



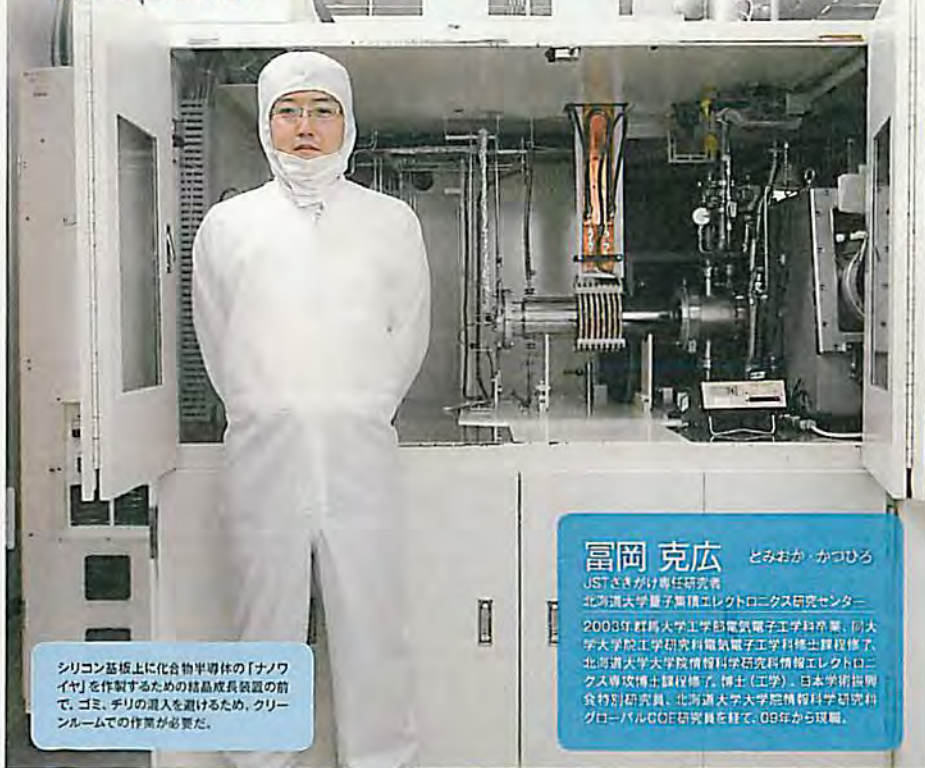
特集

2

「トンネルトランジスタ」で道が開けた!

# 理論限界を突破する 省エネデバイス

パソコンやスマートフォンだけでなく、コンピュータで制御されるクルマや家電などに幅広く使われているLSI(半導体集積回路)だが、高性能化、高集積化が進むに伴い、過剰な電力消費や発熱などの問題も深刻化している。「トンネルトランジスタ」はこれらの問題を一挙に解決する省エネデバイスだ。



**富岡 克広** とみおか かつひろ  
JST さきがけ専任研究者  
北海道大学 電子情報工学科 工学研究センター  
2008年 群馬大学工学部電気電子工学科卒業、同大大学院工学研究科電気電子工学科修士課程修了、北海道大学大学院情報科学研究所情報工学科工学専攻博士課程修了、博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、北海道大学大学院情報科学研究所グローバルGOE研究員を任ず、09年から現職。

シリコン基板上に化合物半導体の「ナノワイヤ」を作製するための結晶成長装置の前で、ゴミ、チリの混入を避けるため、クリーンルームでの作業が必要だ。

日進月歩でパソコンやデジタル家電は進化している。それを支えるのは、頭脳となるLSI(半導体集積回路)の高性能化だ。LSIは構成要素であるトランジスタ(電界効果トランジスタ:FET)を小さくして集積度を高め、数を増やすことで、高性能化してきた。最新のLSIで使われているトランジスタは最大で15億個、大きさは22ナノ(10億分の1)メートルだ。しかし、LSIの消費電力、発熱量が非常に大きく

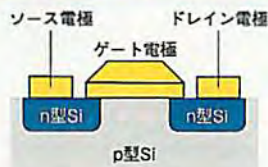
なることが問題となり、集積度の限界が近づいている——そんな状況を打ち破る。新しいトランジスタの開発にJST さきがけ専任研究者の富岡克広さんが成功した。トランジスタは電圧をかけたときに電流が流れるか流れないかで1(オン)と0(オフ)を判定する。このスイッチ機能がコンピュータのデジタル計算に応用されているのだ。スイッチング性能を示す「サブスレッショルド

係数」という数値が小さいほど、電圧が低く、消費電力が少なくて済む。普通のトランジスタは半導体の中を「ソース電極」から「ドレーン電極」に向かって流れる電子の数を「ゲート電極」の電圧で制御して、電流をオン/オフしているため、この数値の理論限界は60mV/桁だ。しかし、富岡さんが開発に成功した新型トランジスタは21mV/桁と極めて小さな値になるのだ。

## 縦型で実用化できると考えていた

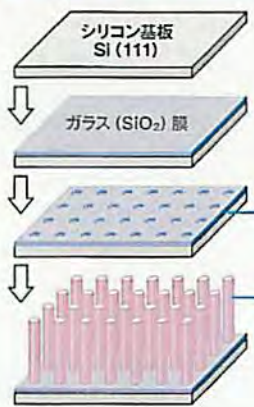
新型トランジスタはなぜ従来の理論限界を大幅に突破することができたのか?従来のトランジスタは平面型だが、新型は縦型になっていることが大きい。縦型のメリットは、平面型と比較して集積度を4倍に増やせることだ。また、縦型だと側面にゲート電極を付けられるので、水道の蛇口にバルブをいくつも付けたようなイメージで、リーク電流(流れ電流)を抑えられ、待機電力を大幅に減らせる。

### ■従来のトランジスタの平面構造



トランジスタ(電界効果トランジスタ:FET)では「ソース電極」から「ドレーン電極」に向かって半導体中を流れる電子の流れを「ゲート電極」に加えた電圧で制御している。

### ■新型トランジスタのナノワイヤ作成方法



シリコン基板(111)の上にガラス(SiO<sub>2</sub>)膜を張り、ガラス膜に微細な穴を開けて穴の中にIII-V族化合物の結晶を成長させる。この技術を使うと、シリコン基板上に化合物半導体のナノメートルサイズの柱(ナノワイヤ)を立てられる。

1989年に東北大学の舛岡富士雄名誉教授が最初に提唱したものです。トランジスタを円柱状に立体化することで低消費電力化、高集積化、高速化が図れるという論文を発表されたのです。平面型と比較すると、縦型は立体集積することになるので、三次元ゲート構造、電極構造の積層化など、技術的なハードルが高い。最近ではリーク電流を抑えるために立体ゲート構造のトランジスタも登場しているが、縦型は実用化されていない。

富岡さんが縦型トランジスタに着目したのは、もともと化合物半導体の結晶成長の研究を専門にしていたためだ。群馬大学工学部、同大学院で学生時代から研究を重ね、北海道大学大学院で福井孝志教授のもと、III-V族化合物半導体※1のナノワイヤ※2選択成長の研究を始めた。「学生時代から、シリコン基板上に化合物半導体を成長させてデバイスを作りたいと思っていました。極微小な平面構造の中で原子を制御し並べる技術は限界に近づいています。そこで、ナノワイヤを垂直に結晶成長させる技術を開発すれば、縦型トランジスタを実用化できると思ったのです。そういった技術は80年代から研究されていますが、結晶の格子サイズが異なるため結晶欠陥が

縦型トランジスタの可能性を追求しました。



起こりやすいことが問題でした。また、シリコン基板上に化合物半導体を成長させても、熱膨張係数の差が大きいので基板が反ってしまい、使い物にならないのです。私は「選択成長」という技術を使って、シリコン基板とIII-V族化合物をうまくつなげられるのではないかと考えました。シリコン基板

【用語解説】

- ※1 III-V族化合物半導体
- ※2 結晶元(アルミニウムやインジウムなど周期表の13族(3B族)に属する元素)とV族元素(リンやヒ素など周期表の15族(5B族)に属する元素)を組み合わせた半導体。
- ※2 ナノワイヤ

