

電子デバイス・材料（創る）

グラフェン

炭素原子がハチの巣のような六角形に結びついている原子1個分の厚さのシートをグラフェンといいます。引っ張った時に世界一強く（破れない）、熱を伝える速さも世界一と言われています。今後の活躍が期待されている材料です。

最終更新日 2017年11月20日

もくじ

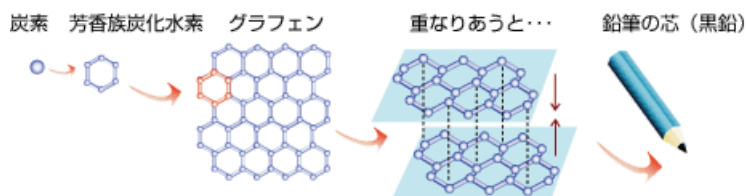
- ↓ グラフェンって？
- ↓ グラフェンの写真
- ↓ グラフェンの作り方
- ↓ 応用例-①二酸化窒素を測定するガスセンサー
- ↓ 応用例-②電子機器の節電につながるグラフェントランジスタ
- ↓ 小話
- ↓ 関連ページへのリンク



グラフェンって？

初めて聞く言葉だけど、どういう意味なの？

炭素（＝カーボン）原子が網目のように六角形に結びついてシート状になっているものをグラフェン（graphene）といいます。例えば、鉛筆の芯の黒鉛は、グラフェンシート1枚1枚のシートが重なり合っています。graphene（グラフェン）という名前は graphite（グラファイト）の語尾を多くの芳香族炭化水素（ほうこうぞくたんかすいそ）の名前に使われている語尾ene に変えたものです。「芳香族炭化水素」とは、分子中に6個の炭素原子からなる正六角形の構造（ベンゼン環）をもつ炭化水素をいいます。グラフェンも芳香族炭化水素の仲間です。



発明者にノーベル物理学賞

2010 年度のノーベル物理学賞は、2004 年に黒鉛のかたまりから単層のグラフェンシートを初めて分離し、その特異な性質の解明に努めた英国・マンチェスター大学の研究者アンドレ・ガイム（Andre Geim）氏とコンスタンチン・ノボセロフ（Konstantin Novoselov）氏に贈られました。彼らは粘着テープで黒鉛の薄片をはさみ、そのテープを引きはがすという簡単な操作を繰り返すことにより、単層のグラフェンを得ました。



グラフェンのすごいところは？

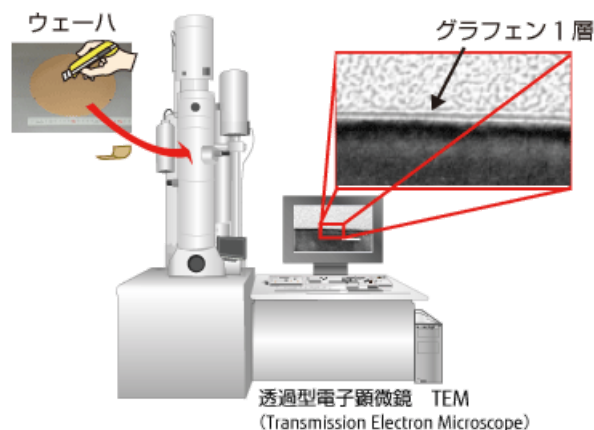
グラフェンの厚さは1ナノ（ナノは10億分の1）メートル程度と極めて薄く、軽くてしなやか、そして透明です。ダイヤモンド並みの強度を持ちながら柔軟に折り曲げることができ、電気の伝導率は銀より高く、熱の伝導率は銅の10倍くらいです。化学耐性や耐熱性の高さからシリコンや貴金属の代替品として注目されています。同じカーボンからできている「カーボンナノチューブ」と特徴がよく似ています。そのため、製品のどこに使うかによって、使いやすい状態のもの（チューブ or シート）を選びます。例えばグラフェンは、薄いシート状を活かしたトランジスタ（チャネル材料）やセンサーなどへの応用に適しています。

グラフェンの写真

グラフェンを電子顕微鏡で見ると・・・

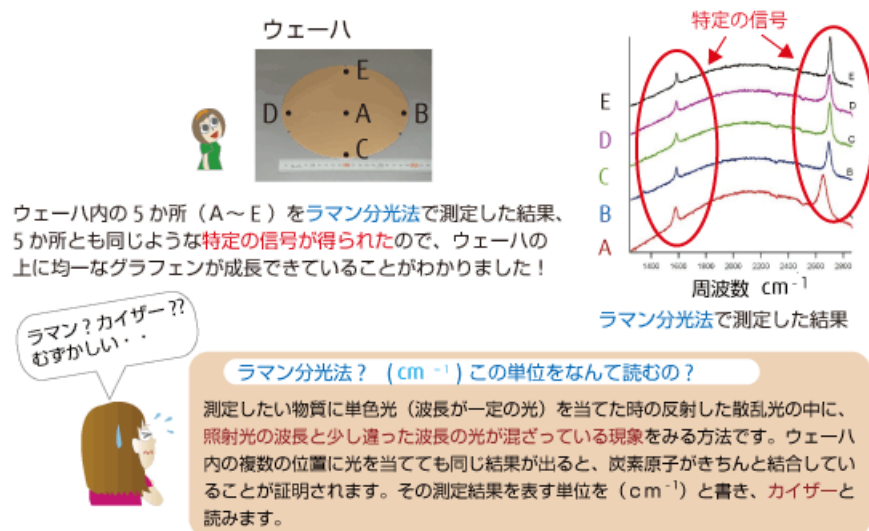
シリコンウェーハ*の上に銅膜を形成し、その上に厚さ原子1層分のグラフェンの膜を成長させます。グラフェンは透明なので、銅の色が見えています。そのウェーハの断面図を電子顕微鏡で見ると、グラフェン1層分が細い線のように見えます。

* ウェーハとは半導体材料を円盤状に加工してできた薄い板のことで、半導体基板の材料として用いられます。



質の良いグラフェンかどうか測定する方法

ウェーハ上に炭素原子がきちんと結合しているグラフェンを作ることが大切です。ラマン分光法を使って結合されているか確認します。

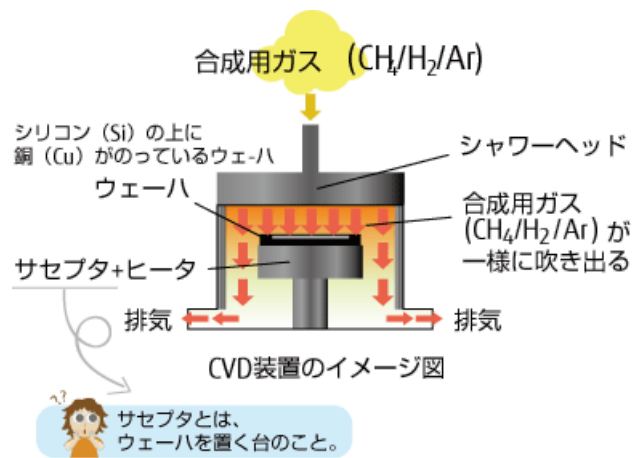


グラフェンの作り方

グラフェンの作り方

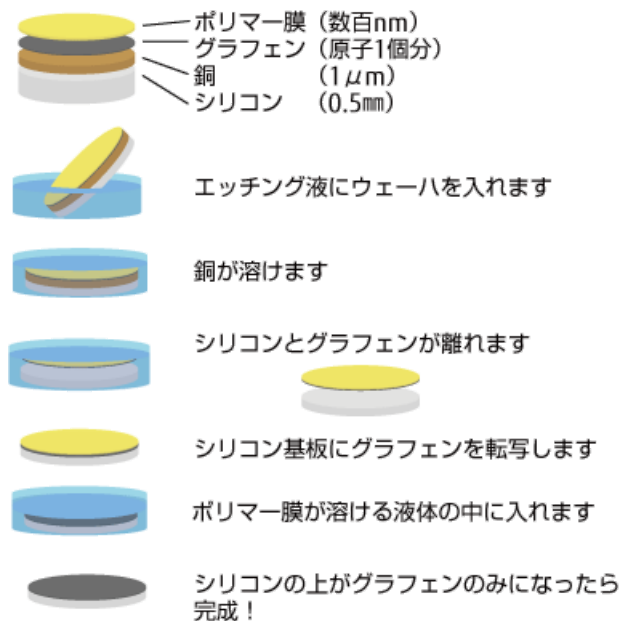
グラフェンを「CVD装置*」で作ります。材料となるメタン・水素・アルゴン ($\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$) のガスを入れると、加熱されたウェーハ上でガスが化学反応をおこして炭素原子が現れ、グラフェンの薄膜を形成します。

* CVD（chemical vapor deposition）装置とは、原料ガスを入れて、化学反応により薄い膜を形成する装置です。



どうして銅の上に形成するのでしょうか

最終的にトランジスタに使う場合には、シリコン (Si) 基板上にグラフェンをのせたものを使います。しかし、シリコン基板の上にきれいな構造のグラフェンを作ることが難しいので、今は銅など金属の上に形成し、それをシリコン基板に転写する、という方法を主として用いています。

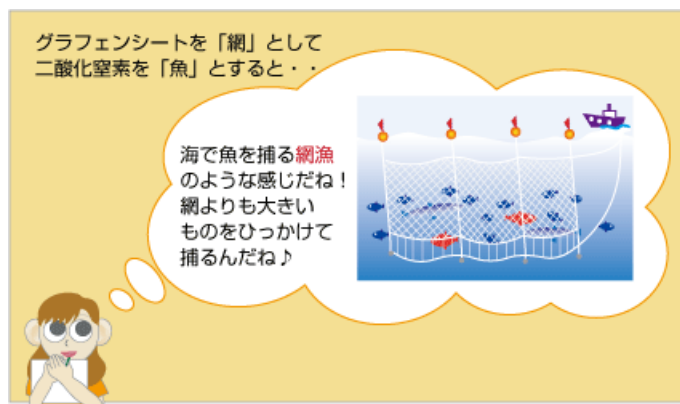


なお、転写プロセスを用いない方法の開発も行っています。

応用例-①二酸化窒素を測定するガスセンサー

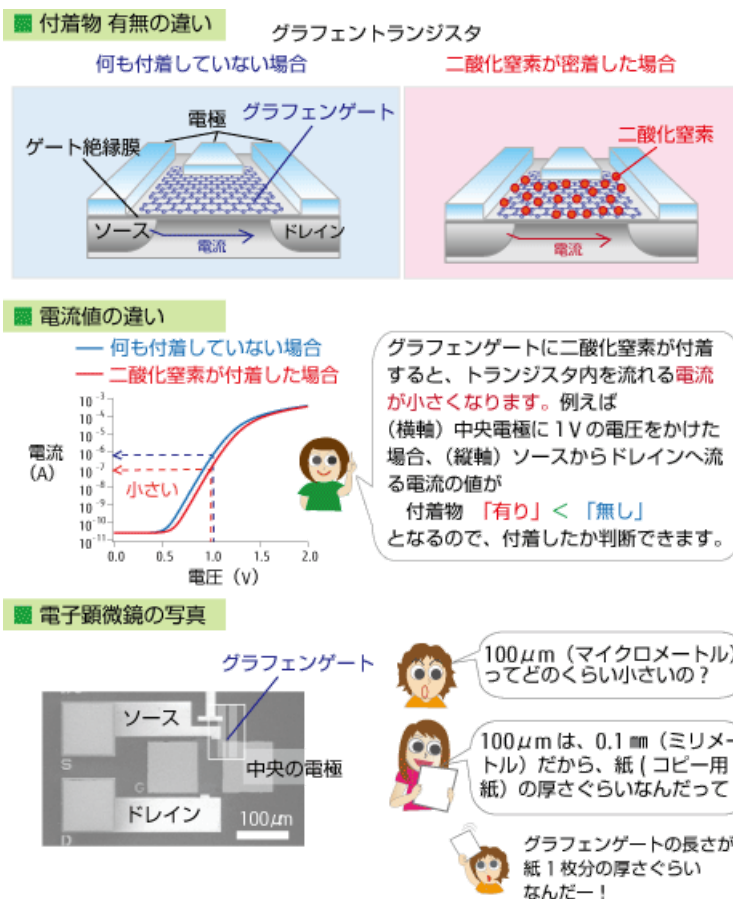
ガスセンサーにグラフェン、なんだか不思議な感じだけど・・・

二酸化窒素ガスの分子はとても小さいものです。その小さい分子を絡め捕るには、さらに小さい網状でできたグラフェンが有効です。



ガスセンサーのどこにグラフェンを使うの？

グラフェンをシリコントランジスタのゲートとして使います（グラフェンゲートトランジスタ）。グラフェンゲートに二酸化窒素が付着すればするほど、トランジスタ内を流れる電流が小さくなります。そのため、電流値を見れば、どのくらいの二酸化窒素が空气中に浮遊しているのかがわかります！



そもそも二酸化窒素を測定すると、どんなことに役立つの？

窒素酸化物は、燃料を高温で燃やすことで、燃料や空気の中の窒素と酸素が結びついて発生します。発生源は、工場や自動車、家庭などです。高濃度の二酸化窒素は、喉、気管、肺などの呼吸器に悪影響を与えます。そのため常に正確に測定し、二酸化窒素が多い日はマスクをつけるなど注意を促すことができます。

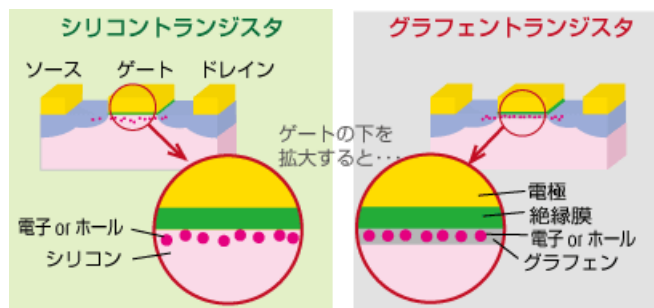


応用例-②電子機器の節電につながるグラフェントランジスタ

グラフェントランジスタ

現在、LSIに使われるトランジスタのチャンネル（電気の通り道）用の材料にはシリコンが使われています。トランジスタのサイズを小さくすることで、高速、低消費電力を実現してきました。しかし、小さくすることには限界があるので、材料をシリコンから、グラフェンに置き換えることによって、更に高速、低消費電力のトランジスタを開発しています。

シリコントランジスタとの構造の違い



トランジスタのチャンネル（電気の通り道）
・シリコンなら「シリコントランジスタ」
・グラフェンなら「グラフェントランジスタ」
グラフェンはシリコンの約 100 倍の電子移動度があります。

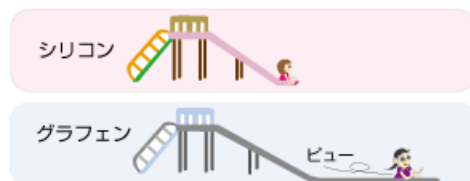
グラフェントランジスタの良いところ

シリコンと比べて、グラフェンの電子移動度は約100倍です。グラフェントランジスタの開発が進むと、従来のシリコントランジスタが1ボルトで動作するところを、0.1ボルトで動作することができるようになります。つまり、消費電力がシリコンの10分の1～100分の1になります。

電子移動度を「すべり台」に例えて説明すると・・・

■ 同じ高さの場合

シリコンに比べて、グラフェンの方がすべりやすいので、**速く移動**できます！



■ 同じ場所にすべり降りることにした場合

すべりやすいグラフェンは、シリコンより**低い高さ**からでも降りられます！



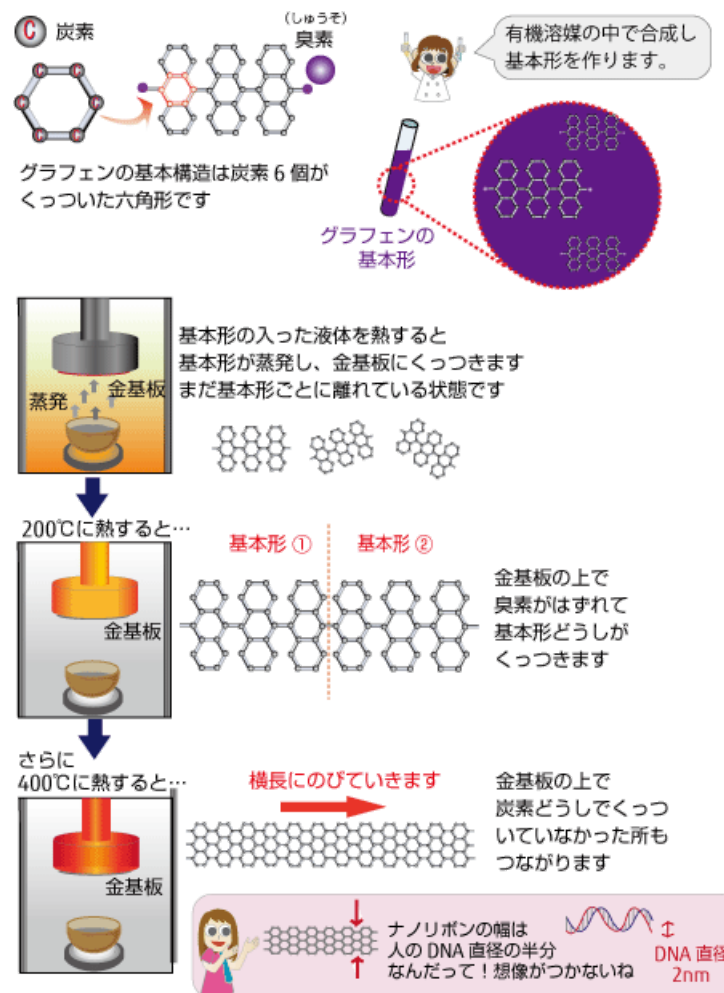
すべり台の高さを「電力」、女の子を「電子」としています。
グラフェントランジスタはシリコントランジスタよりも
1/10 ～ 1/100 の電力で動作可能です。



1回の充電で、現在よりも長く使用することができるようになるから、節電だね！

グラフェントランジスタを実現するのに必要な「ナノリボン」

グラフェンはそのままだと導体材料です。トランジスタの材料とするためには、これを半導体材料に変えなくてはなりません。そのためには、グラフェンを細くする必要があります。その細くしたグラフェンを「ナノリボン」と呼んでいます。ナノリボンは、一般的なグラフェンシートの作り方とは異なり、1nm（ナノメートル）の幅で細く長く成長させます。



小話

「PM2.5」の他に、「SPM」という分類があるのを知っていますか？

「PM2.5」と「SPM」の分類についてはあまり知られていないかもしれませんが、「PM」が浮遊粒子状物質であることは（ニュースなどで説明されているので）結構知られていると思います。

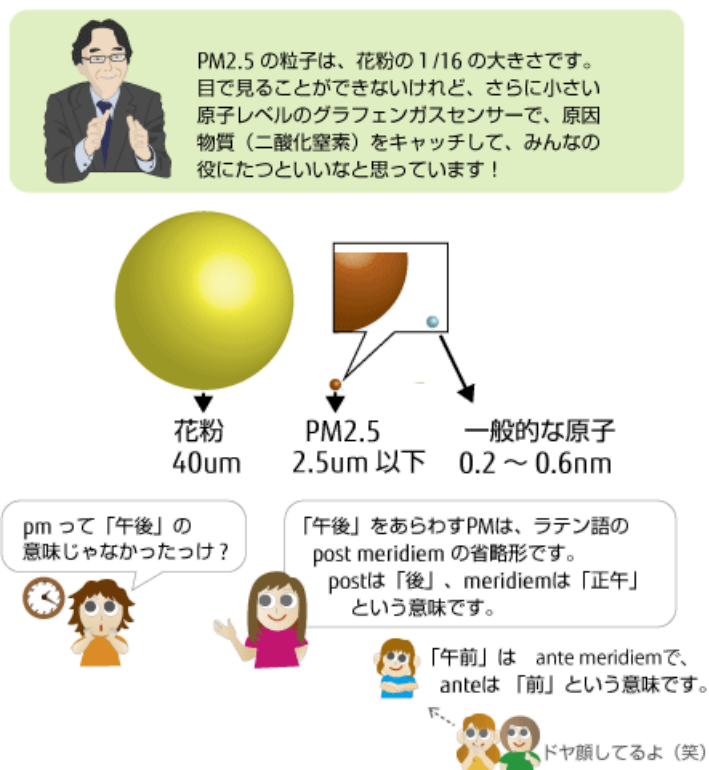
PMは、Particulate Matterの頭文字の略で、大気中に浮遊している液体または固体の粒子をいいます。浮遊粒子は体内に吸い込まれると肺の病気などになりやすくなるため、ニュースでPMの濃度が伝えられています。

「PM2.5」と「SPM」は、浮遊する粒子の直径サイズの違いで分類されています。

- 直径が2.5マイクロメートル以下の場合、「PM2.5」になります。
- 直径が10マイクロメートル以下の場合、「SPM」になります。

「PM2.5」の濃度が高くなる原因の一つとして、大気中の二酸化窒素ガスの増加があります。自動車の排気ガスなどに含まれる粒子状物質です。

「SPM」の濃度が高くなる原因としては、花粉があります。花粉が飛び始めるとSPMの濃度が高くなります。



関連リンク

プレスリリース

- ＞ 世界初、グラフェンを利用した新原理ガスセンサーを開発（2016年12月5日）
- ＞ 世界初！カーボンナノチューブを用いた100Wクラス次世代基地局用増幅器の動作に成功（2009年12月11日）
- ＞ 世界初！大基板全面にグラフェントランジスタを低温で直接形成する技術を開発（2009年11月27日）

やさしい技術講座

- ＞ カーボンナノチューブ