

新聞発表記事

掲載紙紹介

(日経新聞、日刊工業新聞、フジサンケイビジネスアイ、電気新聞、日経産業新聞、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、中日新聞)

超電導SFQ回路の高速化により、120ギガヘルツ集積回路を実現

平成17年9月2日

名古屋大学
(財)国際超電導産業技術研究センター

名古屋大学(藤巻朗教授)と(財)国際超電導産業技術研究センター(理事長:荒木浩)超電導工学研究所は、低温超電導^(注1)SFQ(単一磁束量子)回路^(注2)の微細化による高速化を行い、シフトレジスタ^(注3)回路において、集積回路の動作周波数(クロック)120ギガヘルツ(GHz)(1ギガは10億)での動作の実証に、世界で初めて成功しました。

本プロジェクトでは既に超電導SFQスイッチスケジューラ^(注4)(ネットワークルータ用回路)等の40GHz以上で動作する多くの集積回路の開発に成功していますが、今回の研究成果は、これらの回路のクロックを2倍以上高め、サブテラヘルツ^(注5)と呼ばれる100GHz以上の領域に道を拓くものです。これにより、現在の半導体LSI(大規模集積回路)の最高クロックが3.8GHz^(注6)であるのに比べ、数十倍高速のコンピュータやネットワークルータがコンパクトに実現できるようになります。

今回の成果は、「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」事業(プロジェクトリーダー:早川尚夫名古屋大学名誉教授)として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて実施したものです。

技術的な詳細は、9月6日(現地時間)に、ISEC'05(第10回国際超電導エレクトロニクス会議2005。オランダ王国において9月6日から9日まで開催)において発表いたします。

今回作成したシフトレジスタ回路は、処理能力が8ビットと小規模の回路ですが、100GHz以上でもSFQ回路においては、性能向上のためにスケーリング則^(注7)が使えることを実証したことに重要な意味があります。

今回の動作実験では、①回路の微細化を実現するための製造方法の高度化及び②回路の微細化に対応した設計技術の開発を行いました。具体的には以下のとおりです。

(1) 新ニオブ系回路製造ライン

SFQ回路には半導体LSI回路と同じスケーリング則が存在し、微細化によって動作速度が向上すると考えられてきました。今回は、超電導工学研究所のニオブ系回路製造ラインで用いられているフィーチャーサイズ^(注10)を従来の2 μ mから1 μ mに縮小した、新しいプロセスの立ち上げを行いました。これにより、従来比2倍程度で動作するSFQ回路の製造が可能となりました。

今回立ち上げたプロセスは最先端の半導体技術に比べるとフィーチャーサイズが一桁以上大きいもの

ですが、ニオブ系回路は半導体微細加工技術の適用が容易なため、一層進んだ半導体微細加工技術を取り入れることにより、SFQ回路の動作速度をさらに向上させることが出来ると期待できます。

(2)実績のあるSFQ回路設計法に基づく、高速回路設計技術

今回用いた設計技術は、SFQ回路用に開発したセルベース設計法^(注8)に基づくものです。この設計法を基に2 μ m製造プロセス用に構築したCONNECTセルライブラリ^(注9)を用いて、これまでにマイクロプロセッサや4 \times 4スイッチ等の大規模回路の開発に成功しています。今回、この設計法に高速化のための工夫を取り込み、100GHz以上で動作するようセルの再設計を行いました。今回のシフトレジスタ回路は、この再設計されたセルを用いて構築を行いました。

また、今回の共同研究においては、製造プロセス開発を超電導工学研究所、設計技術開発を名古屋大学がそれぞれ分担し、名古屋大学の教員が超電導工学研究所に派遣されて研究を連携・発展させたものですが、その実施に当たっては、研究公務員が研究交流促進法に基づく共同研究休職の特例措置の下で休職出向をして研究を行うという、我が国で初のケースともなりました。

インターネットをはじめとする情報通信ネットワークの急速なブロードバンド化は、ネットワーク中のデータを処理するルータやサーバに今後も一段と高速な処理を求め続けます。しかしながら、現在これらの情報機器の核となっている半導体技術は、チップ自身の発熱を抑えるために動作を遅くせざるを得なくなったり、トランジスタの動作速度とは無関係に信号が配線を伝搬するときの遅延時間がチップ全体の処理能力を決めてしまうといった大きな障害に直面しています。この問題を根本から解決し得る技術が超電導現象を利用したSFQ回路です。SFQ回路を用いることにより、現在の半導体と比べ数十倍高速で、3桁以上低消費電力な大規模集積回路(LSI)を構築することが可能です。更には、充放電現象に基づく半導体技術の信号の伝搬^(注11)と違い、SFQ回路では信号(パルス)が光の速度(集積回路中では真空中の1/3程度)で伝わるため、半導体回路と比べて配線遅延の問題も大幅に低減されます。

今回の動作実証により、半導体集積回路と同様に微細化を行うことでSFQ回路も性能が向上すること、及び、SFQ回路用に開発しこれまでに実績のある設計手法が100GHz以上でも有効であることが同時に証明されました。このことはサブテラヘルツ領域で動作する超電導SFQ集積回路の開発へ向けた大きな一歩であると言えます。また、これらの成果により、SFQネットワークルータやSFQマイクロプロセッサの高速化に向けた開発が、今後加速されるものと考えられます。

[本件に関するお問合せ先]

名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻

教授 藤巻 朗

電話:052-789-3323

FAX: 052-789-3160

e-mail: fujimaki@nuee.nagoya-u.ac.jp

助手 赤池 宏之

電話:052-789-4425

FAX: 052-789-3160

e-mail: akaike@nuee.nagoya-u.ac.jp

超電導工学研究所 デバイス研究開発部

部長 田辺 圭一

電話 03-3536-5709

FAX:03-3536-5705

e-mail: tanabe@istec.or.jp

低温デバイス開発室長 日高 睦夫

電話 029-849-0707

FAX:029-859-5531

e-mail: hidaka@istec.or.jp

(注1)低温超電導

超電導デジタル応用に使われる超電導体には、マイナス269°C(絶対温度4° K)付近で動作する低温超電導体とマイナス243°C(絶対温度30° K)以上で動作する酸化物系の高温超電導体とがあります。低温超電導材料には一般にニオブ(Nb)という金属が用いられます。ニオブは安定で取り扱いやすい材料であるため、ニオブ系の回路は集積度が高いことが特徴です。

最近では、ニオブ系超電導回路が動作する絶対温度4° Kまで簡単に冷却できる冷凍機も市販されています。

(注2)SFQ(単一磁束量子)回路

超電導体で作られたリングを用いることで、磁束を $2.07 \times 10^{-15} \text{Wb}$ を一つの単位として閉じ込めることが可能となります。このことを磁束の量子化と言います。量子化された磁束の最小単位を単一磁束量子または英語表記でSFQ(Single Flux Quantum)と呼びます。

SFQ回路とは、超電導リング中のSFQの有無を情報の”1”,”0”に対応させて演算を行う回路のことをいいます。

超電導リングにSFQを出し入れするには、ジョセフソン接合と呼ばれる能動素子を使います。ジョセフソン接合は超電導体同士が”弱く”結合した構造をしています。このジョセフソン接合にある一定電流(臨界電流)以上の電流が流れると超電導状態から電圧状態(非超電導状態)に転移します。超電導リングに含まれるジョセフソン接合の電圧状態への転移により、超電導リングが壊れた部分を通してSFQの出入りを制御し、演算を行います。動作速度は半導体素子の100倍、消費電力は1/1000です。また、SFQは超電導配線中を光速に近いスピードで減衰なしに伝わるすることができます。

(注3)シフトレジスタ

レジスタとは、マイクロプロセッサをはじめとする様々な集積回路内にある記憶素子のことです。例えばマイクロプロセッサでは、一つのレジスタが記憶できる情報量(レジスタ長)が32ビットであれば、32ビットプロセッサ(32ビットCPU)といいます。シフトレジスタは、このレジスタの一種であり、クロック信号が入るたびに、保持されている情報を1ビットずつシフトさせる機能を持ち、1ビットの情報を記憶する回路を多段接続することにより構成されます。

(注4)スイッチスケジューラ

スイッチスケジューラとは、ネットワークルータを構成する主要パーツで、ネットワークルータの内部で同じ行き先のパケット同士が衝突しないように、データの振り分け処理をする順番をコントロールする回路のことです。

(注5)サブテラヘルツ

100GHz(10^{11} Hz)から1THz(10^{12} Hz)までの周波数範囲を指します。

(注6)3.8GHz

pentium4(Intel社)相当。

(注7)スケーリング則

集積回路に用いられるデバイス(超電導回路の場合ジョセフソン接合、半導体回路の場合トランジスタなど)を微細化させることは、集積回路の集積度を向上させると同時に、動作速度の改善につながります。通常、この微細化は、ある規則に従ってデバイスの設計寸法を比例縮小させることによって行われます。この比例縮小のことをスケーリングと呼び、その規則のことをスケーリング則といいます。

(注8)セルベース設計法

ゲートや配線をセルと呼ばれる基本単位に分割し、それを2次元に並べることにより回路を構成していく方法です。セルの大きさや入出力ピンの場所があらかじめ決められており、ジグソーパズルの様に、並べるだけで隣のセルとの入出力ピンがつながるようになっています。

(注9)CONNECTセルライブラリ

半導体回路と動作原理の異なるSFQ回路設計のために、超電導工学研究所、名古屋大学、横浜国立大学及び情報通信研究機構は共同で、共通基盤として約250のSFQセル(基本構成単位)を有する標準セルライブラリ(CONNECTセルライブラリ)を構築する等、SFQ回路設計技術を開発しています。

(注10)フィーチャーサイズ

集積回路の性能を特徴付ける代表的なサイズのことです。半導体集積回路では、トランジスタのゲート長がフィーチャーサイズとなります。SFQ集積回路のフィーチャーサイズは、ジョセフソン接合の一辺の長さです。

(注11)充放電現象に基づく半導体技術の信号の伝搬

半導体回路では、ある素子から次の素子へ配線を通して信号を送るとき、配線そのものを、送る信号の"1","0"に応じた電圧値にする必要があります。このとき、配線は一種のコンデンサとして振る舞い、電気を充電したり、放電したりすることが必要となります。