

グラファイト材料を用いた革新的半導体デバイス:カーボンナノウォールの電気伝導制御を世界で初めて成功

—新しいカーボンエレクトロニクスの開拓へ道—

この度、名古屋大学大学院工学研究科の堀勝教授の研究グループは名城大学理工学部、愛知工業大学工学部、NU エコ・エンジニアリング株式会社との共同研究により新規ナノカーボン材料であるカーボンナノウォールの電気伝導制御を世界で初めて成功しました。

つきましては、下記の予定で記者発表を行いますので、ご通知申し上げます。

なお、本研究成果は、平成 20 年 5 月 26 日付(米国東部時間)米国科学雑誌 (Applied Physics Letters) 電子版に掲載されます。

【ポイント】

- ・ グラフェンシートが基板に垂直方向に成長することによって構成されるカーボンナノウォールの製造プロセスにおいて不純物ガスを原料ガスに混入させる製造方法の確立。
- ・ 炭素系ラジカルと水素原子が存在するプラズマ中に窒素原子を添加することで、p 型と n 型の電気伝導特性を有するカーボンナノウォールの形成に成功。
- ・ 窒素原子を制御することにより、伝導性能(導電率・キャリア密度)を制御できることを発見。

【特色】

- ・ カーボンナノ材料の中で一般的に見受けられるグラファイトは、これまで半導体デバイスとして利用することはできなかった。しかし、ナノグラファイトが基板に対し垂直に成長した構造をもつカーボンナノウォールの成長中に、原料ガスに窒素ガスを添加することで、その電気伝導特性を制御可能であることを世界で初めて発見した。ナノグラファイト材料の形態を制御して成長させると共に、その物性が半導体特性を示すことに成功したことは、今後、新しい環境調和型エレクトロニクスを創生する。

【背景】

近年の半導体産業の急速な発展はシリコン(Si)-MOSFET がスケーリング則に従って微細化され、LSI の集積度が増加してきた。しかしながら、微細化限界によるスケーリング則の破綻が懸念され、今までとは違った構造・材料に関心が高まっている。そこで、自己組織的にナノメートルスケールの構造体を有し、また、地球上に多く存在するカーボン(炭素)によって構成されるカーボンナノ構造体に注目が集まっている。これまでカーボンナノチューブやフラーレンは多くの研究がなされてきたが、グラファイトを用いた半導体材料の出現に大きな期待が寄せられていた。我々が合成したカーボンナノウォールはグラフェンシート(シート状のグラファイト)が基板に対して垂直方向に成長している構造を持つため、グラフェンシートの高い能力(高移動度・耐大電流密度)を有していると考えられるが、p型、n型という半導体電気特性を持たせることが、次世代の半導体材料として応用するためのカギであった。しかしながら、現在まで、世界で誰も成功していなかった。

【研究の内容】

カーボンナノ構造体の一つである、グラファイトからなるナノグラフェンシートを基板に垂直

成長した、二次元ナノメートルスケールのカーボンナノウォール(カーボンのナノの壁)の合成において、プラズマ中の活性種であるラジカルを制御する新しい製造方法に窒素原子を導入する技術を取り入れることによって、半導体電気伝導特性を有したカーボンナノウォールを世界で初めて合成することに成功した。窒素原子の量を制御することにより、電気伝導のp型、n型を制御でき、かつ伝導性能(キャリア濃度)の制御も可能であることが判明した。

これまで、カーボンナノチューブにおいては、その構造体を選定すれば半導体特性が現出し、カーボンナノチューブの表面状態を制御すれば間接的なp型、n型が制御できることが報告されている。しかしながら、この伝導特性の制御方法は従来の固体半導体における不純物制御による方法とは異なっており、そのLSI化への応用には課題が多く、異なる技術的道筋が必要と思われていた。これに対して、今回のカーボンナノウォールの伝導性制御は従来の固体半導体における伝導性制御と同様な、不純物制御によるp型、n型及びその不純物密度の制御法であり、現在多用されているSi LSI実現の基礎技術と同類の展開が可能となる。

【成果の意義】

従来の半導体材料、シリコン(Si)、ガリウムヒ素(GaAs)などの無機系固体結晶系とは異なり、カーボンナノ構造体による半導体デバイスには各種の魅力がある。カーボン材料は地球上に数多く存在するため、環境調和型かつ低価格の材料である。また、カーボン是有機材料系の基本元素であり、地球上の生物系の基本構成元素となっている。カーボンで出来たコンピューターさらにはロボット用センサー、アクチュエーターであれば、生物バイオ系との調和が取れ、その有用な活用に道が開かれる。さらには、カーボンナノウォールはカーボンのナノ構造体であり、ひだ状の立体構造を自律形成している。この構造(数100nmのひだ状の凹凸)はバイオ材料(タンパク、DNAなどの生物分子)との物質反応の場としての可能性を有している。実際このカーボンナノウォールのひだには数nmの微小な凹凸があり、その部分への触媒材料の担持性能が確認されつつある。このように、センサー、アクチュエーター、LSIへの応用のみならず、バイオ材料などの物質レベルでの情報交換機能を有する半導体素子の実現可能性が出てきたと考える。

本研究は主に文部科学省、特定領域研究 シリコンナノエレクトロニクスの新展開—ポストスケールングテクノロジー—で実施している研究課題「低次元カーボンナノエンジニアリング」(平成18～21年度)(研究代表者:堀勝)と、文部科学省、愛知・名古屋地域知的クラスター創成事業で実施された「ナノアセンブリングシステム開発」(平成15～19年度)(平成16～19年度研究代表者:堀勝(平成15年度:研究分担者))により実施しました。

【用語説明】

カーボンナノ構造体:二次元グラフェンシートによって構成されたナノメートルスケールの構造体。サッカーボールのような形のフレーレンや筒状のカーボンナノチューブなど様々な構造体がある。

カーボンナノチューブ:グラフェンシートが筒状に丸まった構造を持ち、その丸まり方により金属・半導体と特性が異なる。

LSI:半導体集積回路

ラジカル:プラズマ中に存在する活性種。非常に反応性が高く、基板上で化学的に反応する。

プラズマ:電離状態の気体。宇宙の 99%以上はプラズマから構成されている。プラズマを用いて微細加工などのモノづくりは全産業の基幹技術となっている。

【論文名】

“Electrical conduction control of carbon nanowalls”

(カーボンナノウォールの電気伝導制御)

Applied Physics Letters, May 26, 2008, **92** (21)

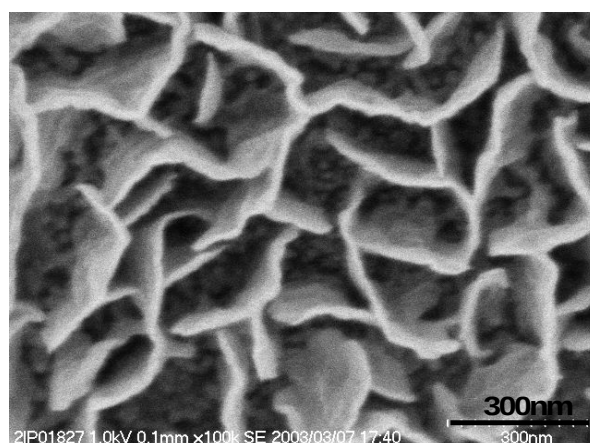


図 カーボンナノウォールの電子顕微鏡象