

最新科学情報ポッドキャスト番組

ヴォイニッチの科学書

2009年9月19日
Chapter-256 グラフェン
配付資料



<http://www.febe.jp/>

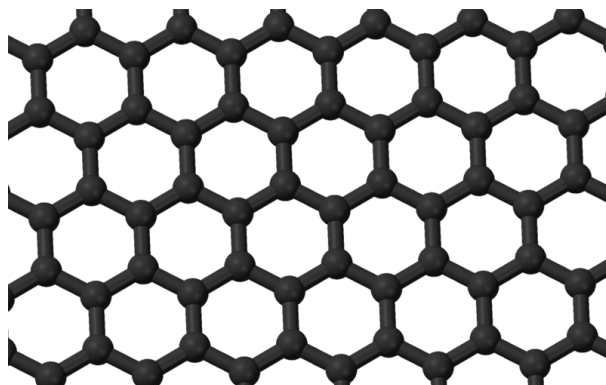
<http://obio.c-studio.net/science/>

グラフェンは、今最も注目されている新素材の一つです。グラフェンは炭素でできており、ものすごい能力を秘めていますので、国内メーカーがこの研究に相次いで乗り出しています。ちょっと聞き慣れない名前のグラフェンですが、実は身近なところに普通に存在しています。たとえば、鉛筆で字を書くと紙の表面にグラフェンに似た構造を持つ炭素がこびりつきます。というのもグラフェンは鉛筆の芯の材料であるグラファイトから生まれるのです¹。

グラファイトは炭素原子だけから成り立っている物質です。構造は単純で、炭素原子でできたフィルムが膨大な量積み重なったような構造をしています²。鉛筆の芯がこのような炭素フィルムの積

み重ねでできていることはずいぶん昔から知られていましたが、そのフィルムを1枚ずつバラバラにする技術が発明されていなかったのがこれまで、さほど注目されることはありませんでした。

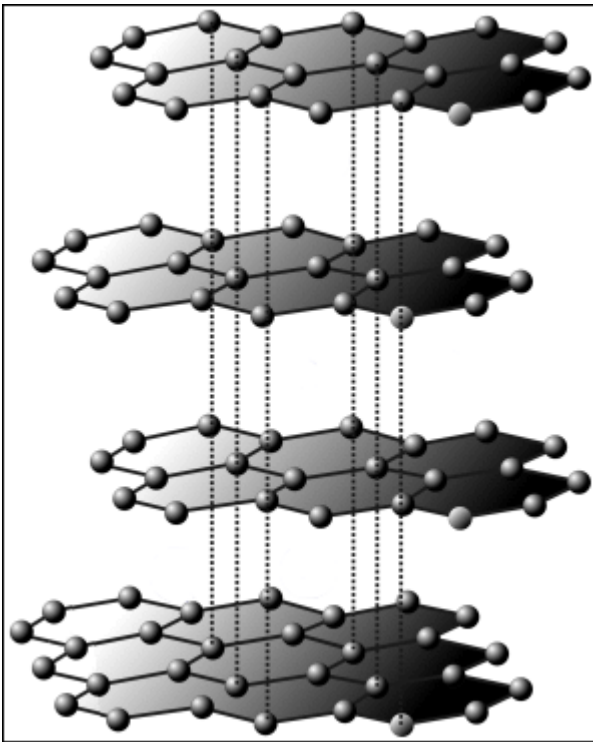
このフィルムは具体的には炭素が六角形に集まってできたベンゼン環を2次元平面に敷き詰めた構造をしています。そのため、このフィルムを1枚だけはがすとその厚さは炭素原子1個分の厚みしかありません。



グラファイトを薄くはがす試みは世界中の研究者によって行われましたが、1990年頃になってやっと向こうが透けて見える程度に薄いグラファイトを作ることに成功していました。ところが、なかなか原子1個分の厚みのグラフェンは作り出すことができず、2000年頃までは厚さが炭素1個分のグラフェンは自然界に存在しないという説を唱える学者もいました。

¹鉛筆の芯のグラファイトはグラフェンがファンデルワールス力という弱い力で結びついたものなので、紙にこすりつけただけで容易にはがれて紙の方へ乗り移るのです。

²完全なグラフェンは、六角形セルの集合のみからなり、五角形や七角形のセルは格子欠陥となる。五角形のセルが孤立して存在するときには、平面はコーン上にとがってしまう(12個の五角形セルはフラレンを作る)同じように七角形のセルが孤立したものはシートをサドル型に曲げる。五角形や七角形セルの導入を制御することで、en:NanoBudのような、さまざまな形状を生み出すことができる。1層からなるカーボンナノチューブは筒型のグラフェンとみることができる(6個の五角形セルからなるグラフェンの半球キャップが末端についていることもある)。



グラフェンを作り出すことに世界で初めて成功したのはイギリス・マンチェスター大学の研究チームで2004年のことでした。それまでの研究者は、研磨したり、分子レベルの大きさのくさびを作ってグラファイトに打ち込んだり、さまざまな工夫をこらした方法でグラフェンを作り出そうとしていました。グラフェンの作成に成功したマンチェスター大学の手法は意外なもので、グラファイトをセロテープで両側から挟み、そのセロテープを引きはがすという方法でした。そうするとグラファイトは引き裂かれるようにちぎれ、セロテープには薄くなったグラファイトが残ります。これを何度も繰り返すとグラファイトはセロテープで剥がす度に薄くなります。その過程でできた薄膜を調べたところ、その中にグラフェンが存在していることが確認できました。

グラフェンの主な特徴は次の3つです。

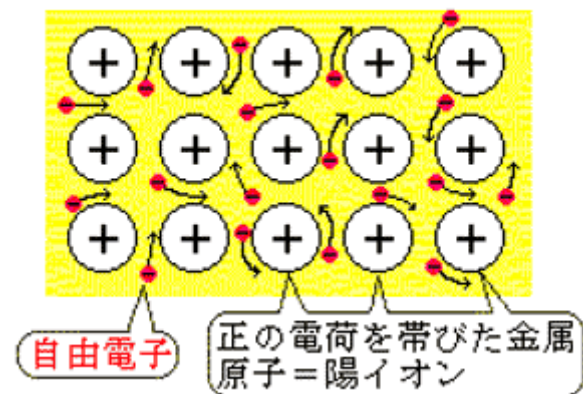
- ・あらゆる物質の中で最も薄い
- ・非常に強くて硬いのにしなやかに曲がる
- ・電子が素早く移動できる

どの特徴も重要なのですが科学者が特に注目しているのは3番目の「電子が素早く移動できる」点です。不純物が含まれていないグラフェンは、その他のどのような物質よりも電子の移動速度が速く、その性質は超伝導物質に近いものがあります。

電子が移動できる、つまり、電気を通す物質といえば電気配線に使われる銅などの金属がありますが、実は電気をよく通すと思われている金属の中でさえ、電子にとっては非常に移動しにくい環境なのです。

グラフェンの中を電子がスムーズに移動できるその理由は、グラフェンの原子構造がきわめて規則正しいためです。金属の中を移動する電子のことを自由電子といいます。水の分子などの電子は水素と酸素の原子核に結びつけられた状態で存在しているので不自由ですが、金属は電子が好き勝手に原子の間を動き回れるので自由電子といいます。

金属の構造



ところが、自由電子とはいうものの、実はそれほど自由ではありません。金属の中で起きていることを観察してみると、金属の中を電子が移動すれば、元々の金属電子の電荷が欠損するという状況が発生しますので、その周辺を移動している電子が静電場と相互作用してなかなか思い通りに移

動できません。したがって、電流の流れる早さも遅くなり、光の速さとは比べものにならないほどゆっくり進みます。ところが、グラフェンの中では、電子はニュートリノかっというくらい軽やかに移動でき、その速度は光の速度の 300 分の 1 にも達します。

このように、電子が原子核などに衝突して散乱したりエネルギーを失ったりすることもないため、これで半導体を作れば、現在のトランジスタよりも遙かに応答の早いトランジスタができるはずで、また、グラフェンはナノスケールの小さな破片でさえ、今まで述べたような特殊な性質を保っていますので、ベンゼン環 1 個分程度の大きさのトランジスタも作ることができるかもしれません。また、グラフェンシートに LSI の回路を刻み込むことによって、目に見えないほどの小さく、厚さも炭素原子 1 個分しかない非常に小さな LSI の製造も夢ではありません。すでに富士通や NTT は従来のシリコンの 100 倍以上の速度で電子が走り回ることができるグラフェンを使った LSI 向けの電子素子などを試作しています³。

また、構造的には体積に対して表面積の割合が高いので、航空宇宙材料に用いる強固な複合材料の素材にも適しているものと思われ、カーボンナノチューブと組み合わせ、軌道エレベーターの材料に使うことができるかもしれません。

このほか、ナノデバイス特有の 1/f 雑音を大幅に抑制できる性質、負の屈折率を示す性質なども報告されているなど、非常に多くの特殊な性質を

持っています。グラフェンの性質はまだ未解明の部分も多いのですが、そう遠くないうちに電子回路にグラフェンが応用される時代が来ることは間違いありません⁴。

ちょきりこきりヴォイニッチ

三行で理解する科学のコーナーです。

001▼石炭から樹脂を製造する新技術を三菱化学が開発

- ・石炭を蒸し焼きにしてコークスを製造する過程で出るコークス炉ガスを利用する。
- ・コークス炉ガスを触媒で反応させてメタノールを生産。これをジメチルエーテルに転換し、ここから樹脂の原料のプロピレンを製造する。
- ・石油を使うより二酸化炭素排出量を抑えられる。

002▼国内初の波力発電所を出光・三井造船・日本風力開発が共同で建設

- ・太平洋沿岸の沖合 10 キロメートルの波で海面が上下するときのエネルギーでタービンを回して発電する。
- ・発電コストは太陽光より安い。
- ・建設地はまだ決定していないけれど、候補地を 5 カ所まで絞っており早急に決定する。

003▼電源開発が地熱発電事業を拡大

- ・宮城県大崎市ですでに稼働している地熱発電所で新しい井戸を掘って出力を 2 割増強する。

³国内メーカーではその他、富士電機が太陽電池の透明電極への応用を研究しています。太陽電池の電極には現在、酸化インジウムスズ (ITO) が使われますが、太陽光に含まれる赤外線が透過しにくく、発電効率向上の足かせになっていました。グラフェンは薄くて赤外線が透過しやすい上大電流が流せるため発電効率 40% 台という現状の 2 倍を実現する太陽電池を 2 年後に実用化する計画です。

⁴ グラファイトからは類似した変わった性質を持つ物質が他にもすでにいくつか発見されています。たとえば、1985 年に米英の科学者が発見した炭素でできたサッカーボール・C60 フラーレン。そして、1991 年に日本の物理学者飯島澄男先生が発見した炭素でできたホース・カーボンナノチューブも有名です。カーボンナノチューブはグラフェンが筒状に丸まったものです。

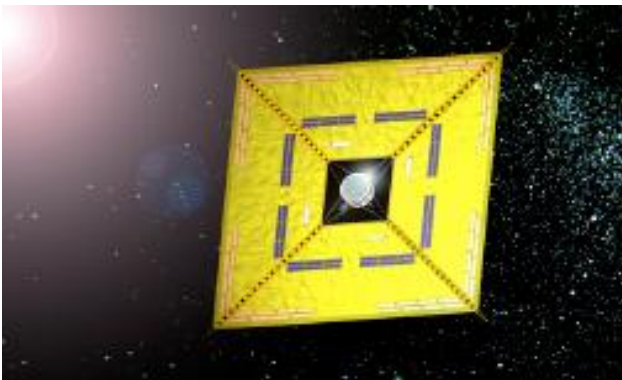
- ・ 2020 年稼働を目指し、秋田県湯沢市で地熱発電所を建設するための調査井戸を掘る。
- ・ 地熱発電所は火山国日本にふさわしく、二酸化炭素排出が推力に次いで少なく、石炭火力の 65 分の 1。風力や太陽光のように、天気や昼夜の影響を受けない。

004▼円周率を何万桁も覚える方法

- ・ 何万桁も円周率を覚えられる日本人がいるが、決して超人ではない。
- ・ 円周率を語呂合わせで覚えている。
- ・ 円周率の達人の語呂合わせが普通の人と違うところは、一つの数字にもものすごくたくさんの音を当てる仕組みを独自に開発していることだった

005▼JAXA が世界初のソーラーセイル探査機を 2010 年度に打ち上げ

- ・ 宇宙空間で帆を広げ、太陽の光の粒子を受けて進む
- ・ 帆に太陽電池を貼り付けて、電力もまかなう
- ・ 将来は木星探査くらいまではソーラーセイルで行いたい



006▼理化学研究所が植物の背の高さを決める遺伝子 GLT1 を発見

- ・ 植物の成長がその種類ごとにほとんど同じ大きさで止まる理由はわかってなかった。
- ・ GLT1 は植物の成長を抑えるので、この遺伝子を

壊すと植物の細胞が 2 倍くらい大きくなった

- ・ GLT1 を操作して品種改良することで、より便利な植物が作れそうだ

007▼脂肪を作ることをやめさせる物質ファトスタチンを京都大学が発見

- ・ ファトスタチンは脂肪量を感知するセンサーに結合し脂肪酸を作ること指令する遺伝子の機能を停止させる。
- ・ ファトスタチンをネズミに与えると過食による肥満、糖尿、脂肪肝が抑制された。
- ・ ファトスタチンのような物質が糖尿病や脂肪肝などの代謝疾患の治療薬として有効である可能性がある。

008▼上に伸びる雷

- ・ 雷雲から上に伸びる特殊な巨大稲妻「巨大ジェット (gigantic jets)」というものが存在する
- ・ デューク大学の研究チームが、高度 64 キロの成層圏まで到達する巨大ジェットの写真撮影に成功。
- ・ 稲妻が上に伸びれば空気が薄くなるのでエネルギーが急速に衰退するはずなのに、これほど巨大な稲妻が成層圏に達する仕組みは謎。



【おしらせ】

2009年9月26日（土曜日）13時30分～15時00分

島根県津和野町シルク染め織館
環境保全に関する基調講演

2009年10月10日（土曜日） 10時～11時30分

彦島図書館文化講演会 教科書が教えないホット
な科学の講演会
テーマ「時間」

2009年10月31日（土曜日）

11時30分～13時30分

サイエンスアゴラ 2009
東京国際交流館メディアホール

▼新刊の紹介

タイトル：

食べ物はこうして血となり肉となる
—ちょっと意外な体の中の食物動態—

中西貴之著 技術評論社

2009年7月発売

1659円