

書き換え可能な半導体を量産 小型で省電力、放射線に耐える

多様化する社会のニーズに対応するため、開発者による書き換えが可能な汎用性の高い半導体の需要が高まっている。こうした需要に応え、回路のスイッチ部分に金属原子を使った半導体の量産に挑むのはナノブリッジ・セミコンダクター(茨城県つくば市)だ。小型で電力消費を抑え、放射線にも耐えるという特徴を持つ画期的な製品が、世界のICT研究開発を加速する。

自由度が高いFPGA IoTやAI活用で注目

モノのインターネットといわれるIoTが発達し、手元の端末を操作すれば望んだ情報が瞬時に手に入り、遠隔からも機器を操作できる時代になりつつある。この利便性は莫大な量の情報を瞬時に処理する集積回路(IC)の大容量化、高度化によって支えられている。昨今、特に注目を集めているICが「FPGA」だ(図1)。FPGAはユーザーが何度でも自由に書き換えられ、仕様変更に伴う作り直しや高価な専用品を購入する必要はない。開発リスクも減り、製造期間が短縮できる。現在は放送局用の高精細カメラや携帯電話の基地局などの利用にとどまるが、インフラを支えるデバイスとして期待が高まっている。

一方で多くのFPGAでは、回路情報を

記憶するために電源が必要で、チップサイズも大きいという欠点があった。そこで金属原子を動かすことで配線をスイッチングする「原子スイッチ」技術を使ったFPGAを開発したのが、ナノブリッジ・セミコンダクター(NBS)だ。「同程度の処理能力を持つFPGAと比べ、小型で低消費電力を実現しました」とNBSの杉林直彦代表取締役社長は語る。

銅のスイッチで回路構築 電力効率が約10倍に向上

原子スイッチは青野正和博士がCRESTで研究を重ね、2001年に原理を実証した技術だ。固体電解質電極と金属電極の間に、金属でできたナノ(10億分の1)メートルサイズの橋「ナノブリッジ」を作ったり、消したりしてスイッチを制御する(図2)。「原子スイッチを集積化したい



ただむねひろ
多田 宗弘
取締役副社長

すぎばやし ただひこ
杉林 直彦
代表取締役社長

さかもと たしづく
阪本 利司
取締役技術責任者

と相談を受けたのが、開発のきっかけです」と振り返るのはNBSの阪本利司取締役技術責任者だ。00年にSORSTに採択され実用化研究が始まった当初は、電源供給なしで情報を保持できる不揮発性メモリー素子として、原子スイッチを応用しようと考えていた。しかしFPGAの小型化や信頼性向上を目指し、原子スイッチをFPGA内に作り込むことにした。半導体の配線として使われ始めていた銅を使用し、11年に金属原子移動型スイッチを利用したナノブリッジ・FPGA(NB-FPGA)の試作に成功した。

14年から始まったCRESTでは、記憶を保持するのに電力が必要な半導体メモリーの「SRAM」をすべて原子スイッチに置き換えることを目指した。その結果、従来のFPGAの約3分の1と小型化し、電力効率が約10倍に向上した。SRAMの4分の1程度に相当する部分を原子スイッ

チに置き換えたものでは品質が安定し、サンプル出荷できるまでになった。「1990年代に始まった基礎研究が、いくつものJSTのプロジェクトを経てようやく花開きました」と阪本さんは感慨深げに語る。現在はずべてを原子スイッチに置き換えた製品の開発に取り組んでいる。「試作は成功しているので、量産に向けた技術開発を行っています」と阪本さんは次なる課題を見据える。

高性能も需要は伸び悩み 宇宙での実証実験に活路

開発は順調に進み、17年にはサンプル出荷までこぎ着けたが、需要は伸び悩んでいた。まずは使ってもらうところからだと、関係者に話して回っていた時に紹介されたのが宇宙航空研究開発機構(JAXA)の「革新的衛星技術実証プログラム」だった。

従来のFPGAは放射線の影響を受けると予測できないエラーが起こるため、宇宙空間では利用できなかった。「NB-FPGAは耐放射線が特徴です。金属を使っているので放射線の影響を受けにくく、素子自身のエラー発生率も大幅に下がります。打ち上げ後に不測の事態が生じて、回路を変更できません。宇宙での利用に向いていると思います、応募しました」と杉林さん。NB-FPGAをカメラに組み込み、宇宙空間での実証実験に活路を求めた。高い性能が求められる人工衛星でNB-FPGAの性能を実証し、従

来のFPGAからNB-FPGAへの置き換えが進むと期待される。

優れた技術生かしたい 適材適所の陣容で船出

ようやく実用化が見えた頃、当時在籍していた日本電気(NEC)の半導体部門が閉じることになった。「このまま私たちが実用化を諦めれば、この優れた技術が埋もれてしまうと思いました。なんとか社会で生かしたいと、19年に起業に踏み切りました」とNBSの多田宗弘取締役副社長は当時を振り返る。NECでは杉林さんが事業化、阪本さんは技術開発、多田さんは開発製造をそれぞれ担当していたが、NBSでも体制をそのまま引き継いだ。

適材適所の陣容で船出できたのは幸いだったが、ベンチャーを成功に導くには高い研究開発力と資金調達力も重要だと杉林さんは強調する。「研究開発で次のビジネスを模索するのと同時に、資金が途切れないよう、必要なときに必要なだけ調達しなければなりません。市場のニーズに合わせて、性能が一段階落ちてでも売れるものは売るという冷静な経営判断も必要だ。困っていることを素直に口に出してみることも大切かもしれません。思った以上に多くの方が手を貸し、応援してくれました」と阪本さんは付け加える。

NB-FPGAは、従来の半導体製造ラインを利用できる製法を取り入れ、導入のハードルを下げた。「原子スイッチをチップ上に作り込むためのマスク技術なども、従来技術と同じです。今ある装置を使って、従来の半導体にはない電解質層などをいかにして作り込むかが課題です」と多田さんは話す。

現在は国内の半導体メーカーと協力し、規格の65ナノメートルサイズで製造しているが、通信分野などで広く普及するためには28ナノメートルサイズまで微細化が必要だ。「日本にはこのサイズを作れる装置がないので、海外企業に製造を依頼しています。コストや品質などの調整も進めており、量産体制を整えたいです」と目標を見据える。NBSが目指す理想のNB-FPGAが人工衛星や通信分野、さらには自動車や医療といった幅広い分野で活用される未来が、すぐそこまで来ている。

スイッチ技術	SRAM+トランジスタ	Flash	アンチフェーズ	ナノブリッジ
信頼化技術	多重化・多数決論理	浮遊ノード(絶縁分離)	金属架橋(絶縁破壊)	金属架橋(電気化学反応)
Technology	7ナノメートル	28ナノメートル	150ナノメートル	28ナノメートル
大規模化	○	△	×	○
周辺回路	○	△	△	○
書き換え	○	○	×	○
放射線耐性	△	△	○	○
不揮発性	×	○	○	○

図1 NB-FPGAと高信頼性FPGAの比較表。表の左から2列目にあるのは現在の主流のFPGAだ。SRAMスイッチを使うタイプでは電源投入時に、毎回FPGAの内容を書き込む必要がある。それより右のタイプは、NB-FPGAを含めて不揮発性のスイッチなので、電源を切断しても書き込みの必要がない。

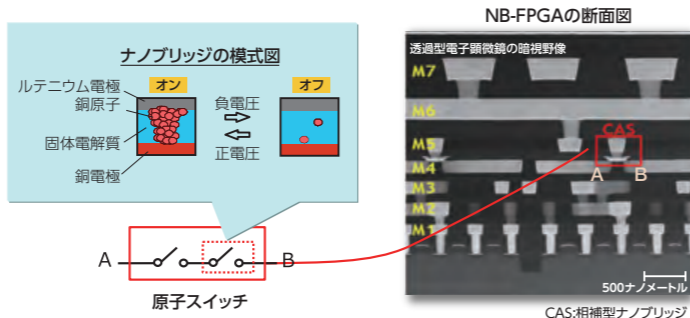


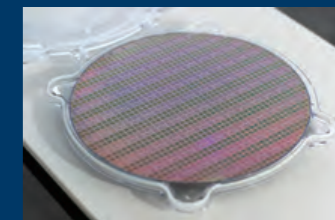
図2 ナノブリッジの模式図(左)とNB-FPGAの断面図(右) 原子スイッチは電極間が10ナノメートル程度になるように設計した回路に電圧をかけ、2つの電極間に金属の橋を作ったり消したりすることで、オンオフを制御する仕組みだ。NB-FPGAはポリマー固体電解質を活性な銅電極と不活性なルテニウム電極で挟んだ構造をしている。半導体スイッチに比べて負荷容量が小さく、オン、オフの抵抗差が高いので、半導体のスイッチと半導体メモリーを両方書き換えることができる。NB-FPGAの断面を見ると、7層の銅配線層を用い、4層と5層の間にナノブリッジが形成されていることがわかる。

HISTORY

2001年 CREST「人工ナノ構造の機能探索」(1995~2000年)の成果として青野正和博士(理化学研究所、当時)が、「原子スイッチ」の原理を実証。

2011年 SORST「新しい量子効果スイッチの機能素子化」(00~03年)などでの実用化研究を経て、NECが「NB-FPGA」の試作に成功。

2017年 CREST「ヒアスイッチの実現によるアルゴリズム・処理機構融合型コンピューティングの創出」(14~20年)の成果として、NECが従来比1/3のチップサイズ、10倍の電力効率を実現した「NB-FPGA」のサンプル出荷開始。



2019年 ナノブリッジ・セミコンダクターを設立。宇宙空間でNB-FPGAの性能を実証。

2021年 FPGAの一般販売を目指し、量産化研究中。

実績を積み重ねながら、理想のNB-FPGAの実現を目指していきます。製品の性能に加え、企業としての安定性や信頼性もNB-FPGAの普及には重要だと考えています。

