

【電子・情報通信技術】

集積回路の配線材料でグラフェンの性能が銅を凌ぐ可能性(米国)

ナノスケールの線幅で新材料が従来の金属に置き換えられる可能性を示唆

グラファイトの薄い層であるグラフェンは独特の性質を有しており、様々な電子デバイスの可能性をもたらす材料として魅力的である。研究者達は実験の中で、グラフェンの新たな利用の可能性、つまり、次世代の集積回路(IC)の配線を、銅からグラフェンに置き換えるという試みを実証した。

グラフェンの材料試料が示され、
その性質がテストされた。

(写真 ©ジョージア工科大学
: Gary Meek)



ジョージア工科大学の研究者達は、IEEE(電気電子技術者協会)の「*Electron Device Letters*」誌 2009年6月号の論文で、幅18nmのグラフェン・ナノリボン配線の抵抗率についての詳細な分析結果を発表した。

この研究結果により、オンチップ配線(集積回路上でトランジスタと他のデバイスの接続に用いられる極小のワイヤ)への使用にあたっては、銅よりもグラフェンの性能の方が上回る可能性が示唆された。こうした配線にグラフェンを使用することによって、シリコン集積回路技術の性能が長期にわたり向上する可能性がある。

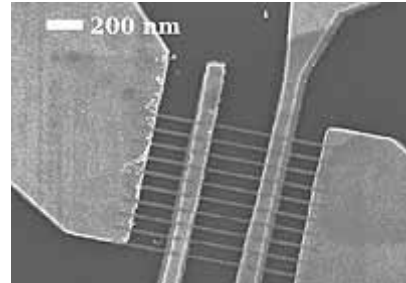
「銅配線は線幅を狭くすればするほど、抵抗が増加する。それは、銅のナノスケールにおける実際の性質が表に出てくるためである」と、ジョージア工科大学マイクロエレクトロニクス研究センターと、電気コンピュータ工学部所属の研究技師 Raghunath Murali は話す。「私達が実験で実証した線幅20nmのナノワイヤ・グラフェン配線の性能は、同じ線幅20nmの銅配線の最も楽観的(optimistic)な予測値と比較して、同程度であることが示された。実世界の条件下で同じ20nmの場合、私達のグラフェン配線はおそらく銅の性能を凌ぐだろう。」

グラフェン配線では、抵抗率が向上するほかに、電子移動度と機械的強度の高さ、熱伝導率の良さ、そして、隣接したワイヤ間における容量性カップリング^{注1}の低減などがみられる可能性がある。

^{注1} 隣り合う導線間やプリントパターンの間など起こる、回路内2点間の容量によるエネルギー伝達。

「通常、抵抗率は次元とは無関係である。抵抗率はその物質に固有の性質である」と Murali は話す。「しかし、ナノスケールの分域(domain)に関しては、銅の粒径が重要となる。伝導度は、結晶粒界や側壁における電子の散乱に影響を受けるため、抵抗率が増加する。線幅が 30nm に下がると抵抗率はほぼ倍になる。」

走査型電子顕微鏡の画像：電極対の間が
線幅 22nm のグラフェン・ナノリボン。
(画像 © Raghunath Murali)



同研究は、国防総省国防高等研究事業局(DARPA)フォーカスセンターの半導体研究コンソーシアムの一つである配線フォーカスセンター、および、INDEX(ナノエレクトロニクス 発見・調査研究所)センターのナノエレクトロニクス研究イニシアティブ^{注2}によって支援された。

Murali と同僚の Kevin Brenner、Yinxiao Yang、Thomas Beck および James Meindl は、純粋なグラファイトの塊から作製されたグラフェン層の電気的性質を研究した。彼らは、この魅力的な性質が、ゆくゆくは別の技術を用いて作製されたグラフェンでも測定されるだろうと考えている。たとえば、炭化ケイ素(SiC)上でのグラフェン成長などである。こうした技術で現在製造されているグラフェンは品質が低い、より高い品質を獲得できる可能性がある。

グラフェンは従来のマイクロエレクトロニクスの工程を用いてパターンを形成できるため、銅からグラフェンへの移行は、新しい製造技術を回路製作に組み込まずに行える可能性がある。

「研究者達は研究室で既にグラフェン層を成長させられるため、私達は製造装置にグラフェンを使用することは可能だという楽観的見解を持っている」と Murali は話す。「グラフェンをシリコンに組み込むには幾つか課題があるだろうが、それらは克服されるだろう。異なる材料を用いるという点以外は、グラフェン配線の製造に必要な全てのものは、既に良く知られ、確立されている。」

研究者達の実験では、始めにグラファイトの塊から剥がした多層グラフェンの薄片を酸化シリコン基板上に置いた。次に電子ビーム・リソグラフィを用いて、そのグラフェン上に 4 カ所の電極接触部(electrode contacts)を形成した。さらに、リソグラフィを使用して、線幅 18nm ~ 52nm の平行なナノリボンで構成されたデバイスを作製した。その後、18 種類のデバイスの三次元ナノリボンの抵抗率を、標準的な分析技術を用いて室温で測定した。

^{注2} NRI: Nanoelectronics Research Initiative

この実験で最も良い品質であったグラフェン・ナノリボンは、同じサイズの銅配線の予測値と、伝導度がほぼ同等であることが示された。この時比較に使われたのは、最適化されていないグラフェンと、銅の楽観的な予測値であったため、この新しい材料の性能は、従来の配線材料を最終的に上回る可能性が示唆された」と Murali は話した。

「品質が中程度のグラフェン試料でさえ、素晴らしい性質を示している」と彼は説明する。「私達は大変高レベルな最適化や特別な除去プロセスは使用していない。私達は簡易な加工を施すことで、銅配線と実質的に同レベルなグラフェン配線を得ている。もし私達がグラフェン配線の最適化をすすめれば、銅を凌ぐ性能となるはずである。」

グラフェンの主要な性質の一つはバリスティック伝導^{注3}（電子が抵抗なしでグラフェンを貫流できること）といわれているが、実際の伝導度は、不純物や LER^{注4}、基板のフォノン（格子振動）による散乱を含む要因によって制限される。

「グラフェン配線を利用する場合、もし線幅が約 20nm に下がれば、集積回路の性能を向上させていける可能性がある。これは今後 5 年の間に実現されうる」と Murali は話す。20nm の場合、銅配線では、抵抗率の増加が性能の向上を相殺する可能性がある。これは、銅配線では他の点を向上させない限りは、たとえ密度を高めたとしても、より高速な集積回路は製造できないということを意味している。

「このことは、ある世代から次の世代にスケールダウンする上では障壁にならないが、性能の向上には障壁となる」と彼は話す。「サイズのスケールダウンの継続は可能である。しかし抵抗率については非常に多くの点で譲歩することになることが想定されるため、スケールダウンによる性能面での優位性は得られないだろう。私達は、配線を銅から違う材料システムであるグラフェンに切り替えることによって、この課題を解決したいと考えている。」

関連サイト：

- ・マイクロエレクトロニクス研究センター：<http://www.mirc.gatech.edu/>
- ・Raghunath Murali：<http://www.mirc.gatech.edu/raghu/>

翻訳：大釜 みどり

出典：<http://www.gatech.edu/newsroom/release.html?id=2994>

(Copyright © Georgia Institute of Technology, All rights reserved. Used with Permission.)

注3 バリスティック伝導(ballistic transport)：伝導を担うキャリアが格子振動や不純物などの散乱を受けずに結晶内を通り過ぎること。

注4 LER(line-edge roughness)：ラインエッジラフネス。ライン端粗さ。