Nanowires' display of potential

ナノワイヤーを利用したディスプレイの可能性

Hagen Klauk

ビデオディスプレイの未来は、柔軟かつ透明である。小型で、屈曲性があり、透明な付随的電子 機器を製作するための材料を見つけることはむずかしい。けれども、有望な候補が現れ始めている。

Nature Vol.451 (533-534) / 31 January 2008

半導体ナノワイヤーは非常に小さな半導体結晶であり、一般的な長さは数 μ m、直径はわずか $20 \sim 80$ nm しかない。これが、極小のマイクロプロセッサやテラビット級のメモリチップなど、次世代の集積回路の基礎となる可能性がある。専門家らは、ナノワイヤーの小ささを利用してシリコン基板上に 1cm² あたり 2000 億個ものナノワイヤー・トランジスタを詰め込むことで、こうした素子をそこそこのコストで製造できるようになることを期待している。そのためには、トランジスタが従来の平面的なレイアウトから脱却することも必要となるだろう 1 。

ゴールはまだまだ先であるが、ナノワイヤー・トランジスタはすでに、集積密度やスイッチング速度の要求水準がもっと低い分野への応用において、独自のニッチを切り開きつつある。その一例としてJuら²は、ナノワイヤー・トランジスタの特殊な性質が、アクティブマトリックス式有機発光ダイオード(OLED)ディスプレイでの使用に適していることをNano Letters 誌にて示している。

こうしたディスプレイの個々の画素には、OLEDのほかに、いくつかのトランジスタを入れなければならない。トランジスタを入れるのは、フルモーションでのビデオ再生の際に画像が高速で変化しているときにも、すべての画素が必要な色を必要な明るさで発せられるようにするためである。ディスプレイの単位面積当たりのトランジスタの個数は比較的少ないため(1cm² あたり1万個前後)、個々のトランジスタが占める面積は、メモリチップやマイクロプロセッサチップの場合ほど重要ではない。

実用面では、OLED ディスプレイ中のトランジスタ に、アモルファスシリコン ^{3,4} や共役オリゴマー ² のよ うな電荷担体の移動度が比較的低い半導体を使用できるという意味がある。移動度が小さいということは、十分な電荷担体を輸送し、必要な電流(1 画素につき約 10^{-5} アンペア)を駆動できるだけの大きさ(つまり幅の広さ)がトランジスタになければならないということである。これらの半導体材料には、柔軟かつ透明なポリマー基板を使用できるだけの低温で処理できるという大きな長所がある。

しかし実際には、ディスプレイ中のトランジスタは、好きなだけ大きくできるわけではない。 画素中でトランジスタが占める空間が広くなるほど、光を発するために使える空間が狭くなるからである。ディスプレイ開発の重要な目標は、開口率(画素中で光を発するために使用できる領域全体の割合)を大きくすることにある。アモルファスシリコン、または有機トランジスタで画素の大きさが $300 \sim 500 \mu m$ であれば、 $40 \sim 50\%$ の開口率が可能である 3.5。

最初に大量生産されたアクティブマトリックス式 OLED ディスプレイ ⁶では、開口率を高めるために、 多結晶シリコンを原料とするトランジスタが用いられている。アモルファスシリコンまたは有機半導体と比べると、この半導体の電荷担体の移動度ははるかに大きいため、トランジスタを細くして、開口率を大きくすることができる。しかし、多結晶シリコントランジスタは、より高い処理温度を必要とするため、ポリマー基板と一緒に多結晶シリコンを用いることはむずかしい。

そこで半導体ナノワイヤーの出番となる。半導体ナノワイヤーは単結晶からできているため、電荷担体の移動度は大きい。Juらの報告 2 によると、彼らが酸化インジウム(In_2O_3)を使って作製したナノワイヤーでの値は $250 cm^2 V^{-1} S^{-1}$ であったという。こう

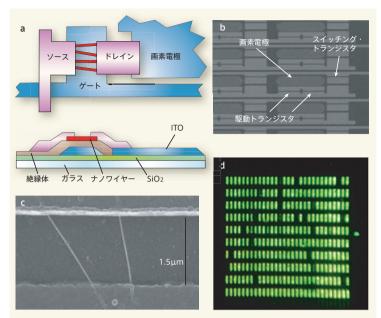
30 | April 2008 | volume 5 NATURE DIGEST 日本語編集版 © 2008 NPG Nature Asia-Pacific して、少数のナノワイヤーをうまく整列させたものは、 多結晶シリコントランジスタと同じ駆動電流を出力で きることになる。

Juらは、パルスレーザーアブレーションによってナノワイヤーを作製した(図 1)。これは、レーザーを使ってバルクの固体標的から材料を蒸発させたものを、懸濁液中からディスプレイ基板上へと移す方法である。ナノワイヤーがディスプレイ基板上に載ったら、標準的なフォトリソグラフィー技術により、これをトランジスタと画素回路につなぐ。余分なナノワイヤーは、超音波を使ってバス中で振り落とす。

ソース接点(トランジスタの中を流れる電流の入口)とドレイン接点(同じく出口)、および、その電流の大きさを制御するゲート電極に光学的に透明な導体を用いることにより、透明ディスプレイに使えるトランジスタが得られた。これは、車のフロントガラスなどに使えるはずである。ゲート電極は、絶縁層によってナノワイヤーから分離しなければならない。そのために著者らは、きわめて少ない欠陥と大きな電気容量をもつ、非常に薄い分子誘電体を使用した(図1a)。電気容量が大きいということは、ナノワイヤー中に十分な数の電荷担体を誘導するために必要とされるゲート電圧が比較的小さく(約4ボルト)、ディスプレイの電力消費を最小限に抑えられることを意味している。

ナノワイヤーをディスプレイ上で作らずに、あらかじ め作っておいたナノワイヤーを基板に移すという方法 をとることにより、半導体を作製するためのサーマル バジェットは、トランジスタを作製するためのサーマル バジェットから切り離される。ゆえに、十分な電荷担 体移動度をもつナノワイヤーを作製するためには高エ ネルギーまたは高温が必要であるが、ディスプレイは 低温のポリマー基板上で作製することができるのであ る。著者らのトランジスタ製作過程での最高温度は約 100℃であり、これはフォトリソグラフィーのための温 度であった。一方、高移動度の多結晶シリコン薄膜 を用いるトランジスタは、約500℃での炉アニールか、 時間のかかるレーザー結晶化を必要とする。Juら² はさらに、ナノワイヤーと室温で作製できる有機ゲート 誘電体との相性が非常によいことも示している。これ に対して、アモルファスおよび多結晶シリコンは、通常、 約200℃で堆積させる無機誘電体を必要とする。

画素の大きさが 54μm×176μmと比較的小さい上に、特別なナノワイヤー配置方法がなく、トランジスタ領域の小さな部分しか電子輸送に利用できないことを考えると、著者らが報告するディスプレイの46%という開口率は、かなりの値である(図1b)。



現段階では、このディスプレイはフルカラーではなくモノクロである。また、その応答は、ビデオレートのマトリックス・アドレッシングではなく、静的な画素演算である。それでも、ナノワイヤートランジスタを使ったアクティブマトリックス式 OLED ディスプレイの実証には大きな意義がある。我々に足りないのは、効率のよいナノワイヤー配置方法(そしておそらくOLED の効率と寿命のもう少しの改善)だけである。これさえ手に入れば、高品質の柔軟なディスプレイが現実のものとなるかもしれないのだ。

Hagen Klauk、マックス・プランク固体研究所(独)

- 1. Rustagi, S. C. et al. IEEE Electr. Device Lett. 28, 1021-1024 (2007).
- Ju, S. et al. Nano Lett. advance online publication doi:10.1021/nl072538+ (2008).
- 3. Long, K. et al. IEEE Trans. Electr. Devices **53**, 1789-1796 (2006).
- Kumar, A., Nathan, A. & Jabbour, G. E. IEEE Trans. Electr. Devices 52, 2386-2394 (2005).
- 5. Zhou, L. et al. Appl. Phys. Lett. 88, 083502 (2006).
- 6. www.sony.jp/products/Consumer/oel