử ống nano. Ống nano có độ cứng (650-1.000 GPa) và độ bền (150-180 GPa) cực kỳ to [10]. Nếu dùng thép làm thí dụ so sánh (Bảng 1), độ cứng ống nano hơn thép 5 lần, độ bền hơn thép 90 lần. Ống nano lại nhẹ hơn thép 4 lần. Như vậy, trên một đơn vị trọng lượng ống nano cứng hơn thép 20 lần và bền hơn thép 360 lần. Quả thật, đây là một vật liệu có cơ tính siêu việt chưa từng thấy trong lịch sử khoa học.

Những cơ tính mang tính chất “thần kỳ” này đã kích thích những người nghiên cứu vật liệu đặt trọng tâm vào việc chế tạo nanocomposite, dùng ống nano để tăng cơ

⁷ P. M. Ajayan, O. Stephan, C. Colliex and D. Trauth, Science, 265 (1994) 1212.

tính của chất nền. Khác với composite dùng sợi gia cố với hàm lượng tối đa (50-60 %), ống nano trong nanocomposite chỉ được dùng với hàm lượng tối thiểu ở mức vài phần trăm. Tuy nhiên, trong vòng 13 năm nay kể từ ngày nanocomposite với ống nano được công bố, các nhà nghiên cứu vẫn chưa tạo được độ cứng và độ bền đúng như dự đoán. Nguyên nhân chính là trong quá trình tổng hợp, các ống nano kết tập (aggregation) lại thành từng cụm như những nắm tóc rối mùi. Cơ tính của từng ống rất cao, nhưng khi bị kết tập, cơ tính của những cụm ống nano chỉ bằng 1/10 của từng ống riêng lẻ. Cho đến ngày hôm nay, các nhà nghiên cứu vẫn chưa tìm được phương pháp để kéo từng ống ra khỏi những cụm nhiều rối rắm này. Dùng từ "cụm" thì ngỡ là to, nhưng trên thực tế những "cụm" này chỉ to bằng hạt cát nên quá trình gỡ rối là những thao tác phải thực hiện ở thứ nguyên micromét (10^{-6} m) và nanomét (10^{-9} m). Dù không hoàn toàn thành công trong việc phân tán cụm ống nano thành những ống riêng lẻ, vài phần trăm ống nano trong chất nền polymer cũng đủ để gia tăng cơ tính polymer 2-3 lần lớn hơn^[8] (nếu được gỡ rối một cách hiệu quả thành những ống riêng lẻ thì độ gia tăng được dự đoán là 20-30 lần).

⁸ M. Moniruzzaman and K. I. Winey, *Macromolecules*, 39 (2006) 5194.

Các nhà khoa học vẫn không chùn bước trước những thử thách của thiên nhiên. Chưa gỡ rối được thì kéo dài thành sợi. Nhóm nghiên cứu của giáo sư Baughman (University of Texas, Mỹ) đã thành công trong việc xe hàng trăm thước sợi ống nano từ một dung dịch keo^[9]. Sợi ống nano có cơ tính tương đương với sợi tơ nhện – được xem là một loại sợi thiên nhiên có độ bền cao nhất, và hơn sợi Kevlar về độ bền và độ dai. Công trình của nhóm Baughman mang tính chất đột phá trong nghiên cứu cơ bản, nó chứng tỏ khả năng xe sợi ống nano với cơ tính rất cao là một việc khả thi. Về mặt kỹ thuật, quá trình phải đi qua dung dịch keo, sợi được hình thành là một composite giữa chất keo này và ống nano. Việc áp dụng loại sợi này vào thực tế vẫn còn phải chờ đợi một khoảng thời gian 10 đến 15 năm vì giá cả còn quá cao và chất keo bị tan trong nước là một chướng ngại cần phải khắc phục.

6.5 Những tiềm năng cho tương lai

Nhìn lại trong nửa thế kỷ qua, composite với các loại sợi gia cố cao cấp đã cống hiến con người những sản phẩm và công trình kỳ vĩ. Nhu cầu của sự phát triển xã

⁹ A. B. Dalton, S. Collins, É. Muñoz, J. M. Razal, V. H. Ebron, J. P. Ferraris, J. N. Coleman, B. G. Kim and R. H. Baughman, *Nature*, 423 (2003) 703.

hội, nhu cầu của cuộc sống đời thường, nhu cầu lợi nhuận của kinh tế thị trường cũng như thử thách trong khoa học và sự cạnh tranh trên thương trường đã và đang là những động lực cải tiến kỹ thuật không ngừng nghỉ để tạo những vật liệu càng hoàn thiện, sản phẩm càng đa dạng và giá thành càng hạ. Sự xuất hiện của ống nano là một cách mạng trong vật liệu học. Mặc dù nanocomposite dùng ống nano vẫn còn ở giai đoạn phòng thí nghiệm, những công trình nghiên cứu ống nano từ năm 1991 đã chỉ ra trong một tương lai gần khả năng tạo những composite nhẹ cân, siêu cứng, siêu bền vượt lên những composite đang sử dụng hiện tại.

Trong một tương lai xa hơn của nửa thế kỷ sắp tới, sự phát triển của composite sẽ đi về đâu là một câu hỏi có nhiều biến số, nhưng hai biến số chính là sự thúc đẩy của thương trường và tính sáng tạo của các nhà vật liệu học. Trong lịch sử phát triển khoa học kỹ thuật, con người ở thời đại nào cũng nhìn Mẹ thiên nhiên như là một nguồn cảm hứng cho sự sáng tạo. Con người đã nhìn chim muông để chế tạo ra những chiếc máy bay khổng lồ và phi thuyền bay vào vũ trụ; nhìn kinh ngư để làm ra chiếc tàu ngầm âm thầm vượt lòng đại dương. Những nhà khoa học vẫn tiếp tục theo bước đi của các bậc tiền bối quan sát và mô phỏng những sản phẩm của tạo hóa, cấu trúc của thiên nhiên và hành xử của các loài sinh vật.

Nhưng ở thế kỷ 21, các nhà nghiên cứu không mô phỏng thiên nhiên chỉ từ cái nhìn phiến diện mà sẽ bắt chước cơ chế vận hành của sinh vật, thực vật ở thang phân tử – đơn vị tận cùng của cấu trúc vật liệu.

Quan sát những chú thạch sùng “chắc chắc” suốt đêm sẽ làm ta suy nghĩ tại sao các chú đi lộn đầu thoải mái trên trần nhà làm đủ mọi chuyện thế tục trên đời như săn mồi, rượt bắt, cắn nhau, bài tiết, làm tinh, sinh đẻ mà ít bao giờ rớt xuống đất. Quan sát kỹ hơn một chút, khi các chú đi hai chân một bên đưa lên, hai chân kia dính vào trần và liên tục thay nhau như thế. Mô phỏng động tác này ta có thể tạo một cấu trúc composite thông minh (smart composite structures) tương tự như các ngón chân của chú thạch sùng lúc dính lúc không mà không cần sử dụng đến chất keo.

Một thí dụ khác về vật liệu thiên nhiên là vỏ bào ngư. Vỏ có cơ tính rất cao và đương nhiên không bị nước làm phân hủy như sợi Kevlar. Mô phỏng cấu trúc của vỏ bào ngư sẽ cho ta một vật liệu làm áo giáp “tối thượng” chống đạn lý tưởng, hơn hẳn sợi Kevlar. Nhìn những sinh vật dưới biển như cá heo, cá mập, các động vật này chỉ cần vẫy nhẹ là có thể bắn như lao trong nước. Người ta quan sát da của các loài cá này thì thấy có những đường vân đặc biệt. Cấu tạo da là một hệ thống composite sinh học có đàn tính (elasticity) biến chuyển theo áp suất của nước.

Hai yếu tố này làm giảm thiểu độ kéo (drag) của nước khi di động nên cá bơi nhanh. Làm sao ta có thể mô phỏng lớp da này để tạo ra những lớp sơn hay composite cho tàu thủy và tàu ngầm?

Dù phát triển ở hướng nào, như nửa thế kỷ vừa đi qua, ngành composite vẫn tiếp tục thu hút những kiến thức đa ngành bao gồm vật lý, hóa học, sinh học, toán học và tin học. Chỉ e rằng khi vật liệu càng ngày càng bền chắc thì tìm đâu ra nguồn thi hứng để làm nên những câu thơ trào phúng bất hủ “xiêu vách đổ giường”?

7

Vật liệu thông minh: Cơ bắp nhân tạo

Voi yên lặng cởi áo, xắn quần. Hiền kinh ngạc.
Nàng thấy hiện ra một nhà lực sĩ cường tráng,
mỹ lệ như một pho tượng cổ Hy Lạp.

(*"Trông Mái", Khải Hưng*)

7.1 Vật liệu biết chuyển động

Sự tiến hóa của loài người song hành với sự khám phá, sử dụng các nguồn năng lượng và cách biến chuyển từ một dạng năng lượng này sang dạng năng lượng khác. Lợi dụng năng lượng của lửa đến năng lượng nguyên tử cho thấy một quá trình dài của con người từ thời mông muội bán khai đến thế kỷ 21. Những bước tiến của khoa học cũng được đánh dấu bằng những dụng cụ hay thiết bị được thiết kế để biến đổi các dạng năng lượng với một hiệu suất không ngừng được nâng cao. Pin là một dụng cụ biến hóa năng thành điện năng, pin mặt trời biến năng

lượng sóng điện từ thành điện năng, máy nổ hay động cơ hơi nước biến hóa năng trong nhiên liệu hay hơi nước thành cơ năng. Từ một đầu máy chạy bằng hơi nước ở thế kỷ thứ 18 đến xe hỏa đầu đạn Shinkansen của Nhật Bản phá kỷ lục với tốc độ 250 km/h vào năm 1964, là một thí dụ nói lên sự thành công của con người, lúc tiệm tiến lúc nhảy vọt, trong việc nâng cao hiệu suất hoán chuyển các dạng năng lượng.

Cơ thể con người và các sinh vật khác kể cả thực vật là những cỗ máy thiên nhiên biến hoá năng lượng cực kỳ hiệu quả. Trong cơ thể con người, sự chuyển hóa sinh học (metabolism) biến thức ăn thành nguồn năng lượng để tiêu hao dưới dạng động năng (đi, chạy) và thế năng (nâng một vật lên cao). Các bộ phận của những cỗ máy này là phân tử sinh học được hoàn bị do quá trình tiến hóa trải qua hàng triệu năm. Vì vậy, Mẹ thiên nhiên lúc nào cũng là nguồn sáng tạo của loài người. Các nhà khoa học không ngừng mô phỏng phân tử sinh học để tổng hợp phân tử nhân tạo biết chuyển biến qua lại các loại năng lượng như hóa năng, điện năng, điện từ năng, nhiệt năng và áp năng.

Cơ bắp nhân tạo (artificial muscles) có tên khoa học là "actuator" được dịch ra tiếng Việt là "cơ cấu hay bộ dẫn động". Actuator được định nghĩa là một dụng cụ có thể

co giãn và tạo ra lực và công khi có một kích động bên ngoài tác dụng. Kích động này có thể là quang, nhiệt hay điện. Phần lớn các actuator được kích thích bằng điện nên đây là một cơ cấu biến điện năng thành cơ năng qua một phản ứng hóa học giống như cơ bắp sinh học. Những áp dụng trực tiếp của actuator là để đáp ứng những nhu cầu chuyển động, chẳng hạn như tay chân giả, robot, hệ thống điện cơ vi mô (microelectromechanical system, MEMS), những trang cụ (device) mô phỏng sinh vật như chim, cá, côn trùng. Từ định nghĩa của actuator, ta thấy máy nổ hay động cơ mô tô điện cũng là một loại actuator. Tuy nhiên, những cơ cấu này quá cồng kềnh cho những áp dụng dẫn động vừa được nêu trên.

Một trong những vật liệu có giá trị thực tiễn trong các áp dụng dẫn động có lẽ là oxide của hợp kim chì (Pb), zirconium (Zr) và titanium (Ti) gọi tắt là gốm (ceramic) PZT. PZT là một vật liệu có tính áp điện (piezoelectricity). Tính áp điện là đặc tính phát sinh ra một điện áp (dòng điện) của một số vật liệu khi có một tác động cơ học như kéo, đè, nén làm biến đổi kích thước vật đó. Ngược lại, khi có một điện áp (dòng điện) đặt vào thì vật liệu đó sẽ biến đổi kích thước và đây là áp dụng actuator của PZT. Độ thay đổi kích thước của PZT rất nhỏ (tối đa 0,1 %) nhưng cực kỳ chính xác tùy theo điện áp đặt vào. Các máy ảnh kỹ thuật số hiện đại có kỹ năng điều chỉnh tiêu

điểm tự động (autofocus). Ở đây, PZT có một tác dụng rất lớn. PZT actuator được nối với ống kính. Trước khi chụp, máy ảnh sẽ phát ra siêu âm hay tia hồng ngoại đến vật thể được chụp. Siêu âm hay tia hồng ngoại sẽ phản hồi tạo ra một điện áp tương ứng với cự ly và điện áp này sẽ làm thay đổi kích thước của PZT làm di động tiêu điểm ống kính trùng lên vật thể.

Độ co giãn tùy theo điện áp của PZT là một lợi điểm cho dụng cụ cần độ chính xác cao, nhưng lại quá nhỏ (0,1 %) cho các tác dụng cơ bắp. Sự xuất hiện của actuator dùng vật liệu “thông minh” hữu cơ bao gồm polymer có hoạt tính điện hóa (electroactive polymer) và ống than nano (carbon nanotube) với năng suất dẫn động tương đương hay trội hơn cơ bắp sinh học, tạo ra một cơ hội để sản xuất actuator cho các dụng cụ điện học, quang học, y khoa và robot tự động hóa. Nhưng có thật là con người đã hoàn toàn mô phỏng được Mẹ thiên nhiên và cơ bắp nhân tạo đã có thể thay thế người anh em sinh học? Để biết câu trả lời, chúng ta hãy đọc những dòng kế tiếp.

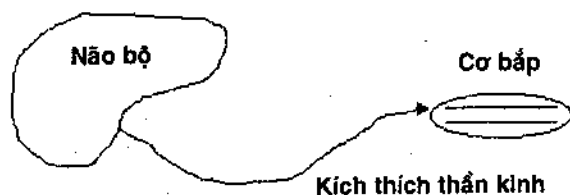
7.2 Cơ bắp sinh học

Cơ bắp sinh học của mọi sinh linh trên quả đất này là một trang cụ (device) thiên nhiên tuyệt vời có lịch sử tiến hóa hàng triệu năm. Trên quan điểm mỹ học, người hùng

cơ bắp lúc nào cũng là một biểu hiện nam tính tràn đầy sinh lực được phái tóc dài bất luận già trẻ, sang hèn, muôn đời chiêm ngưỡng và yêu thích! Trong quyển tiểu thuyết “Trống Mái” của nhà văn Khái Hưng, cô “tiểu thơ” Hiền của đất Hà thành văn vật dường như chưa bao giờ có cơ hội thấy được những pho tượng cổ bản trụ Hy Lạp, nên nàng kinh ngạc bàng hoàng khi trực diện trước dáng hình lực lưỡng với những bắp thịt cuộn cuộn như những “quả lựu rậm nắng” của Vội, một chàng ngư dân đẹp trai nhưng chất phác của bãi biển Sầm Sơn. Trên quan điểm khoa học, cơ bắp sinh học cũng là một vật liệu không kém phần hấp dẫn vì nó có thể vận hành ở một mức tối ưu trong việc chuyển hoá năng lượng thành cơ năng và nhiệt nhưng vẫn tuân thủ theo những định luật của nhiệt động học.

Sự co giãn và tạo ra lực của cơ bắp thiên nhiên hoàn toàn được điều khiển bởi những xung điện (electric pulse) phát xuất từ não qua hệ thống thần kinh. Xung điện là một tác nhân tạo ra những phản ứng hóa học trong môi trường nước chứa các loại ion của cơ bắp gây ra sự co giãn. Sự co giãn làm thay đổi thể tích cơ bắp từ đó sinh ra những tác động cơ học (Hình 7.1). Các quyển sách sinh học cơ bản đều mô tả một thí nghiệm cổ điển là kích thích sự co giãn của chân ếch bằng xung điện. Khi cho xung điện vào, chân co lại, tắt dòng điện chân lại giãn ra.

Khi rút hết nước từ chân, thí nghiệm cho thấy sự co giãn không xảy ra. Điều này chứng tỏ xung điện chỉ có hiệu quả trong môi trường nước, nơi mà những luồng ion (ion flux) có thể luân lưu trao đổi để tạo ra lực và công (work). Cơ bắp sinh học tạo ra lực và công trên căn bản thay đổi thể tích là một hệ quả trực tiếp của phản ứng hóa học trao đổi ion nhờ điện trong một môi trường ở một nhiệt độ nhất định. Đây là loại actuator điện-hóa-cơ (electrochemomechanical actuator).



Hình 7.1: Kích thích từ não qua hệ thống thần kinh gây nên sự di chuyển của nước và ion, phản ứng hóa học và sự thay đổi thể tích của cơ bắp.

Bảng 1 cho biết những đặc tính của cơ bắp sinh học. Một so sánh thú vị là độ biến dạng (co giãn) của cơ bắp sinh học có thể lớn hơn 40 % trong khi PZT chỉ có 0,1 %. Theo Bảng 1, khi co giãn cơ bắp sẽ cho một lực 0,35 MPa, tương đương lực kéo một vật nặng 3,5 kg nếu cơ bắp có tiết diện 1 cm². Khi có xung điện, cơ bắp co lại 50 % trong thời gian là 0,1 giây (Bảng 1). Những đặc tính này trở

thành một tiêu chí mà tất cả mọi vật liệu được thiết kế để có đặc tính bằng hoặc vượt hơn cho các ứng dụng. Vật liệu có mật độ công và công suất cao sẽ rất có lợi trong những áp dụng đòi hỏi sự nhẹ cân và một không gian nhỏ hẹp như robot, dụng cụ y khoa cấy vào người, máy ảnh, điện thoại di động, hệ thống điện cơ vi mô (MEMS).

Bảng 1: Những đặc tính của cơ bắp sinh học ^[1]

Đặc tính	Lượng tiêu biểu	Lượng tối đa
Độ biến dạng (strain) (%) ^a	20	> 40
Ứng suất (stress) (MPa) ^b	0,1	0,35
Mật độ công (work density) (kJ/m ³) ^c	8	-
Tỷ trọng (kg/m ³)	1037	-
Tốc độ biến dạng (%/s) ^d	-	500
Mật độ công suất (power density) (W/kg) ^e	50	200
Năng suất (%) ^f	-	40
Số lần co giãn ^g	-	109
Môđun (modulus) (MPa) ^h	10 - 60	-

^a Độ co giãn. Cơ bắp có chiều dài nguyên thủy là l_0 , co hoặc và giãn đến độ dài l . Độ biến dạng (%) = $[(l - l_0) / l_0] \times 100$.

^b Khi co, cơ bắp sẽ tạo ra lực F . Cơ bắp có tiết diện A . Ứng suất (Pa) = F/A . Đơn vị Pa (Pascal) = Newton/m², MPa = MegaPascal = 10^6 Pa.

¹ J. D. W. Madden et al, IEEE J. Oceanic Eng., 29 (2004) 706.

- ^c Công được tạo ra bởi 1 m^3 cơ bắp.
- ^d Tốc độ co giãn của cơ bắp.
- ^e Công suất được tạo ra bởi 1 kg cơ bắp.
- ^f Tỷ suất giữa năng lượng cho ra và năng lượng nạp vào.
- ^g Cũng là tuổi thọ.
- ^h Môđun = Ứng suất/Độ biến dạng. Độ cứng vật liệu.

Máy nổ dùng nhiên liệu biến hóa năng qua các phản ứng hóa học tạo ra sự co giãn thể tích trong lòng piston để tạo ra lực và công. Tuy nhiên, mặc dù có một điểm chung là co giãn thể tích, máy nổ không thể xem là cơ bắp vì cơ chế tạo ra lực và công của hai cơ cấu này hoàn toàn khác nhau. Cơ chế máy nổ tuân theo chu trình Carnot. Để tạo ra cơ năng, máy nổ phải ở hai môi trường có hai nhiệt độ khác theo đúng định luật thứ hai của nhiệt động học. Trong máy xe hơi hay xe gắn máy, lúc nào cũng có thiết bị để làm nguội máy bằng nước hay không khí. Cơ bắp tạo ra công từ quá trình trao đổi ion trong một dung dịch ở một nhiệt độ nhất định. Vì vậy, nhiệt độ môi trường là sự khác nhau giữa máy nổ và cơ bắp.

7.3 Polymer dẫn điện

Polymer dẫn điện có hoạt tính điện hóa. Để tạo ra cơ bắp nhân tạo mô phỏng theo cơ bắp sinh học dựa trên một dòng điện gây ra sự trao đổi ion, ta thấy ngay rằng điện hóa là một phương pháp hữu hiệu để đạt được mục tiêu này. Năm 1996, giáo sư Ray Baughman (University of Texas, Mỹ) đã quan sát được cơ chế dẫn động của phim polypyrrole (PPy) trong một bình điện giải. Một trong hai điện cực của bình là phim PPy^[2]. Ông lợi dụng sự "hợp ly" xảy ra giữa mạch polymer dẫn điện và dopant, hay là quá trình doping/dedoping, để gây ra sự biến đổi thể tích và hình dạng của polymer. Quá trình doping/dedoping quen thuộc đã được đề cập trong Chương 2 và Chương 4,

.....MMMMMMMMMMMM..... (dạng 1) + A

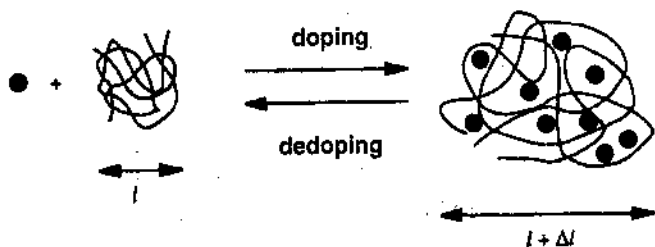
doping ⇄ dedoping

...MMM⁺A MMMM⁺A MMMM⁺A MMM.... (dạng 2)

Khi doping, polymer (...MMMM...) kết hợp với dopant (A), polymer giãn ra tăng thể tích (dạng 2). Khi dòng điện đổi chiều, dedoping xảy ra dopant rời khỏi mạch,

² R. H. Baughman, Synth. Met., 78 (1996) 339.

polymer co lại giảm thể tích (dạng 1) (Hình 7.2). Sự thay đổi thể tích của PPy gây ra bởi kích thích điện và chiều dòng điện cho ra hiện tượng tương tự như cơ bắp sinh học. Cũng như cơ bắp sinh học, actuator của polymer dẫn điện cần phải tiếp xúc với dung dịch chứa ion thích hợp và nhờ dòng điện để có những luồng ion di chuyển ra vào giữa vật liệu và dung dịch tạo ra sự thay đổi thể tích của vật liệu và từ đó sinh ra lực và công.



Hình 7.2: Doping/dedoping gây ra sự thay đổi thể tích của polymer.
Ký hiệu (•) là ion trong dung dịch điện giải.

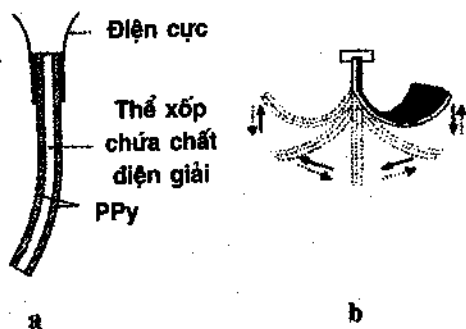
Polyaniline (PAn), polythiophene (PT) và các polymer dẫn xuất của PT đều cho sự co giãn tương tự như PPy. Sự “hợp ly” giữa polymer và dopant thật ra phức tạp hơn công thức và Hình 7.2 mô tả. Dopant có thể rũ rê lôi kéo các phân tử dung môi đi ra đi vào môi trường polymer tạo ra sự co giãn rất lớn nhưng tốc độ co giãn rất chậm. Sự khuếch tán ra vào của dopant/phân tử dung môi giữa

dung dịch điện giải và polymer cần nhiều thời gian. Ngoài ra, ảnh hưởng của điện tích, độ lớn của dopant và ion của chất điện giải lên sự co giãn và công là một đề tài nghiên cứu nhiều thử thách nhằm tối ưu hóa năng suất cơ học của loại actuator này.

Độ biến dạng tiêu biểu của polymer dẫn điện trong khoảng 2-10 %. Gần đây, nhóm nghiên cứu của giáo sư Keiichi Kaneto (Kyushu Institute of Technology, Nhật Bản) đã thiết kế PPy với một dopant đặc biệt có thể co giãn đến 40 %, đạt đến mức của cơ bắp sinh học. Tuy nhiên, để có mức co giãn này, ta cần một thời gian gần 8 tiếng đồng hồ, rất chậm so với cơ bắp sinh học là 0,1 giây để đạt một độ co giãn tương đương! Sau đó, nhóm Kaneto tiếp tục cải thiện và đạt được độ co giãn 20 % với tốc độ 4 %/s (nghĩa là chỉ cần 5 giây để co lại 20 %). Kết quả này đầy ấn tượng. Actuator dùng polymer dẫn điện là có mật độ công (work density) khá cao, 140 kJ/m³ (cơ bắp sinh học là 8 kJ/m³) và có điện áp thao tác rất thấp trong khoảng 2 V.

Để tránh sự công kênh của một bình điện giải, tiến sĩ Dezhi Zhou và nghiên cứu sinh Yanzhe Wu (University of Wollongong, Australia) đã chế tạo ra một actuator “kép” được mô tả trong Hình 7.3. Phim PPy được phủ lên một thể xốp chứa chất điện giải với một ion (dopant)

thích hợp, tất cả chỉ có độ dày khoảng 100 μm . Thật ra, đây là một bình điện giải cực mỏng với hai điện cực là phim PPy. Khi cho một dòng điện chạy qua cơ cấu này, theo công thức doping/dedoping, một phim sẽ ở dạng 1 (co lại), phim kia ở dạng 2 (giãn ra). Như vậy, toàn cơ cấu sẽ cong về một phía, giống như con tem bưu điện khi được thấm nước ở mặt keo, mặt này tăng thể tích làm cong con tem. Khi chiều dòng điện đổi ngược thì cơ cấu sẽ cong về phía kia (Hình 7.3). Khi chiều dòng điện thay đổi liên tục, ta sẽ có một actuator chuyển động như chú khuyển vẫy đuôi. Cơ cấu này có thể làm thành vi hay đuôi của một con cá nhân tạo bơi trong nước hay con gián biết bò.



Hình 7.3: (a) Cấu tạo actuator "kép" có độ dày khoảng 100 μm ; (b) Actuator bật qua lại khi dòng điện đổi chiều.

Actuator dùng polymer dẫn điện có những nhược điểm do tính nhớt đàn hồi (viscoelasticity) cố hữu của vật liệu polymer. Tính chất này thường thấy ở các vật dụng plastic; chẳng hạn bao plastic bị kéo giãn đến một mức thì sẽ biến dạng vĩnh viễn và mất tính đàn hồi. Một nhược điểm khác là sau một thời gian sử dụng chất điện giải và điện cực polymer bị suy thoái vì những phản ứng điện hóa bất lợi xảy ra.

Hiện nay, actuator dùng polymer dẫn điện vẫn còn là một trang cụ đang được nghiên cứu trong phòng thí nghiệm. Ngoài việc chế tạo các loại robot như cá bơi trong nước hay con gián biết bò mang tính chất hàn lâm, ở thời điểm này (2007), chưa có một thương phẩm nào sử dụng polymer dẫn điện như một actuator. Nhóm của giáo sư Gordon Wallace và Geoff Spinks (University of Wollongong, Australia) có nhiều đề án nghiên cứu nhằm thực dụng hóa actuator polymer dẫn điện, chẳng hạn chế tạo các robot biết bò, biết bơi hay cấy vào ốc tai chữa bệnh khiếm thính (điếc) bẩm sinh. Những chương trình này vẫn còn ở bước đầu. Dù sao, những nghiên cứu cơ bản nhằm tối ưu hóa năng suất dẫn động của các nhóm nghiên cứu trên toàn thế giới cho thấy sự liên hệ mật thiết giữa ba đặc tính: điện tính, cơ tính và hóa tính. Biến đổi một đặc tính sẽ ảnh hưởng đến hai đặc tính còn lại. Có

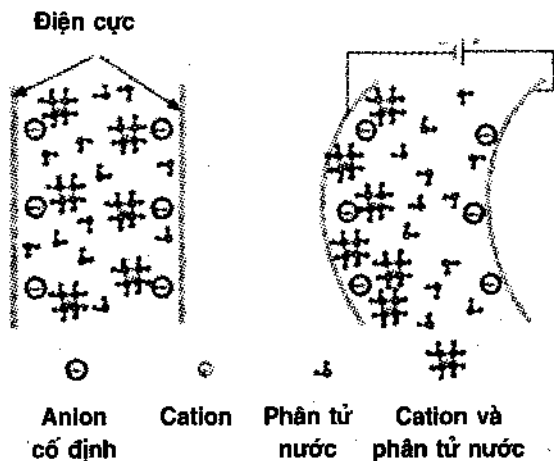
một trường phái cho rằng không cần phải qua sự “hợp ly” với ion, mà nên nhắm vào những polymer mang nối liên hợp có khả năng co giãn ở thang phân tử như cây đàn xếp accordion khi được kích thích bởi dòng điện. Như thế, thao tác dẫn động của polymer sẽ càng giống các sợi cơ bắp sinh học. Hy vọng nền công nghệ nano sẽ trợ giúp cho việc triển khai vật liệu này.

7.4 Con cá robot Nhật Bản

Người Nhật Bản có khái niệm về tự động hóa, yêu chuộng và thiết kế các loại robot rất sớm. Sau khi thua trận ở Thế chiến thứ 2, người Nhật thu nhặt kim loại phế thải để phát triển công nghệ đồ chơi trẻ con, sản xuất xe hỏa, xe hơi, máy bay đồ chơi với động cơ chạy bằng pin tràn ngập thị trường trong những thập niên 50, 60 của thế kỷ trước. Các loại đồ chơi tự động hóa lần đầu tiên xuất hiện mang đến nhiều niềm vui cho trẻ con toàn thế giới (trong đó có cả người viết!). Các trung tiểu xí nghiệp Nhật cũng vực dậy trên đống tro tàn của Thế chiến thứ 2 nhờ số doanh thu từ các phế liệu. Năm 2004, công ty Eamex tại Osaka (Nhật Bản) chế tạo ra con cá “đồ chơi” bơi trong bể nuôi như cá thật. Nhưng công ty Eamex không phải là công ty làm đồ chơi mà là một công ty sản xuất các linh kiện điện tử và actuator. Con cá robot được thiết kế để cho thấy khả năng dẫn động của polymer

được dùng làm actuator cho cá bơi được. Đặc điểm của cá robot này là không động cơ, không bánh răng (gear), không trục truyền động (shaft), thậm chí cũng không có pin. Bộ phận chính của cá là actuator sử dụng polymer có hoạt tính điện hóa (electroactive polymer) đẩy cá đi một cách tự nhiên tự tại.

Vật liệu của actuator này là polymer có mạch chính là polytetrafluoroethylene ($-\text{CF}_2-$)_n và những nhánh phụ mang gốc sulfonate (SO_3H) hay gốc carboxylate (COOH). Loại mang gốc sulfonate có thương hiệu là Nafion và loại mang gốc carboxylate là Flemion. Đây là những gốc thân nước nên phim ngậm nước dễ dàng. Để dùng làm vật liệu actuator, phim Nafion hoặc Flemion được đặt vào dung dịch muối kim loại, phim hút nước và các cation (ion mang điện tích dương) kim loại (thí dụ: Na^+) sẽ thay thế H^+ cho SO_3Na^+ hay COO^-Na^+ . Cấu trúc này cho Na^+ di động trong môi trường nước, nhưng gốc âm SO_3^- và COO^- bất động vì là một phần của mạng lưới polymer. Hai mặt phim được phủ lên một lớp vàng (Au) hoặc bạch kim (Pt) để làm điện cực (Hình 7.4). Vì là vật liệu polymer chứa ion và được phủ kim loại để làm điện cực, vật liệu này được gọi là composite polymer ion và kim loại (ionic polymer metal composite, IPMC).



Hình 7.4: Khi có điện áp, cation dẫn về phía cực âm khiến phim cong về một phía.

Nguyên lý dẫn động của phim rất đơn giản. Khi phim được bắt vào một nguồn điện, các cation (Na^+) đổ dồn về cực âm làm tăng thể tích mặt này và giảm thể tích mặt kia. Phim sẽ bị cong giống như con tem bưu điện để cập bên trên (Hình 7.4). Khi đổi chiều dòng điện (cực âm thành dương, dương thành âm), phim sẽ cong ngược lại. Các loại phim này là một thể xốp có nhiều lỗ vi mô (micropore) nên chứa nhiều nước và Na^+ có thể di chuyển qua lại dễ dàng. Actuator được thiết kế để có thể chuyển động qua lại đến tần số 100 Hz (chuyển động qua lại 100 lần trong 1 giây). Actuator thao tác ở điện áp < 7 V và cho ứng suất 30 MPa (gần 100 lớn hơn cơ bắp

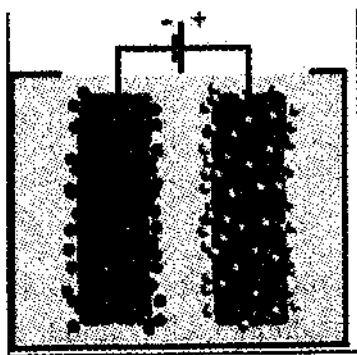
sinh học). Nhược điểm của actuator này là nước dễ bay hơi nhưng điều này có thể khắc phục bằng cách thay thế nước bằng dung môi khó bay hơi và dùng phim mỏng bao quanh. So với actuator “kép” polymer dẫn điện, actuator dùng polymer Nafion hoặc Flemion có một cơ cấu đơn giản hơn với độ ứng đáp rất nhạy (100 Hz). Con cá robot là để phô trương thiên hạ, mục tiêu thương mại chính của Eamex là biến IPMC actuator thành sản phẩm thay thế PZT cho cơ cấu tự động điều chỉnh ống kính máy ảnh và máy ảnh điện thoại di động (xem www.eamex.co.jp).

7.5 Ống than nano

Cơ tính tuyệt vời của ống than nano là ưu điểm vượt trội hơn các loại vật liệu khác. Ống than nano vỏ đơn (single-wall carbon nanotube, SWNT) có môđun (độ cứng) là 640 GPa (GigaPascal = 10^9 Pa) gần trị số của kim cương và độ bền (tensile strength) trong khoảng 20 đến 150 GPa. Có nghĩa là nếu ống than nano có tiết diện 1cm^2 , ống có thể treo một vật nặng 200 đến 1.500 tấn, tương đương với một chiếc xe tăng hạng nặng và máy bay jumbo! Nhưng đây chỉ là trị số của từng ống riêng lẻ ở thang phân tử. Khi các ống kết hợp thành vật liệu sợi hay phim, những trị số cơ tính này nhỏ hơn 10 đến 100 lần. Làm sao tạo những vật liệu sợi và phim của ống than

nano những vấn đề cơ tính của ống là một thử thách mà các nhà vật liệu học đang bận tâm (Chương 5).

Giáo sư Ray Baughman (University of Texas, Mỹ) và cộng sự viên lần đầu tiên khám phá ra khả năng dẫn động của ống than nano^[3]. Khi phim SWNT được đặt dưới một điện áp (2 V) và trong một dung dịch điện giải (Hình 7.5), SWNT có tác dụng của một actuator, co giãn tùy theo điện áp. Ống nối với cực âm của nguồn điện sẽ tiếp nhận điện tích âm trên mặt ống, ống nối với cực dương nhận điện tích dương. Điện tích giống nhau sẽ đẩy nhau làm ống phình lên. Khi điện áp là zero, điện tích biến mất, ống "xẹp" trở lại kích thước ban đầu.



Hình 7.5: Khi có điện áp, bề mặt ống than nano nhận điện tích âm (hạt màu đậm) từ cực âm, điện tích dương (hạt màu nhạt) từ cực dương^[3]

³- R. H. Baughman et al, Science, 284 (1999) 1340.

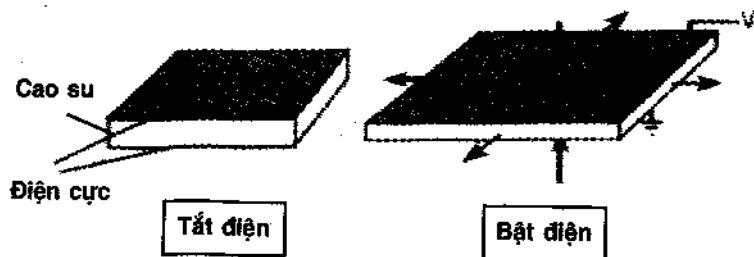
Vì SWNT có độ cứng rất cao, độ co giãn bị giới hạn ở mức độ 0,1 - 1 %, to hơn gốm PZT nhưng nhỏ so với những vật liệu actuator hữu cơ khác. Mặt khác cũng vì độ cứng, vật liệu sợi SWNT cho mật độ công 1.000 kJ/m³, một trị số rất cao trong các loại actuator. Cơ bắp sinh học chỉ đạt đến 8 kJ/m³, đúng là sức người có hạn nhưng sức vật có thể gần như vô hạn. Trên lý thuyết, với môđun 640 MPa ống than nano có thể tạo ra công có trị số 100.000 kJ/m³, một trị số to chưa từng thấy trong các loại vật liệu. Vì vậy, SWNT là một vật liệu actuator mang nhiều tiềm năng với một niềm hy vọng là trong một tương lai gần các nhà khoa học sẽ có một phương pháp chế biến sợi và phim với những cơ tính tuyệt vời như các ống than nano tạo thành. Khả năng tạo ra mật độ công rất cao và độ bền nhiệt tốt (không phân hủy ở 450°C trong không khí, và 1.000°C trong chân không hay môi trường trơ) của SWNT sẽ mang đến nhiều áp dụng cho công nghệ không gian (aerospace), một lĩnh vực đòi hỏi vật liệu gọn nhẹ, bền và hiệu suất cao.

Ống than nano nhiều vỏ (multi-wall carbon nanotube, MWNT) không co giãn nhiều nên không có năng lực dẫn động tốt như SWNT. Tại sao? Đây là một vấn đề đang chờ đợi câu trả lời từ các nhà khoa học.

7.6 Actuator cao su

Năm 1992, công ty SRI International (Mỹ) giành được một hợp đồng nghiên cứu từ "Chương trình động cơ vi mô" (Micro-machine Program) của chính phủ Nhật Bản^[4]. Chính phủ Nhật tìm kiếm một công nghệ mới cho actuator vi mô. Vật liệu phải là chất hữu cơ mềm thay thế cho vật liệu cứng PZT, biến hoán trực tiếp từ điện năng sang cơ năng, giá rẻ, dễ chế tạo, và đương nhiên là năng suất dẫn động phải cao mà không qua quá trình điện hóa phức tạp. Vì số tiền nghiên cứu kèch sù nên SRI dấn thân vào! SRI trước hết dùng phim mỏng polyurethane, một loại vật liệu thường dùng làm nệm giường, ghế sofa. Hai mặt phim được phủ lên một lớp kim loại để làm điện cực và phim này được đặt vào một nguồn điện với một điện áp hơn 1.000 V (Hình 7.6). Dưới điện áp, mặt điện cực xuất hiện điện tích âm, mặt kia điện tích dương, sức hút tĩnh điện xảy ra; phim tự động bị ép lại và giãn ra như ta dùng hai tay kéo cái bao plastic. Khi tắt điện, phim trở lại kích thước cũ. Sau đó, SRI chế biến cao su silicon và acrylic với hiệu quả co giãn cao hơn polyurethane. Cơ chế dẫn động do sự hút tĩnh điện giữa điện tích âm và dương tương phản với cơ chế của ống than nano. Sự co giãn của ống nano là do sự đẩy tĩnh điện của những điện tích giống nhau.

⁴ S. Asihley, "Artificial Muscles", Scientific American (October 2003), 53.



Hình 7.6: Sự co giãn của cao su dưới điện áp ($> 1.000 \text{ V}$)^[5]

Cơ cấu actuator thật ra là một tụ điện, nhưng là tụ điện có thể co giãn! Để điện cực có thể co giãn với phim, người ta dùng carbon dẫn điện trộn với nhựa đàn hồi^[5]. Hiệu ứng làm biến dạng những vật liệu cách điện như polymer/cao su bằng một điện áp do lực tĩnh điện (ứng suất Maxwell) được biết từ lâu. Hiệu ứng này rất phiền toái vì nó làm thay đổi hình dạng không cần thiết khi dùng polymer/cao su trong các cơ cấu điện học. Tuy nhiên, trong nhu cầu dùng vật liệu hữu cơ mềm cho actuator, các nhà khoa học của công ty SRI đã khéo léo biến nhược điểm thành ưu điểm. Độ biến dạng (co giãn) càng to khi điện áp và hằng số điện môi (dielectric constant) càng to. Vì tụ điện cũng có yêu cầu tương tự, vật liệu dùng cho actuator cũng có thể dùng cho tụ điện. Dùng titanium

⁵ R. Pelrine, R. Kornbluh and G. Kopeid, Adv. Mater., 12 (2000) 1223.

oxide (TiO_2) làm chất phụ gia trong cao su là một kỹ thuật tăng hằng số điện môi. Ngoài ra, để có độ biến dạng tối đa, điện cực phải duy trì độ dẫn điện và cao su duy trì cường độ điện môi khi co giãn. Đây là những vấn đề kỹ thuật cần phải giải quyết ở thời điểm hiện tại.

Hiện nay, SRI đã chế tạo được cao su acrylic với hằng số điện môi to và chịu được điện áp cao. Sự phát triển vật liệu cho actuator cao su một năng suất dẫn động đầy ấn tượng. Cao su acrylic có độ co giãn lớn hơn 200 % (cơ bắp sinh học: 50 %), ứng suất dẫn động 7 MPa (cơ bắp sinh học: 0,35 MPa), mật độ công 3.000 kJ/m^3 (cơ bắp sinh học: 8 kJ/m^3). Một loại cao su silicon có độ co giãn 63 %, ứng suất 3 MPa và thời gian đáp ứng 0,001 giây và năng suất 80-90 % (cơ bắp sinh học: 40 %). Nhược điểm lớn của actuator này là điện áp sử dụng phải ở mức vài ngàn volt, quá cao cho những dụng cụ tinh mật (precision device). Theo các nhà nghiên cứu của SRI, điện áp cao không nhất thiết phải là một cơ cấu nguy hiểm. Thật ra, ai bị điện giật bởi sò vào bu-gi của xe hơi hay xe gắn máy Honda cũng biết đó là kinh nghiệm không đến nỗi chết người nhưng cũng không lấy làm gì thoải mái! Dù với nhược điểm này, SRI cũng đã sản xuất actuator điều chỉnh dụng cụ quang học thay thế PZT và một số trang cụ khác (xem www.artificialmuscle.com).

Khi một cơ cấu chuyển hoán năng lượng A sang năng lượng B thì cũng có thể chuyển B sang A. Vật liệu actuator chuyển điện năng sang cơ năng thì cũng là vật liệu dùng cho trang cụ chuyển cơ sang điện. Các loại cao su silicon và acrylic được để dưới gót giày và cứ mỗi bước đi điện phát sinh và được tích tụ để dùng như nguồn điện cá nhân cho các dụng cụ điện tử cầm tay ^[4]. Khả năng chuyển hoán cơ sang điện không thoát khỏi những cặp mắt hiếu kỳ của các chuyên gia thuộc Bộ Quốc phòng Mỹ. Công ty SRI lại nhận thêm một hợp đồng nghiên cứu béo bở, lần này từ chính phủ Mỹ để thực hiện cơ chế “đảo ngược” chế tạo trang cụ biến cơ thành điện.

7.7 Lời kết

Actuator chẳng qua là một cơ cấu được tự động hóa, bắt chước thiên nhiên để “thế nhân hành đạo”. Các loại vật liệu hữu cơ từ polymer đến ống than nano dùng trong actuator có thể xem như vật liệu “thông minh” biết ứng xử theo ý con người. Con cá robot của công ty Eamex là mô phỏng thành công từ thiên nhiên. Người viết cũng đã từng xem video con bướm robot biết đập cánh (nhưng chưa bay!) trong một bài báo cáo tại một hội nghị khoa học quốc tế. Trong kho tàng thi văn Việt Nam, nữ sĩ Hồ Xuân Hương có lần phóng bút “Mơ thăm không khua mà cũng cóc. Trống sấu chẳng đánh cũng kêu om”. Trong

những vấn đề phá cách và phóng túng của nữ sĩ, ta bỗng thấy bàng bạc hình dáng vật liệu thông minh và dụng cụ “tự động hóa” của thế kỷ 21!

Nguyên lý dẫn động của actuator tương đối đơn giản. Dù vậy, actuator như một động cơ yên ắng đã nhẹ nhàng quán xuyên từ thế giới vĩ mô đến thế giới vi mô, từ con robot to đùng đến chiếc máy bơm nhỏ bé (micro pump), từ những việc cụ thể trên mặt đất đến những linh kiện sử dụng trong không gian. So với cơ bắp sinh học, cơ bắp nhân tạo được thiết kế cho ra những năng suất vượt trội. Tuy nhiên, không phải tất cả đều nằm trong không gian màu hồng với những thành công vĩ đại! Actuator dùng polymer dẫn điện vẫn còn mang nhiều tính hàn lâm. Ống than nano cho nhiều tiềm năng nhưng còn mắc chướng ngại trong việc chế biến. Người viết và đồng nghiệp^[6] đã phân tích ảnh hưởng cơ tính đến độ co giãn và năng lực dẫn động nhằm tìm kiếm một vật liệu lý tưởng hay tối ưu hóa một composite trong đó những ưu khuyết điểm có thể bổ sung cho nhau.

Nhưng Mẹ thiên nhiên dường như lúc nào cũng muốn thách thức con người; đến nay vẫn chưa có một vật liệu nào có thể co giãn được một tỷ lần như cơ bắp sinh học. Tiến sĩ Yoseph Bar-Cohen (Jet Propulsion Lab, Mỹ),

⁶ G. M. Spinks, V.-T. Truong, *Sensors and Actuators A*, 119 (2005) 455.

người tổ chức các cuộc hội thảo quốc tế về vật liệu actuator, hàng năm treo giải thưởng cho cá nhân hay nhóm nghiên cứu tạo ra một cánh tay nhân tạo để độ sức với người kéo tay chuyên nghiệp. Cho đến nay (năm 2007) chưa ai giành được giải thưởng “vật thắng nhân”. Điều này phản ánh một hiện thực hơi phũ phàng là ngoài cơ bắp nhân tạo McKibben^[7] dùng khí nén công kênh, bất tiện, đến bây giờ vẫn chưa có một vật liệu nào có thể mô phỏng và thay thế cơ bắp sinh học để làm chân tay giả cho người khuyết tật vì tai nạn, vì chiến tranh. Cao su silicon hay acrylic có những đặc tính thích hợp, nhưng không thể mang vào bên trong một bình điện để phóng điện vài ngàn volt cho một động tác. Đây là một nhu cầu bức thiết, nhưng hiện tại “não lực” của các nhà khoa học vẫn “bất tòng tâm”!

⁷ Do y sĩ McKibben sáng chế vào thập niên 50 của thế kỷ trước. Cơ bắp này có quả bóng cao su thon dài có thể co lại khi bơm khí nén vào và giãn ra khi thả khí ra ngoài. Rất công kênh và tiêu hao năng lượng (xem Wikipedia: “Pneumatic artificial muscles”).

8

Mặt trời của chúng ta

Dầu lia ngó ý, còn vương tơ lòng

(*"Truyện Kiều", Nguyễn Du*)

8.1 Nguồn năng lượng vô tận

Cảm giác chói da trong những ngày hè nóng bỏng hay cái ấm áp của những ngày mùa đông nắng tốt như là một lời nhắc nhở đến sự hiện hữu của mặt trời mà lắm lúc ta xem như một tồn tại đương nhiên. Ánh sáng mặt trời là một nguồn năng lượng dồi dào, nhưng khi tính ra con số rất ít người biết đến là mặt trời truyền đến cho ta một năng lượng khổng lồ vượt ra ngoài sự tưởng tượng của mọi người. Trong 10 phút truyền xạ, quả đất nhận một năng lượng khoảng 5×10^{20} J (500 tỷ tỷ Joule), tương đương với lượng tiêu thụ của toàn thể nhân loại trong vòng một năm. Trong 36 giờ truyền xạ, mặt trời cho chúng ta một năng lượng bằng tất cả những giếng dầu

của quả đất. Năng lượng mặt trời vì vậy gần như vô tận. Hơn nữa, nó không phát sinh các loại khí nhà kính (greenhouse gas) và khí gây ô nhiễm. Nếu con người biết cách thu hoạch nguồn năng lượng sạch và vô tận này thì có lẽ loài người sẽ mãi mãi sống hạnh phúc trong một thế giới hòa bình không còn chiến tranh vì những cuộc tranh giành quyền lợi trên các giếng dầu.

Mười vấn đề lớn của nhân loại trong vòng 50 năm tới đã được ghi nhận theo thứ tự nghiêm trọng là (1) năng lượng, (2) nước, (3) thực phẩm, (4) môi trường, (5) nghèo đói, (6) khủng bố và chiến tranh, (7) bệnh tật, (8) giáo dục, (9) thực hiện dân chủ và (10) bùng nổ dân số. Năng lượng quả thật là mối quan tâm hàng đầu của nhiều chính phủ trên thế giới. Nguồn năng lượng chính của nhân loại hiện nay là dầu hỏa. Nó quý đến nỗi được người ta cho một biệt hiệu là "vàng đen". Một vài giờ cúp điện hay không có khí đốt cũng đủ làm tê liệt và gây hỗn loạn cho một thành phố. Cuộc sống văn minh của nhân loại không thể tồn tại khi thiếu vắng năng lượng. Theo thống kê, hiện nay hơn 85 % năng lượng được cung cấp từ dầu hỏa và khí đốt. Nhưng việc thu hoạch từ các giếng dầu sẽ đạt đến mức tối đa trong khoảng năm 2010-2015, sau đó sẽ đi xuống vì nguồn nhiên liệu sẽ cạn kiệt cùng năm tháng. Người ta cũng tiên đoán nếu dầu hỏa được tiếp tục khai thác với tốc độ hiện nay, kể từ năm 2050 lượng dầu được sản xuất sẽ vô cùng nhỏ và

không đủ cung cấp cho nhu cầu toàn thế giới. Như vậy, nguồn năng lượng nào sẽ thay thế cho “vàng đen”? Các nhà khoa học đã và đang tìm kiếm những nguồn năng lượng vô tận, sạch và tái sinh (renewable energy) như: năng lượng từ mặt trời, gió, thủy triều, nước (thủy điện), lòng đất (địa nhiệt) v.v...

Trong những nguồn năng lượng này có lẽ năng lượng mặt trời đang được lưu tâm nhiều nhất. Những bộ phim tài liệu gần đây cho thấy ở các vùng hẻo lánh, nghèo khổ tại Ấn Độ hay châu Phi, cư dân tràn ngập hạnh phúc khi có điện mặt trời thấp sáng màn đêm hay được sử dụng các loại nồi năng lượng mặt trời để nấu thức ăn. Dù vậy, cho đến nay con người vẫn chưa đạt được nhiều thành công trong việc chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng vì một phần mật độ năng lượng mặt trời quá loãng, một phần phí tổn cho việc tích tụ năng lượng mặt trời còn quá cao. Nếu tính theo mỗi kilowatt-giờ (năng lượng 1 kilowatt được tiêu thụ trong 1 giờ) thì phí tổn thu hoạch năng lượng mặt trời là 0,30 đô-la Mỹ. Trong khi đó năng lượng từ gió là 0,05 đô-la và từ khí đốt thiên nhiên là 0,03 đô-la. Một hệ thống chuyển hoá năng lượng mặt trời cung cấp đủ điện năng cho một căn nhà ở bình thường tốn ít nhất 18.000 đô-la (giá 2005). Chỉ cần yếu tố tài chính không thôi cũng đủ để làm người tiêu thụ tránh xa việc sử dụng năng lượng mặt trời. Hệ quả là tại những

nước tiên tiến như Mỹ, điện lực được tạo từ năng lượng mặt trời từ các tế bào quang điện (photovoltaic cell; photo = quang, voltaic = điện) chỉ chiếm 0,02 %^[1]. Tuy nhiên, điều đáng mừng là thị trường năng lượng mặt trời toàn cầu trị giá 10 tỷ đô-la/năm và tăng 30 % hằng năm nhờ vào các kết quả nghiên cứu làm giảm giá tế bào quang điện^[2].

Bài viết sẽ tổng kết những kỳ tích trong lĩnh vực cực kỳ quan trọng này trong nửa thế kỷ vừa qua.

8.2 Silicon và các chất bán dẫn vô cơ

Vật liệu chính cho tế bào quang điện được dùng để chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng là silicon (Si). Silicon là một nguyên tố nhiều thứ hai sau oxygen trên quả địa cầu. Đây là cũng là một nguồn thiên nhiên phong phú gần như vô tận. Nó chiếm gần 30 % của vỏ quả đất dưới dạng silica (SiO_2), và là một hợp chất chính trong cát. Nhìn xung quanh, ta thấy tính hữu dụng của silica hiện hữu từ công nghệ "thấp" như bê tông, thủy tinh đến công nghệ cao như transistor, chip vi tính và các linh kiện điện tử khác. Có thể nói rằng silicon, hay đi từ nguyên thủy - cát, là xương sống của nền văn minh hiện

¹ E. Cartlidge, "Bright outlook for solar cells", Physics World, 20 (7) (2007) 20.

² N. S. Lewis, Science, 315 (2007) 98.

đại. Nói khác hơn, ngoài đá cát của thiên nhiên, ta thấy sự hiện diện của nguyên tố silicon ở hầu hết tất cả mọi nơi từ những tòa nhà chọc trời đến những linh kiện điện tử thu nhỏ cho máy vi tính ở thang nanomet (nhỏ hơn sợi tóc 100.000 lần).

Năm mươi năm trước, cùng một lúc với sự phát minh của silicon transistor, pin mặt trời (hay là pin quang điện) silicon được chế tạo tại Bell Labs (Mỹ). Pin này có khả năng chuyển hoá năng lượng mặt trời sang điện năng với hiệu suất là 6%. Một con số tương đối nhỏ so với hiệu suất lý thuyết tối đa cho silicon là 31%, nhưng đây là một thành quả đầy ấn tượng cho bước đầu nghiên cứu về pin mặt trời. Nhóm nghiên cứu của giáo sư Martin Green (University of New South Wales, Úc) hiện nay đã đạt kỷ lục 24,7%.

Cho đến ngày hôm nay, những đặc tính cơ bản của pin quang điện mặt trời này vẫn không có nhiều thay đổi; 95% các hệ thống, dụng cụ dùng tế bào quang điện chế tạo từ silicon với hiệu suất trung bình 15%. Có ba loại silicon được dùng làm pin mặt trời: đơn tinh thể (monocrystalline), đa tinh thể (polycrystalline) và vô định hình (amorphous). Phần lớn các pin mặt trời hiện nay xuất hiện trên thương trường vẫn là pin của thế hệ thứ nhất (first-generation cell) dùng silicon đơn tinh thể có hiệu suất

chuyển hoá 18 %. Sản phẩm đòi hỏi silicon đơn tinh thể phải có độ nguyên chất đạt đến 99,9999 % (6 con số 9) thậm chí 99,99999999 % (11 con số 9), và quá trình chế tạo cần nhiệt độ cao để làm tan chảy silicon. Độ nguyên chất phải ở mức gần như tuyệt đối để bảo đảm sự di động dễ dàng của điện tử tạo ra dòng điện. Hai yêu cầu khó khăn này đẩy giá thành lên cao và vì vậy không được áp dụng rộng khắp.

Pin dùng silicon đa tinh thể và vô định hình thuộc thế hệ thứ hai. Silicon đa tinh thể được chế tạo ít tốn kém hơn vì không cần đạt đến độ nguyên chất như đơn tinh thể. Nhưng đa tinh thể nhiều đường biên tinh thể (crystalline boundary) cản trở sự di động của điện tử nên làm giảm hiệu suất của pin (12-15 %). Ngoài ra, silicon vô định hình có thể được xem là vật liệu trong việc sản xuất pin mặt trời giá rẻ. Một trong những ưu điểm là khác với silicon tinh thể, silicon vô định hình có thể làm thành phim mỏng vừa ít tốn kém nguyên liệu, vừa có khả năng hấp thụ năng lượng mặt trời 40 lần cao hơn silicon đơn tinh thể; phim silicon dày 1 μm có thể hấp thụ gần 90 % bức xạ mặt trời. Tuy nhiên, vì bản chất vô định hình, hiệu suất chuyển hoá thành điện chỉ bằng phân nửa hiệu suất của silicon đơn tinh thể. Điều này cũng dễ hiểu. Vô định hình như một nắm tóc rối nùi, trong khi tinh thể như một mái tóc được chải mượt mà. Hiệu suất tùy vào sự di động của

điện tử và sự di động này tạo ra dòng điện. Đương nhiên độ di động của điện tử trong một môi trường có một trật tự cao hơn so với một không gian vô định hình ngẫu nhiên như một mê cung.

Dù vậy, silicon vô định hình vẫn là loại vật liệu được ưa chuộng nhờ vào giá rẻ để chế tạo mái ngói hoặc các panô (panel) quang điện cho nhà ở hoặc các cao ốc, công thự. Ngoài silicon vô định hình với lợi điểm tạo thành phim mỏng, pin mặt trời thuộc thế hệ thứ hai bao gồm các loại hợp chất bán dẫn như indium diselenide đồng và cadmium telluride được phủ lên thủy tinh. Các loại bán dẫn này có giá rẻ hơn rất nhiều so với silicon đơn phân tử nhưng có khuyết tật cấu trúc nên hiệu suất không cao.

Việc phát triển mọi ngành công nghệ đều tập trung vào việc giảm giá thành. Công nghệ pin mặt trời cũng không phải là ngoại lệ. Ngoài việc phổ cập hóa silicon vô định hình, cải thiện quá trình sản xuất silicon đơn tinh thể đã làm giảm giá vật liệu này. Nhờ vậy, giá điện mặt trời đã giảm 20 lần trong 30 năm qua. Nếu chiều hướng này tiếp tục thì trong vòng 25 năm tới giá sẽ giảm đến 0,02 đô-la/kWh. Với sự trợ giúp của công nghệ nano, người ta dự đoán rằng đến năm 2050 thì năng lượng mặt trời sẽ cung ứng 25 % nhu cầu năng lượng của nhân loại [1].

8.3 Nguyên lý của pin mặt trời

Nguyên lý của pin mặt trời là hiệu ứng quang điện (photoelectric effect). Hiệu ứng quang điện được xem là một trong những phát hiện to lớn của Einstein. Hiệu ứng này mô tả khả năng của ánh sáng (quang) khi được chiếu trên bề mặt vật liệu có thể đánh bật điện tử (điện) ra khỏi bề mặt này. Để giải thích hiệu ứng quang điện, Einstein đưa ra khái niệm quang tử (photon). Ánh sáng là những quang tử được bắn lên vật liệu để tổng điện tử của vật liệu thành điện tử tự do. Sự di động của các điện tử này sẽ cho ta dòng điện.

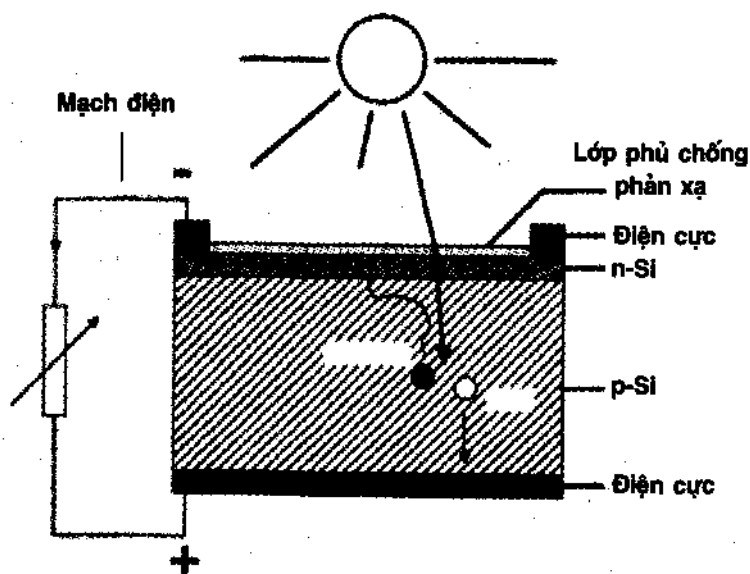
Vật liệu silicon nguyên chất là một mạng nối kết các nguyên tử silicon và mạng này trung tính về điện nên không hữu dụng. Khi silicon được kết hợp một lượng nhỏ (vài phần triệu) "chất tạp", mạng sinh ra điện tích. Silicon mang điện tích là vật liệu cho nhiều áp dụng cực kỳ quan trọng. Khi silicon kết hợp với chất tạp (dopant) có khả năng lấy điện tử (electron acceptor) từ mạng silicon, mạng silicon sẽ có những lỗ trống mang điện tích dương (+). Đây là p-silicon (p = positive, dương). Lỗ trống (+) vốn dĩ là "nhà" của điện tử, cho nên khi điều kiện cho phép, điện tử sẽ chiếm đóng trở lại. Mặt khác, khi silicon được kết hợp với chất tạp có khả năng cho điện tử, mạng silicon sẽ dư điện tử. Đây là n-silicon (n = negative, âm).

Silicon dùng trong mọi linh kiện điện tử (thí dụ: transistor, đèn diode) là một vật liệu hỗn hợp liên kết giữa p-silicon và n-silicon. Có thể nói rằng p- và n-silicon đã tạo ra một cuộc cách mạng khoa học ở thế kỷ 20 và đã cho nhân loại nền văn minh silicon.

Như một quy luật thiên nhiên trong vạn vật, sự tiếp cận âm dương lúc nào cũng cho ta nhiều điều thú vị. Khi p-silicon tiếp cận với n-silicon, vùng chuyển tiếp (junction) giữa hai vật liệu này sẽ sinh ra một điện áp tự nhiên (0,7 V). Khi quang tử của ánh sáng mặt trời chạm vào mạng silicon, nó sẽ đánh bật điện tử ra khỏi mạng thành điện tử "vô gia cư" và để lại lỗ trống (+) trên mạng. Tuy nhiên, sau khi bị quang tử tấn công cặp điện tử và lỗ trống (+) vẫn còn "quyến luyến" vì lực hút Coulomb nên không chịu rời nhau! "Dầu lìa ngó ý, còn vương tơ lòng"! Cặp điện tử và lỗ trống (+) còn gọi là exciton. Chỉ có những cặp gần vùng chuyển tiếp mới bị điện áp vùng biên kéo cả hai ra xa để lỗ trống (+) đi về phía p-silicon và điện tử đi về phía n-silicon. Bây giờ, điện tử mới thật sự tự do di động để cho ra dòng điện.

Hình 8.1 cho thấy cấu trúc của pin mặt trời silicon. Vùng chuyển tiếp hay là mặt tiếp xúc giữa p-silicon và n-silicon rất rộng để tạo ra nhiều khả năng để cặp điện tử và lỗ trống (+) có nhiều cơ hội chia ly. Thật ra, đây chỉ là

cuộc chia ly tạm thời vì điện tử đi đường vòng ra ngoài tạo nên dòng điện, “bọc hậu” trở lại p-silicon tìm lại bạn xưa! Cứ như thế, khi ánh sáng chiếu liên tục, ta sẽ có dòng điện liên tục để sử dụng.

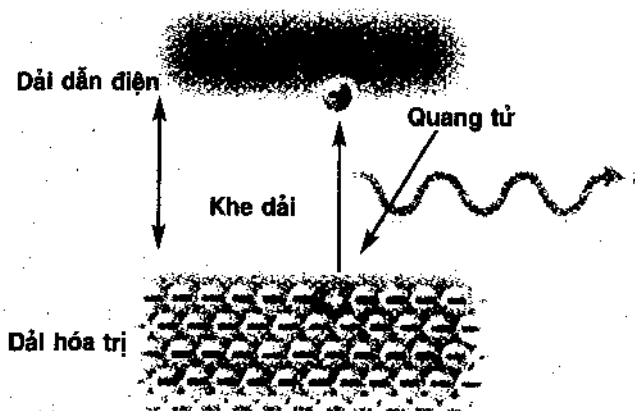


Hình 8.1: Cấu trúc của pin mặt trời silicon và cơ chế tạo ra dòng điện.
Chấm đen là điện tử e^- ; chấm trắng là lỗ trống h^+ [3]

³ W. C. Sinke, MRS Bulletin, October 1993, pp. 18.

8.4 Tối ưu hóa hiệu suất chuyển hoá

Quang tử mang nhiều năng lượng khác nhau và chỉ có quang tử mang năng lượng lớn hơn một mức độ nhất định nào đó thì mới có khả năng đánh bật điện tử ra khỏi mạng silicon để trở thành điện tử tự do. Vậy mức độ nhất định đó là gì? Mức độ này chẳng qua là trị số khe dải năng lượng (energy band gap) của silicon. Khái niệm dải năng lượng điện tử (electronic energy band) và khe dải năng lượng đã được đề cập trong Chương 2. “Đánh bật” là một từ nói cho tượng hình, nhưng để hiểu một cách khoa học hơn ta phải dùng đến khái niệm khe dải năng lượng. Các điện tử chiếm đóng ở dải hóa trị (valence band) khi có một kích hoạt (thí dụ: quang tử) tác dụng, điện tử sẽ nhảy qua khe dải chiếm cứ dải dẫn điện (conduction band). Vì vậy quang tử phải mang một năng lượng ít nhất bằng hoặc hơn trị số khe dải để “nâng” điện tử từ dải hóa trị đến dải dẫn điện. Khi điện tử ở dải dẫn điện rồi, điện tử sẽ trở thành điện tử tự do tạo ra dòng điện (Hình 8.2). Khe dải của silicon có trị số khoảng 1,1 eV tương đương với năng lượng của tia hồng ngoại. Phổ ánh sáng mặt trời bao gồm tia hồng ngoại (năng lượng <1,7 eV), ánh sáng thấy được (1,7-3,3 eV) và tia tử ngoại (>3,3 eV). Như vậy, phần lớn ánh sáng mặt trời từ tia hồng ngoại đến tia tử ngoại đều có khả năng đánh bật điện tử ra khỏi mạng silicon.



Hình 8.2: Quang tử trong ánh sáng mặt trời “đánh bật” và nâng điện tử lên dải dẫn điện để lại lỗ trống (+) ở dải hóa trị. Cặp (+)(-) (lỗ trống - điện tử) còn gọi là exciton.

Hiệu suất lý thuyết tối đa 31 % đề cập bên trên được định đoạt bởi trị số khe dải 1,1 eV của silicon. Bởi vì ta cần một năng lượng “đánh bật” 1,1 eV, những quang tử có năng lượng nhỏ hơn 1,1 eV không thể dự phần, và quang tử có năng lượng lớn hơn sẽ bị thất thoát đi phần dư thừa ở dạng nhiệt. Hai nguyên nhân này đưa đến sự thất thoát 69 % năng lượng mặt trời trong silicon do trị số khe dải. Đó là chưa kể sự thất thoát gây ra bởi cấu trúc vật liệu (tinh thể hay vô định hình), phản xạ bề mặt và phương pháp sản xuất. Nếu ta dùng những vật liệu bán dẫn với những khe dải khác nhau và liên kết những vật liệu này thành một cấu trúc chuyển tiếp đa tầng (multi-junction)

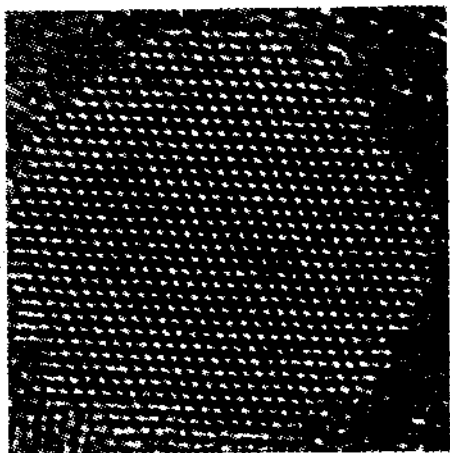
để hấp thụ quang tử mặt trời ở các mức năng lượng khác nhau, hiệu suất chuyển hoá sẽ phải gia tăng.

Năm 2002, các nhà khoa học tại Viện Nghiên cứu Quốc gia, Lawrence Berkeley National Laboratory (Mỹ), thiết kế các hợp chất bán dẫn chứa indium (In), gallium (Ga) và nitrogen (N) cho đèn phát quang diode. Như đã đề cập ở Chương 4, trong cơ chế phát quang của đèn diode, ta cho dòng điện tạo ra sự kết hợp giữa điện tử và lỗ trống (+) trong chất bán dẫn để tạo ra ánh sáng. Cơ chế của pin mặt trời có thể xem là một hiện tượng nghịch lại vì ánh sáng làm phân ly điện tử và lỗ trống (+) để cho ra dòng điện. Khi hợp chất bán dẫn InGaN được chế tạo, các nhà khoa học Mỹ khám phá ra là bằng sự điều chỉnh tỉ lệ của In và Ga, khe dải của hợp chất InGaN có thể biến thiên liên tục từ 0,2 đến 3,4 eV bao gồm toàn thể quang phổ mặt trời. Các nhà khoa học ở Lawrence Berkeley vừa làm vật liệu cho đèn diode vừa cho pin mặt trời. Một công hai việc. Trở ngại chính là sự tốn kém trong việc sản xuất, cấu trúc này vì vậy không thể trở thành một sản phẩm phổ cập. Nhưng nếu tiền bạc không phải là vấn đề quan trọng như trong một số áp dụng đặc biệt chẳng hạn như cho vệ tinh, các loại pin này là nguồn điện hữu hiệu để vận hành vệ tinh. Chỉ cần kết hợp hai tầng InGaN được thiết kế có khe dải 1,1 eV và 1,7 eV, hiệu suất dễ dàng đạt đến 50%. Mười hai tầng InGaN có khe dải bao gồm toàn thể quang phổ mặt trời sẽ cho hiệu suất 70%.

Gần đây (năm 2006), một số chất bán dẫn đã được thiết kế để tối ưu hóa trị số khe dải, gia tăng hiệu suất và đồng thời giảm giá thành sản xuất. Trong một cuộc triển lãm quốc tế về năng lượng mặt trời (2006), công ty Sharp Solar (Nhật Bản), một trong những công ty lớn và uy tín trên thế giới sản xuất pin mặt trời, đã ra mắt một panô pin mặt trời có hiệu suất đột phá 36 % mà vật liệu là hợp chất bán dẫn của các nguyên tố ở cột III (aluminium, gallium, indium) và cột V (nitrogen, arsenic) trong bảng phân loại tuần hoàn. Không chịu thua, cũng vào năm 2006 công ty Boeing - Spectrolab (Mỹ) dùng chất bán dẫn với một công thức được giữ bí mật có thể chuyển hoá 41% năng lượng mặt trời. Mười tháng sau đó, viện nghiên cứu quốc gia Lawrence Berkeley National Laboratory (Mỹ) lại chế tạo một loại pin mặt trời dùng chất bán dẫn zinc-manganesetellium với hiệu suất 45 %. Những con số này đầy ấn tượng, nhưng phải nói rằng panô của Sharp Solar dù ở 36% nhưng đã đạt tới trình độ hữu dụng của một thương phẩm về giá trị thực tiễn cũng như giá cả.

Hiện nay, việc tối ưu hóa những vật liệu hiện có để nâng cao hiệu suất và tìm kiếm những hợp chất bán dẫn mới với các trị số khe dải thích hợp thúc đẩy đã phát triển trong lĩnh vực sản xuất nên làm giảm giá thành. Nền công nghệ nano đang là chủ lực để đạt những mục tiêu nhiều tham vọng này. Một trong những ý tưởng nano là

chế tạo hằng tỷ tế bào pin mặt trời ở kích thước nanomet gọi là chấm lượng tử (quantum dot), thay vì dùng từng mảng vật liệu như hiện nay. Nhóm của giáo sư Martin Green (University of New South Wales, Australia) lần đầu tiên chế biến thành công trong phòng thí nghiệm pin mặt trời silicon mang cấu trúc chấm lượng tử với hiệu suất đạt đến gần con số lý thuyết 31% [1]. Chấm lượng tử silicon thật ra là tinh thể nano silicon. Tiến sĩ Arthur Nozik thuộc Viện Nghiên cứu Năng lượng Tái sinh (Mỹ) (National Renewable Energy Laboratory) cũng đã chế tạo thành công tập hợp chấm lượng tử silicon (Hình 8.3). Mỗi chấm có bán kính khoảng 7 nm, chứa 50-70 nguyên tử silicon. Thông thường một quang tử đánh bật một điện tử, nhưng ở thứ nguyên nano cực nhỏ này, một quang tử khi va chạm vào chấm lượng tử có thể sinh ra hai, ba điện tử tự do. Kết quả là ta sẽ có nhiều điện tử tạo ra dòng điện. Theo Nozik, nhờ vào hiệu ứng đa điện tử của chấm lượng tử silicon, hiệu suất chuyển hoá có thể đạt hơn 60%, gấp đôi con số lý thuyết 31% của trường hợp một quang tử cho một điện tử. Tuy nhiên, để trở thành một sản phẩm thông dụng, người ta dự đoán phải cần một thời gian từ 10 đến 15 năm. Chúng ta hãy kiên nhẫn chờ xem.



Hình 8.3: Tập hợp chấm lượng tử (tinh thể nano) silicon. Mỗi chấm có đường kính 7 nm và chứa 50-70 nguyên tử silicon (Nguồn: Tiến sĩ Arthur Nozik).

8.5 Polymer mang nối liên hợp và fullerene

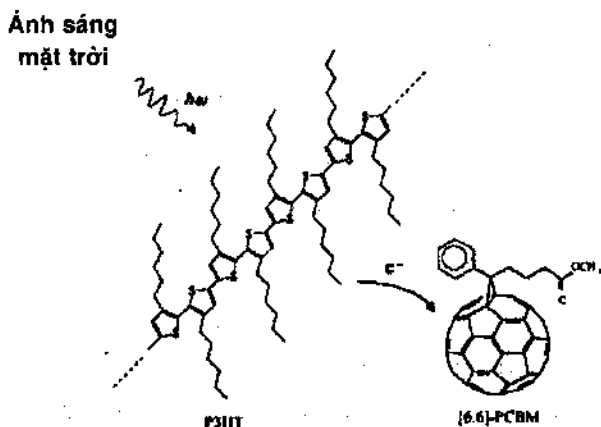
Cơ chế biến năng lượng mặt trời thành dòng điện thật ra là một cơ chế đơn giản. Nó trải qua một tiến trình như sau: (1) điện tử bị quang tử “đánh bật” ra khỏi “nhà” của mình (mạng vật liệu) để lại một lỗ trống (+); (2) vì điện tử có điện tích âm (-) và lỗ trống mang điện dương (+) nên cặp âm dương (+)(-), hay là lỗ trống - điện tử (exciton) (Hình 5.1 và 5.2), không chịu rời nhau do lực hút tĩnh điện và (3) cặp (+)(-) phải được tách rời để điện tử hoàn toàn tự do đi lại cho ra dòng điện. Thiếu một trong ba quá trình này, dòng điện không xảy ra. Trong trường hợp silicon và các chất bán dẫn vô cơ khác, như đã đề cập bên

trên, vùng chuyển tiếp (junction) giữa p-silicon và n-silicon là nơi phân ly cặp (+)(-).

Cũng như trong các áp dụng đèn phát quang, sự đổi màu điện học (Chương 4), các ứng dụng quang học và quang điện tử đều liên hệ đến khe dải năng lượng, vật liệu hữu cơ được đặc biệt chú trọng nhờ vào các phương pháp tổng hợp đơn giản, gia công dễ dàng, tạo được phim mỏng và có thể thiết kế để có những trị số khe dải khác nhau. Những lợi điểm này làm giảm giá sản xuất và tạo điều kiện cho sản xuất quy mô lớn. Trong pin mặt trời dùng vật liệu hữu cơ, nguyên tắc chính là sự di chuyển điện tử từ một polymer/phân tử cho điện tử (electron donor) đến một polymer/phân tử nhận điện tử (electron acceptor). Sự di chuyển của điện tử sẽ tạo thành dòng điện. Chuyện nghe đơn giản nhưng làm không đơn giản! Lý do chính là làm sao để điện tử có thể di động thoải mái để tạo dòng điện và không còn “quyến luyến” với các lỗ trống (+) lúc nào cũng chập chờn chờ đợi sự tái kết hợp.

Một trong những pin mặt trời hữu cơ là pin mặt trời polymer/ fullerene (thí dụ: quả bóng đá C60) (Chương 5). Polymer là các polymer mang nối liên hợp (viết tắt: polymer liên hợp) (- C = C - C = C -) như polyacetylene (PA), polypyrrole (PPy), polyaniline (PAn), polythiophene (PT), poly (phenylene vinylene) (PPV) v.v... và các poly-

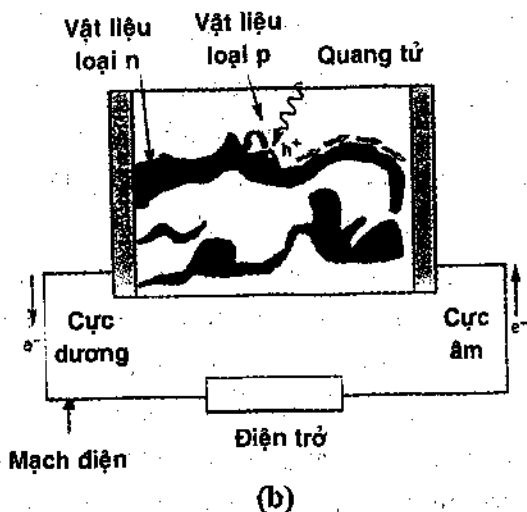
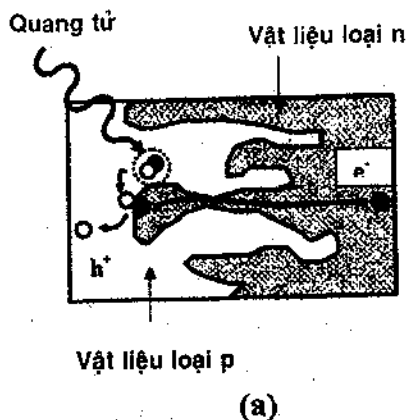
mer dẫn xuất. Cũng nên nhắc lại là polymer liên hợp khi kết hợp với dopant sẽ trở thành polymer dẫn điện. Điện tử π trong nối liên hợp một lần nữa thể hiện vai trò quan trọng của nó. Khi có một kích hoạt bên ngoài, chẳng hạn như quang tử của ánh sáng mặt trời, polymer mang nối liên hợp “phóng thích” các điện tử π và để lại nhiều lỗ trống (+) trên mạch polymer. Vì vậy, polymer liên hợp được gọi là vật liệu loại p (p-type, p = positive = dương). Ngược lại, fullerene là vật liệu nhận điện tử rất hiệu quả; sau khi nhận điện tử fullerene mang điện tích âm nên được gọi là vật liệu loại n (n-type, n = negative = âm) (Hình 8.4). Trong silicon ta cũng có p-silicon và n-silicon.



Hình 8.4: Quang tử trong ánh sáng mặt trời đánh bật điện tử ra khỏi mạch polymer của poly (3-hexylthiophene) (P3HT) và được nhận bởi [6,6]-PCBM C60 (một chất dẫn xuất của C60).

Kích bản chuyển hoán năng lượng mặt trời thành dòng điện trong các vật liệu hữu cơ cũng tương tự như silicon. Những quang tử sẽ đánh bật điện tử ra khỏi mạng của vật liệu p tạo ra cặp âm dương (+)(-) (cặp điện tử - lỗ trống). Những cặp này khuếch tán, "rong chơi" trong vật liệu và chỉ có những cặp ở gần vùng chuyển tiếp p-n (p-n junction) thì mới có cuộc phân ly "chia loan rẽ thúy"! Sau khi chia lìa, điện tử sẽ di động trong vật liệu n tiến đến cực dương và lỗ trống (+) di động trong vật liệu p tiến đến cực âm (Hình 8.5a). Dòng điện xuất hiện.

Như vậy, để gia tăng hiệu suất chuyển hoán, diện tích của mặt (tiếp xúc) chuyển tiếp giữa hai vật liệu p và n cần phải được cực đại hóa. Vì mặt chuyển tiếp là nơi tiếp xúc của hai vật liệu khác nhau nên được gọi là mặt chuyển tiếp dị chất (hetero-junction). Đối với các vật liệu hữu cơ việc cực đại hóa chỉ cần một phương pháp đơn giản là trộn (blend) hai vật liệu này tạo thành một composite. Để cho sự di chuyển của điện tử và lỗ trống (+) đến điện cực không bị ùn tắc giữa đường, mô dạng (morphology) composite cần có những đường vân liên tục của vật liệu p và n đan xen vào nhau (interpenetrating) và tiếp nối đến điện cực để điện tử và lỗ trống (+) đi đến nơi đến chốn (Hình 8.5b). Ngoài ra, vật liệu phải nguyên chất (silicon có độ nguyên chất cao hơn 99,99 %) bởi vì chất tạp trở thành rào cản chặn đứng sự di động của điện tử và lỗ



Hình 8.5: (a) Tiến trình phân ly của cặp lỗ trống - điện tử (h^+ và e^-) tại mặt chuyển tiếp giữa vật liệu p và n^[4]. (b) Điện tử (e^-) đi theo đường vân vật liệu n tiến đến cực dương, và lỗ trống (h^+) theo đường vân vật liệu p tiến đến cực âm^[5]. Dòng điện xuất hiện.

⁴ S. R. Forrest, MRS Bulletin, January 2005, pp. 28.

⁵ R. Gómez and J. L. Segura, J. Chem. Edu., 84 (2007) 253.

trống (+). Đây là những đòi hỏi nhiều thử thách trong pin mặt trời hữu cơ.

Sự lựa chọn vật liệu loại p rất quan trọng vì nó là nguồn cung cấp điện tử cho pin. Nhưng tại sao lại phải là polymer liên hợp? Lý do chính là polymer liên hợp có tính bền trong vùng ánh sáng thấy được, có thể tạo thành phim mỏng ở đơn vị micromét (một phần ngàn mm) đến nanomét (một phần triệu mm) nhưng vẫn có thể hấp thụ ánh sáng rất hiệu quả. Khe dải của những polymer liên hợp tiêu biểu có trị số trong khoảng 1,5 - 2,5 eV nằm trong vùng quang phổ của ánh sáng mặt trời. Một ưu điểm khác là khe dải có thể được thiết kế có trị số nhỏ hơn (~ 1 eV) để lợi dụng các quang tử có năng lượng thấp. Sự điều chỉnh khe dải được áp dụng rất hiệu quả cho đèn phát quang polymer (PLED) (Chương 4). Đây là một ưu điểm vượt trội của polymer liên hợp vì có thể thực hiện dễ dàng hơn các chất bán dẫn vô cơ. Dùng phương pháp tổng hợp hóa hữu cơ ta có thể điều chỉnh trị số khe dải bằng cách gắn những nhóm biên (functional group) vào mạch polymer để thay đổi cấu trúc phân tử hay tạo ra polymer liên hợp mới. Có thể nói là ngành hóa hữu cơ "cổ lỗ" bỗng nhiên được hồi sinh nhờ vào những đòi hỏi của công nghiệp điện tử. Sự lựa chọn vật liệu loại n cũng không kém phần quan trọng. Vật liệu này sẽ nhận điện tử và kích thích sự phân ly của cặp (+)(-). Trong một danh sách dài của các vật liệu loại n có khuynh

hướng thu hút điện tử cực mạnh, ta có thể chọn các loại phân tử, những oxide với cấu trúc nano như TiO_2 , ZnO , hạt nano bán dẫn (semiconducting nanoparticles) và fullerene.

Hiện nay, vật liệu loại p đang được nghiên cứu là chất dẫn xuất của PPV, poly [methoxy-(dimethyloctyloxy)-phenylene vinylene] (MDMO-PPV) và chất dẫn xuất của PT, poly (3-hexylthiophene) (P3HT), và vật liệu loại n thông dụng là chất dẫn xuất của C_{60} , PCBM C_{60} (Hình 8.4). Composite MDMO-PPV/PCBM C_{60} , composite P3HT/PCBM C_{60} và các composite khác đã được khảo luận tỉ mỉ trong bài báo cáo tổng kết pin mặt trời hữu cơ của Mozer và Sariciftci^[6]. Ảnh hưởng của mô dạng composite đến hiệu suất chuyển hoá được phân tích trong bài báo cáo của Yang và Loos^[7]. Hai bài báo cáo xuất sắc này cho thấy những đóng góp kiên trì của các nhà khoa học vào sự phát triển của pin mặt trời hữu cơ hơn 10 năm qua, từ một hiệu suất khiêm tốn 0,1 % cho đến ngày hôm nay tăng đến 5-6 % tương đương với hiệu suất của phim silicon vô định hình. Dù con số này chỉ bằng 1/10 của các hợp chất bán dẫn vô cơ "siêu hạng" được đề cập bên trên, các loại pin hữu cơ mỏng, mềm dẻo, giá rẻ, nhẹ và bền có

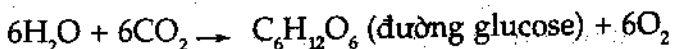
⁶ A. J. Mozer and N. S. Sariciftci, Chapter 10 "Conjugated Polymer-Based Photovoltaic Devices", in Handbook of Conducting Polymers ed. 3 (edited by T. A. Skotheim and J. Reynolds), December 2006, CRC Press, Marcel Dekker.

⁷ X. Yang and J. Loos, *Macromolecules*, 40 (2007) 1353.

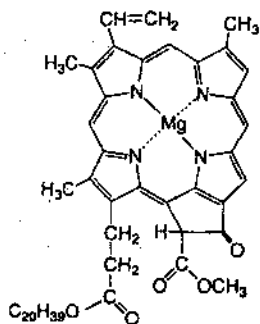
thể sản xuất hàng loạt bằng phương pháp in phun như đã làm cho đèn phát quang polymer (PLED).

8.6 Pin mặt trời từ thuốc nhuộm

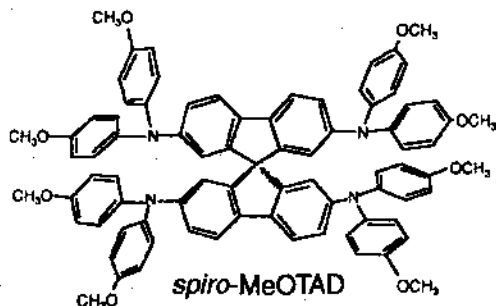
Cái tựa đề nghe có vẻ hoang tưởng nhưng đây là một sản phẩm được mô phỏng từ Mẹ thiên nhiên. Loại pin này bắt chước quá trình quang hợp trong thực vật. Phản ứng quang hợp xảy ra trong lá cây với sự hiện diện của ánh sáng mặt trời và diệp lục tố (chlorophyll) biến nước được cung cấp từ rễ và carbon dioxide (CO_2) từ không khí thành đường glucose (năng lượng) và oxygen theo một công thức đơn giản,



Diệp lục tố cho màu xanh của lá, là chất xúc tác của phản ứng trên biến năng lượng mặt trời thành hóa năng dưới dạng đường, duy trì sự sống còn của thực vật. Diệp lục tố nhận năng lượng mặt trời, hay nói một cách khác, quang tử mặt trời đánh bật điện tử π của diệp lục tố thành điện tử tự do gây ra những phản ứng dây chuyền để cuối cùng tạo ra đường. Thật ra, diệp lục tố là thuốc nhuộm thiên nhiên do sự hấp thụ ánh sáng hiển thị màu xanh. Thuốc nhuộm spiro-MeOTAD dùng trong pin mặt trời và diệp lục tố có cấu trúc vòng rất giống nhau mang nối liên hợp với những điện tử π kỳ diệu (Hình 8.6).



Chlorophyll



Hình 8.6: Cấu trúc nối liên hợp của diệp lục tố (chlorophyll) và thuốc nhuộm spiro-MeOTAD.

Nhóm của giáo sư Michael Grätzel (Swiss Federal Institute of Technology, Thụy Sĩ) là nhóm tiên phong nghiên cứu về pin thuốc nhuộm từ năm 1991. Ông và cộng sự viên dùng thuốc nhuộm (thí dụ: spiro-MeOTAD) làm vật liệu loại p (cho điện tử) và oxide bán dẫn TiO_2 làm vật liệu loại n (nhận điện tử). Ngoài ra, các oxide bán dẫn khác như ZnO , Nb_2O_5 , SnO_2 cũng đã được khảo sát. Đặc điểm của TiO_2 là giá rẻ, rẻ hơn rất nhiều so với silicon. Tuy nhiên, cũng như trường hợp pin polymer liên hợp - fullerene, vùng chuyển tiếp giữa hai vật liệu p và n phải được cực đại hóa. Hiệu suất của pin thuốc nhuộm không có gì gây ấn tượng cho đến khi Grätzel và cộng sự chế biến thành công tinh thể nano TiO_2 ở thứ nguyên nanomet (15-20 nm). Đây là một bước đột phá kỹ thuật. Tinh thể nano TiO_2 có thể

phủ lên điện cực dưới dạng phim có những lỗ vi mô (micropores) với độ dày 5-20 μm với diện tích tiếp xúc rất lớn. Nhờ những lỗ vi mô này một gram phim tinh thể TiO_2 có bề mặt là 80-200 m^2 , tương đương với một sân tennis! Các phân tử thuốc nhuộm len lỏi vào những lỗ vi mô làm diện tích của vùng chuyển tiếp dị chất (hetero-junction) gia tăng hơn 1.000 lần và nhờ vậy sự phân ly cặp (+)(-) trở nên cực kỳ hiệu quả.

Giáo sư Grätzel cho biết pin thuốc nhuộm của nhóm ông đạt đến hiệu suất 11 % tiến đến hiệu suất của silicon đa tinh thể và có thể sản xuất với giá 3 đến 4 lần rẻ hơn pin silicon. Một thành tích đầy ấn tượng cho pin mặt trời hữu cơ.

8.7 Lời kết

Kể từ lúc pin silicon đơn tinh thể, pin mặt trời thuộc thế hệ thứ nhất, xuất hiện ở đầu thập niên 50 của thế kỷ trước đến pin silicon vô định hình và các hợp chất bán dẫn vô cơ thuộc thế hệ thứ hai và các loại pin hữu cơ dựa vào sự di động của điện tử π thuộc thế hệ thứ ba, các nhà khoa học đã đi một đoạn đường dài trong việc lợi dụng năng lượng mặt trời tạo ra điện năng. Công nghệ nano đang và sẽ góp phần không nhỏ vào việc hoàn thiện dụng cụ này. Ngoài những áp dụng thực tiễn, trong quá

trình nghiên cứu và phát triển pin mặt trời các nhà khoa học và vật liệu học đã khám phá ra những điều thú vị trong việc tạo ra những vật liệu hiệu quả, tối ưu hóa việc chuyển hoá năng lượng với những ứng biến linh động dựa trên khe dải năng lượng và mô dạng trong các composite cho trường hợp của các vật liệu hữu cơ.

Với những thành quả nghiên cứu, các loại pin mặt trời dù được làm từ chất vô cơ hay hữu cơ càng ngày sẽ càng hiệu quả và càng giảm giá. Theo các chuyên gia, trong sân chơi "năng lượng mặt trời", không có trở ngại kỹ thuật nào mà không thể vượt qua nếu các nhà khoa học được cung cấp tài chính dồi dào để tiếp tục phát huy. Nhưng có thực sự là năng lượng mặt trời sẽ đóng vai trò chủ chốt trong các loại năng lượng tái sinh khác trong tương lai? Vấn đề chính của pin mặt trời là sự đòi hỏi những khoảng đất rộng lớn để cài đặt những panô pin cho việc cung cấp điện. Trở ngại thứ hai là việc tồn trữ điện cho những ngày mưa phải cần đến một kỹ năng khác mà hiện giờ vẫn chưa có một giải đáp thỏa đáng.

Trở trêu thay, Nhật Bản - một nước đất hẹp người đông - lại là một quốc gia đứng đầu thế giới về năng lượng mặt trời. Công ty Sharp Solar (Nhật Bản) đang đổ tiền đầu tư để tiến hành một dự án xây những thiết bị pin mặt trời có khả năng sản xuất 100 gigawatts (100 tỷ watts) vào năm 2030, tương đương với 30 lần công suất của toàn

thế giới hiện nay ^[1]. Cái táo bạo của người Nhật Bản cho ta một niềm lạc quan vào tương lai của năng lượng mặt trời. Tuy có những chướng ngại cơ bản về đất đai để thiết lập panô pin và việc tồn trữ điện, điện lượng tiêu thụ của con người trong 20, 30 năm tới không ít thì nhiều phải dựa vào dạng năng lượng này.

Từ khi thái dương hệ xuất hiện, những tia sáng mặt trời truyền đến mặt đất bị hoang phí đã hằng tỷ năm. Hơn nửa thế kỷ qua, cơ học lượng tử đã giúp loài người đạt được nhiều kỳ tích "đuổi bắt" những tia sáng kỳ diệu này. Thêm nửa thế kỷ sắp tới, việc khai thác năng lượng mặt trời đặt các nhà nghiên cứu khoa học trước nhiều thử thách trong việc chọn lựa vật liệu và tối ưu hóa cấu trúc của tế bào quang điện, nhưng bù lại sẽ mang đến cho nhân loại những dụng cụ tiện ích và rất nhiều khám phá kỳ thú. Trong khi đó, mặt trời của chúng ta vẫn ung dung rực cháy.

Thay lời kết

Mỗi buổi sáng khi đến cơ quan làm việc, cứ mỗi lần mở máy vi tính đọc tin tức cập nhật khoa học, tôi lại thấy những kết quả nghiên cứu mới, đầy thú vị bao gồm nhiều lĩnh vực của polymer dẫn điện, fullerene và ống than nano nhất là trong công nghệ nano. Và khi những dòng chữ này được viết, nền khoa học kỹ thuật trên thế giới đang đi những bước đi vạm vỡ. Có những lúc tôi cảm thấy như bị áp đảo và không khỏi mang cảm giác bé nhỏ trước những thành quả khoa học ưu việt. Những bước đi không ngừng này là kết quả của sự sáng tạo, tư duy phân tích, tổng hợp, cộng với nỗ lực cá nhân cũng như tập thể và những tháng ngày cặm cụi trong phòng thí nghiệm của các nhà khoa học khắp nơi trên thế giới. Liên tiếp từ thế hệ sang thế hệ khác, sự đóng góp của từng cá nhân có thể không đồng đều nhưng tùy theo khả năng của mình cùng xây dựng lên tòa nhà khoa học lộng lẫy.

Có những tình cờ đưa đến những phát hiện vĩ đại trong khoa học, tạo ra những bước đột phá ngoạn mục

như polymer dẫn điện, fullerene và ống than nano. Nhưng đó không phải là việc ngẫu nhiên từ trên trời rơi xuống mà là phát xuất từ một thái độ làm việc nghiêm túc, tỉ mỉ, cẩn thận. Vì vậy, trong nghiên cứu khoa học cũng như trong quá trình tạo ra một sản phẩm dựa trên các kết quả nghiên cứu, tư tưởng đậm màu du kích "đi tắt đón đầu" là một điều xa lạ và không phải là phong cách làm việc của các nhà khoa học.

Từ một phát hiện trong phòng thí nghiệm đến một sản phẩm trên thương trường là một con đường dài đầy chông gai, nhiều lúc chỉ là những ngõ cụt, vì việc tạo ra sản phẩm hữu dụng cần nhiều điều kiện khác ngoài những ưu điểm khoa học. Theo thống kê, cứ 5.000 ý tưởng khoa học thì sẽ có 1.000 ý tưởng khả thi thực nghiệm. Trong 1.000 thực nghiệm thì sẽ có 100 cho ta những khám phá mới. Trong số 100 này chỉ có một vài đề tài có thể biến thành những sản phẩm hữu dụng. Như vậy, xác suất để có một sản phẩm đi từ một ý tưởng khoa học sẽ nhỏ hơn 0,1%! Có phải chăng các kết quả của nghiên cứu cơ bản tốn kém chỉ cho ta những điều hiểu biết mông lung không thực tế? Không hẳn vậy. Khoa học cần sự tích lũy tri thức và tri thức để phục vụ con người. Đây là hai vế của một phương trình trong đó nghiên cứu cơ bản là quá trình biến tiền thành tri thức, sáng tạo sản phẩm là quá trình biến tri thức thành tiền.

Thế kỷ 20 đã là thời đại của chất bán dẫn vô cơ. Tôi tin rằng thế kỷ 21 sẽ là thế kỷ của vật liệu hữu cơ. Những tiềm năng, bí ẩn của vật liệu này vẫn là những thách thức triền miên, có có không không như một mê cung, đang chờ đợi con người khám phá và sử dụng.

**Giới thiệu những cuốn sách mới
của Tủ sách Kiến thức
(Saigon Times Foundation)**

**VẬT LIỆU TIÊN TIẾN: TỪ POLYMER DẪN
DIỆN ĐẾN ỚNG THAN NANO**
của tác giả *Trương Văn Tân*

KINH TẾ HỌC VỀ MÔI TRƯỜNG
của tác giả *Philippe Bontems, Gilles Rotillon,*
dịch giả: *Nguyễn Đôn Phước*

KHÍ HẬU BIẾN ĐỔI
của tác giả *S. Rahmstorf và Hans J. Schellnhuber,*
dịch giả: *Trang Quan Sen*

HOÀNG SA, TRƯỜNG SA LÀ CỦA VIỆT NAM
của tác giả *Nguyễn Nhã, Nguyễn Đình Dầu,*
Lê Minh Nghĩa, Từ Đặng Minh Thu,
Vũ Quang Việt.

VẬT LIỆU TIÊN TIẾN: TỪ POLYMER DẪN ĐIỆN ĐẾN ỐNG THAN NANO

Trương Văn Tân

Chịu trách nhiệm xuất bản:

TS. QUÁCH THUN NGUYỆT

Biên tập:

HẢI VÂN

Bìa:

BÙT NAM

Sửa bản in:

THANH VIỆT

Kỹ thuật in:

XUÂN THẾ

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

161B Lý Chính Thắng - Quận 3 - Thành phố Hồ Chí Minh

ĐT: 9316289 - 9350973 - 9316211 - 8465595 - 8465596

Fax: 84.8.8437450 - E-mail: nxbtre@hcm.vnn.vn

Website: <http://www.nxbtre.com.vn>

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI

Số 20 ngõ 91 Nguyễn Chí Thanh, Q. Đống Đa, TP. Hà Nội

ĐT: (04) 7734544 - Fax (04) 7734544

E-mail: vanphongnxbtre@hn.vnn.vn

Khổ 13x19cm, Số 163-2008/CXB/16-09/Tre. Quyết định xuất bản số: 204A/QĐ-Tre, ngày 15 tháng 02 năm 2008. In 3.000 cuốn, tại Công ty cổ phần in Thanh Niên, 62 Trần Huy Liệu-Q.PN-TP.HCM. In xong và nộp lưu chiểu tháng 02 năm 2008.

<http://tieulun.hopto.org>

Trong ngôn ngữ đời thường, những cái tên như "plastic" hay "than" thoáng nghe qua không gây ra sự chú ý tò mò, nhưng trên thực tế, chúng đang tạo nên một cuộc cách mạng khoa học vô tiền khoáng hậu trong lịch sử loài người. Các nhà khoa học dùng những vật liệu hữu cơ này để chế tạo ra đèn phát quang diode, pin mặt trời, màn hình cực mỏng, hay thu nhỏ những linh kiện điện tử như transistor đến thứ nguyên nanomet – những dụng cụ mà nguyên tố vô cơ silicon là nguyên liệu chính hơn 50 năm qua.

Thế kỷ 20 đã đi vào lịch sử nhân loại với nền văn minh silicon. Nền công nghệ nano đang bùng nổ xuất hiện trong buổi bình minh của thế kỷ 21. Polymer (plastic) dẫn điện, quả bóng đá C60 và ống than nano là đối tượng của công nghệ nano. Quyển sách này là tập hợp những câu chuyện khoa học về ba loại vật liệu hữu cơ tiên tiến này, được tác giả viết dựa vào các thành quả nghiên cứu đăng trên những tạp chí chuyên ngành nổi tiếng quốc tế và được cập nhật đến năm 2007, với một lời văn dễ hiểu và nhiều lúc không kém phần dí dỏm.

Thuật ngữ "plastic", "than" bị dung tục hóa cho ta một hình ảnh của cô bé Lọ Lem, nhưng với những bước đi vũ bão của khoa học kỹ thuật, liệu những vật liệu này sẽ biến thành một nàng công chúa cực kỳ diễm lệ trong lâu đài khoa học của thế kỷ 21? Mời bạn đọc đi vào các chương sách để tìm kiếm dấu vết của giai nhân!