

2019年1月31日

国立大学法人 横浜国立大学

新型超伝導回路を用いた超低電力集積回路の実証に成功

~高性能コンピュータの大幅な低消費電力化を可能に~

横浜国立大学先端科学高等研究院の竹内尚輝特任准教授、吉川信行教授らは、新型超伝導回路を用いて集積回路を試作し、その超低消費電力動作の実証に成功しました。新型超伝導回路では、量子磁束パラメトロンと呼ばれる回路を断熱的に動作させることで、その消費電力を極限まで下げることが可能となりました。今回、断熱的量子磁束パラメトロン(AQFP)を用いて8ビット加算器を試作し、その消費エネルギーを5 GHzの動作周波数で測定したところ、1演算あたり1.5 aJ(アトジュール、aは 10^{-18})で動作することを示しました。この消費電力は従来の半導体集積回路に比べて6桁程度小さく、超伝導回路を冷却するために必要な電力を見込んでもコンピュータの消費電力を従来の約千分の1以下に下げることが可能となります。

図1には今回試作したAQFPを用いた8ビット桁上げ先見加算器の顕微鏡写真を示します。回路は1062個のジョセフソン素子で構成され、超伝導集積回路の試作は産業技術総合研究所の共同実験設備であるCRAVITYを用いて行われました。回路の機能試験は4.2Kの液体ヘリウム中で行われ、1GHzのクロック周波数において回路が正常に動作することが確認されました。

近年、データセンターやスーパーコンピュータなどの高性能コンピュータの消費電力が爆発的に増大し、冷却限界が情報処理のスピードを制限するだけでなく、CO₂排出量の増大が大きな社会問題となっていました。さらに近年のAI技術の進歩を進めるためには、より膨大な情報処理を行うために省エネ性能の高い集積回路の開発が必要とされていました。今回開発した技術により、集積回路の消費電力を飛躍的に低減させることが可能となり、大規模な情報処理が必要な様々な分野への波及効果が期待されます。また、極低温で動作する量子コンピュータの制御用回路への応用も期待されます。

本研究成果は、米国 Applied Physics Letters 誌に1月28日に掲載されまし

た。また、本研究は、JST さきがけ (JPMJPR1528)、JSPS 科研費 (26220904) の助成を受けたものです。

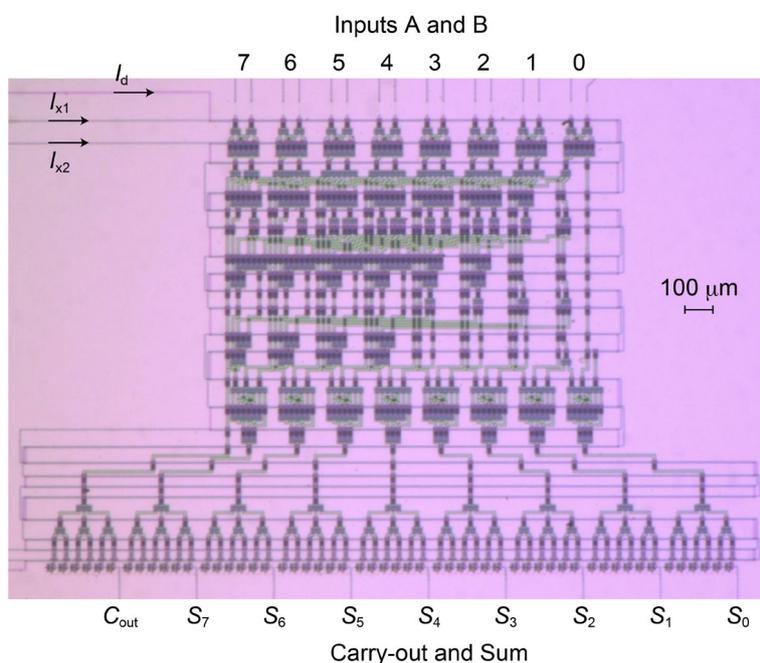


図 1 断熱的量子磁束パラメトロンを用いた 8 ビット桁上げ先見加算器の顕微鏡写真。産業技術総合研究所の共同実験設備である CRAVITY を用いて作製された。回路は 1062 個のジョセフソン素子により構成される。

【本件に関するお問い合わせ先】

国立大学法人横浜国立大学

先端科学高等研究院

教授 吉川信行

電話 : 045-339-4259

E-Mail: nyoshi@ynu.ac.jp

【用語の説明】

量子磁束パラメトロン：1986年に東大の後藤英一教授により提案された超伝導回路です。2つのジョセフソン素子を含む超伝導ループで構成されます。1980年代から1990年代にかけて、これらの技術を用いたコンピュータの研究プロジェクトが行われていましたが、半導体デバイスの進歩に押され、研究は続けられなくなりました。

回路の断熱的動作：半導体 CMOS 回路などの通常の演算回路は、回路のオン／オフの際に瞬間的に大きな電流が流れ、大きな電圧が発生します。この時に回路では大きな電力が消費されます。これに対して断熱的回路では、回路をゆっくりと動作させることで、回路に発生する電流や電圧を小さくします。これにより、回路で消費される電力を飛躍的に小さくすることができます。

断熱的量子磁束パラメトロン(AQFP: adiabatic quantum flux parametron)：量子磁束パラメトロンを断熱的に動作させることができるように最適化した回路です。回路の動作周波数に比例して消費エネルギーを下げるのが可能です。横浜国立大学の研究グループにより先駆的に研究が進められ、次世代の集積回路として期待されています。

ジョセフソン素子：2つの超伝導体電極を厚さ1~2 nmの薄い絶縁体で挟んだ構造をとります。超伝導電流をオンオフするスイッチの機能を持ちます。