

www.mientayvn.com

Graphene là một loại phân tử cấu tạo từ các nguyên tử cacbon liên kết với nhau trong một cấu trúc tinh thể đồng nhất. Nó có thể có hình dạng như một tấm kim cương có kích thước nguyên tử hoặc một chuỗi cacbon và các liên kết của chúng. Có quy mô nguyên tử làm cho các nguyên tử cacbon và trái ngược lại. Tên gọi này bắt nguồn từ graphite + ene; Chính graphite bao gồm nhiều tấm graphene chồng lên nhau.

Chiều dài liên kết carbon-carbon trong graphene là khoảng 0,142 nm. Graphene là một cấu trúc cơ bản của một số dạng thù hình cacbon bao gồm than chì, các ống nano carbon và fullerenes.

Sơ lược

Một cách ngắn gọn để định nghĩa phi kỹ thuật là nó có mặt trong một bình luận này về graphene:

Graphene là một loại phân tử cấu tạo từ các nguyên tử cacbon liên kết vào một tấm kim cương hai chiều (2D), và là một thành phần cơ bản của nguyên tử cacbon graphite cũng như các dạng thù hình khác. Nó có thể gói lên thành ống nano fullerenes, cuộn lại thành ống nano 1D hoặc xếp chồng lên nhau thành than chì.

Trước đó, graphene cũng được định nghĩa trong lĩnh vực hóa học như sau: Một loại carbon duy nhất có cấu trúc graphite có thể coi như là thành viên cuối cùng của loạt Naphthalen, Anthracen, coronene, v.v. và graphene thì hình thành vì vậy nên các số đồng vị của cacbon cá nhân các hợp chất như n. Số đồng vị của graphene hình thành cũng xem xét cho các thuật ngữ chung của nguyên tử cacbon. [2]

Các quy tắc IUPAC công nhận quốc gia: "trước đây, mô tả, như các loại than chì, loại carbon, hoặc cacbon đã được sử dụng cho các graphene hình thành... nó không phải là chính xác sử dụng cho một loại duy nhất mà nhiều hơn, bao gồm các graphite hình thành, trong đó số bao hàm một cấu trúc ba chiều của graphene hình thành nên chỉ sử dụng khi các phân tử, quan hệ kết cấu hoặc các tài sản khác của các loại riêng biệt có thể phân biệt được." Vì vậy, trong tài liệu này, graphene sẽ được gọi là một alternant vô hình (chỉ có vòng carbon sáu thành viên) polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). Các phân tử lớn nhất của loại này bao gồm 222 nguyên tử và có 10 vòng benzen trên. [3] Nó đã chứng minh

khó khăn trong hợp các phân tử th m chí h i l n h n, và h v n còn "m t gi c m c a nhi u nhà hóa h c h u c và polyme" [4]. H n n a , ab Initio tính toán cho th y m t t m graphene là nhi t ng không n nh i v i các c u trúc khác fullerene n u kích th c c a nó là ít h n kho ng 20 nm ("graphene là c u trúc n nh cho n khi ít nh t kho ng 6.000 nguyên t " và tr thành m t trong nh ng n nh nh t (nh trong graphite) ch cho kích th c nguyên t l n h n 24.000 carbon) [5].

Ngoài ra, m t nh ngh a c a "cô l p ho c mi n phí ng graphene" g n ây ã c xu t: "graphene là m t máy bay nguyên t duy nh t c a than chì, trong ó, và i u này là c n thi t-là phân l p t môi tr ng c a nó s c coi là mi n phí- ng" [6.] nh ngh a này là h p h n so v i các nh ngh a nh trên và c p n tách, chuy n giao và ình ch monolayers graphene. các hình th c khác c a graphene, nh graphene tr ng trên các kim lo i khác nhau, c ng có th tr thành mi n phí- ng n u chuy n n, ví d nh , SiO2 ho c b ình ch . M t ví d m i c a graphene cô l p là graphene trên SIC sau khi th ng c a nó v i hydro. [7]

Ph bi n và s n xu t

Trong v n h c, c bi t là c a c ng ng khoa h c b m t, graphene c ng ã c g i chung là n l p graphite. C ng ng này ã m nh m nghiên c u graphene epitaxy trên các b m t khác nhau (h n 300 bài báo tr c n m 2004). Trong m t s tr ng h p, các l p graphene là cùng v i các b m t y u (do Van der Waals l c l ng) gi l i hai chi u c u trúc ban nh c i n t c a graphene cô l p, [17] [18] nh c ng x y ra [8] v i m nh graphene exfoliated v i i silicon dioxide. M t ví d v y u cùng epitaxy graphene là m t trong nh ng tr ng trên silicon carbide (xem d i ây).

Graphene là b n ch t là m t máy bay nguyên t b cô l p c a than chì. Vi v y, t quan i m này, graphene ã c bi t n k t khi phát minh ra tinh th h c tia X. Graphene máy bay tr nên t t h n tách ra h p ch t graphite xen. N m 2004 nhà v t lý t i h c Manchester và Vi n Công ngh vi i n t , Chernogolovka, Nga, tìm th y m t cách cô l p các máy bay cá nhân b ng cách s d ng graphene Scotch b ng và h c ng o tính ch t i n t c a các m nh thu c và cho th y ch t l ng tuy t v i c a h . [8] N m 2005 Manchester cùng m t nhóm cùng v i các nhà nghiên c u t i h c Columbia (xem ch ng L ch s d i ây) ã ch ng minh r ng quasiparticles trong graphene c massless fermions Dirac. Nh ng phát hi n này ã d n n s bùng n c a l i su t trong graphene.

K t ó, hàng tr m nhà nghiên c u ã i vào khu v c và, t nhiên, h th c hi n vi c tìm ki m r ng rãi cho các gi y t có liên quan tr c ó. Vi c xem xét v n h c u tiên

Các nhà nghiên cứu tiên phong Manchester mình [1]. Họ trích dẫn một số thí nghiệm trong đó graphene hoặc siêu mỏng lớp epitaxially graphitic được tạo ra trên chất nền khác nhau. Ngoài ra, họ cũng đưa ra một số tài liệu năm 2004 báo cáo trong đó có xen các hợp chất chì đã được nghiên cứu trong một kính hiển vi điện tử truyền qua. Trong trường hợp thứ hai, các nhà nghiên cứu quan sát đôi khi rất mỏng như graphitic ("vài lớp graphene" và lớp mỏng chỉ có thể cá nhân). Một nghiên cứu chi tiết đưa vào lớp graphene vài ngày trước là vào năm 1962 [9]. Nghiên cứu hình ảnh đầu tiên của TEM vài lớp graphene đã được xuất bản bởi G. Ruess và F. Vogt năm 1948 [10]. Tuy nhiên, DC Brodie đã nghiên cứu các cấu trúc cao lamellar của oxit graphite nhiệt độ trong năm 1859. Nó được nghiên cứu bởi V. Kohlschütter và P. Haenni năm 1918, người cũng đã mô tả propertites của oxit graphite [11].

Đó là bằng chứng về sự tồn tại của các mảnh nhỏ của tấm graphene được sản xuất (cùng với sự lắng đọng các mảnh khác) bất cứ khi nào graphite là abraded, chứng minh rằng khi vận hành máy bơm vi mô bút chì [12]. Có rất ít quan tâm đến lĩnh vực này graphitic trước năm 2004 / 05, và do đó, sự phát hiện của graphene là thành quả quy cho Andre Geim và đồng nghiệp [13] người đã giành giải thưởng graphene trong thế kỷ này, mặc dù nó có thể là một phần của nghiên cứu này là chính xác như attributing sự phát hiện của graphene cho M. S. Dresselhaus và R. E. Smalley ở Columbus.

Trong năm 2008 graphene được sản xuất bằng exfoliation là một trong những vật liệu tốt nhất trên Trái đất, vì một mét vuông có thể được tạo ra từ một tấn than chì với tốc độ của con người chỉ phí nhỏ hơn \$ 1,000 vào tháng 4 năm 2008 (khoảng \$ 100,000,000 / cm²). [12] Vì vậy, sau đó, thị trường exfoliation đã thu hút sự chú ý, và bây giờ các công ty bán graphene bằng tấn. [14] Một khác, giá của graphene epitaxy trên silicon carbide bằng tấn chỉ bằng giá của than chì, đó là khoảng \$ 100/cm² như năm 2009. graphene Ngay cả hiện nay đã được sản xuất bằng chuyển kho n t niken bởi các nhà nghiên cứu Hàn Quốc, [15] và kích thước wafer lên đến 30 "báo cáo. [16]

Vấn đề về tính khả thi của phương pháp

Số liệu của graphene đã dẫn đến sự bùng nổ nghiên cứu hiện hành. Trên đây, Ví dụ về máy bay nguyên tử thế kỷ 21 "coi là không tồn tại" [8], vì họ là nhiệt độ không ổn định trên quy mô nm [5], và nếu không có sự hỗ trợ, có một xu hướng di chuyển và khóa [4]. Hôm nay, tin rằng thực tế về roughening trên quy mô 1 nm có thể là quan trọng vì sự ổn định của các tính chất hoàn toàn 2D. [20].

Năm 2004, các nhà nghiên cứu người Anh thu được graphene bằng exfoliation của than chì. Họ sử dụng băng keo Scotch để liên tục chia thành những miếng graphite tinh

th ngày càng mỏng hơn. Các bóng vi mô quang học thu được minh bạch đã hòa tan trong acetone và, sau một vài bước nữa, những màng bao gồm monolayers lắng đọng trên một wafer Si. máy bay cá nhân nguyên tử sau đó được chuyển vào kính hiển vi quang học. Một năm sau, các nhà nghiên cứu đã tinh chế các kết tinh và bột siêu dẫn bằng cách sấy khô, tránh giai đoạn khi graphene tồn tại trong chất lỏng. Trong điều kiện tinh thể (ở đầu tiên, chỉ có một vài micron trong kích thước màng, cu cùng, lớn hơn 1 mm và có thể nhìn thấy bằng mắt thường) được thu được bằng kết tinh này. Nó thường được gọi là một bóng scotch hoặc bóng vụn bằng phương pháp. Tên thay đổi xuất hiện bởi vì lớp sấy khô tạo ra một bề mặt vi mô như graphite. [19] Chìa khóa cho sự thành công có lẽ là việc sử dụng thông tin quang học cao hình ảnh công nghệ của graphene trên chất nền của chất thích hợp, cung cấp một tính năng như những ánh sáng chú ý quang. Điều kiện ví dụ về những gì graphene trông giống như, xem hình ảnh của nó dưới đây.

Không chỉ graphene mà còn một số phi- những máy bay nguyên tử của nitrua bo, mica, dichalcogenides và oxit phosphor đã thu được bằng cách sử dụng phương pháp này. [21] Không giống như graphene, các 2D vật liệu khác cho đến nay đã thu hút sự chú ý đáng kể tự nhiên chút.

Epitaxy trên nền tảng trên silicon carbide

Tuy nhiên phương pháp khác là silicon carbide nóng về nhiệt độ cao (> 1100 ° C) làm gì mà nó graphene [22] Quá trình này. Trong một kích thước mà phương pháp này vào kích thước của SiC chất nền sử dụng. Bằng một cách nào đó của silic sử dụng tạo graphene, các silicon-chemodit hoặc carbon-chemodit, rất nhiều những ngày, tính di động và một số tàu sân bay của graphene này.

Nhiều tài liệu graphene quan trọng đã xác định trong graphene của sự xuất hiện phương pháp này. Ví dụ, ban đầu của nó, cấu trúc (cái gì là cấu trúc hình nón Dirac) đã được hình dung đầu tiên trong tài liệu này. [23] [24] [25] chúng yêu cầu là phân tích, quan sát thực tế trong tài liệu này và không có trong graphene exfoliated sự xuất hiện phương pháp theo dõi bút chì [26]. Vô cùng lớn, mobilities nhiệt độ cao đã được quan sát trong graphene epitaxy SiC. Hình thức của những gì trong graphene exfoliated trên oxit silic như vậy nên phải là nhiều so mobilities trong graphene bình thường sự xuất hiện theo phương pháp này. Đó là thí nghiệm này chỉ ra rằng ngay cả khi không có chuyển giao tang vật graphene trên SiC tài liệu của massless fermions Dirac như hiệu ứng Hall lượng tử bất thường [27] [28] [29] [30] [31].

Các van der Waals yếu liên kết cũng cung cấp các liên kết của mạng xấp xỉ graphene là một

giới pháp của hi-rizin tinh khiết (methyl peroxide hóa học của nitơ và hi-rô), làm giảm các gốc oxy của graphene vào lớp graphene.

Một công bố gần đây đã mô tả một quy trình sản xuất 1 gram graphene, bởi vì các gốc ethanol bằng kim loại natri, tiếp theo là nhiệt phân của sản phẩm ethoxide, và rửa bằng nước loại bỏ muối natri. [40]

Sodium gốc ethanol

Tổng hợp các ống nano

phương pháp thử nghiệm sản xuất bằng graphene các báo cáo bao gồm các ống nano [41] Trong phương pháp như một trong các ống nano carbon và vách các cột mở ra giới pháp bằng cách hành động của permanganat kali và axit sulfuric.. [42] Trong một phương pháp các nanoribbons graphene sản xuất huyết động học của các ống nano những một phần trong một bộ phim polymer

Tài liệu sản

[Sơ lược cấu trúc nguyên tử

Các cấu trúc nguyên tử của graphene lớp đơn nguyên tử, đã được nghiên cứu bởi kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) trên tấm graphene lớp đơn nguyên tử kim loại [20] mô hình nhiễu xạ nhiễu xạ. Cho thấy các mạng tinh thể lục giác mong đợi của graphene. Hình ảnh graphene cho thấy "loang" của tấm bằng phẳng, với biên độ khoảng một nanomet. Những góc sóng có thể được chế tạo graphene là kết quả của sự bất đồng của các tinh thể hai chiều, [1] [44] [45] hoặc có thể ở bên ngoài, có ngu ngơ cấu trúc bất đồng nhìn thấy trong tất cả các hình ảnh TEM của graphene. Nguyên tử có phân bố không gian hình chóp của lớp graphene lớp đơn nguyên tử, trên chất nền silicon dioxide đã thu được [46] [47] bằng cách quét kính hiển vi nguyên tử. Graphene có thể bị biến dạng bằng cách sử dụng kỹ thuật in thạch bản có bao phủ bằng lớp photoresist, phiến làm sạch có các nguyên tử có phân bố không gian hình chóp. [46] như vậy để có thể là adsorbates "" quan sát trong hình ảnh TEM, và có thể giới thiệu loang của graphene treo. Loang của graphene trên bề mặt silicon dioxide có xác định bằng cách gắn graphene vào silicon dioxide bề mặt, và không có hiệu ứng nhiễu xạ nhiễu xạ. [46]

Graphene tấm đơn nguyên tử ($\rho > 1 \text{ g/cm}^3$) thường thể hiện bằng cách nặng trong nhiễu xạ cho 0,34 nm của graphite (002) không giới hạn. Điều này ứng ngay các cột của carbon nanoribbon cấu trúc nano [48]. Tuy nhiên, chỉ vì unlayered graphene (hk0) như

ã c tìm th y trong lõi c a hành graphite presolar. [49] kính hi n vi i n t truy n ng nghi n c u cho th y faceting lúc khuy t t t trong graphene ph ng t , [50] và ngh m t vai trò có th có trong này graphene-unlayered cho k t tinh uôi gai hai chi u t tan ch y.

Tài s n i n t

GNR c u trúc ban nh c zig-zag cho lo i. Tightbinding tính toán cho th y, ngo n ngoèo lo i luôn luôn là kim lo i.

GNR ban nh c c u trúc cho cánh tay-gh lo i. Tightbinding tính toán cho th y lo i gh bành có th c bán d n ho c kim lo i tùy thu c vào chi u r ng (chirality). Graphene là khá khác nhau t v t li u thông th ng nh t ba chi u. N i t i graphene là m t bán kim lo i ho c bán d n zero-kho ng cách. Hi u bi t v c u trúc i n t c a graphene là i m kh i u cho vi c tìm ki m c u trúc ban nh c c a than chì. ó là s m nh n ra r ng m i quan h Ek là tuy n tính cho n ng l ng th p g n sáu góc c a vùng hai chi u Brillouin l c giác, d n n không hi u qu cho các electron và l . [51] [52] Do tuy n tính này (ho c " hình nón ") phân tán n ng l ng liên quan t i th p, các electron và l g n sáu i m này, hai trong s ó là inequivalent, ho t ng gi ng nh các h t t ng i tính mô t b i các ph ng trình Dirac cho spin 1 / 2 h t. [53] [54] Do ó, các electron và l c g i là fermions Dirac, và sáu góc c a vùng Brillouin c g i là các i m Dirac. [53] Ph ng trình mô t quan h Ek là; n i v n t c Fermi $V_F \sim 10^6$ m / s. [54]

V n t i n t

Do phí s h u hai chi u, nó fractionalization (n i ph trách rõ ràng c a pseudoparticles cá nhân trong các h th ng th p chi u ít h n m t l ng t duy nh t [63]) c cho là x y ra trong graphene. Vì v y, có th là m t v t li u phù h p cho vi c xây d ng máy tính l ng t s d ng m ch anyonic. [64] [65]

k t qu th nghi m t các phép o v n t i cho th y graphene có m t ng i n t cao áng k nhi t phòng, v i giá tr báo cáo v t quá $15.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. [1] Ngoài ra, các i x ng c a các d n th c nghi m o ch ra r ng mobilities cho l và i n t nên c g n nh nhau. [52] di ng là g n nh c l p v i nhi t t 10 K và 100 K, [55] [56] [57] có ngh a là c ch tán x chi m u th là khi m khuy t tán x . Tán x b i các phonon âm thanh c a nh ng n i graphene gi i h n n i t i trên di ng nhi t phòng n $200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ lúc v i m t tàu sân bay c a 1.012 cm^{-2} . [57] [58] Các i n tr su t t ng ng c a t m graphene s là 10^{-6} cm^{-2} , ít h n so v i i n tr su t

c a b c, các ch t i n tr su t th p nh t c bi t n nhi t phòng [59] Tuy nhiên., cho graphene trên ch t n n silicon dioxide, tán x i n t c a phonon quang h c c a b m t là m t hi u ng l n h n nhi t phòng h n là tán x b i phonon riêng c a graphene, và gi i h n đi ng n 40.000 cm² V-1-1. [57]

thí nghi m th m dò g n ây ã nh h ng c a dopants hóa h c trên tàu sân bay đi ng trong graphene. [60] [61] Schedin et al. graphene pha t p v i các loài khác nhau khí (m t s acceptors, m t s nhà tài tr), và th y tình tr ng ban u c a m t c u trúc undoped graphene có th c ph c h i b ng cách nh nhàng làm nóng graphene trong chân không. H báo cáo r ng ngay c i v i n ng hóa ch t dopant v t quá 1.012 cm⁻² không có thay i quan sát c trong các ng tàu sân bay [61] Chen., Et al. doped graphene v i kali trong chân không siêu cao nhi t th p. H th y r ng các ion kali ho t ng nh d ki n cho các t p ch t b tính phí trong graphene, [62] và có th làm gi m tính đi ng 20 l n. [60] V i c gi m tính đi ng có th o ng c v s i m các graphene lo i b các kali.

M c dù m t tàu sân bay không g n các i m Dirac, tang v t graphene m t d n t i thi u v trình t $4e^2 / h$. Ngu n g c c a i u này d n t i thi u v n còn ch a rõ ràng. Tuy nhiên, loang c a t m graphene ho c ion hóa các t p ch t trong ch t n n SiO₂ có th d n n v ng n c a ph ng c a hăng cho phép d n. [52] M t s lý thuy t g i ý r ng các d n t i thi u nên c $4e^2 / h$, tuy nhiên, h u h t các phép o c c a $4e^2 l nh / h$ ho c $[h n 1]$ và ph thu c vào n ng t p ch t [60.]

Tính ch t quang h c i u này ã c kh ng nh b ng th c nghi m, nh ng o không chính xác, c i thi n v k thu t khác xác nh c u trúc tinh không i. [68]

G n ây nó ã c ch ng minh r ng bandgap c a graphene có th c i u ch nh 0-0,25 eV (kho ng 5 micron b c sóng) b ng cách áp d ng i n áp n m t bóng bán đ n l p kép dual-c ng tr ng có hi u l c graphene (FET) nhi t phòng. [69]. Nh ng ph n ng quang h c c a nanoribbons graphene c ng c th hi n c du đ ng vào ch terahertz b i m t t tr ng áp d ng

nh c a graphene trong ánh sáng truy n qua ng. Tinh th này dày m t nguyên t có th c nhìn th y b ng m t th ng b i vì nó h p th kho ng 2,3% c a ánh sáng tr ng, mà là l n constant. Graphene m c u trúc c a tài s n duy nh t s n xu t i n t m t m c b t ng cao cho m t n l p nguyên t , v i m t startlingly n gi n giá tr : nó h p th 2,3% c a ánh sáng tr ng, trong ó là h ng s c u trúc tinh

... [66] ... thì đây là "mô hình cấu trúc bất thường của graphene ... [67] ... là một loại khác nhau về phân bố hai bán dẫn". [67] Cấu trúc vào-Slonezewski Weiss-McClure (SWMcC) bán dẫn mô hình carbon chì, không cách gì các nguyên tử, giá trị và tần số hopping hybrid khi đi qua cấu trúc bất thường các phân tử Fresnel trong giới hạn thin-film.

Hạt ... thì ... bão hòa

... là một tính năng như một hạt duy nhất có thể trở thành bão hòa khi chiếu vào quang học là trên một giá trị ngưỡng. Hành vi này cũng là quang học phi tuyến hybrid bão hòa và giá trị ngưỡng cũng là bão hòa trôi chảy. Graphene có thể bão hòa dễ dàng theo kích thích mạnh mẽ hơn nhiều cho khu vực chuyển động, do sự hấp thụ quang phổ và các lỗ trống zero. Điều này có liên quan cho chìa khóa của laser siêu, ni fullband khóa chặt chẽ hơn bất thường cách hybrid bão hòa dựa trên graphene. Do tài sản của bit này, graphene có ngưỡng nhiễu rất nhanh photonic

Spin ... vận chuyển ...

Graphene cũng cho là một vật lý thú vị cho spin do tương tác spin-quỹ đạo và sự vận chuyển của năng lượng như một hạt nhân trong carbon. Điều này spin-hybrid và phát hiện trong thí nghiệm gần đây về tính minh bạch graphene đã lên nên một phòng [73] [74] [75] chi tiết dài gần một micron một phòng thí nghiệm quan sát., [73] và kiểm soát của spin phân cực hybrid vận chuyển của khu vực này quan sát một thí nghiệm. [74]

Hệ thống Hall ...

Các hệ thống Hall là có liên quan cho các tiêu chuẩn độ chính xác của điện trở, và vào năm 1985 Klaus von Klitzing nhận giải Nobel cho khám phá của nó. Hệ thống quan tâm sự phụ thuộc của điện trở ngang trên một transistor, mà là vòng góc vận chuyển của hành mang. Thông thường hiện tượng này, các lượng tử của điện Hall cái gì là xytybist nguyên của sự lượng tử của e^2/h (trong đó e là điện tích tử của và h là hằng số Planck) có thể quan sát thấy chỉ có một số Si hoặc GaAs chất rắn, và một nhiệt độ thấp khoảng 3 K, và một điện trở rất cao.

Không giống như các kim loại bình thường, các kháng theo chi tiết của cho thấy graphene của hiện là các tiêu chí cho các giá trị tách rời của Landau lượng tử trong của Haas Shubnikov-de Haas, trong đó thì hiện tượng thay đổi pha của ...

hi rô hóa đ n n hydrogenated graphene [82]

Hòa tan các mẫu nh v c a graphene có thể c chu n b trong phòng thí nghiệm [81] thông qua các s a i hóa h c c a than chì. Trước tiên, graphite microcrystalline c x lý b ng m t h n h p m nh m có tính axit c a axit sulfuric và acid nitric. M t lo t các b c liên quan n quá trình oxy hóa và k t qu exfoliation trong t m graphene nh v i nhóm carboxyl c nh h . Đây là nh ng chuy n i thành các nhóm clorua axit b ng cách x lý v i clorua thionyl; tiếp theo, chúng c chuy n i thành các amit graphene t ng ng thông qua i u tr b ng octadecylamine. Các v t ch t (l p graphene dày tròn là 5,3 angstrom) hòa tan trong tetrahydrofuran, tetraclomêtan, và dichloroethane.

B i gi i ngân b ôxi hóa và ch bi n than chì hóa h c trong n c, và s d ng các k thu t làm gi y, các m nh n l p t o thành m t t m duy nh t và trái phi u r t m nh m . Nh ng t m, c g i là graphene oxide gi y có m t module o b n kéo c a 32 GPa. [79] Các tài s n hóa ch t c thù c a oxit graphite có liên quan n các nhóm ch c n ng thu c t m graphene. H th m chí áng k có thể thay i l trình c a p h n ng trùng h p và các quá trình hóa h c t ng t . [80]

[S a] Tính ch t c h c

Nhi t phòng g n nhi t đ n c a graphene v a o c gi a $(4,84 \pm 0,44) \times 10^3$ $(5,30 \pm 0,48) \times 10^3$ Wm⁻¹K⁻¹. Các phép o, th c hi n b i m t liên h không quang h c k thu t, c v t quá nh ng o cho các ng nano carbon hay kim c ng. Nó có thể c hi n th b ng cách s d ng pháp lu t Wiedemann-Franz, mà đ n nhi t là phonon-th ng tr [83] Tuy nhiên., i v i m t đ i graphene gated, m t s thiên v c a kh u c áp đ ng gây ra m t s thay i n ng l ng Fermi l n h n nhi u so kBT có thể gây ra s óng góp i n t t ng c ng và th ng tr trên s óng góp phonon nhi t th p. đ n nhi t n o c a graphene là ng h ng. [84]

Ti m n ng đ n i n cao này có thể c xem b ng cách xem xét than chì, m t phiên b n 3D c a graphene có m t ph ng c s đ n nhi t c a h n m t mK 1000 / W (so sánh v i kim c ng). Trong than chì, các c-tr c (trong s máy bay) đ n nhi t trên m t y u t c a ~ 100 nh h n do các l c l ng liên k t y u gi a các máy bay c ng nh c s m ng tinh th kho ng cách l n h n. [85] Ngoài ra, đ n nhi t c a tên l a n o graphene có c hi n th cung c p cho các gi i h n đ i c a conductances nhi t n o, m i n v có chu vi, chi u dài c a ng nano carbon. [86]

M c dù b n ch t 2-D c a nó, graphene có 3 ch phonon âm thanh. Hai ch trong

mặt phẳng (LA, TA) có mối quan hệ tuy nhiên tính phân tán, trong khi ra khỏi máy bay (ZA) có mối quan hệ phân tán bậc hai. Do đó, phụ thuộc vào nhiệt độ T2 đóng góp của các phonon thực tuy nhiên tính chủ yếu là nhiệt độ thấp của T1.5 đóng góp của chúng ra khỏi máy bay [86] Mối liên hệ ban đầu của graphene phonon hiện tại các thông số tiêu chuẩn Grüneisen.. [87] Nhiệt độ thấp (nhiệt độ mà chúng quang học tích cực nhất về các thông số Grüneisen vẫn không bị kích thích) sẽ đóng góp của các tham số Grüneisen tiêu chuẩn của chi phí và mức năng lượng nhiệt (đó là tất cả thu nhập về các thông số Grüneisen) tiêu chuẩn. Các thông số thực nghiệm tiêu chuẩn Grüneisen tăng lên về âm thanh ngang thực nghiệm ZA chúng. Phonon thực nghiệm cho các phonon thực nghiệm về tham số mức năng lượng thực nghiệm trong máy bay kết thúc khi các nguyên tử trong lớp khi kéo dài sẽ ít do di chuyển theo hướng z. Điều này tăng cường hành vi của mặt chu kỳ hiện tại kéo dài sẽ có rung động của biên độ nhô lên và tần số cao hơn. Hiện tượng này, tên là "màng có hiệu ứng", đã được báo bởi Lifshitz vào năm 1952. [88]

Tính toán năm 2009, graphene dường như là một trong những vật liệu mạnh nhất từng được thử nghiệm. Nó có thể chế tạo ra màng graphene có độ bền cơ học gấp 200 lần so với thép [89]. Tuy nhiên, quá trình tách nó từ than chì, nhiệt độ mà nó xuất hiện tự nhiên, sẽ đòi hỏi một sự phát triển công nghệ thực sự khi nó được kinh tế, các ứng dụng trong các quá trình công nghiệp, [90] mặc dù điều này có thể thay đổi. [91]

Sự đo lường tính đàn hồi của nguyên tử (AFM), mùa xuân hàng loạt của tấm graphene bình thường của Graphene, kết thúc với nhau bởi lực van der Waals, sẽ bình thường hơn silicon dioxide sâu hơn, nhiệt độ AFM tip thực nghiệm đo kiểm tra tính chất của nó. Mùa xuân của nó liên tục trong khoảng 1-5 N / m và của Young module là 0,5 TPA, mà khác với các chỉ số thông thường. Nhưng giá trị này cao làm graphene rất mềm và dễ dàng. Các tính chất nhiệt độ có thể dẫn đến cách sử dụng graphene cho NEMS ứng dụng như cảm biến áp lực và cảm biến nhiệt độ. [92] Graphene làm cho một cảm biến thực nghiệm về do cấu trúc 2D của nó. Thực tế là toàn bộ khối lượng của nó tập trung vào xung quanh của nó làm cho nó rất hiệu quả phát hiện các phân tử hấp phụ. Phân tử phát hiện là gián tiếp: là một phân tử khí adsorbs vào bề mặt của graphene, vị trí của kính hiển vi hấp thụ thực nghiệm thay đổi trên bề mặt phẳng. Trong khi hiện tượng này xảy ra trong các vật liệu khác, graphene là cao do của nó dẫn đến cao (ngay cả khi các tàu sân bay ít có mặt) và tăng cường thực nghiệm mà làm cho thay đổi này trong kháng điện trở phát hiện. [61]

[S a] Graphene nanoribbons

[S a] Các phân tử phát hiện khí

[S a] Ti m n ng ng d ng

Graphene nanoribbons (GNRs) chủ yếu là 1 p duy nhất của graphene cắt theo hình thức cho nó mất sự tính liên tục. Tùy thuộc vào cách các cạnh ngoi quan sát của hình, họ có thể có trong một cấu trúc hình ống nano hoặc dải băng. Các tính toán dựa trên mô hình giá trị ràng buộc cho thấy GNRs nano ngoài kim loại trong khi họ có thể là kim loại hoặc bán dẫn, tùy thuộc vào chiều rộng của họ. Tuy nhiên, một tính toán lý thuyết gần đây cho thấy các nanoribbons dải băng bán dẫn với một tính liên tục và vị trí cách nhau của các GNR [93] Thử nghiệm, K. T. Qu. Thử nghiệm cho thấy rằng làm thế nào để cách vị trí của chiều rộng GNR [94] Tuy nhiên., vào tháng 2 năm 2008, không có kết quả thử nghiệm nào về cách làm việc của GNR và xác định cấu trúc chính xác. Ngoài nano ngoài bán dẫn và hiện tượng spin phân cực của 2D của họ, độ dài và nhiệt độ, và tính liên tục của họ làm cho GNRs là một giải pháp cho liên kết liên tục tích hợp. Một số nghiên cứu đang thực hiện để mở rộng các hình thức của cách thay đổi chiều rộng của GNRs từ các hiện tượng confinement, ribbon liên tục mở ra. [95]

[S a] Graphene bóng bán dẫn

Một thách thức của tất cả các nguyên tử liên kết, các khu vực của graphene có thể bị nhiễu loạn và di chuyển. Mặc dù biên độ nhiễu loạn này có thể bao gồm trong cấu trúc 3D (ngay cả trong giới hạn kích thước vô hạn), như lý thuyết Mermin-Wagner cho thấy, biên độ nhiễu loạn dài hạn sẽ phát triển logarithmically với quy mô của một cấu trúc 2D, và do đó sẽ không bị chặn trong các cấu trúc có kích thước vô hạn. Sự nhiễu loạn biên độ nhiễu loạn là negligibly nhỏ hơn với sự phân kỳ này từ xa trong thuyết nhiễu loạn. Chúng ta tin rằng một cấu trúc 2D liên tục, trong trường hợp không áp dụng nhiễu loạn, sẽ ổn định và hợp lý xung quanh một thành phần cấu trúc 3D dao động. Các nhà nghiên cứu đã quan sát nhiễu loạn sóng trong dải băng của graphene, [20] và nó đã xác định được các nhiễu loạn gây ra bởi sự dao động nhiệt trong vật liệu. Như một hệ quả của nhiễu loạn nhiễu loạn liên tục, đó là gây tranh cãi liệu graphene thực sự là một cấu trúc 2D. [1] [44] [45]

Hiện tại, việc thực hiện các bóng bán dẫn graphene hiện nay cho thấy rất nghèo nàn trên-off, các nhà nghiên cứu đang cố gắng tìm cách cải thiện. Trong năm 2008 các nhà nghiên cứu của AMICA và Viện Manchester đã chứng minh rằng việc chuyển đổi liên tục trong lĩnh vực thị trường graphene, có hiệu suất. Việc này có hiệu suất chuyển đổi là dựa trên một số cải tiến hóa học thu nhận hợp chất 1 p graphene và cung cấp cho một tính on-off của sáu nanotube liên tục. Các thị trường chuyển đổi mới có khả năng mở

chiều có thể đáp ứng cho những kỹ thuật nonvolatile. [99]

Do tính chất linh hoạt, graphene cũng thu hút sự quan tâm của kỹ thuật viên nhìn nhận thấy chúng như là một cách xây dựng bóng bán dẫn nano. Graphene cũng triển lãm một phần rõ rệt vòng góc vi điện tử bên ngoài, cho phép một trong xây dựng FETs (transistor hiệu suất cao). Trong bài báo năm 2004 của [8] nhóm Manchester đã chứng minh FETs với "khả năng chuyển on-off" của ~ 30 nghìn lần. Trong năm 2006, các nhà nghiên cứu công nghệ Georgia thông báo rằng họ đã xây dựng thành công một FET pha tạp graphene-vacuum. [96] các thí nghiệm cho thấy rằng thay đổi 2% nhiệt độ ảnh hưởng. Các top-gated FET đầu tiên (on-off tỷ lệ < 2) đã được chứng minh bởi các nhà nghiên cứu của AMICA và RWTH Aachen University trong năm 2007 [97] Graphene nanoribbons. Có thể chứng minh rằng có khả năng thay thế silicon như một chất bán dẫn trong công nghệ hiện đại. [98] Năm 2009 nhà nghiên cứu tại Politecnico di Milano chứng minh bộ logic khác nhau của công nghệ logic, một sáng tác của một bóng bán dẫn graphene duy nhất. [100] Trong cùng năm đó, Viện Công nghệ Massachusetts của các nhà nghiên cứu xây dựng một chip graphene thí nghiệm 6 bit như một transistor nhân. Nó có khả năng thực hiện tính hiệu quả trong các ứng dụng nhúng và sản xuất một tính hiệu quả là một bit sản phẩm. [101] Mặc dù các chip graphene mở ra một loạt các ứng dụng mới, sản xuất chất lượng cao vẫn còn là một thách thức lớn (thông thường, biên độ của tính hiệu quả là khoảng 40 lần ít hơn so với tính hiệu quả vào). Hiện nay, không có những minh chứng cho thấy công nghệ transistor cao hơn 25 GHz.

Trong tháng 2 năm 2010, nhà nghiên cứu tại IBM thông báo rằng họ đã có thể tạo ra bóng bán dẫn graphene với một ngày và tần số tới 100 gigahertz, vượt xa mức giá của những transistor khác, và vượt quá tất cả của silicon. Các bóng bán dẫn graphene thực hiện tại IBM đã chứng minh rằng cách sản xuất còn sinh sản silicon-chip thông minh, có nghĩa là cho các bóng bán dẫn graphene là lựa chọn đầu tiên mà vẫn còn hình dung được, mặc dù hiện nay, thay thế cho silicon. [102]

[S a] m ch tích h p

[S a] Transparent tin hành các in c c

Điện tích lớn, liên tục, minh bạch, và tính hành ánh giá cao bộ phim vài lớp graphene đã sản xuất bằng cách lắng đọng hóa học và sản xuất như là các điện áp ứng dụng trong các thí nghiệm quang điện. Một thí nghiệm đáng kể về chuyển đổi hiệu suất quang (PCE) lên đến 1,71% đã được chứng minh, với 55,2% sản phẩm PCE của một thí nghiệm

điều kiện dựa trên indium-oxide-tin. [111]

Graphene cao cấp in đ n và minh bạch quang cao làm cho nó m t ng c viên cho các i n c c trong su t ti n hành, c n thi t cho các ng d ng nh màn hình c m ng, màn hình tinh thể l ng, các t bào quang i n h u c và h u c i t phát sáng. c bi t, s c m nh c khí c a graphene và tính linh ho t thu n l i so v i ôxít thi c indi, mà là giòn, và phim graphene có th c g i t các gi i pháp trên di n r ng. [109] [110]

M t l p graphene h p th 2,3% c a ánh sáng tr ng [112] i u này s h u ã c s d ng xác nh đ n c a minh b ch k t h p kháng chi n t và minh b ch.. Tham s này c dùng so sánh v t li u khác nhau mà không có vi c s d ng hai tham s c l p. [113]

[S a] Graphene biodevices

[S a] Ultracapacitors

Do di n tích b m t c c k cao t l kh i l ng c a graphene, m t trong nh ng ti m n ng ng d ng trong các t m đ n c a ultracapacitors. Ng i ta tin r ng graphene có th c dùng s n xu t ultracapacitors v i m t l u tr l n h n n ng l ng h n so v i hi n t i ang có s n. [114]

[S a] Tài li u tham kh o cho các c tr ng v t li u electroconductive và minh b ch

hóa h c c a modifiable Graphene, di n tích b m t l n, dày và c u trúc nguyên t phân t -gatable làm cho t m graphene kháng th -functionalized ng viên xu t s c phát hi n ng v t có vú và vi sinh v t và các thi t b ch n oán. [115]

[S a] Pseudo-lý thuy t t ng i

[S a] Ch ng vi khu n

H c vi n Khoa h c Trung Qu c ã tìm th y t m oxide graphene có hi u qu cao trong di t các vi khu n nh Escherichia coli. i u này có ngh a graphene có th có ích trong các ng d ng nh các s n ph m v sinh ho c óng gói mà s giúp gi cho th c ph m t i lâu h n. [117]

Các tính ch t i n c a graphene có th c mô t b ng m t mô hình ch t ch , ràng bu c thông th ng, trong mô hình này, n ng l ng c a các electron v i k wavenumber

là [51] [53]

[L ch s] và th nghi m phát hi n

Các ng d ng sinh h c y tham v ng nh t c a graphene là nhanh chóng, trình t DNA không t n kém i n t . Giá c ph i ch ng và nhanh chóng s p x p b gen là r ng rãi coi là biên gi i l n ti p theo cho khoa h c và cu i cùng s cách m ng cá nhân hoá thu c men và i u tr y t tùy ch nh, cho phép bác s xác nh tính nh y c m di truy n n m t máy ch c a các b nh và tr li u may cho b gen c a m t cá nhân. H i nh p c a graphene (dày 0,34 nm) l p nh nanoelectrodes thành m t [116] nanopore có th gi i quy t m t trong nh ng v n nút c chai c a trình t nanopore d a trên phân t DNA n.

v i hàng xóm g n nh t hopping 0 n ng l ng 2,8 eV và h ng s m ng tinh th m t 2,46 Å. D n và ban nh c hóa tr , t ng ng, t ng ng v i các d u hi u khác nhau trong quan h phân tán trên, h ch m nhau trong sáu i m, các "K-giá tr". Tuy nhiên, ch hai trong s các sáu i m là c l p, trong khi ph n còn l i là t ng ng c a i x ng. Trong vùng lân c n c a i m K-n ng l ng ph thu c tuy n tính trên wavenumber, t ng t nh m t h t t ng i tính. K t khi m t t bào ti u h c c a m ng tinh th có m t c s c a hai nguyên t , hàm sóng th m chí có c u trúc 2-spinor hi u qu . K t qu là, n ng l ng th p, th m chí b qua các spin úng, các i n t có th c mô t b i m t ph ng trình mà là chính th c t ng ng v i ph ng trình Dirac massless. H n n a, trong tr ng h p trình bày này mô t gi c gi i h n t ng i h n chiral, ngh a là, ph n còn l i bi n m t MO i chúng, d n n tính n ng thú v b sung: [53]

các phân t l n h n graphene ho c t (h có th c coi là úng s th t cô l p 2D tinh th) không có th phát tri n ngay c v nguyên t c. M t bài vi t trong V t lý Hô m nay c:

ây VF ~ 106 là v n t c Fermi trong graphene mà thay th v n t c ánh sáng trong lý thuy t Dirac; là vector c a các ma tr n Pauli, là hàm sóng hai thành ph n c a các i n t , và E là n ng l ng c a h . [78]

Các graphene nhi m k u tiên xu t hi n vào n m 1987 [118] mô t t m duy nh t c a than chì là m t trong nh ng thành ph n c a các h p ch t nhu n graphite (GICs); khái ni m m t GIC là m t mu i k t tinh c a intercalant và graphene. Thu t ng này c ng c s d ng trong các mô t u c a ng nano carbon, [119] c ng nh cho graphene epitaxy, [120] và polycyclic aromatic hydrocarbons. [121]

amincal graphite trcây (bắt đầu nghiên cứu năm 1970) trên epitaxially trên
u trang các vật liệu khác. [122] hiện nay "epitaxy graphene" bao gồm một màng
tinh thể lập phương nguyên tử dày các nguyên tử cacbon sp²-ngồi quan, như là
Vật graphene. Tuy nhiên, có phí chuyển như nghiên cứu kết cấu màng graphene
epitaxy, và, trong một số trường hợp, lại tạo, giữa các quầng của các nguyên tử
chuyển và orbital của graphene, trong đó cũng làm thay đổi cấu trúc tinh thể của
graphene epitaxy.

"Lịch sử của graphene diễn ra đáng ngạc nhiên không thể vượt qua các rào cản trong cách tạo
[2D tinh thể] ... mới sinh 2D tinh thể cũng giống như thiêu thân của graphene
và chức năng morph thành một trong những nghiên cứu phong phú của các cấu trúc 3D
như xảy ra trong các muối. Nghiên cứu một cách xung quanh vấn đề. Tác động của các
cấu trúc tinh thể 2D 3D như trong trường hợp ví dụ, ai có thể làm cho tinh thể 2D
kết hợp giữa họ các tinh thể trên u trang của những chiếc máy bay nguyên tử của một tinh thể
số lượng lớn. Vì vậy, graphene đã tồn tại trong than chì ... Một số có thể sau đó hy
vọng sẽ ảnh hưởng đến thiên nhiên và trích xuất các tinh thể nguyên tử dày nhất
thực phẩm mà họ vẫn đang thái nguỵ theo quy trình của sự tạo ra của graphene
cao hiệu suất nhất." [19]

amincal graphite cũng đã được quan sát bởi kính hiển vi điện tử truyền dẫn
trong các tài liệu số lượng lớn (xem Phần bổ sung), trong bột than bên trong các
thủ tục bằng cách exfoliation hóa học [12] cũng đã có một số nỗ lực làm cho
phim rất mỏng của graphite bởi exfoliation cơ khí. (bắt đầu năm 1990 và tiếp tục cho
năm sau năm 2004) [12] nhưng không có gì đáng ngạc nhiên 5-10 lớp các số xuất trong
nghiên cứu qua.

Lý thuyết của graphene lần đầu tiên được khám phá bởi Philip R Wallace vào năm 1947
như là một nghiệm cho sự phân bố của các tính chất điện từ của tinh thể lập phương, 3D
graphite. Các phương trình massless phi tương đương Dirac lần đầu tiên được đưa ra bởi Gordon
W. Semenoff [53] và David P. DeVincenzo và Eugene J. Mele [124] Semenoff. Những
mới nhất xuất hiện trong trường hợp của một cặp Landau điện tích chính xác từ nghiệm
Dirac. Công việc này là chủ yếu trách nhiệm của hai người bạn đồng hành của Hall là người
[76] [77] Sau đó, lập graphene cũng đã được quan sát trực tiếp bằng kính hiển vi
điện tử. [20]

Một tiến quan trọng trong khoa học của graphene là khi Andre Geim và Kostya
Novoselov từ Đại học Manchester quyết định trích xuất các tinh thể nguyên tử dày
(graphene) từ graphite số lượng lớn trong năm 2004. [8] Manchester Các nhà nghiên

c u ã rút ra l p graphene t than chì và chuy n giao chúng vào silicon dioxide m ng trên m t t m wafer silicon trong m t quá trình ôi khi c g i micromechanical cát khai hay, n gi n, các b ng Scotch k thu t. Các silicon dioxide i n cô l p graphene, và là y u t ng tác v i graphene, cung c p g n l p graphene phí trung l p. Các silicon dioxide silicon bên d i có th c s d ng nh m t c a kh u tr l i "" i n c c thay i m t phí trong l p graphene trên m t ph m vi r ng.

K thu t cát khai micromechanical d n tr c ti p n quan sát u tiên c a hi u ng Hall l ng t b t th ng trong graphene, [55] [77] trong ó cung c p b ng ch ng tr c ti p c a giai o n các lý thuy t d oán c a pi Berry massless Dirac fermions trong graphene. Các hi u ng l ng t Hall b t th ng trong graphene ã c báo cáo cùng m t kho ng th i gian c a Geim và Novoselov và b i Philip Kim và Yuanbo Zhang.

G n ây h n, các m u graphene chu n b vào phim niken, và trên m t c silic và carbon m t c a silicon carbide, ã cho th y nh ng b t th ng Hall l ng t tác ng tr c ti p trong các phép o i n. [27] [28] [29] [30] [31] Graphitic l p trên m t carbon c a silicon carbide hi n th m t ph Dirac rõ ràng trong gi i quy t góc photoemission thí nghi m, và các b t th ng Hall l ng t có hi u l c là quan sát th y c ng h ng cyclotron và thí nghi m ng h m. [125] M c dù graphene trên nickel và silicon carbide có c hai t n t i trong các phòng thí nghi m trong nhi u th p k , nó ã c graphene c h c exfoliated trên silicon dioxide ã cung c p các b ng ch ng u tiên v b n ch t Fermion Dirac c a electron trong graphene.

Geim ã nh n c nhi u gi i th ng cho các nghiên c u tiên phong c a ông v graphene, bao g m huy ch ng Mott 2007 cho vi c khám phá ra "c a m t lo i v t li u m i - m i n phí- ng hai chi u tinh th - trong graphene c bi t", nh ng n m 2008 EuroPhysics gi i (cùng v i Novoselov) " phát hi n và cô l p m t l p Vi t- ng n nguyên t c a carbon (graphene) và gi i thích nh ng tài s n áng k i n t c a nó", và gi i th ng cho Körber 2009 "phát tri n [ing] hai chi u tinh th u tiên c làm b ng các nguyên t carbon". Trong n m 2008 và n m 2009, Reuters (mà c ng ch y m t d ch v Web bibliometric Khoa h c) tipped ông là m t trong nh ng ng i ch y phía tr c cho m t gi i th ng Nobel V t lý [123].