

高温超電導デジタル集積回路実現に見通し
—高温超電導ジョセフソン接合技術を確立—

超電導工学研究所
日本電気 株式会社
株式会社 東芝
株式会社 日立製作所

超電導工学研究所(注1)は通商産業省工業技術院のニューサンシャイン計画の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けて、超電導応用基盤技術開発プロジェクトを平成10年度から実施しており、その一部として超高速高温超電導素子の開発を遂行している。この素子開発には、超電導工学研究所の他に産業界から7社が参加している(注2)。超電導素子としては、半導体シリコン素子を100倍上回る超高速性と1/1000という小さな低消費電力性を示す単一磁束量子素子(注3)を選び、デジタル集積回路の開発を目標としているが、最も重要な課題は、高性能でかつ特性のばらつきの小さな高温超電導ジョセフソン接合の作製技術の確立にある。超電導工学研究所、[日本電気株式会社](#)、[株式会社東芝](#)、[株式会社日立製作所](#)は共同して接合技術の開発を行っているが、この度、ジョセフソン接合の作製技術を確立し、超高速・低消費電力の集積回路実現に明るい見通しを得た。これは、超高速・大容量の情報処理とならび低消費電力性が必要とされている近未来の情報化社会に大きなインパクトを与えるものと思われる。

従来の高温超電導ジョセフソン接合は、2つの超電導薄膜の間に厚さ10nm(1/100ミクロン)という非常に薄い絶縁体物質(バリア層)を薄膜技術で堆積し作られていたが、特性のばらつきが大きく不安定な技術であった。本プロジェクトでは昨年度、超電導層表面をイオン照射により改質し形成した絶縁層をバリア層(界面改質バリア)とすることにより高性能の接合が得られることを、日本電気株式会社基礎研究所が発見した。その後、超電導工学研究所において透過電子顕微鏡(TEM)観察による接合構造の解析を行い、界面改質バリアが厚さ約2nmの立方晶の絶縁体 $(Y_{1-x}Cu_x)BaO_{3-d}$ であることを明らかにした(付属資料参照)。また、株式会社東芝研究開発センターと株式会社日立製作所基礎研究所において、異なった薄膜作製・加工装置や材料の組み合わせで同様な手法により接合の試作を行ったところ、ほぼ同等の性能をもつ接合が得られ、高温超電導体のような複雑な材料における最も重要な課題である特性の再現性を確認した。

この技術により作製されたジョセフソン接合は、臨界電流値 I_c のばらつき(標準偏差 σ)が100-1000個の接合で8-10%と小さく、20個以下の接合では最高で5%という値を観測している。これは、10,000個程度の接合を含む集積回路の作製を可能とする均一度に相当する。今後は、この技術をさらに発展させることにより、14年度末までに10,000個の接合を5%以下のばらつきで、臨界電流をねらった値に制御性よく作製できる技術を開発する予定である。また、同時に進めている中・大規模の単一磁束量子回路の設計技術の開発と合わせ、14年度末を目途に、1,000-10,000接合規模の高温超電導回路(例えば超高速・高精度AD変換器に相当する規模)の試作と動作実証を目指していく。

本研究は、通商産業省工業技術院のニューサンシャイン計画のもと、超電導応用基盤技術研究共同体の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託されて実施しているものである。

(注1) (財)国際超電導産業技術研究センター(理事長:那須 翔、経団連評議 員会議

長)所属の研究所で、所長は田中昭二東京大学名誉教授、同財団副理事長。

(注2) 超電導素子技術開発では、超電導工学研究所以外に、日立製作所、東芝、日本電気、富士通、三菱電機、三洋電機、デュポンの7社の再委託企業の研究所が参加している。

(注3) 一個の磁束量子 $\phi_0 (= h/2e; h$ はプランク定数、 e は電子の電荷)を蓄えられる超電導線ループと、そのループへの磁束量子の出入りを制御するジョセフソン接合を基本単位とするデバイスで、接続された多数の超電導ループ(分岐や結合を含む)に磁束量子を転送する(転送の際には超電導線路には1 ps程度の幅をもつ電圧電流パルスが伝わる)ことにより論理演算を行う。Si CMOSデバイスの10-100 mWに比べ約3桁小さな50-100 nW程度の消費電力(ゲート当たり)で、100 GHz以上の高速クロックでのLSI動作が可能なが予測されている。

付属資料

開発した高温超電導ジョセフソン接合の断面の透過電子顕微鏡像

破線で挟まれた厚さ約2 nmの部分が立方晶の絶縁体物質で、バリア層としての働きをしている。

なお、本発表の技術的な問い合わせ先は

超電導工学研究所 デバイス研究部門 第六研究部部長 田辺圭一

電話 03-3536-0617 ファックス 03-3536-5717

NEC基礎研究所 研究マネージャー 田原修一

電話 0298-50-1159 ファックス 0298-56-6139

東芝研究開発センター 研究主幹 吉田二郎

電話 044-549-2110 ファックス 044-520-1801

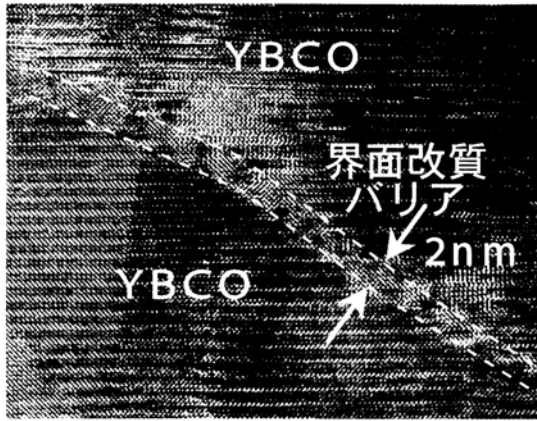
日立製作所基礎研究所 主管研究員 高木一正

電話 042-323-1111 ファックス 042-327-7722

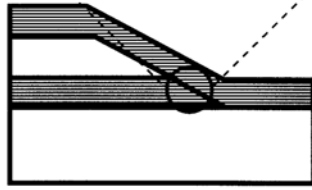
付属資料

開発した高温超電導ジョセフソン接合の断面の透過電子顕微鏡像

破線で挟まれた厚さ2nm 部分が立方晶の絶縁体物質で、
バリア層としての働きをしている。



上部YBCO薄膜
絶縁層
下部YBCO薄膜
基板



ランプエッジ型
高温超電導ジョセフソン接合