

掲載内容 (サマリー):

ISTEC「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」開始
超電導関連 9月-10月の催し物案内
ジョセフソン接合とSFQ回路
HTS-SQUID 開発の現状
電圧標準開発の現状
チューナブルフィルタ開発の現状
超電導関連製品ガイド - 開発中超電導デジタル機器 -
新聞ヘッドライン (7/19-8/20)
超電導速報 世界の動き(2002年7月)
標準化活動 今月のトピックス IEC 国際規格 (IS) 2件制定 -
MgB₂ジョセフソントンネル接合
特許情報
ICEC19 出張報告
ASC2002
ASC2002 より
隔月連載記事 - 超電導量子コンピュータの実現に向けて (その5)
読者の広場(Q&A) - SFQ回路を構成する上でLTSとHTSにどのような難しさの違いがあるのでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

ISTEC「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」開始

(財)国際超電導産業技術研究センター(略称ISTEC、理事長:荒木浩 日本経済団体連合会副会長)は、平成14年に経済産業省からの委託を受けて「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」プロジェクト(プロジェクトリーダー:早川尚夫 名古屋大学教授)を開始することとなった。なお、このプロジェクトの研究開発期間は平成14年度から5年間、初年度予算は614百万円である。

プロジェクトの目的は、経済産業省が今年度から開始した情報通信基盤高度化プログラムの一環として情報通信基盤の重要な要素であるルータとサーバについて、ネットワーク容量の増大に伴う通信停滞の解決や低消費電力化のための道筋をつけることである。

プロジェクトの目指すものは、ニオブを超電導材料とするジョセフソン素子を用いて、従来の半導体技術では実現不可能な超高速・低消費電力性能を実証することである。具体的には、ルータ用スイッチモジュール及びサーバ用プロセッサモジュールを開発する。

プロジェクト実施は図1に示すような集中研究体制により推進し、研究員はISTECの研究機関である超電導工学研究所(SRL)の研究員及び企業からSRLへの出向研究員から構成されている。さらに、再委託および共同実施の形態で関連分野の研究に優れた実績をもつ大学、国立研究所と産学連携を図りながら、超高速ネットワークデバイスの開発をめざす。主たる研究開発はNEC 筑波研究所の建物内に超電導工学研究所低温デバイス開発室を設置して推進する。

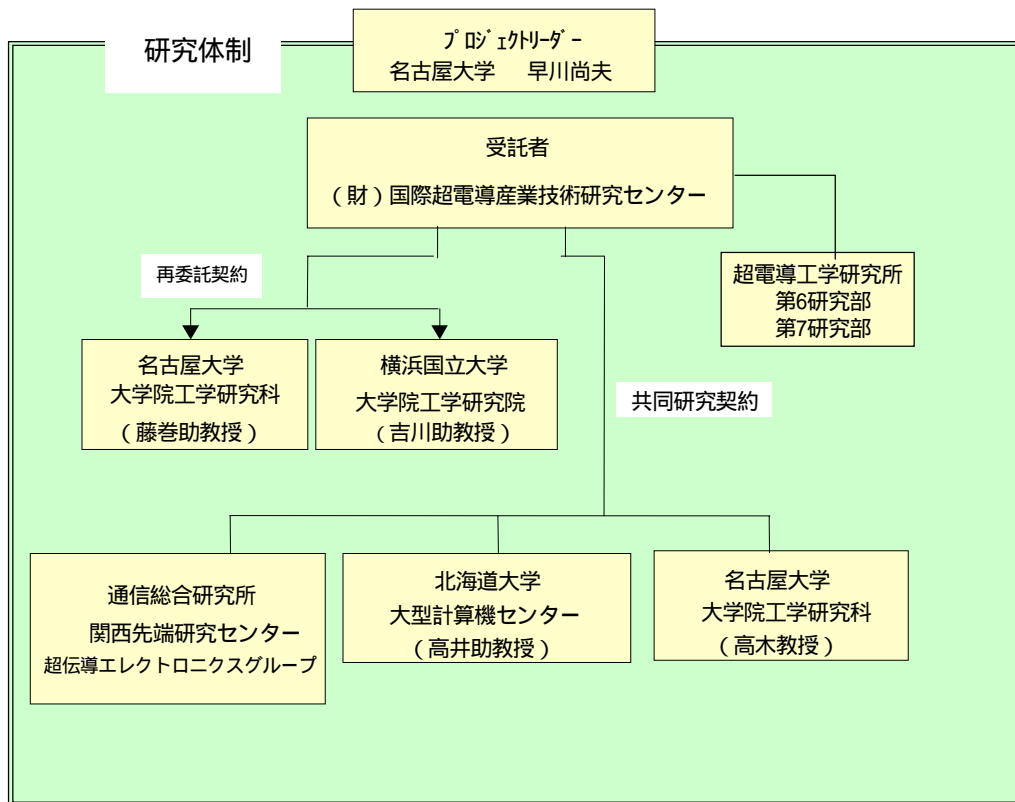


図1 研究体制図

以下に述べる ~ の4つの項目について研究開発を行う。それぞれの項目は、図2に示すように、と で開発した技術を と に適用する形で連携している。

ニオブ系 LSI プロセス開発

これまで NEC を中心として、数千接合規模の回路が試作できる技術 (NEC 標準プロセス) が開発されている。本プロジェクトの中では、これをさらに発展させて 10 万接合規模の回路が作れる技術の開発を行う (アドバンスプロセス、)。

超電導磁束量子(SFQ)回路設計基盤技術開発

本研究開発は、セルベーストップダウン設計を基本とした SFQ 回路設計基盤技術の構築を目的とする。具体的には、(1)論理セルライブラリの構築と論理セルの最適設計アルゴリズム・ツール開発、(2)自動化設計手法研究とツール開発、(3)最適回路アーキテクチャ、配線スキームなどの回路高速化手法の研究開発、の3点を柱に研究開発を行う。

SFQ ルータ用スイッチモジュールの基盤技術開発

SFQ 回路技術を用いたパケットスイッチモジュールの開発を行う。目指す性能は 1.2Tbps である。(1)ルータアーキテクチャ研究、(2)パケットスイッチ LSI 開発、(3)超高速 SFQ LSI 実装モジュールの開発の3項目に分けて行う。

SFQ サーバ用プロセッサモジュールの基盤技術開発

SFQ 回路をマルチプロセッサ構成のサーバに応用することを念頭に、適切なマルチプロセッサ構成法の提案・評価、プロセッサモジュールのマイクロアーキテクチャの提案を行うとともに、基本構造の動作実証・評価、および構成回路の高速動作実証 (クロック 25GHz) 等を実施する。

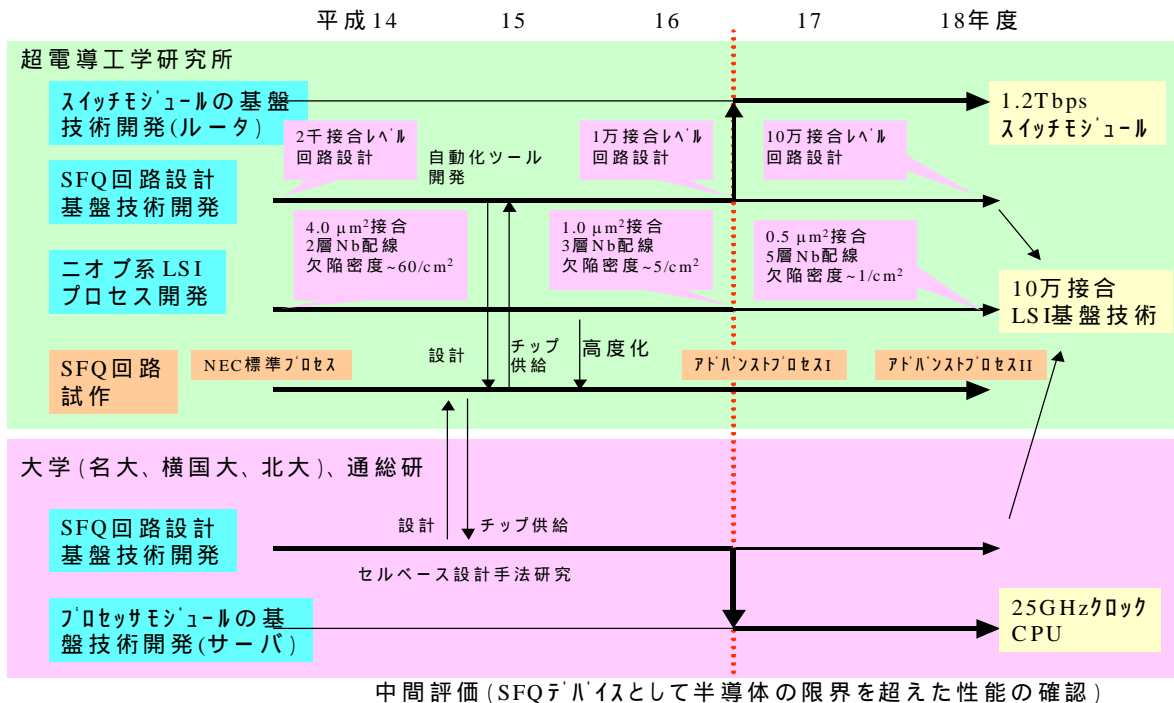


図2 研究計画

以上の研究開発を行うことにより、これまで小規模のテスト回路でしか実現されていなかった超電導デバイスの超高速・低消費電力性能を、システムレベルで評価できるようになると考えている。

(SRL/ISTEC 特別研究員 蓮尾信也)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 9月-10月の催し物案内

9/2-6

MAGLEV 2002/17th International Conference on MAGnetically LEVitated Systems and Linear Devices

場所：Lausanne, Germany
<http://www.maglev2002.ch>

9/5-6

第2回材料研究会 / 東北・北海道支部合同研究会 - 揚水発電所見学会

場所：古河電工鬼怒川保養所
(栃木県藤原町)
(主催 低温工学協会)

9/10

平成 14 年度電気学会東京支部連合研究会「超電導デバイスとその応用」

場所：早稲田大学理工学部
52号館2階203号室
(主催 電気学会 東京支部)
<http://www.sci.waseda.ac.jp/campus-map/index.html>

9/12-14

東北・北海道支部第7回超伝導・低温若手セミナー

場所：しいざき温泉(佐渡)
(主催 低温工学協会)

9/13

関西支部第18回低温工学基礎技術講習会

場所：大阪市立大学文化交流センター(大阪市)
(主催 低温工学協会)

9/30-10/4

Second German-Japanese Workshop on Industrial Application of Superconductivity Technology, including Laboratory Tour

場所：Forschungszentrum Karlsruhe, Germany

(Organized by the German-Japanese Cooperation Council for High-Technology and Environmental Technology)

10/17

第4回冷凍部会例会/第2回超電導応用研究会「SQUID 応用と冷凍機」

場所：産総研臨海副都心センター
(東京・お台場)
(主催 低温工学協会)

10/18-19

東北・北海道支部市民講演会「生活・地域への磁気応用」

場所：岩手大学工学部(盛岡市)
(主催 低温工学協会)

10/22

第3回超伝導スクール

場所：超電導工学研究所(東京)
(主催 応用物理学会)

Tel: 03-3238-1043

10/29

第3回材料研究会/九州・西日本支部第1回研究会

場所：長崎大学(長崎市)
(主催 低温工学協会)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ジョセフソン接合と SFQ 回路

半導体回路ではトランジスタが基本デバイスとして用いられている。同じように超電導回路では、ジョセフソン接合が基本デバイスとして用いられる。ジョセフソン接合とは図1に示すように、ふたつの超電導体を非常に薄い絶縁体を挟んで接合（近接）させたものである。どのくらい薄い絶縁体かという、超電導電流がそのまま、この絶縁体をトンネル効果で透過して流れるくらい薄い必要がある。このような構造（接合と呼ぶ）において、超電導電流がトンネル電流として流れ得ることを最初に理論的に予言したのが英国の B. D. Josephson である。この接合は彼の名前をとってジョセフソン接合と呼ばれている。図2に、このジョセフソン接合の電流電圧特性を示す。ある電流値までは、電圧ゼロで（すなわち超電導電流が）流れることが分かる。電流がこの値を越えるとふつうの電流が流れ、電圧が発生する。このふたつの状態間の変化はトンネル現象の変化であるため非常に速い。ジョセフソン接合が超高速デバイスである所以である。

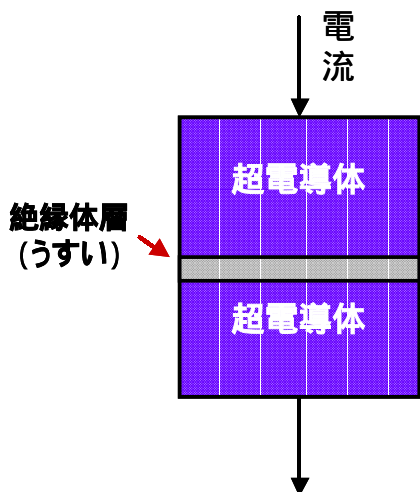


図1 ジョセフソン接合の断面図

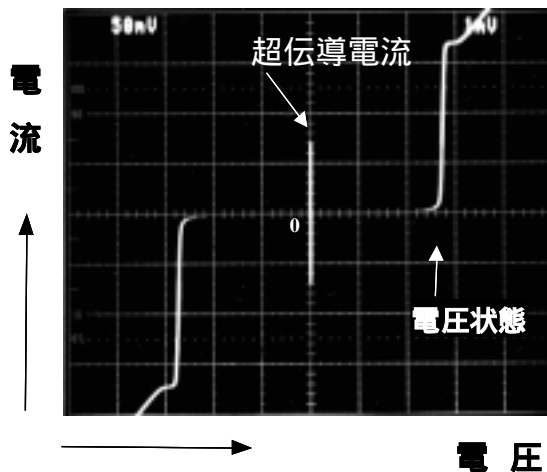


図2 ジョセフソン接合の電流 - 電圧特性(ニオブ接合)

SFQ回路はこのジョセフソン接合ふたつを超電導体で繋いでループを形成したもの（図3）を基本回路とする。超電導体は電気抵抗がゼロなので電気回路的にはインダクタである。図4に、この回路の等価回路を示す。図中の×印がジョセフソン接合を表す。この基本回路に外から磁界を加えると磁界がこのループの中に入ることができる。本来、超電導体は磁界をしゃへいして中に入れない性質（マイスナー効果）があるので、磁界はこの超電導ループの中に入れないはずである。しかしループの一部にジョセフソン接合があると、このジョセフソン接合（の絶縁体層）を通して磁界が侵入することができる。ただしアナログ的に任意の値で入る訳ではなく、磁束量子を単位としてこの整数倍だけ離散的に入る。磁束量子とは、量子化された磁束の最小単位で $2.07 \times 10^{-15} \text{Wb}$ (ウェーバ) という非常に小さい値

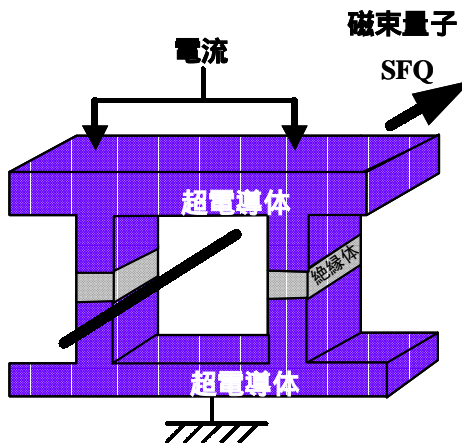


図3 SFQ回路の基本回路

をもつ。この現象は、超電導体の磁束量子化現象といわれ、量子力学的に生じる超電導のマクロな量子現象である。

SFQ とは Single Flux Quantum の略でひとつの磁束量子という意味である。SFQ 回路は、超電導体で構成した 2 値論理回路（いわゆるデジタル回路）である。超電導ループの中にひとつの磁束量子（SFQ）が有る状態を論理「1」、SFQ が無い状態を論理「0」に対応させる。ジョセフソン接合に電流を流すことでも SFQ を超電導ループの中に入れたり、出したりすることができる。ジョセフソン接合に流れる電流が接合の絶縁体層にある磁束にローレンツ力を及ぼし、電流および磁束と垂直な方向に駆動力を生じるからである。このようにジョセフソン接合は、SFQ（情報担体）の動きを制御できるので半導体論理回路のゲートの役割を果たす。SFQ 回路の基本ループをつぎつぎと超電導体で接続すると超電導の線路が形成される。この線路は、所々をジョセフソン接合でシャントされている。これを Josephson Transmission Line (JTL) とよぶ。この JTL 内に SFQ を転送させることができ、これらを組み合わせることで SFQ 論理回路が構成される。SFQ 回路は超電導ループとジョセフソン接合で形成されるため、情報担体（SFQ）を保持するのに電力を消費しない。したがって低消費電力の論理回路を構成することができる。

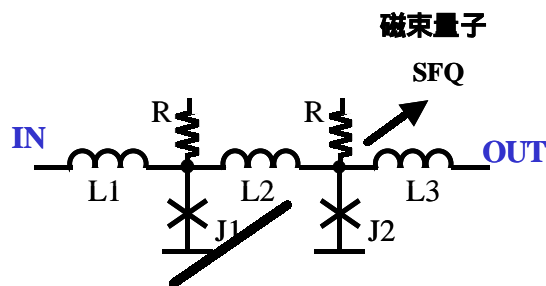


図 4 SFQ 基本回路の等価回路

(SRL/ISTEC 第 6 研究部 宮原 一紀)

[超電導 Web21 トップページ](#)

HTS-SQUID 開発の現状

独立行政法人 物質・材料研究機構
超伝導材料研究センター SQUID グループ
ディレクター 糸崎秀夫

HTS-SQUID は、高温超電導体研究の初期段階においてすでにその動作が確認され、その後バイクリスタル基板、段差基板などを用いた結晶粒界型超電導接合の開発と、HTS-SQUID にあった素子設計、さらに駆動電子回路技術の改良など総合的な開発を経て、現在では性能はほぼ実用レベルに達している。

そこでこの HTS-SQUID を用いた応用機器開発が活発化している。HTS-SQUID は、従来のニオブ系 SQUID と比較して、液体窒素冷却で簡単に利用できることから、広い応用展開が期待され、最近では非破壊検査や地質調査など磁気シールドを用いない計測技術への展開が活発である。地磁気中で用いると磁束が超電導薄膜にトラップしその熱運動が磁場雑音となる。この磁束トラップを防止するように、SQUID の薄膜に細かい溝をいれることで解消された。さらに、地磁気や都市磁気ノイズなどを除去するための微分型計測技術開発が進化した。SQUID 素子では、8 の字型の薄膜型ピックアップコイルの中心に SQUID を設ける構造で 2 つの輪に交差する磁場の差分磁場を SQUID が捉えるようにした 1 次微分型 SQUID 素子が開発されている。これは非破壊検査など比較的検査物が SQUID に接近した計測への利用を目的に開発されたものである。また検査対象までの距離が大きい場合には複数の素子を用い、その出力の差分計測をおこなう方式や、環境磁気計測を検査物計測用素子に取り付けたコイルに帰還し、計測素子から環境磁気雑音を除去する試みがされている。またフィルタリング技術を工夫することもあわせて進められている。

HTS-SQUID の応用研究においては、生体計測として心臓磁場計測が比較的早い段階から進められ、多チャンネル化の可能性などが示された。最近では、磁気シールドを用いない計測技術が進歩し、病院へ導入がより簡便になる検討が進んでいる。非破壊検査では、ドイツにおいてここ数年、国の支援を受け橋梁や道路のコンクリート内の鉄筋検査、航空機の車輪検査などについて精力的な検討が進められ、HTS-SQUID を非破壊検査として利用できる実用的な可能性が示されている。

野外利用分野としては地質調査や金属鉱床探査への利用が、日本、ドイツ、オーストラリアで開発が進められている。地中に発信した磁場により発生した地下の遮蔽電流による磁場を SQUID により計測し、地下の電気伝導度分布が分かる。中国の砂漠地帯や北極海などで可搬式 HTS-SQUID のフィールドテストが始まっている。

バイオ関連では、抗体に磁気微粒子を抗原と反応させることにより抗体量を磁氣的に SQUID により検出する方法が日本、米国、ドイツで検討され始めている。現状用いられている蛍光マーカに比べて 1-2 桁感度を高めることが示されている。

半導体関連では、レーザ SQUID 顕微鏡の開発が進んでおり、LSI ウェハのプロセス途中のウェハをサブミクロンの精度により非接続非接触検査を可能とすることができる。

微小金属片などの混入が問題となる工業製品のプロセス管理や医薬品、食品などの検査にも SQUID を利用する検討が始まっている。

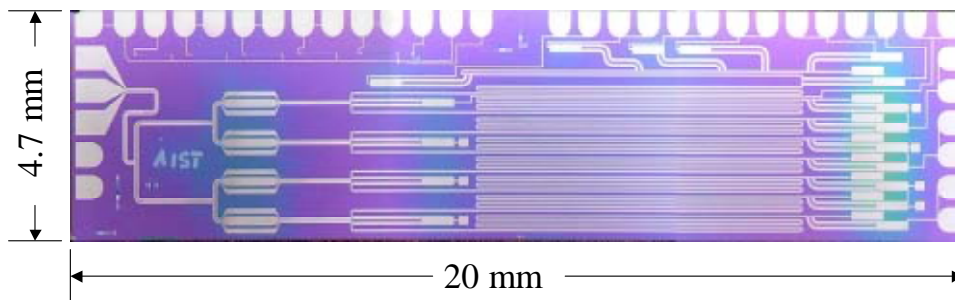
以上のように多岐にわたる SQUID 応用研究が総合的に進められ、それらの実用化に向けた検討が着実に進んでおり、高温超電導エレクトロニクスが、実用的な製品として登場する日も近いと思われる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

電圧標準開発の現状

産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門
グループリーダー 東海林 彰

交流ジョセフソン効果に基づく電圧標準は現在 30ヶ国以上の国々において1次標準として採用されている。通常約2万個のジョセフソン接合を集積したチップに、周波数を安定化(10の10乗分の1の精度)したミリ波(70-100GHz)を照射することによって最大10Vの高精度電圧(10の9乗分の1の精度)を得ている。しかし、現在のジョセフソン電圧標準は近い将来「プログラマブル・ジョセフソン電圧標準」と呼ばれる新しい方式に置き換えられると予想されている。その理由として、「プログラマブル・ジョセフソン電圧標準」では非常に短時間で(<1ms)高精度電圧の設定が可能なこと及び定電圧を保障するバイアス電流の範囲が従来よりも10倍以上大きい(>1mA)ことが挙げられる。現在のジョセフソン電圧標準では、極低温においてヒステリシスのある電流-電圧特性を示すNb/AlOx/Nb接合が採用されている。これに対し「プログラマブル・ジョセフソン電圧標準」では、ヒステリシスのない電流-電圧特性を有するSNS接合またはSINIS接合が採用されている。前者の例としては、NISTのベンツ(S.P. Benz)らによって開発されたNb/PdAu/Nb接合¹⁾と筆者らが産総研において開発したNbN/TiNx/NbN接合²⁾がある。後者の例としては、PTBのシュルツ(H. Schulze)らが採用したNb/AlOx/Al/AlOx/Nb接合³⁾がある。最近、筆者らは32,768個のNbN/TiNx/NbN接合をSiチップ上に集積した8-bitのデジタルアナログ変換器(8-bit DAC: 写真)を作製した。²⁾このチップは液体ヘリウムを使わずに小型冷凍機によって冷却し動作させることが可能である。最大1Vの出力電圧を有する。今後、約32万個の接合を集積した10V標準用DACチップの開発を行う予定である。なお、産総研におけるプログラマブル・ジョセフソン電圧標準システム開発の一部は、NEDOの「計量器校正情報システムの研究開発」プロジェクトに基づいて行われている。



プログラマブル・ジョセフソン電圧標準用 8-bit DAC チップ

- 1) S.P. Benz, C.A. Hamilton, C.J. Burroughs, and T.E. Harvey: Appl. Phys. Lett. 71 (1997) 1866-1868.
- 2) A. Shoji, H. Yamamori, M. Ishizaki, S.P. Benz, and P.D. Dresselhaus: presented at ASC 2002, Aug. 5-9, Houston, USA (2002) 4EB-03.
- 3) H. Schulze, R. Behr, J. Kohlmann, F. Muller, and J. Niemeyer: Supercond. Sci. Technol. 13 (2000) 1293-1295.

[超電導 Web21 トップページ](#)

チューナブルフィルタ開発の現状

名古屋大学大学院工学研究科
助教授 藤巻 朗

超電導フィルタは、その低損失性と急峻な遮断特性から、移動体通信基地局フロントエンドへの適用を中心に活発に研究が続けられてきた。最近では有効性を示す実地試験データも報告され、市場化への問題はコストが中心となってきている。この超電導フィルタは実際に作製してみると、基板の誘電率や薄膜特性あるいは温度のばらつきによって通過周波数や帯域幅が設計値からずれる。このずれを補償するためにチューナブルフィルタの開発が進められた。

チューニングの方法は、フィルタの上に強誘電体を配置し、そこに電界を印加することにより誘電率を変化させる電界制御型、同様に誘電磁性体を配置し磁界により透磁率を変化させる磁界制御型の2種類が提案されている。近大等のグループの報告によると磁界制御型の方が若干大きく、0.3%程度の中心周波数の変位が観測されている。これらの方法は、ずれの補償という観点から変位幅は十分であり、またリアルタイム性に優れるといった特長を持つ。しかし、強誘電体、強磁性体の影響で低挿入損失という利点が失われ、実用化には問題を残している。

一方、リアルタイム性には劣るもののチューニングの範囲を大幅に広げる技術として、機械式チューナブルフィルタが近大・名大・阪大のグループから提案された。薄膜フィルタの直上に配置した誘電体板を、 piezo素子などのアクチュエータを利用して上下させることでチューニングを実現する。この手法は薄膜だからこそ可能なものであり、超電導フィルタのひとつの特長と言える。予備的実験では、低挿入損失で、かつ変位幅が20%に達するものが得られている。さらに、東芝のグループでは2つの機械式チューナブルフィルタを組み合わせることで、帯域幅の可変化を実現した。現在では MEMS 技術を機械式チューナブルフィルタへ適用することで、より柔軟性の高いフィルタを構成するアイデアも出されている。これら機械式チューナブルフィルタが、市場に受け入れられるかどうかは、2010年以降に導入される第4世代、第5世代の移動体通信ネットワークの動向に強く依存する。紙面の関係で詳しくは述べられないが、周波数の有効利用と様々な通信品質に対する要求から、アナログコンポーネントにこそ高い柔軟性が求められている。その意味で、超電導チューナブルフィルタに期待すべき点は多い。

[1] チューナブルフィルタの詳細は、以下の文献にまとめて掲載されている。
福家浩之,超伝導ニュース,46(2001),16-17: 本津茂樹, 超伝導ニュース,46(2001),18-19.

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド

- 開発中超電導デジタル機器 -

無線通信用 AD 変換器

「超電導応用基盤技術開発」プロジェクト

対象：ソフトウェア無線用広帯域・高精度 - 型 AD 変換器

開発段階：LTS による 300 接合 - 型 AD 変換器動作実証試験に成功(アナログ周波数 10MHz、ビット精度> 5、消費電力 28 μ W) HTS による 13 接合 - 型 AD 変調器の 100GHz 動作に成功

PL：田中昭二(超電導工学研究所長)

ハイエンドルータ用スイッチ

「低消費電力型超電導ネットワークデバイス開発」プロジェクト

対象：LTS の SFQ LSI によるルータ用スイッチモジュール及びサーバ用プロセッサモジュール開発

開発段階：平成 14 年度開始

PL：早川 尚夫(名古屋大学 教授)

サンプラー

「超電導応用基盤技術開発」プロジェクト及び NEDO 即効型提案公募事業(H10)

対象：デジタル波形計測器、電流波形計測器

開発段階：HTS サンプラーによる 20GHz 正弦波電流波形観測及び 5.9Gbps デジタル波形観測成功

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン

(7/19-8/20)

原研が実証 中心ソレノイドコイル使わず 発生電流 70 万アンペア 臨界プラズマ装置で
7/22 日本工業新聞

非磁性物質を磁場変形 常温で形状記憶効果 電中研が現象を発見 7/25 日本工業新聞、日経
産業新聞、電気新聞

自慢のノーズ お披露目 新型リニア 7/25(夕) 読売新聞、毎日新聞、日本経済新聞

微小重力下で結晶成長実験 H2A 搭載衛星を公開 7/26 日本経済新聞

世界初の常電導リニアカー 日本車両・三菱電機など受注 9社JV 愛知万博会場に接続 7/27
日本経済新聞

文法を担う部位 大脳ブローカ野に 東大、MRI で脳活動観察 8/1 日刊工業新聞、日本工業
新聞

原研や東大 核融合炉建設費安く プラズマ発生コイル不要 8/5 日経産業新聞

ITER 安全規制検討会 年内にも方針明確化 座長に宮氏就任 8/6 電気新聞

原研 炉心コイルを省略 高温プラズマ 生成で新手法 8/7 電気新聞

二酸化炭素地中隔離 モデル実験装置開発 東工大 MRI でデータ取得 8/8 日刊工業新聞

リニアモーターカー 時速500 夢の超特急? 磁石の力で浮いて進む 8/10 読売新聞(夕)

強磁場環境 バイオなどに積極応用 物材研 来春めど第2磁界棟 8/14 日刊工業新聞

東北大グループ 常温「磁気冷凍」 新素材を開発 8/16 日経産業新聞

超電導の仕組み解明 東大など 極低温の銅酸化物 8/19 日経産業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2002年7月)

電力応用

American Superconductor Corporation (2002年7月9日)

American Superconductor Corporation と GE Industrial Systems (General Electric 社の事業部門) は、D-VAR 電圧制御システムをカナダの電力会社である BC Hydro 社に販売すると発表した。D-VAR 電圧制御システムはカナダ、ブリティッシュ・コロンビア州の Fort St. James に設置され、電圧問題に対処する。システムは径方向に伸びた 70km—66kV 送電ラインの終端部にとりつけられる。ピーク時には、時として送電ラインは 20% 程度まで電圧降下する。故障や近くの製材工場の大型モーターが電圧問題を複雑にしている。新しい D-VAR 電圧制御システムは 2002 年 11 月末までに運転を開始する予定であり、これにより電圧を BC Hydro 社が規定する範囲内に収め、電力品質を大幅に改善できるものと期待されている。

(出典)

“American Superconductor and GE Receive Third Order for New Voltage Regulation System”

American Superconductor Corporation Press Release (July 9, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

Intermagnetics General Corporation (2002年7月18日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC) は、2002 年度第 4 四半期 (5 月締め) の純収入が前年同期 260 万ドル (1 株当たり 0.15 ドル) に対し 31% 増の 340 万ドル (1 株当たり 0.2 ドル) であったと発表した。

同社社長 Glenn H. Epstein は、「2002 年度は IGC にとって重要な年度であり、年 15% 成長という長期にわたる目標を再度クリアーして 17% を達成した。」と語った。また、「将来性のある分野に集中するための、重要な事業売却を完了した他、生産性についても目標を上回り、キャッシュ・フローは増加している。同時に、新製品や新規事業への大きな投資を行った。」ことを付け加えた。

コア・ビジネス及びエネルギー分野への継続した投資に関しては、社長 Glenn H. Epstein によれば「現在進めている研究開発投資はコア製品の高性能化等を狙っている。その理由の 1 つは、IGC の最大の事業である MRI が利益創出のプライム・ドライバーであるからである。IGC の革新的 MRI 高磁場発生装置は、最大の顧客である Philips Medical Systems が MRI システムの開発、マーケティングの領域で先頭を切って走れる一助となっていると考えている。この MRI 事業部門は、先ごろ売却した LTS 線材部門を除き、第 4 四半期には 31% の増収、年間では 40% の増収を達成した。」

(出典)

“Intermagnetics Reports Q4 Net Income Up 31 Percent to \$3.4 Million” (Intermagnetics General Corporation Press Release, July 18, 2002)

<http://www.igc.com>

IGC-SuperPower (2002年7月18日)

Intermagnetics General Corporation の関連会社である IGC-SuperPower は、エネルギー省の技術評価委員会に報告を行った。報告では、効率的で、信頼性が高く、環境側面にも配慮した送配電に向けた装置の開発が大きく進歩したとしている。同社は現在、次世代線材の商業生産に向けた製造技術開発及び Waukesha Electric と協力して Wisconsin の Waukesha Electric 主要施設に設置される予定の 5/10 MVA HTS 変圧器の開発を行っている。IGC-SuperPower の次世代線材開発目標は、2002 年末までに 1m

以上の 100A-m HTS 線材を、2003 年までに 10m 以上の 1000A-m HTS 線材を実現することである。これまで 1m 級次世代線材では、90A-m (液体窒素温度) 30cm 線材では 110A-m まで達成している。IGC-SuperPower は、ロスアラモス研究所及びアルゴンヌ研究所と協力して技術のスケールアップを図っていく予定である。更に、同社は Waukesha Electric の変圧器についても分担した仕事をほぼ終了しようとしており、HTS コイルを 9 月前には出荷できる予定である。同社は極低温かつ高電圧という条件下で稼動する絶縁システムを開発することで大きなブレークスルーを果たした。変圧器の最終組み立ては、Waukesha で行われ、引き続き 2002 年末までテストが行われる。変圧器は 2003 年までに運転を開始する予定。

(出典)

"Intermagetics' Superpower Subsidiary Reports Substantial Progress Toward HTS Production Goals"
IGC-SuperPower Press Release (July 18, 2002)

<http://www.igc.com>

American Superconductor Corporation (2002 年 7 月 19 日)

American Superconductor Corporation は、ワシントンで開催されているエネルギー省技術評価委員会においてピレリ社の現状報告に対しコメントした。これは、デトロイト・エディソン社のフィリスビー・ステーションで行われている高温超電導ケーブルデモンストレーション計画に関するものである。すでに設置されている 3 つの高温超電導ケーブルの試験の後、ピレリ社は 2 つのケーブルの冷却装置が熱的にリークしていて、これが通電に大きな障害になっていると結論付けた。このため、計画は 1 つのケーブルのみを使用して行われることとなる。リークが安定していることを確認するための追加試験の結果、このケーブルの熱リークは最小であることが判明している。ピレリ社は、本年末までに通電を行いたいと考えている。American Superconductor Corporation 社長 Greg Yurek は、本件について肯定的であり、次のようにコメントした。「本計画並びに全世界で行われている同様の計画から得られた知見及び ASC 社の優れた HTS 線材の性能を考えれば、HTS ケーブルは完全商業化に向けて今後も進み続けるであろうことを確信している。ピレリ社の以前の冷却装置試験は成功しており、昨年少なくとも全世界で 3 つの HTS ケーブル実証試験が成功している。最近の調査によれば、電力グリッドへ HTS ケーブルを用いることにより大きな利益がえられるとのことである。RAND (米国の非営利調査分析機関、政策や意思決定を支援) の報告でも、今後の信頼性が高く安価な電力供給のためには電力グリッドへの投資は不可欠であり、HTS ケーブルは大きな役割を果たすであろうと結論されている。」

(出典)

"American Superconductor Provides Update on Detroit Edison and other HTS Cable Demonstrations and on New HTS Cable Market Study"

American Superconductor Corporation Press Release (July 19, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

American Superconductor Corporation (2002 年 7 月 24 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2002 年 6 月 30 日締めの 2003 年度第 1 四半期の結果を発表した。

純収入は 290 万ドル (前年同期 170 万ドル)。しかしながら、純損失は、前年同期の 900 万ドル (1 株当たり 0.44 ドル) に対し、1080 万ドル (1 株当たり 0.53 ドル)、1120 万ドルのオペレーティング費用は殆ど変わらない。第 1 四半期の主な支出は、1080 万ドルの純損失の補填、760 万ドルの負債の削減、設備投資、リストラ、昨年度第 4 四半期に発生した一時費用及び新たな HTS プラントへの投資である。

同社社長 Greg Yurek によれば、「6 月 30 日時点で、前年度 9 ヶ月間に得られた 730 万ドルの資金のバックログ (収入予定) に加え、第 1 四半期にさらに 290 万ドルが積みあがったことにより、今年度収入

見込みは 1020 万ドルとなっている。なお、当初の年間資金見込みは 2000～2800 万ドルである。6 月 30 日時点での資金バックログには D-VAR™の受注残が含まれる。」

Yurek は以下のような説明を付け加えた。「今年度末のバランスシート上、現金並びに準現金及び長期投資を含め約 3500 万ドルを計画している。長期負債は 0。追加投資及び資産売却なしにこの目標は達成できると確信している。また、現在の資本・資金により 2005 年度まで操業は可能であり、2005 年度には、広範な利益が生み出せるものと考えている。」

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2003 First Quarter Results” (American Superconductor Press Release, July 24, 2002)

<http://www.amsuper.com/press.htm>

材料

Superconductive Components, Inc. (2002年7月1日)

Superconductive Components, Inc.は、全社的リストラクチャリングについて発表した。独立していた Target Materials, Inc. と SCI Division は、SCI Engineered Materials に統合される。組織の風通しをよくして主要市場に主眼を置くことにより成長に向けて社内のベクトルを揃えることを目指している。同社社長 Daniel Rooney は、「当社の戦略は、先端セラミックス、オプト材料、高温超電導材料やそれ以外のマーケットで様々な用途向けの工業材料を開発し供給することである。我々は、引き続きコア競争力である複合酸化物及びセラミックス並びにスパッタ・ターゲットの加工に注力していく。」と語った。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Announces New Corporate Structure”

Superconductive Components, Inc. Press Release (July 1, 2002)

<http://www.investquest.com/iq/s/sci/ne/news/sccinewprescfo.htm>

センサー

Oxford Instruments (2002年7月1日,3日)

Oxford Instruments とケンブリッジ大学は、超電導ディテクターのトップ 2 グループを統合する新たな研究所を設立するための契約に調印した。この協力は今後 20 年間続くことになる。新しい研究所はケンブリッジ大学のキャベンディッシュ研究所内に置かれ、物理及び生物科学のための新しい解析技術の研究を行う。研究所では、ビッグバンの極く初期の研究のための装置を含め、あらゆるスペクトルをカバーする最先端超電導ディテクターや光学部品の開発を行い、現在観測可能な範囲を超えた銀河の発見、新世代 X 線天文衛星の実現につなげていく。また、DNA の極微小画像や他の生化学材料を提供していく。新研究所の所長に就任予定のケンブリッジ大学天文物理グループの Dr. Stafford Withington は、「・・・我々は、多くの異なる国際機関の活動を支援するという非常にエキサイティングな仕事をするようになるだろう。例えば、Particle Physics and Astronomy Research Council のサブミリ及び THz 超電導ディテクターであるとか、European Space Agency や European Southern Observatory の光学及び X 線ディテクターとかが考えられる。」と語った。Oxford Instruments は、知的所有権を研究所にライセンスするとともに、最近政府から大学に供与された 350 万ポンドの補助金によるインフラを補完するために研究所に設備を提供することを計画している。Oxford Instruments は、供与した知的所有権を利用して生まれ

た将来の商品からロイヤリティーを受け取ることになるだろう。

(出典)

“Oxford Instruments sign collaboration agreement with Cambridge University”

“Superconducting cameras to photograph the Big Bang”

Oxford Instruments plc. Press Releases (July 1 and 3, 2002)

<http://www.oxford-instruments.com/OIGNWP507.htm>

<http://www.oxford-instruments.com/SCNNWP509.htm>

通信

Conductus (2002年7月11日)

Conductus は、第2四半期の収入が以前の予測を下回るであろうと考えている。アナリストは、6月30日締め第2四半期は監査前総収入が160~170万ドル(これまでの予想は200~240万ドル)になるであろうと見積もっている。3月31日締め前四半期の収入は200万ドルであった。経済の不透明さや携帯電話市場の不振が、顧客の購入意思決定を遅らせていると考えられる。最終収益報告は8月6日の予定。

(出典)

“Conductus Announces Second Quarter Revenue Expectations”

Conductus Press Release(July 11, 2002)

<http://www.conductus.com/pressReleases/press94.html>

Superconductor Technologies Inc. (2002年7月24日)

Superconductor Technologies Inc. (SCON) (“STI”)は、2002年6月29日締め2002年度第2四半期及び6ヶ月間の収支を発表した。

第2四半期の総純収入は、610万ドルで対前年同期420万ドルに比べ44%増。2002年度第1四半期比では31%増。第2四半期の製品売上は、530万ドルで対前年同期290万ドルに比べ81%増。2002年度第1四半期比では42%増。当期純損失は600万ドルで、前年同期は350万ドル。

同社 Thomas 社長は次のように語った。「第2四半期の収支は、主要顧客2社への販売が好調であったため、引き続き好調であった。政府契約が今年後半にずれこんでしまったことのために、総純収入は当初予測よりやや低い。不振な携帯電話分野にあってわが社は将来見通しも明確であり、また現在の供給契約に基づけば十分な受注残を持っている。しかし、7月15日に報告したように、これまで期待していた国内及び国際調達の話がだめになり、年間見通しを若干引き下げたところである。」

またこれに加えて、「ネットワークの容量が不足し、干渉の問題が大きくなってきていることから、わが社の HTS ソリューションに対する需要はどんどん大きくなっている。将来的に産業投資が通常の状態になり、また、加速すれば、STI 社は利益を生み出し継続的に成長していけるであろう。」と語った。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Reports Second Quarter 2002 Results” (Superconductor Technologies Inc. Press Release; July 24, 2002)

<http://www.suptech.com>

Superconductor Technologies Inc. (2002年7月30日)

Deloitte & Touche の“Technology Fast 50”プログラムは、Superconductor Technologies Inc. をロスアンジェルス地区の高成長企業トップ50の1つに選定した。同プログラムは、過去5年間(1997~2001)の

年間収入の成長率に基づいてランキングを行った。Superconductor Technologies Inc.は、同期間において収入の面で 49%の成長を達成した。これは同社が高温超電導技術を実用化し、その製品である SuperLink™をワイアレス市場に投入した結果である。1997年には同社の収入の98%は政府契約によるものであった。2001年までに商品売上収入が総収入の61% (1240万ドル)に達しており、同社幹部は2002年にはこれが80%にまで達するであろうと考えている。更に、同社は2002年には収入の伸びが75%以上になるであろうと予測している。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Named One of Los Angeles Area’s Fastest Growing Technology Companies in Deloitte and Touche ‘Fast 50’ Program”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (July 30, 2002)

<http://www.suptech.com>

高エネルギー物理

German Science Council (2002年7月15日)

ドイツ連邦文部科学省の要請に基づきドイツ科学評議会が設置したワーキング・グループは、色々な機関から提案されている9つの大型科学施設の評価を行った。欧州及び欧州外の専門家を含むエキスパート・サブパネルは各々の機関の提案を精査した。科学評議会は、関連研究分野の国内、国際的状況を加味して、科学政策の観点からそれぞれの機関の提案を総合的に検討した。この評議会の評価が行われた提案の中にTeVエネルギー超電導リニア加速器(TESLA)が含まれる。TESLAは現在、国際協力により、Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)の管理下で開発が進められている。提案施設は34億5000万ユーロと見積もられ、素粒子物理及び天文学の分野での基本的な問題に解答を与えることになる。科学評議会は、この施設を第2カテゴリー、即ち、計画が実施されれば新たな重要な研究施設となるが、資金を提供する前にいくつかの明確にすべき問題があるというカテゴリーに分類した。この結果を受け、科学評議会は連邦政府に対し提案を修正した上で再度提出するよう求めた。

(出典)

“German Science Council releases views on nine large-scale facilities for basic scientific research”

German Science Council Press Release (July 15, 2002)

http://www.eurekaalert.org/pub_releases/2002-07/wc-gsc071502.php

追加情報は、<http://www.wissenschaftsrat.de>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 今月のトピックス

IEC 国際規格 (IS) 2 件制定 -

2002年6月24日に次の超電導関連国際規格(IEC 61788-10, IEC 61788-12)2件が制定された。なお、この規格の有効期限は、いずれも2007年12月31日までとなっている。これら2件を加えると、現行超電導関連国際規格,ISは10件になる。

IEC 61788-10 : Superconductivity – Part 10 : Critical temperature measurement – Critical temperature of Nb-Ti, Nb₃Sn, and Bi-system oxide composite superconductors by a resistance method

IEC 61788-12 : Superconductivity – Part 12 : Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to non-copper volume ratio of Nb₃Sn composite superconducting wires

IEC 61788-10は、ニオブ・チタン、ニオブ3・すず並びにビスマス系酸化物複合超電導導体の(電気)抵抗法による臨界温度試験方法である。この規格は、岡山大学村瀬暁教授をコンビーナとして、日本から提案されたものである。2000年5月に新規業務項目として承認されて後、順調な審議を経て約2年間でIEC(国際電気標準会議)規格,ISとして発行された。一方、IEC/TC90超電導委員会に設置されているJIS原案作成委員会では、このIEC 61788-10に整合したJIS原案を作成するため、平成14年度からJIS原案作成ワーキンググループWG11を発足させ、JIS原案作成に着手した。

IEC 61788-12は、ニオブ3・すず複合超電導線の銅対非銅比試験方法である。この規格は、高エネルギー加速器研究機構新富孝和教授をコンビーナとして、日本から提案されたものである。2000年6月に新規業務項目として承認されて後、順調な審議を経て2年間でIEC規格,ISとして発行された。一方、IEC/TC90超電導委員会に設置されているJIS原案作成委員会では、このIEC 61788-12に整合したJIS原案を作成するため、上記規格とともに平成14年度からJIS原案作成ワーキンググループWG6を発足させ、JIS原案作成に着手した。

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

MgB₂ ジョセフソントンネル接合

通信総合研究所 関西先端研究センター
超伝導エレクトロニクスグループ リーダー
王 鎮

通信総合研究所関西先端研究センター超伝導エレクトロニクスグループでは、去年発見された新しい超電導物質二硼化マグネシウム (MgB₂) の as-grown 薄膜の低温合成¹⁾とそれを用いたジョセフソントンネル接合の作製に成功した。²⁾

作製したジョセフソン接合は、単結晶サファイア基板上に下部電極に as-grown 成長した MgB₂ 薄膜、トンネルバリアに窒化アルミ (AlN) 上部電極に窒化ニオブ (NbN) を用いた MgB₂/AlN/NbN トンネル接合である。接合の作製プロセスは、現在の超電導エレクトロニクスの主役である金属ニオブ (Nb) と同じく三層薄膜 (MgB₂/AlN/NbN) を同一真空中に成膜し、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチング、ECR ドライエッチング、リフトオフなどを用いた。^{2),3)} MgB₂ 薄膜を成膜したときの基板温度は、トンネル接合の作製を念頭に置いて 200 - 300 範囲内に設定され、成膜圧力やレートなどの成膜条件に併せて最適化を行った。薄膜の組成比は、Mg (DC スパッタ) と B (RF スパッタ) の放電電力を独立にコントロールすることによって制御されている。

図 1 にはサファイア (0001) 基板上で作成した MgB₂/AlN/NbN トンネル接合の I-V 特性と dI/dV-V 特性の一例を示す。接合のサイズは 20 μm x 20 μm である。電圧がゼロと 4 mV のところでそれぞれ明瞭な超電導電流と準粒子トンネリング電流は観測されている。三層連続成膜プロセスで作成した MgB₂ トンネル接合として、このようなシャープなギャップ構造を示した I-V 特性は初めての例である。また、臨界電流の外部磁場依存性とギャップ電圧の温度依存性を調べた結果、理想的なフランホーファパターンと BCS 的ギャップ電圧温度依存性が得られており、良好なジョセフソントンネリングと準粒子トンネリング特性をもつことを示している。²⁾ 特に、AlN バリアの厚さが僅か 0.8 nm 程度にもかかわらず、接合がリーク電流の小さい I-V 特性と理想的なフランホーファパターンを示したことは、表面平坦性のよい MgB₂ 下部電極と均一なトンネル電流分布が得られていることを示唆している。従って、次のステップとして、all-MgB₂ トンネル接合の実現も大いに期待される。

MgB₂ は、現在の超電導エレクトロニクス材料の主役 Nb と将来に期待されている酸化物高温超電導材料の中間に位置しており、Nb のギャップ周波数の限界と高温超電導の積層化、集積化困難の壁を乗り越えるポテンシャルを有している。今後、MgB₂ 薄膜、トンネル接合などの研究開発の進展は、MgB₂ の超電導エレクトロニクス応用への鍵を握ることだけではなく、材料の物性解明にも寄与するものと期待されている。

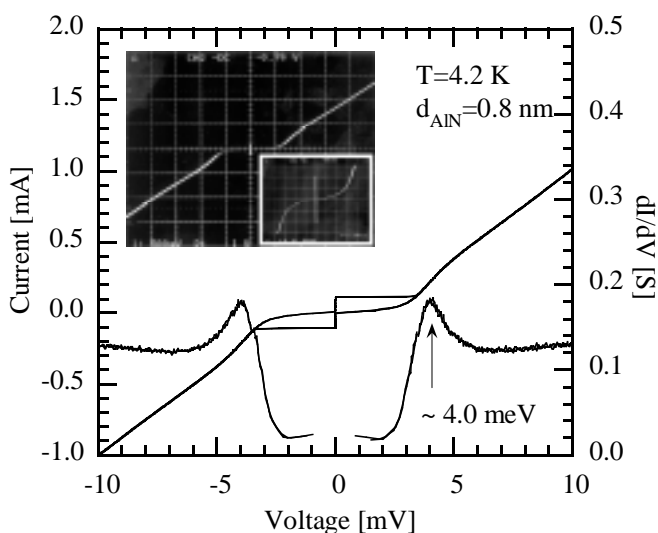


図 1 MgB₂/AlN/NbN トンネル接合の I-V, dI/dV-V 特性

参考文献

- [1] A. Saito, A. Kawakami, H. Shimakage, and Z. Wang, "As-Grown Deposition of Superconducting MgB_2 Thin Films by Multiple-Target Sputtering System," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, Part 2, No. 2A, pp. L127-L129, Feb. 2002.
- [2] A. Saito, A. Kawakami, H. Shimakage, H. Terai, and Z. Wang, "Josephson tunneling properties in $MgB_2/AlN/NbN$ tunnel junctions," submitted to J. Appl. Phys., 2002.
- [3] 齊藤 敦, 川上 彰, 島影 尚, 王 鎮, "MgB₂ 薄膜の as-grown 成長と Josephson 接合の作製" 電子情報通信学会 信学技報 Vol.102, No.10, pp.7-12, 2002.

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

成立特許の紹介

最近成立した特許を紹介します。

特許第 3278638 号「高温超伝導ジョセフソン接合の製造方法」特開 2000-150974 (平成 11 年度出願)

本特許は、界面改質バリア構造のランプエッジ型ジョセフソン接合の作製方法に関するものです。

上下電極とも YBCO 超電導層のランプエッジ接合は、バリア層が Y 元素過剰、Cu 元素不足な YBCO 相でその格子定数は 0.41-0.43nm、層厚は 10nm 以下 (特に 2nm 以下) である時良好な接合特性となることを発見しました。このようなバリア層を持ち、臨界電流密度のばらつきも 12 接合で $1 = \pm 5\%$ と高均一性な接合の製造工程に関して詳しく開示しています。

なお、本発明の詳細は、特許庁のホームページから特許電子図書館 (IPDL) をご利用下さい。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ICEC19 出張報告

さる2002年7月22日～26日、フランスのグルノーブルにてICEC19(19th International Cryogenic Engineering Conference)が開催された。学会には、フランスを始め、欧州、米国、日本等から約400名が参加し、約25社の出展があり盛況であった。

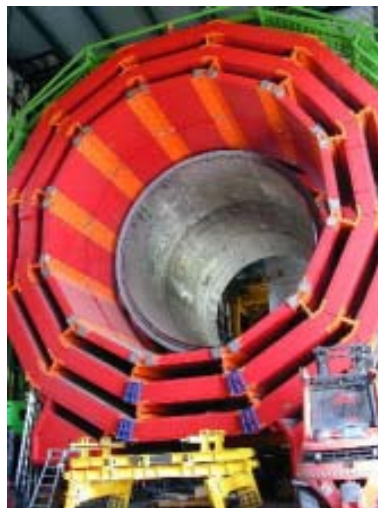
プログラムは、午前中、基調講演とオーラルセッション、午後はオーラルセッション、ポスターセッションとテクニカルツアーと盛りだくさんであった。グルノーブルは、フランスの低温関連の企業・研究所等が集中し技術者は約500名にのぼるとのことであり、Air Liquide社、CEA社、CNRS(Centre National de la Recherche Scientifique)の低温関連の研究、製品、実験設備、工場、試験設備等を見ることができた。可搬式の冷却システム、アリアンロケットのタンク製造工場、ロケット用実験設備等が興味深かった。

25日はバス8台でスイス国境のCERNに移動し、講演と見学会が実施された。講演では、直線33km加速器等の欧州における最新の計画、建設中の加速器の冷却システム等について発表があった。この加速器は周囲27kmにわたり、地下のトンネルに建設され、マグネット、冷却装置、観測装置等も地下に分散して配置される。2006年運転を目指し、工事の最盛期で、冷却装置プラントやマグネットの工場、試験プラント、掘削現場、製造中の観測装置等を見学することができた。各設備とも、巨大で、圧倒的な大きさ、物量に驚いた。出資国の強い理解と膨大な資金のなせる業だと痛感した。

さて、発表は開催国のフランスが多かった。日本からは「超電導ケーブル」の基調講演、加速器、冷凍機等の講演、パネルが出され、活発な議論が行われた。次回は、2004年Beijing(中国)開催の予定である。



CERN 107mLHC 加速器試験
(2極マグネット×6+4極マグネット×2直列 4.5K)



CERN CMS(The Compact Muon Solenoid)
中間子検出装置用超電導ソレノイドマグネット
組立

(ISTEC 調査企画部 安部 秀行)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ASC2002

2002 Applied Superconductivity Conference (ASC2002)は2002年8月4日から8月9日まで、米テキサス州ヒューストンで開催された。発表によると、43カ国、約1500人の参加者で、論文は1200件の申し込み、190社の展示があったとのこと。展示ではPED (Pulsed Electron Deposition) 装置やCCVD(Combustion Chemical Vapor Deposition)装置といった新しい成膜手法が紹介され、coated conductorでの実用化が期待されるところである。また、coated conductor関連の発表は期間中、18セッションにも及び活気を見せた。

特に最終日8月9日のプレナリーでの、SRLのShioharaによる日本全体のYBCO線材開発状況の発表では、超電導応用基盤技術開発プロジェクトを中心とした開発により、YBCO線材の長尺化技術が進んでいるとの印象をうけた。特に、フジクラによるIBAD-PLD法による30m線材は、欧米の進展も著しいものの、依然世界一の記録であり、日本の技術の先進ぶりをアピールした。今後も、本プロジェクトによる成果がYBCO線材の進展に大きな影響を与えると思われる。

(SRL/ISTEC 第5研究部 渡部智則)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ASC2002 より

ASC2002 は、2002年8月4日から9日まで米国ヒューストンにて開催された。今回は、43カ国から約1,530名の参加者があり、発表受付件数1,200件、展示件数119件で盛況裡に終わった。

ASC2002のチェアマンは、酸化物超電導材を発見したことで世界的に有名なヒューストン大学のチュ-氏。

SMES に関して特筆すべきこととして、Center for Advanced Power Systems(CAPS)が、100MJ/100MWのSMESを2003年の夏にフロリダ州 Tallahassee Electric 社の Levy 変電所の隣接地への据付を開始し、2004年の夏から試験を開始する予定との講演があった。

以下にその概要を示す。

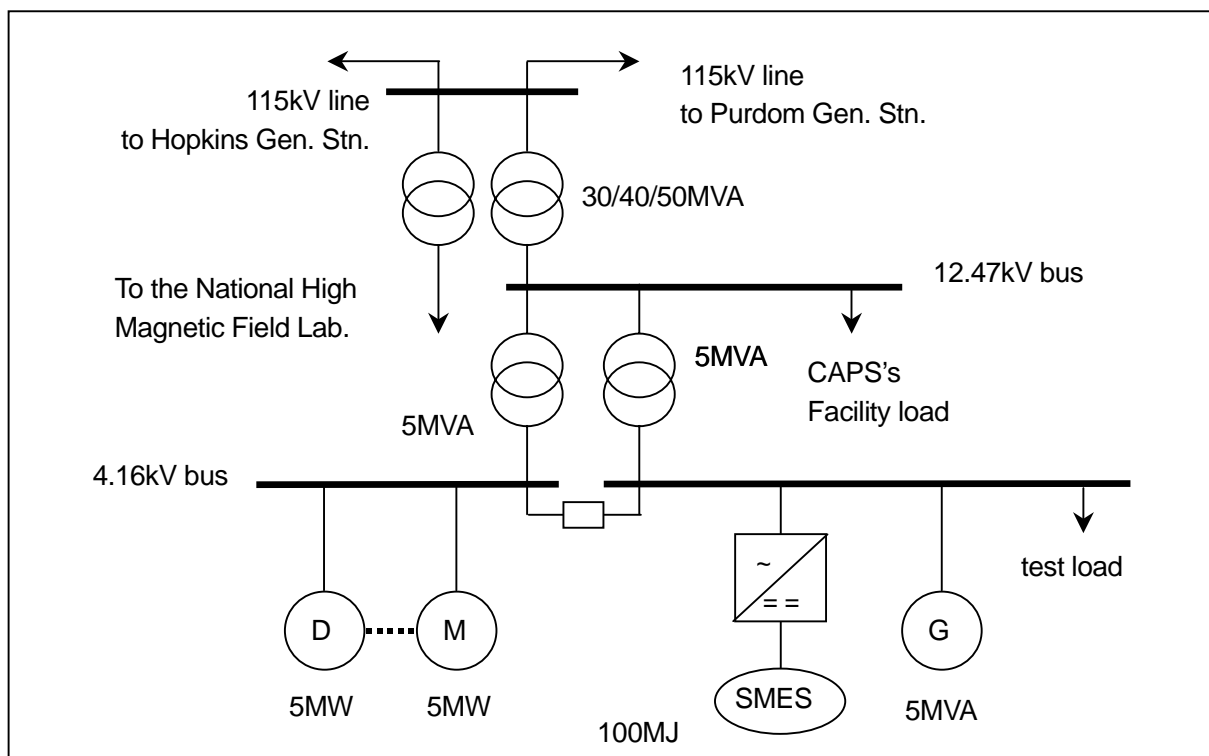
CAPS は、電力技術に関する調査研究と教育を目的に、フロリダ州立大学内に最近設立された組織である。CAPS プログラムの大きな柱の一つが、超電導に関する技術開発と実証であることから、国立強磁場研究所 (National High Magnetic Field Laboratory) 近くの Tallahassee Electric 社 Levy 変電所の隣接地に、SMES のほか、軍用や産業応用につながる超電導機器 (ケーブル、変圧器、モータ、限流器など) の実証試験をできる設備と CAPS の研究所及び事務所を建設することとしている。試験設備としては5MWまでの試験をできる能力とリアルタイムのデジタルシミュレータを有している。

一方、ヴァージニア州の BWX Technologies が、これまで DOE、EPRI 等の支援を受け、8年間かけて SMES の電力システムへの適用に関する技術開発を行い、100MJ/100MW 級 SMES の設計とコイルの一部をすでに製作していたが、今回 CAPS がこれを引き継ぎ、100MJ 級 SMES の実証試験を同試験設備を活用して行うこととなったものである。なお、超電導線材は Outokumpu 社 (当時は IGC 社) が供給し、BWX 社でケーブルインコンジット導体 (CICC) 化した。SMES の主な仕様を表に示す。

表 SMES の仕様

| | |
|-------|--------------------------|
| コイル形状 | ソレノイド |
| コイル寸法 | 外径 3.58m × 高さ 1.32m |
| 定格電流 | 4kA |
| 定格電圧 | 24kV |
| 運転温度 | 4.5K |
| 定格出力 | ± 50MW (最大出力は 96MW) |
| 貯蔵容量 | 100MJ (28kWh) |
| 巻線方式 | ダブルパンケーキ方式 (44 個) |
| 導体 | CICC, NbTi (6 本 × 3 次撚り) |
| 銅比 | 2.9 |

試験設備は 1400 m²の敷地に建設中であり、その単線結線図は次のとおり。



主な研究項目は次のとおり。

- (1) 大出力の SMES を制御する技術と最適な変換器 (電流型と電圧型) の研究
- (2) 超電導マグネットと高周波スイッチング変換器間の相互作用 (AC ロス、絶縁性能、パルス応答等) の評価
- (3) 大型超電導マグネットのクエンチ保護の研究
- (4) 制御部分も含めたエネルギー貯蔵装置のモデリング
- (5) 電力品質向上及び系統安定化への効果

なお、次回の ASC は 2004 年の 10 月 3 日から 8 日までフロリダ州の Jacksonville で開催される予定となっている。この時期は、ちょうど SMES の設置が終了し、実証試験が始まる時期であり、次回の ASC の時期と場所は、上記 SMES の試験を PR できることも考慮して設定された模様である。

(ISTE C 調査企画部 高祖聖一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導量子コンピュータの実現に向けて (その5)

NEC 基礎研究所
主席研究員 蔡 兆申

超電導電荷量子ビットの実験結果

今回は、(その4)までに説明した超電導状態にあるクーパー対電荷を利用した電荷量子ビットの動作原理とその制御方法に関する実験結果について解説する。

図 10 に実験に使った単一電子対箱の写真及びその模式図を示す。素子はアルミニウム薄膜(厚さ ~ 50nm)により形成し、トンネルバリアはアルミ酸化膜である。島の大きさは約 0.05×0.7 ミクロンである。共鳴状態を作る接合は、ジョセフソンエネルギーを磁場で変調できるように、図 10 のように二接合 SQUID の構造をとっている。測定はベース温度 30mK の希釈冷凍機中で行った。

量子ビットの観測は、島にもう一つ高抵抗の電流プローブ用のトンネル接合を接続することにより行う。この接合のゲートに適当なゲート電圧を加えることで、島内にクーパー電子対が一つ(電子 2 個)だけ多い状態に、プローブ接合を介してトンネルさせることができ、その状態に比例した平均的トンネル電流が生じる。このときこの素子の状態は 2 準位の量子状態間を量子振動しているが、これに対応してプローブのトンネル電流は振動している。したがって、パルス幅 t を変化させ、そのつど振動波形の一点を繰り返しプローブ電流としてサンプリングし、そのサンプリングポイント時間 t 移動することにより量子振動の状態が再現できる。

図11に、パルス電圧により量子振動状態を作り出したときに観測されたプローブ接合の電流を示す。パルス電圧印加時間 t の変化と共にプローブ電流が周期的に振動しているのが分かる。図11の一番高い山が共鳴条件に相当する。

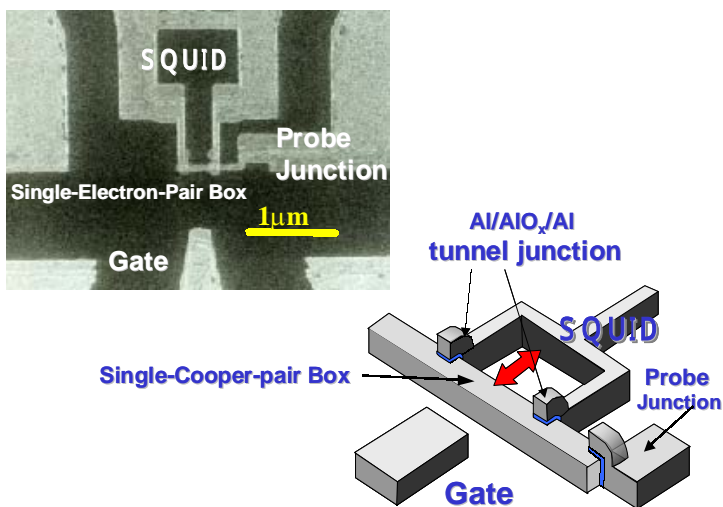


図 10 単一クーパー対電子箱電荷量子ビットの構造

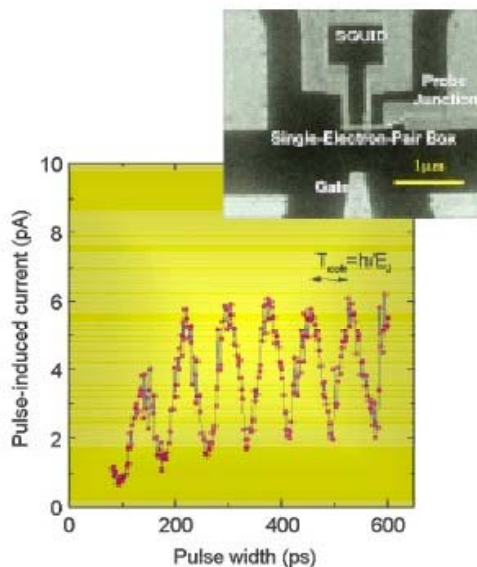


図 11 超電導電荷量子ビットの量子振動の観測

図12にパルス幅 t 、ゲート電圧、およびプローブの接合電流の関係を示す。z軸はプローブ電流、x軸はパルス幅 t 、y軸は直流ゲート電圧である。 t の増加と共にプローブ電流が周期的に振動しているのが分かる。実験の詳細説明は本文の範疇を超えるが、この観測された振動は紛れもなくコヒーレント量子振動である。量子振動の位相と周期は電場(t)と磁場の印加により外部より制御できる。⁶⁾ これは正に1量子ビットの制御に相当

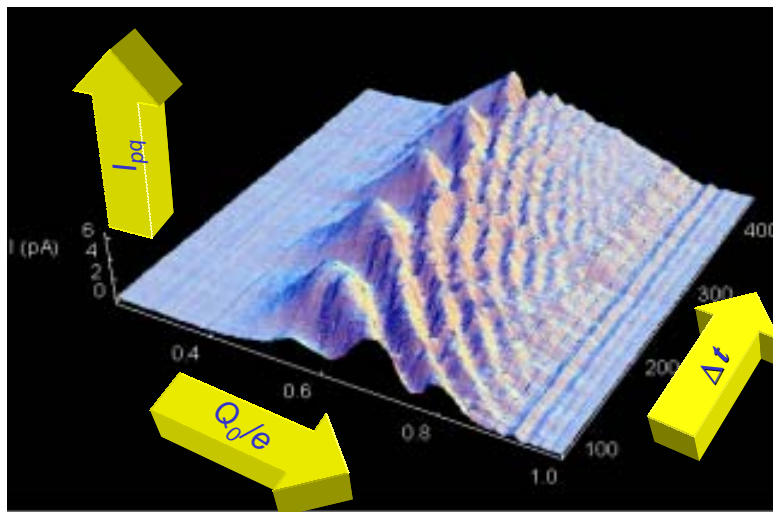


図 12 量子共鳴状態の時間発展とバイアス電圧による制御

している。 t を延長して量子コヒーレンスがどこまで続くか実験的に検証するのは量子計算の応用を考える上で、またデコヒーレンスのメカニズムを研究する上で大変有意義なことである。残念ながらこのような実験の統計だった結果はまだ得られていないが、コヒーレンス振動は最長で約5nsまで続いていたことが実験的に確認できている。この時間は各種外部ノイズ(電荷ノイズ等)により決められる。コヒーレンスを保ったまま、より多くのゲート操作を行うにはノイズの低減とクロックの高速化が必要である。後者に関しては、SFQ 回路を使ったps のオンチップパルス回路に期待が持てる。このようなps パルスを使っても、量子エラー修正に必要な 10^4 回のゲート操作を目標とすると、コヒーレンス時間をもう少し長く取る必要があるだろう。

実際の量子計算は、コヒーレンスが継続している間ゲートパルスを複数回印加して量子状態を思うように変換させ、最終的に答えを出すオペレーションを行う。ゲート操作の回数はアルゴリズムや計算のビット数によるが、有意義な計算には約1万以上必要だと現在のところ考えられている。このシステムでは、複数回のゲート操作による量子状態の制御にも成功している。複数パルス動作を分かりやすくするため、以下に数学的に等価であるスピン 1/2 を持った仮想的スピン状態を想定したブロッホ球を使った図式的モデル(図13)を使って説明する。図13で、ブロッホ球上の点またはそれに対応するベクトルは1量子ビットの状態である。このベクトルのz軸成分は

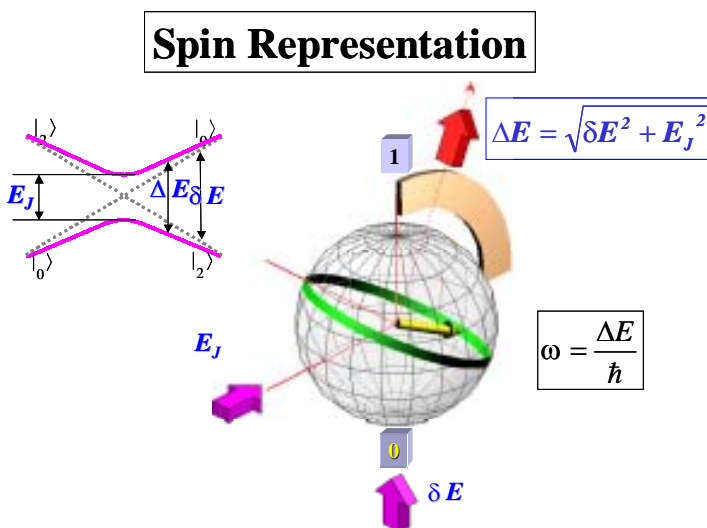


図 13 量子振動とその量子状態制御を示すブロッホ球モデル

量子ビットの振幅（図 11 の振幅）を現す。y-z 面からのずれは量子力学的位相の獲得を意味する。y 軸方向には E_y に相当する仮想磁場が存在し、スピンベクトルを y 軸に対し回転させる。z 軸方向には E_z に相当する仮想磁場が存在し、スピンベクトルを z 軸に対し回転させる。スピンベクトルは 2 つの磁場の合成磁場 $E = (E_y^2 + E_z^2)^{0.5}$ に駆動され回転する。ここで注目するのは、 E はゲート電圧によって外部より制御できる量である。したがって、ゲート電圧によりバイアス点を変化させ、同時にパルス幅を制御することにより、ブロッホ球上の任意の点に相当する量子状態を作り出すことができる。

量子ビット演算回路

1 量子ビット以外に、二つのビット間の量子からみあいを実現する「制御NOT」などの 2 量子ビットのゲートがあれば、全ての量子情報処理が行えることは証明されている。このゲートはまだこの系では実現されていないが、ビット間の静電的結合で実現できると期待されている。コヒーレンス振動は最長で約 5ns まで続いていたが、コヒーレンスを保ってより多くのゲート操作を行なうには、ノイズの低減とクロックの高速化が必要である。

高速化に関しては SFQ 回路を使った ps のオンチップパルス回路技術の進展に期待が持てる。ノイズの低減には、量子ビットの素子構造と検出手法に改良を加える必要があるだろう。

今回は最終回として、超電導磁束量子ビットの現状とこの解説のまとめ、および最近の話題について述べる。

参考文献

6) Y. Nakamura, Yu. A. Pashkin, and J. S. Tsai, Nature, 398, 786, 1999

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

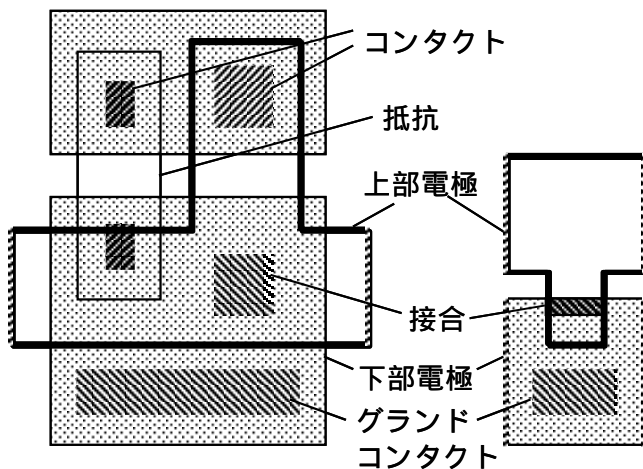
(Q&A)

Q: SFQ 回路を構成する上で LTS と HTS にどのような難しさの違いがあるのでしょうか?

A: LTS を用いた SFQ 回路は AD 変換回路など、数千接合規模の回路が動作し、現在数万接合規模の SFQ 回路が開発されています。一方 Y 系酸化物を用いた HTS の SFQ 回路で動作が確認されているのはトグル・フリップフロップ、電圧増幅回路など 10 から 20 接合規模です。このように回路作製技術の成熟度にかかなりの差がありますが、この点を別にして、素子構造や素子特性から SFQ 回路を構成する上での利点や、問題点等を比較してみます。

Nb 系(LTS)の接合はサンドイッチ構造で、ヒステリシスを有する電流-電圧特性を示します。SFQ 回路ではヒステリシス特性は望ましくないため、シャント抵抗を並列接続します(図 1)。このために接合部の占有面積が接合自体の 4 倍以上に増大します。シャント抵抗を用いなくてもヒステリシスを示さない接合の工夫もなされています。絶縁層を 2 層にした SINIS(S は超電導電極、I は極薄絶縁層、N は極薄常電導層)接合はヒステリシスを示しません。SINIS 接合を SFQ 回路に用いるために、特性の再現性、均一性の向上が図られています。

HTS については、下部電極の端部表面にイオンビーム処理を施して障壁層とし、この上に上部電極を積み重ねたランプエッジ接合が SFQ 回路に用いられています。ランプエッジ接合の一方の寸法は下部電極端部斜面であり、もう一方の寸法は上部電極の幅です。下部電極の膜厚は 0.2-0.3 μm 程度なので、容易にサブミクロンの微少な接合面積を実現できます。SFQ 回路の高速化には接合の高臨界電流密度化(10^4 - 10^5 A/cm²)が必要です。SFQ 回路で接合の臨界電流は一定の値ですので、高臨界電流密度化するには接合面積を縮小する必要があります。したがってランプエッジ接合は高臨界電流密度化によって、SFQ 回路の高速化(100GHz 以上)を達成するのに向いています。ランプエッジ接合の電流-電圧特性



(a) LTS のトンネル接合を用いた場合 (b) HTS のランプエッジ接合を用いた場合

図 1 LTS あるいは HTS で SFQ 回路を構成した場合接合部周辺のレイアウト

にはほとんどヒステリシスがありませんので、シャント抵抗を用いなくて済みます(図 1)。したがって構造が簡単で、同一のデザインルールであれば、回路面積が小さくなります。ランプエッジ接合は平面構造なので、超電導接合線路等を構成する場合、インダクタから接合を経てグランドに至る経路で、構造上有限のインダクタンス成分が形成されます。動作速度や動作範囲の点からは、これらいわゆる寄生インダクタンスはできる限り小さい方が望ましいのです。

(SRL/ISTEC 第 6 研究部 樽谷良信)

[超電導 Web21 トップページ](#)