

【産業技術】 ナノテク

初めてのナノワイヤーセンサー集積回路(米国)

米国エネルギー省ローレンス・バークレー国立研究所とカリフォルニア大学バークレー校の研究者が、種々の結晶材料から作られた光検出素子とエレクトロニクスを組合せて、ナノワイヤー配列基盤の世界初の全集積センサー回路を作成した。この方法によれば、このような素子を、高い均一性で、大量に複製するために使用することが可能である。

特別な化学的特性や電子的特性およびその他の特性を持って作られたナノ構造は、バルクの同一材料に比べて多くの長所を持っている。例えば、ナノワイヤーは、実質的に1次元で、ほとんどすべての表面が使えるので、光検出器として理想的な形状である。ナノワイヤーは光に対して非常に高感度であるだけでなく、その電子的応答もまた非常に高機能である。

しかしながら、実用化のためには、同一チップ上にエレクトロニクスと光検出器を統合しなければならない。また、理想的な光検出器を作る材料は、良いトランジスターを作るものとは必ずしも一致しないものである。

「特有な機能を実行し、不均質体で作られた、また制御された方法で大量に複製することができる方法で作られた、我々のナノワイヤー配列の集積化は、世界で初めてのものである」と研究チームを取りまとめるバークレー研究所材料科学部門の研究者でUCバークレー校電気工学・コンピューターサイエンス部助教授のアリ・ジャヴィーは語った。彼と同僚は、この結果を米国科学アカデミー会報(PNAS)8月1日号に報告している。

印刷ナノワイヤー配列

もし2つの材料の結晶格子が大きくずれている場合、その結晶上に異なる結晶を成長させることは困難である。同一基板上に2種類以上の材料を組立てなければならない場合、格子整合の問題は特に重要である。この数年にわたって、回路を含んだ多くのナノワイヤー素子が作成されているが、それらは注意深く選択された基板と特殊な組み立てを必要とし、実質的には1種類の素子に限定されている。

「我々の主な目標は、任意の基板上で作ることができ(紙の上でさえも!)、そして、それらを均一に大量に複製できる集積ナノワイヤー配列への道である。このために、我々のグループは、過去2年間にわたって、ナノワイヤー配列を印刷する方法を開発してきた。最初にナノワイヤーをドナー基板上で成長させた後に、紙やプラスチックを含んで希望とする任意の基板上にそのナノワイヤーを移動させる」とジャヴィーは語る。

ジャヴィーのグループは、密着方式とローラー方式の2種類の印刷方式を考案した。ローラー方式は、シリンダー表面上にナノワイヤーを成長させ、塗装ローラで絵を描くように、応用基板上にわたってそれを転写することをともなっている。密着方式は、平坦な基板上にナノワイヤーを成長させて、それを反転させ、希望の基板上に滑らして押しつけることからなる。その後、ナノワイヤーは、成長基板を取り外すことにより分離され、応用基板に取り残される。ナノワイヤー間の化学的表面相互作用は弱いので、このプロセスは、僅か一層のナノワイヤー転送だけに自己制限されている。印刷されたナノワイヤーは、滑らした方向にそろって整列する。

「この方法はおまけの利点を持っている。ナノワイヤーはあらゆる方向に突出して成長し、それらは、寝癖の髪の毛のように見える。しかし、成長基板からナノワイヤー配列を方向性をもって滑らして取り外すと、髪の毛を梳かすことに似て、ナノワイヤーは真っ直ぐに立つ」とジャヴィーは述べた。

ナノワイヤーエレクトロニクスは、均一性能のために整列させる必要があるので、このことは特別な利点である。一次元のナノワイヤーは方向に依存して偏光に対して異なった応答をするので、ナノワイヤー光検出器の場合には、その整列構造は、光強度(輝度)およびその偏光の両方に対して一致した感度のためには不可欠である。ランダムな方向のナノワイヤーでは、寝癖ナノワイヤー配列の偏光感度は大きく変化する。

この集積ナノワイヤー光検出器回路については、ジャヴィーグループは、可視光の検出器としてセレン化カドミウム・ナノワイヤーを使用した。エレクトロニクスについては、ゲルマニウム・コアとシリコン・シェルを持ったナノワイヤーが、5桁の大きさのまでの光に応答する光検出器によって生じた電流を増幅する、電界効果トランジスターの中心となった。

回路の集積化

「集積回路を作り上げるために、受信機基板上の正確な位置に2つの種類の材料を置かなければならない。素子のパターンは、基板上を覆うフォトレジスト層に置かれる。最初に、基板上にセレン化カドミウムナノワイヤーを印刷し、次に、アセトンでフォトレジストを削除し、必要とする個所のセレン化カドミウムナノワイヤーを正確に残す。そしてエレクトロニクスについて、ゲルマニウム/シリコンナノワイヤーのプロセスを繰り返した」とジャヴィーが述べる。

非常に大きな集積回路上にこのような素子が描かれているように、光検出器とエレクトロニクスが基板上に置かれた。(テストケースでは、標準シリコン/シリコン酸化物基板が

使用された) 素子を接続する金属電極を置くことにより回路が完成される。全てのナノワイヤー回路が作り出すマトリックスが、ピクセルの役割をし、画像化に使用される。

ジャヴィーグループの統合ナノワイヤー回路の結果は、80 パーセントの回路が非常に小さなばらつきで好結果の光応答を示した。動作しなかった回路の原因は、回路接続の製作欠陥が 10 パーセントで、5 パーセントが光検出器印刷の失敗、また、不完全なナノワイヤーが 5 パーセントあった。複雑な演算回路におけるこの比較的大きな産出高は、素子のナノワイヤー合成や組み立ての最適化による容易に達成が可能な改善と共に、この技術の可能性を証明している。

「将来、我々は、高解像度の多色高感度ナノスケール素子を作成するために、多くの様々な光センサの使用を予測することができる。そして、それは始まっている。我々は、ナノワイヤーセンサー回路、光検出器、化学センサー、バイオセンサーをシリコン上だけではなく紙やプラスチックテープ上に印刷することを意図している。汚染が生じたところで、また大気品質試験に、あるいは疾病有機体のテストに、想像できるセンサーとしての殆どあらゆる利用に、この技術を容易に即効的に使用することができるであろう」とジャヴィーは語った。

報告書：

"Large-scale, heterogeneous integration of nanowire arrays for image sensor circuitry",

「画像センサ回路のナノワイヤー配列の大規模異種混合集積化」

by Zhiyong Fan, Johnny C. Ho, Zachery A. Jacobson, Haleh Razavi, and Ali Javey,

<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0801994105>

(出典：<http://www.lbl.gov/publicinfo/newscenter/features/2008/MSD-nanowire-circuit.html>)