

掲載内容 (サマリー):

特集: 進展する超電導単一磁束量子 SFQ デバイス技術

10 万ジョセフソン接合を 1 チップに集積する革新的プロセス技術開発
SFQ スイッチで大容量 IP ルータに挑む
機能回路実現への見通しが得られた酸化物系集積回路技術の進展
酸化物系 SFQ 回路を用いた超高速波形観測装置 - 45GHz 電流信号の計測に成功 -

超電導関連 9 - 10 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (7/21 - 8/20)

超電導速報 - 世界の動き (2004 年 7 月)

低温工学協会 東北・北海道支部 / 材料研究会 合同研究会参加報告

ヨーロッパ国際会議報告

隔月連載記事 - やさしい超電導エレクトロニクスのおはなし (その 4)

読者の広場(Q&A) - ダイヤモンドが超電導になるって、本当ですか?

[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。

特集：進展する超電導単一磁束量子 SFQ デバイス技術

「10万ジョセフソン接合を1チップに集積する革新的プロセス技術開発」

超電導体でのみ実現できる単一磁束量子 (SFQ) 回路は、半導体回路と比べて 100 倍の速度と 1/1000 の消費電力が実現できる。我々はニオブという金属超電導体を用いた SFQ 回路の開発を行っているが、従来の試作プロセスでは 1 チップ上に半導体 LSI のトランジスタに相当するジョセフソン接合 (JJ) を 1 万個集積するのが限度であった。このたび従来比 10 倍の 10 万 JJ を 1 チップ上に集積できるプロセス技術を開発した。

このプロセスのポイントは、新しい平坦化法の導入により多層化を進めたことにある。集積度を増やすには縦方向に回路を積み上げていくことが不可欠であるが、そのまま積み上げたのでは段差による回路のオープンやショートが発生してしまうため、各層ごとに平坦化を行う必要がある。平坦化では「パターン幅依存性」と呼ばれる幅が異なるパターンが共存する場合に均一に平坦化ができないという問題があった。我々はまずパターン幅のばらつきをなくし次に平坦化を行うという 2 段階の平坦化法を新たに開発した。図 1 は新平坦化法を用いて試作した 6 層ニオブと JJ 層、モリブデン抵抗層からなるデバイスの断面電子顕微鏡写真である。層間絶縁膜には半導体デバイスと同じ酸化シリコンを使用している。平坦化を行わない従来のプロセスではニオブ 4 層が限界であったが、新平坦化法を用いることで 6 層構造を実現することができた。このデバイスの JJ 特性、層間リーク、線間リークなどの電気特性は、10 万 JJ 規模の SFQ 回路を動作させるために十分なレベルにあることが確認されている。

他にも我々が所有している装置の限界まで微細化が進められており、多層化と合わせて集積度の 1 桁向上が可能になった。さらに、JJ の微細化を行うことにより、従来比 2 倍の 80GHz クロック動作が期待できる。

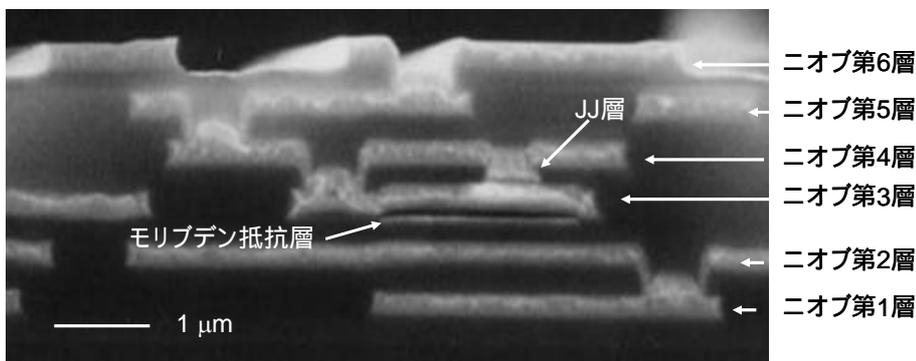


図1 ニオブ6層構造デバイスの断面電子顕微鏡写真

1 チップ 10 万 JJ の SFQ 回路は実用レベルの入り口である。プロセッサやスイッチなどの実用化を本格的に図っていくためには集積度をさらに高める必要がある。今回の開発でさらなるプロセス向上への道筋が見えてきた。平坦化を用いて多層化をさらに進めるとともに、半導体プロセス用にすでに開発されている装置の導入により微細化をさらに進めることで、次のターゲットとして 100GHz クロックで動作する 1 チップ 100 万 JJ の SFQ 回路が現実的なものとなった。

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 低温デバイス開発室長 日高睦夫)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：進展する超電導単一磁束量子 SFQ デバイス技術

「SFQ スイッチで大容量 IP ルータに挑む」

現在、ADSL などの普及によりインターネット利用が進んでいる。通信トラフィックの増加は短期的には波があるだろうが長期的に見れば確実に進むだろう。アクセス系インフラでは 100Mbps クラスの光ファイバが各家庭に入るとされている。そのような時代になると、コアルータの必要容量は現在の約 100 倍の 100Tbps クラスに達すると見込まれている。これまで、ルータのスイッチ容量は半導体 LSI の性能の伸びに従って向上してきた。しかし、ロードマップによれば、半導体技術の進展は鈍化するとされており、2010 年頃でも現在の数倍にとどまる。すなわち、このままではトラフィックの伸びを処理しきれない可能性があり、新たな技術の登場が期待されている状況であることは疑いない。

我々は、このような課題を解決するブレイクスルー技術として SFQ 技術のルータ技術への適用を研究している。通常のルータはラインカード(パケットの前処理)とスイッチ(実際のパケットの切り替え)と呼ばれる部分から構成されている。ラインカード処理は、パケット入力ポート毎になされ、分散処理的な性格を持つ。一方、スイッチは、全てのラインカードからの IP パケットが集中する集中制御となる。このスイッチはルータ性能向上におけるボトルネックのひとつである。これまでは並列処理によりしのいできた。しかし、並列処理はハードウェア量の増大をまねき処理能力に限界がある。SFQ 回路は 100GHz 近いクロックまで動作する。故に無駄な並列処理を抑え少ない回路で大量のデータが処理できる。図 1 にそのコンセプトを示した。この効果はスループットが多くなればなるほど顕著に現れる。大量のデータを高速に処理しなければならないスイッチは SFQ 回路に極めて向いているアプリケーションといえるだろう。

現在のところ、我々はプロトタイプスイッチとスイッチスケジューラの開発をおこなっている。このうちスイッチは超電導工学研究所のニオブ系プロセスラインを使用して 4x4 の規模のものまで試作された。総接合数は 4316 個で、40GHz クロック動作に成功した。総スループット 160Gbps が実証されたこととなる。現在のハイエンドルータと同等なレベルである。今後はさらに規模の拡大を進め、大容量・高品質のルータの実現を目指す。

本研究は「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」事業として新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により行われたものである。

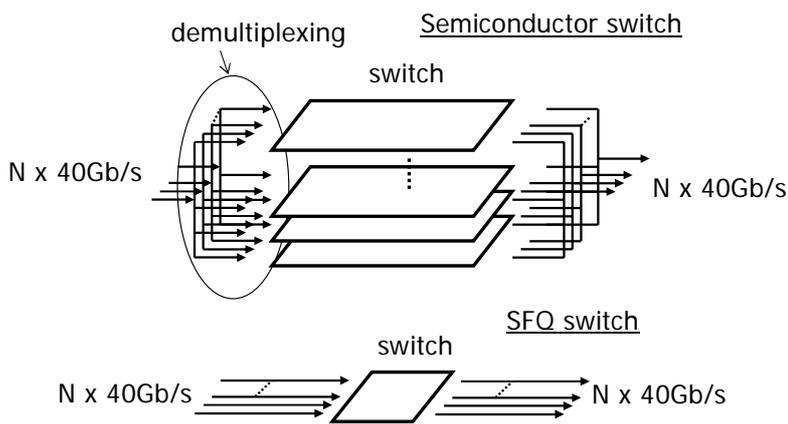


図 1 半導体スイッチと SFQ スイッチの構成概念図

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 低温デバイス開発室 萬 伸一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：進展する超電導単一磁束量子 SFQ デバイス技術

「機能回路実現への見通しが得られた酸化物系集積回路技術の進展」

酸化物系超電導材料で SFQ(磁束量子)回路を作製できるようになれば、30-40K の高い温度で動作でき、1 段式の簡便な冷凍機で冷却可能なため、重量、大きさ、コスト等に制限のある計測器や無線機器などの小型システムへの応用が拓ける。しかし酸化物薄膜で SFQ 回路を構成することはきわめて困難で、酸化物特有の技術課題を解決する必要があった。

酸化物超電導回路の基本構造は磁気遮蔽膜、超電導接合、および接合を構成して配線となる下部電極膜および上部電極膜、これら超電導膜間を電気的に絶縁する層間絶縁膜から成る(図1)。回路作製に当たって克服すべき技術課題としては(1)超電導接合の臨界電流値の広がりを抑えて均一化すること(標準偏差として 8%以下)、(2)超電導層間の絶縁性を確実に得ること(100kΩ以上)、(2)酸化物薄膜積層工程中で劣化した磁気遮蔽膜の超電導性を回復させること、等である。接合の臨界電流はおもに上部電極の成膜工程で決まる。レーザ蒸着時のレーザエネルギー等を調節することによって、所期の均一度を達成できた。層間絶縁膜には SrSnO₃ 膜を選択した。SrSnO₃ 膜は 600-700 度での成膜時に YBa₂Cu₃O_{7-x} 系超電導膜と拡散反応を生じないことが分かった。また酸化物薄膜の成膜および加工工程の終了後、酸素雰囲気中で熱処理を施すことによって、磁気遮蔽膜の酸素量を補い、超電導性を回復させることができた。このようにして酸化物系 SFQ 回路を作製するための基礎的なプロセス技術が得られた。

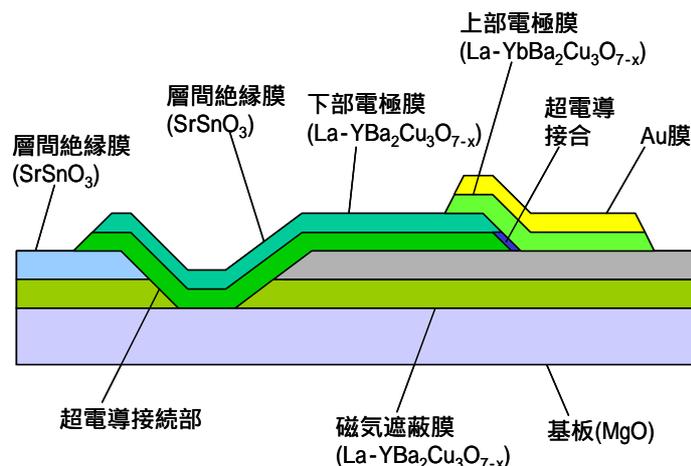


図1 SFQ回路の断面構造

層間絶縁膜には SrSnO₃ 膜を選択した。SrSnO₃ 膜は 600-700 度での成膜時に YBa₂Cu₃O_{7-x} 系超電導膜と拡散反応を生じないことが分かった。また酸化物薄膜の成膜および加工工程の終了後、酸素雰囲気中で熱処理を施すことによって、磁気遮蔽膜の酸素量を補い、超電導性を回復させることができた。このようにして酸化物系 SFQ 回路を作製するための基礎的なプロセス技術が得られた。

SFQ 回路の基本要素は SFQ を通す JTL(ジョセフソン伝送線路)、SFQ-dc 変換器、2 経路から 1 経路に SFQ 信号を通すコンフルエンス・バッファ、タイミングをとる RS-FF(セットリセット・フリップフロップ)等である。これらの酸化物要素回路を作製し、基本動作を実行できることを確かめた。とくに図2のような長距離 JTL を作製し、100 接合の JTL を SFQ 信号が通過することを確認した。これらの結果に基づいて、今後酸化物系アナログ - デジタル変換回路など機能回路の開発を進めたい。

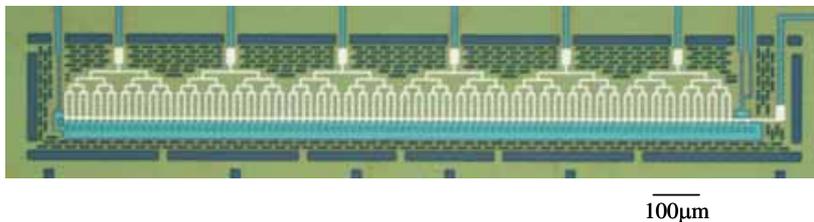


図2 100接合JTL回路

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 樽谷良信)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：進展する超電導単一磁束量子 SFQ デバイス技術

「酸化物系 SFQ 回路を用いた超高速波形観測装置 - 45GHz 電流信号の計測に成功 - 」

インターネットの普及やパソコンなどデジタル回路の高速化に伴い GHz 以上の信号が身近な多くの機器で使用されるようになり、さらなる高速化の研究開発が進んでいる。数 GHz 以上の高速信号波形を観測するにはサンプリングオシロスコープが用いられている。サンプリングオシロでは時間的に変化する被測定波形の瞬時の振幅をストローブパルスと呼ばれる時間幅の狭いワンショットパルスを用いてその瞬時の振幅を計測している。このパルス幅が時間分解能すなわち周波数帯域を決める。超電導 SFQ 回路はピコ秒の高速パルスを利用しており、この応用に適している。またサンプラー回路は数 10 接合程度の小規模な回路で構成できること、高温（酸化物系）SFQ 回路は小型冷凍機で冷却可能であることから、システムレベルでの実用化に近いターゲットの一つである。

超電導工学研究所では、平成 15 年度より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の一貫として NEC 基礎研究所での研究開発¹⁾を引き継ぎ、100GHz を超えるシステムの研究開発に着手した。回路的には、従来のサンプラーの構成を見直し、周波数帯域を広げた新規回路を考案した。コンピュータシミュレーションによれば、現在のプロセスでの典型的な接合パラメータ ($I_c R_n$ 積: 0.7mV) を用いた場合でも帯域 110GHz の性能が得られた。また、回路への磁束トラップを避けるためのモートと呼ばれるグランドプレーンのホール構造の最適化等を行うとともに²⁾、SFQ 回路の下層にグランドプレーンを設けるプロセスの開発を進めた。信号の入力形式として高周波線路を介して電圧入力する方法と被測定信号の電流が作る磁場を超電導ピックアップコイルにより測定する方法(図 1)を検討している。今回、電流入力方式でこれまでの最高周波数 20GHz を超える 45GHz の波形観測に成功した(図 2)。高周波電流測定は電磁ノイズやプリント基板や LSI 内部の評価に有効であることが報告されており³⁾、より高感度で広帯域な電流計測への超電導 SFQ サンプラーの応用が期待される。

参考文献

- 1) 日高睦夫、丸山道隆、佐藤哲郎、電子情報通信学会論文誌 2003 年 11 月号 1128-1135 頁
- 2) 鈴木宏治、超電導 Web21 2004 年 7 月号 7 頁
- 3) 増田則夫、日経エレクトロニクス、2004.7.5 号、123 頁

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部 鈴木秀雄)

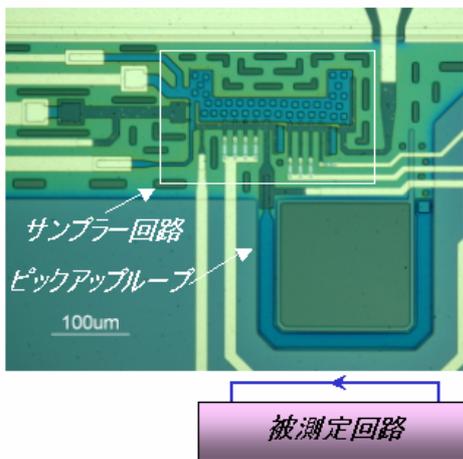


図 1 電流入力型サンプラーチップ写真

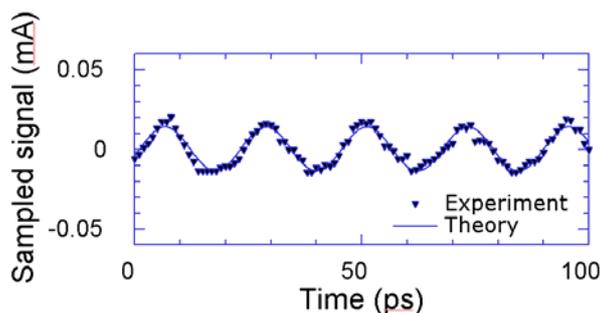


図 2 観測した 45GHz の信号波形

超電導関連 9 - 10月の催し物案内

8/30-9/10

SCENET, the European Network for Superconductivity 5th SCENET SCHOOL ON SUPERCONDUCTING MATERIALS AND APPLICATIONS

場所: Hotel Monterey, Salamanca, Spain

主催: SCENET

問合せ:

SCENET, IMEM-CNR, Secretariat (I. Rinaldi);

Tel: +39-0521-269284

Fax: +39-0521-254352

9/1-3

Meeting of TC90: SUPERCONDUCTIVITY

場所: ARGONNE NATIONAL LABORATORY

主催: US NATIONAL COMMITTEE/IEC

American National Standards Institute

問合せ: Tel: +1-630-252-2000

Web: <http://www.anl.gov>

9/1-4

2004年秋季第5回応用物理学学会講演会 効用物理学一般 磁場応用

場所: 東北学院大学 泉キャンパス(仙台市)

主催: 応用物理学学会

問合せ: Tel: 029-863-5619、Fax: 029-863-5571

e-mail: HIROTA.Noriyuki@nims.go.jp

9/2-3

第16回低温工学サマーセミナー

場所: KKR 片瀬ニュー向洋(藤沢市)

主催: 低温工学協会

問合せ: Tel: 03-3818-4539、Fax: 03-3818-4573

e-mail: ss-office@m.aist.go.jp

9/6-8

2004年度九州・西日本支部若手セミナー

場所: リゾートホテル阿蘇いこいの村(熊本)

主催: 低温工学協会 九州・西日本支部

問合せ: Tel: 096-342-3848

e-mail: miyahara@eecs.kumamoto-u.ac.jp

9/8

2004年度 超電導応用研究会・冷凍部会共催講演会「超電導ケーブル」

場所: 電力中央研究所 横須賀地区 別館

主催: 低温工学協会 超電導応用研究会冷凍部会

問合せ: Tel: 046-856-2121、Fax: 046-856-3540

e-mail: tori@criepi.denken.or.jp

9/15

超伝導関連研究の最新トピックス

場所: 九州大学ベンチャービジネスラボラトリー 3階 セミナー室(福岡市)

主催: 低温工学協会 低温部会

問合せ: Tel: 092-642-4022、Fax: 092-632-2438

e-mail: kajikawa@sc.kyushu-u.ac.jp

9/15-17

VACUUM 2004 真空展(ISTEC コーナー有り)

場所: 東京ビックサイト [有明: 東京国際会場]

主催: 日本真空工業会、日本真空協会

問合せ: 日本真空工業会: Tel: 03-3459-1228、

Fax: 03-3459-9405、

日本真空協会: Tel: 03-3431-4395、

Fax: 03-3433-5371

10/3-8

ASC04 Applied Superconductivity Conference

場所: Adam's Mark Hotel, Jacksonville, FL, USA

Web: <http://www.ascinc.org/>

10/8

The 13th International Superconductivity Industry Summit (ISIS-13)

場所: Jacksonville, FL, USA

主催: CCAS、共催: CONECTUS, ISTE

Web: <http://www.istec.or.jp/index-J.html>

10/22

HTSの永久電流とその応用

場所: 北九州国際会議場(北九州市)

主催: 低温工学協会材料研究会九州・西日本支部

問合せ: Tel&Fax: 0948-29-7683、

e-mail: otabe@cse.kyutech.ac.jp

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (7/21- 8/20)

瞬低対策機器 電中研が効果解析ソフト コスト提示など可能に 7/21 電気新聞
Spring-8 の挑戦 II 電磁石の精密測定 髪の毛の太さの精度で 1.5km の円軌道 7/23 日刊工業新聞
からだ博 遠隔診断 専門医不足 需要大きい 7/23 日本経済新聞 (第2部)
からだ博 東芝グループ MRI、実物大模型、日立グループ最先端医療を解説 7/23 日本経済新聞 (第2部)
社説 核融合炉 いたずらに張り合うな 7/28 朝日新聞
2 ホウ化マグネシウム アルミに均一分散 富山大と高純度化研 新超電導複合材料を開発 押し出し・圧延が容易 7/30 日刊工業新聞
第34回機械工業デザイン賞 経済産業大臣賞 受賞製品 超電導式磁気共鳴画像診断装置 EXCELART Vantage MRT-2003 東芝 患者に“やさしい”MRI 8/2 日刊工業新聞
米国立標準技術研 ジン博士に聞く 極低温の現象に脚光 「フェルミ凝縮」実現 常温超電導へ前進 8/2 日本経済新聞
超電導発電機の回転子軸コスト 新材料で半分に低減 日立と超電導発電研究組合 強磁性と高靱性両立 小型・高性能化も可能に 8/3 日刊工業新聞
ダイヤモンド 超伝導状態に 物材機構と早大確認 8/5 朝日新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞
超電導発電機 1%の発電効率向上が期待 CO₂排出削減に道 8/6 日刊工業新聞
血流画像化がん診断 超音波使用 MRIより安価に 8/13 日本経済新聞
診療所連携 患者も安心 得意分野で「分担」 8/15 日本経済新聞
電力業界の技術研究開発動向 中電協まとめ 04年度研究費 1.6%増に 自由化拡大踏まえた新たな方向へ 超電導技術の実用化目指す 8/17 電気新聞
高温超電導現象の解明に一步 電子と格子振動の関連性確認 東大とUCB 角度分解光電子分光測定法使い 従来理論を覆す 応用・製品化 一気に加速 8/20 日刊工業新聞



[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 (2004年7月)

電力

Intermagnetics General Corporation (2004年7月15日)

Intermagnetics General Corporation は、5月30日に終了する2004年度第4四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期440万ドルに対し33%増の580万ドルであった。売り上げは、前年同期3,770万ドルの57%増で、5,910万ドルであった。この増加は主として最近買収した Invivo Corporation が目標通りのパフォーマンスであったことによる。これにより、IGC社の2004年度の純収入は、一過性のものを除き、1,560万ドルであった(前年度は1,590万ドル)。なお、臨時費用も含めた2004年度純収入は1,480万ドルであった(前年度は1,490万ドル)。2004年度第1四半期は、主要OEM顧客との独占的供給契約に対応すべく設備増強を図ったこともあって、計画的にマグネット生産を減らしたことの影響が出た。IGC社長 Glenn H. Epstein は、「本年度第4四半期は予想通り、2004年度中で最も好調な四半期であった。MRI マグネットシステム、コンポーネントの売り上げも上り坂であり、機器セグメントも粘り強い活躍をした。おかげで、両ビジネスとも2005年度のさらなる成長に向けて絶好のポジションにつけたと言える。」と語った。また、エネルギー技術部門も、第4四半期の収入は前年同期の48万2000ドルから190万ドルへと改善し、2004年度通年では、650万ドルに達している。これは、前年度2003年度の3倍以上に相当する額である。

また、IGC社は取締役会が一般株式2株を3株に分割することを決定したと発表した。この分割は株式の50%配当という形で実施される予定であり、2004年7月23日時点での株主に対し8月17日までに実行される。IGC社長 Glenn H. Epstein は、「株式分割により発行株式数が増加すれば、株式の流動性が増し、機関投資家、個人投資家に対する魅力が増えて、長期的に株主の利益になるものと信じている。」と語った。

(出典)

“Intermagnetics Reports Q4 Sales of \$59.1 Million; EPS Climbs 31% to Record \$0.34”

Intermagnetics General Corporation press release (July 15, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=117268>

“Intermagnetics Declares 3-For-2 Stock Split”

Intermagnetics General Corporation press release (July 15, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=117269>

American Superconductor Corporation (2004年7月27日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、高性能次世代HTS線材開発において大きな成果を挙げたと発表した。同社は、標準の1cm幅線材で端から端まで160~185Ampsの電流を流すことに成功した。線材の長さは従来の3倍の30m超のものである。DOEエネルギー、科学、環境担当局長 David Garman は、「この結果はより安全で信頼性の高い電力ネットワークやより効率のよい大型電気機器への道の大きなマイルストーンである。」と述べた。この結果はDOEのPeer Reviewで報告されたものであり、その中でAMSC社は今回の結果を基に、製造工程の2段階のスケールアップに着手する予定であることを明らかにした。AMSC社社長兼COO、David Paratore は、「第1段階として、2005年春までに現有の次世代線材開発施設をプリ・パイロット生産ラインに切り替え、2006年3月に終了する年度中に次世代線材を10,000m以上出荷できるようにするつもりである。」

第2段階として2007年末までにおおよそ年産300,000mの生産能力を持つフル・パイロット生産ラインへとスケールアップする計画である。」と述べた。AMSC社は、現在550,000mの第1世代HTS線材の発注を受けており、2005年3月までに製造、出荷の予定。同社は、次世代HTS線材1000m長製造ラインを2007年末までに立ち上げ、これをもって第1世代の線材から次世代線材へマーケットが移行するきっかけとしたいとしている。

DOEのPeer Reviewで報告された結果は以下のサイトを参照のこと。

http://www.amsuper.com/products/htsWire/documents/2GWhitePaper-July04_000.pdf

(出典)

“American Superconductor Achieves Key Manufacturing Development Benchmarks for its High Performance Second Generation Wire”

American Superconductor Corporation press release (July 27, 2004)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=596743&highlight

MRI その他の医療応用

Intermagnetics General Corporation (2004年7月12日)

Intermagnetics General Corporationは、MRI用RFコイル製造メーカーであるMRI Devices Corporation (MRIDC)の買収に関する司法省からの許可を得たと発表した。この買収のための支払いは、4,500万ドルの現金、500万ドルの3年物約束手形及びIGC一般株5,000万ドルにより行われた。MRIDCの買収により2005年の収入が80%増の3億ドルになるとした以前の予測をIGC社はこの機会に再確認した。IGC社長Glenn H. Epsteinは、「MRIDCが正式にIGCの一部となり、さらに大きな可能性が開けた。この買収は前年のInvivoの買収とも相俟ってIGC社が医療機器分野における新たな診断応用分野への展開を加速してくれるであろうし、また、顧客やマーケットの拡大にも大きく資するものである。」と語った。

(出典)

“Intermagnetics to Complete Acquisition of MRI Devices Corporation”

Intermagnetics General Corporation press release (July 12, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=117058>

CardioMag Imaging, Inc. (2004年7月27日)

CardioMag Imaging, Inc.は、連邦食品薬品安全局(FDA)が同社の心磁計(MCG)の販売を承認したと発表した。すでに6つの病院がMCGの冠状動脈疾患を検知する能力をしらべるため同社の装置を使っている。Mayo ClinicのPeter Smars医師は、「現在行われている臨床試験により我々の予想が確認されれば、MCGはわが国の殆どの病院において標準的な診断装置になるであろう。」と述べた。CardioMagはMCGシステムを欧州、アジアの病院に販売したが、このFDAの承認により世界の最も大きな医療装置市場で装置を販売できるようになる。

(出典)

“CardioMag’s Equipment is the First of its Kind Ever to Receive FDA Approval”

CardioMag Imaging, Inc. press release (July 27, 2004)

<http://www.cardiomag.com/about/news.shtml>

マグネット

Trithor GmbH (2004年7月5日)

Trithor GmbH は、超強磁場マグネットの設計、製作、試験を目指したプロジェクトに着手したと発表した。200万ユーロのこのプロジェクトには、一部 EC の 6 次フレームワークから資金が供与される。目標は 25T マグネットであり、LTS の外部マグネットと HTS の内部マグネットのハイブリッドとする予定。Trithor は HTS 導体を供給し、Cryogenic Limited は超電導強磁場マグネットメーカーとしての経験をもってプロジェクトに貢献する。また、Techtra は構造材として使われる超強度合金製造メーカーとしての経験を活かす。ドイツの研究所 IFW-Dresden 及び IRC in Superconductivity (University of Cambridge) は、設計段階及び実地試験におけるノウハウの提供及びコンサルティングの任に当たる。プロジェクトは 2006 年終了予定。

(出典)

“Trithor Heading 2 M euros Project on the Development of 25 Tesla Magnet”

Trithor GmbH press release (July 5, 2004)

<http://www.trithor.de/pdf/2004-07-05%20Trithor%20HIGINS%20ENG.pdf>

Florida State University (2004年7月23日)

NSF 及びフロリダ州から資金供与を受けている National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) は、超大口径ボアを持つ 21.1T の NMR 磁石の試験に成功し、世界記録を塗りかえた。最高磁場は 2004 年 7 月 21 日に達成され、今後数十年その状態を継続する。マグネットは NHMFL において開発された。これは 13 年間もの研究開発の成果である。このマグネットは NMR や MRI 用として 105mm 室温ボアに 21.1T の磁場を生成できる唯一のマグネットである。超大口径ボアはこのマグネットの特徴の 1 つであり、従来の 52mm ボアと比べより幅広い学術研究を可能とした。マグネットは共通軸を持つ 10 の Nb₃Sn や NbTi 超電導コイルのアッセンブリーであり、1.7K で稼動する。磁場均一性を確保するための微調整は IGC 社の協力によって開発された超電導シム・コイルを使って行う。NHMFL 所長 Greg Boebinger は、「この強力かつ超大口径マグネットの開発は非常にチャレンジングなものであり、大きな工学上の成果である。これは、当研究所の NMR 分光學、撮像プログラムの王冠と考えている。」と語った。この開発により NHMFL の磁気共鳴用途での超電導強磁場マグネット技術分野での国際リーダーとしての地位を確たるものにした。

(出典)

“New world record magnet for chemical and biomedical research”

Florida State University (July 23, 2004)

http://www.fsu.edu/%7Eunicomm/pages/releases/2004_07/release_chrono_0407.html

通信

ISCO International, Inc. (2004年7月27日)

ISCO International, Inc. は、RF™ プラットフォームを拡張して新しい製品にも適用できるようにしたと発表した。これにより通信事業者は現行のインフラを最大限に活用でき、同時に事業者が適当と考えるペースで新しい技術を導入することができるようになる。またこれにより ISCO の市場も拡大し、現在の第 3 四半期における新しい注文も期待できる。

また、同社は融資枠 100 万ドルを取り崩し、さらに融資枠をさらに 50 万ドル増やしこれを直ちに取り崩すこととしたと発表した。これらの資金は製品の販路拡大に使われる予定。

(出典)

“ISCO International Announces Extension of RF² Solution Platform and Financing”

ISCO International, Inc. press release (July 27, 2004)

<http://www.iscointl.com/>

ISCO International, Inc. (2004年7月29日)

ISCO International, Inc.は、6月30日に終了する2004年第2四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期の336,000ドルに対し、当期は843,000ドル。純損失は、前年同期が2,113,000ドルに対し、当期は1,287,000ドル。この収支の改善は、主として訴訟費用の減少と過去数期にわたって進めてきた効率改善の努力が実ってきたことによる。同社社長 Amr Abdelmonem は、「第2四半期は第1四半期より改善し、また前年同期よりもよくなっている。課題は引き合いをいかに注文につなげていくかということである。我々の製品の適用範囲を広げていくことで通信事業者から頼りにされるようになっている。より多くの顧客が反応してきており、またこれらの関係を発展させていきたいと思っている。マーケットは反応している。」と語った。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS QUARTERLY RESULTS”

ISCO International, Inc. press release (July 29, 2004)

<http://www.iscointl.com/>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会 東北・北海道支部 / 材料研究会 合同研究会参加報告

弘前大学
理理工工学部
教授 中島健介

平成 16 年 8 月 6、7 日の二日間にわたり弘前大学創立 50 周年記念会館において低温工学協会東北・北海道支部と同材料研究会の共催による研究会が開催された。本研究会は、「高温超伝導薄膜・バルクの合成と物性評価技術」をメインテーマとし約 30 名の参加を得て第 1 部（8 月 6 日）に 6 件、第 2 部（8 月 7 日）に 5 件の計 11 件の研究成果が報告された。材料別には MgB_2 に関する報告が 4 件、 Ln_{123} 系に関する報告が 7 件（一部重複）であった。

東北大学金属材料研究所の戸叶は、 MgB_2 が金属系実用線材や Bi や Y 系高温超伝導線材に比べて優位性が確保できる 20K 付近での応用を考えた場合、磁場中での高 J_c の確保が重要であるとの観点から、SiC の添加による微細欠陥の導入と高磁場特性の改善など MgB_2 線材開発の現状を報告した。また、 MgB_2 のエレクトロニクス分野への応用を目指した薄膜作製の取り組みとして、いわて産業振興センターの原田と岩手大学の吉澤らは、超高真空 MBE による As-grown MgB_2 薄膜の作製条件の最適化により、低温、低成膜レートで高品質の MgB_2 薄膜が得られることを報告した。一方、鹿児島大学の土井らは、電子ビーム蒸着法による As-grown MgB_2 薄膜の作製について報告し、アニール処理によって T_c が上昇し J_c が低下することから結晶粒界がピンニングセンターとして働いている可能性を示唆した。

東北大学低温科学センターの野島らは、重イオン照射によって柱状欠陥を導入した Y-123 薄膜について、磁束系が柱状欠陥によって Bose Glass (BG) 相になった照射領域と、点欠陥によって Vortex Glass (VG) 相になった未照射領域の境界でおこる磁束線の粘性効果とそれに由来する磁束線のダイナミズム、磁束液体の粘性相関に関する報告を行った。また、これに関連して、東北大学金属材料研究所の淡路は、NEG123 バルクで観測される高不可逆磁場には重イオン照射による柱状欠陥や双晶など c 軸方向に相関の強いピンニングセンターが関与した BG 相が重要な役割を果たしており、c 軸に相関性の強い欠陥 (c-axis correlated disorder) の導入が臨界電流密度と不可逆磁場の改善の鍵となることを報告した。

超電導工学研究所の腰塚は、バルク材料に関して開発の現状と強力な捕捉磁場を利用した磁気浮上・軸受、磁気分離やモーターの回転子など装置応用の最近の動向について総合的に報告した。またこれに関連して、岩手大学の藤代は、パルス着磁によるバルク材の捕捉磁場向上を目指して、着磁時の磁束侵入と発熱に関する解析結果を報告し、一関工業高等専門学校の亀卦川は、NEG123、Y123 バルク体の熱伝導に与える銀添加の効果について報告した。

この他に、八戸工業高等専門学校の中村は、Y123 薄膜への人工的なピンニングセンターの導入による高 J_c 薄膜の作製を目指して、様々な基板とバッファ層の組み合わせに対してエピタキシャル成長させたときの結晶性、モルフォロジーと超電導特性について報告した。山形大学の齊藤は、NMR ピックアップに用いることを想定して Y123 と Dy123 の高磁場中での表面抵抗について報告し、マイクロストリップライン共振器法によって測定した表面抵抗が磁場の増加に伴って振動しながら増加していく現象を紹介した。弘前大学の中島は、Y123 粒界ジョセフソン接合を用いたミリ波・サブミリ波検出器の感度向上に関して報告し、接合に接続した高周波アンテナの給電点インピーダンスの低減が感度の向上の改善に効果的であること、より低い給電点インピーダンスを持つアンテナとしてスロットループアンテナが有望であることなどを報告した。

[超電導 Web21 トップページ](#)

ヨーロッパ国際会議報告

- ・ 第7回国際会議 Spectroscopies in Novel Superconductors (Sitges, Spain) 7/11-16
- ・ 国際ワークショップ Novel States and Phase Transitions in Highly Correlated Matter (Trieste, Italy) 7/12-23
- ・ 第6回国際会議 Low Energy Electrodynamics in Solids (Kloster Banz, Germany) 7/19-23

SNS2004 と呼ばれる新奇超電導体の分光についての国際会議は、分光だけに留まらず新超電導体の物理全体を網羅するプログラムとなっており、5人のノーベル賞受賞者講演を含む招待講演は約90件、参加者数は450名であった。

毎朝1番に、ノーベル賞受賞者の講演があった。初日は、K. A. Müllerで、高温超電導発見当初から堅持している「ヤーンテラー歪が超電導メカニズムに重要である」という説を主張。2日目は R. Laughlin で、蜘蛛の巣のような儂い超電導(Gossamer Superconductivity)が彼の説である。モット絶縁体に始まる強い電子相関は、高温超電導体の本来の姿を隠しているもので本質ではない、と主張した。3日目は P. W. Anderson で、トンネルスペクトルがバイアス電圧に対して左右非対称になっていることが、事の本質を表していると述べた。4日目は、J. R. Schrieffer、5日目は A. A. Abrikosov であった。筆者は Trieste へ移動したので聴講できなかったが、聞くところによると、Schrieffer は 1000K の高温超電導を予言したそうで、具体的な物質も挙げたという。しかし聴講した人たちの評判はあまりよくない。

その他特筆すべき話題としては、これまで Bi2212 でだけ STM 観測されていた不均一な電荷分布が、 $(\text{Ca,Na})_2\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ でも明確なチェッカーボードパターンとして観察されたことだ。静的な電荷変調がすべての高温超電導体の CuO_2 面で起きているとは思えないが、このような不安定性を内在していることは確かなようだ。

強相関系の新状態・相転移に関するワークショップ(Trieste)は、ユネスコの運営する国際理論物理研究センターが毎年行うサマースクールの一部として開催された。本来の趣旨を反映し、グルジア・パキスタン・南アフリカ・イラン・インド・アルジェリアなど普段学会であまりお目にかかれない国々からの若い研究者が聴衆の多くであった。

最後のドイツ Kloster Banz という修道院を改装したセミナーハウスでの会議は、固体中の低エネルギー電子ダイナミクスに関するものである。合宿形式なので参加者は90名程度。印象に残った話題は、東大物性研究所の今田氏による「金属-絶縁体転移などの量子臨界点近傍では、電子系の相分離(スピノーダル分解など)が起きる」という理論である。このような電子系の相分離状態が高温超電導体の本質であるとする、それがダイナミカルではなく静的なものとなるか否かは、結晶構造の欠陥などで決まるという。ナノスケールの化学組成揺らぎがあることで磁束ピンングが導入されるのは、このような電子状態の相分離傾向に依存しているのではないかと、この印象を持った。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部長 田島節子)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導エレクトロニクスのおはなし(その4)

SRL/ISTEC

特別研究員 蓮尾信也

その4: SFQ 論理回路

4. SFQ 論理回路

今回は、磁束量子1個の有無を2進数の“1”と“0”に対応させて論理演算を行うSFQ論理回路について述べる。ちなみに、SFQとはSingle Flux Quantumの略で単一磁束量子を意味する。

なぜSFQ論理回路か？

半導体であるSiを用いた論理回路は微細加工プロセスの導入により高速化を図ってきた。いまではゲート長^{注1)}が0.09 μm という微細なトランジスタを集積したLSIが作製可能になり、動作クロック周波数は3~4GHzと高速になった。しかし、これ以上高速化するためにゲート長をさらに短くすると、本来の電流以外にトンネル効果によるリーク電流が急増する。このため、制御できない電流によって致命的に電力消費が増加してしまう。パソコン用のプロセッサは100W程度の電力を消費している。わずか1cm角程度のLSIに100Wの電力を与えたらどうなるか、容易に想像がつく。表面温度はホットプレートのように熱くなる。これ以上電力を増加すれば、熱でトランジスタが破壊されてしまう。いま高速Siの前には消費電力の問題の壁が大きく聳え立っている。

Siトランジスタの高速化に限界が見えてきたことが、SFQ論理回路の実現に向けた努力を強く後押ししている。SFQを論理回路に用いる動機は大きく二つある。一つは超高速の応答速度であり、もうひとつは極低消費電力である。状態“1”から“0”へ、あるいは“0”から“1”へ切り替える時間(スイッチング時間という)が数ps(1psは 10^{-12} 秒)と短い。また、ANDやORなどの論理回路の最小単位(ゲートという)当たりの消費電力が1 μW 以下である。超高速あるいは極低消費電力のいずれかを実現できる素子は数多く存在する。しかしその両方を同時に実現できるものはSFQ回路をおいてほかにない。このため、クロック周波数が20~100GHz程度の超高速LSIが実現できると期待されている。

SFQ論理回路の動作原理

図7にSFQ論理回路の基本構成を示す。基本的な構成要素は、その2(「超電導Web21」2004年5月号)で述べたSQUIDと同じである。すなわち、ジョセフソン素子2個を含む超電導ループが基本単位である。超電導ループの中に磁束量子が出入りする瞬間だけジョセフソン素子の両端に電圧が現れる。これがSFQパルスである。SFQパルスの幅は数psで電圧振幅は1mV程度である。このような超電導ループを図7のように並べて、たとえば入力信号AとBが二つとも入ってきたら出力信号Cが得られるようにすればANDゲートとして動作する。A、Bどちらか一方が入ったらCに出力パルスが得られるように設計すればORゲートとなる。ある瞬間に時間を止めてみれば、超電導ループの中に磁束量子が一個入っている場合と何も無い状態が存在する。これがSFQ(単一磁束量子)回路と呼ばれる所以である。

SFQ論理回路の中では、このように数psという非常に短いパルスを用いて論理動作を行わせるので、20~100GHz程度の高速クロック周波数で動作させることが可能である。論理回路におけるクロックというのは、音楽におけるメトロノームのような役割と考えればよい。すなわち、回路動作のリズムを決めるものである。100GHzのクロック周波数で動いている回路では、クロックが一

周期する時間は 10ps であり、その間にまとまった論理演算を行うことになる。

SFQ 論理回路も半導体回路と同様に AND や OR ゲートなどの基本要素回路を組み合わせることで複雑な回路を構成する。このため、基本要素回路が前もって準備されていれば回路設計が容易になることは誰も想像できる。SFQ 論理回路ではそのような準備がすでに整っている。CONNECT セルライブラリという注2)。21) これは AND や OR だけでなく、配線や電極など、LSI を構成するのに必要な要素部品（セル）がすべて同じ寸法（たとえば $40 \times 40 \mu\text{m}$ ）で作られている。このようなセルの集合体のことをセルライブラリと呼んでいる。現在すでに約 250 種類のセルを登録したライブラリが作られている。タイルを貼り付ける感覚でこれらのセルを並べて行けばどんな複雑な LSI も作ることができる。

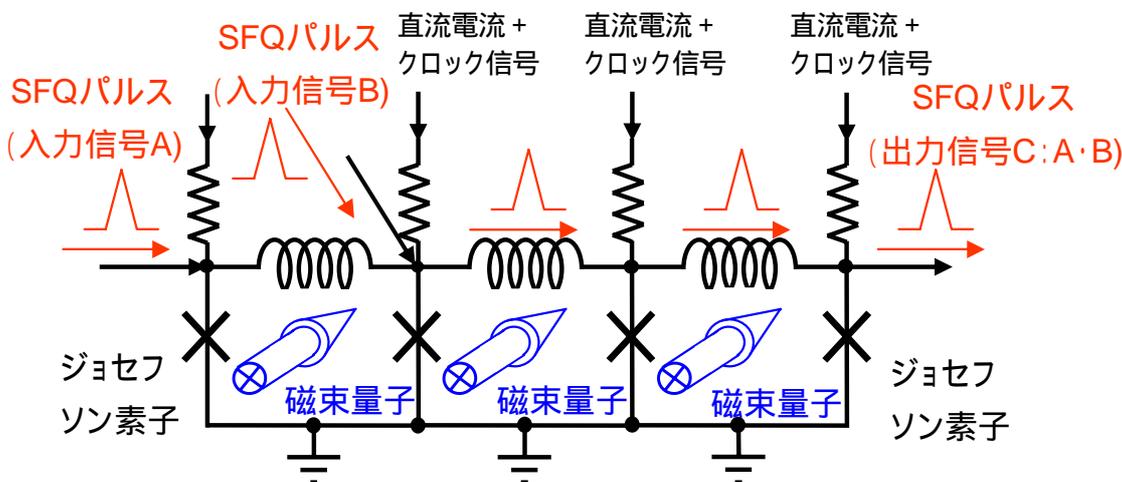


図7 SFQ 論理回路の基本構成

SFQ 論理回路の具体例

SFQ 論理回路を用いることにより、通常のトランジスタで作られているものと同じ機能を有する回路を構成することができる。したがって、半導体で作られた論理回路は原理的にすべて SFQ 回路で実現することができる。ただし、半導体論理 LSI ではトランジスタが 1 億個以上集積できるのに対して、SFQ 論理回路ではまだジョセフソン素子の数で 1 万個程度である。このため実現できる回路規模には制限がある。しかし、将来 SFQ 論理回路の集積規模が向上すれば、半導体 LSI と全く同じ機能を持った回路を数十倍高速に動作させることができるようになる。

ここで SFQ 回路を実現する材料について述べておこう。詳細な構造は次回に述べるが、4K 程度の低温で動作させるニオブを用いた集積回路と、30 ~ 50K 程度の比較的高い温度で動作させる YBCO 系材料を用いた集積回路とがある。前者はジョセフソン素子の数が 1 万個程度のもので作られているが、後者は 100 個程度である。いずれも半導体では実現できないような高速システムを目指すという点では同じだが、それぞれ目標とする回路が異なっている。前者はルータやサーバなどのような比較的大規模システムを目指しているのに対し、後者は掌に乗るような小型冷凍機の中に組み込んだシステムを目指している。後者の例として超高速波形を観測するための信号処理回路などへの応用が考えられている。

CONNECT セルを用いて構成した 4×4 スイッチのチップ写真を図 8 に示す。これは入力信号 4 個の行き先を 4 種類に振り分ける回路である。インターネットで接続先を決めるのに重要な役割を果たすルータの心臓部となる回路である。ジョセフソン素子 4,200 個で構成されており、クロック

40GHzでの動作が確認されている。²²⁾ 一秒間に処理できる能力(スループットという)は160Gbpsになる。これは現在市販されている最大容量のルータに用いられているスイッチと同じ性能である。半導体ではプリント板を数枚必要とする回路がわずかに5mm角のチップで実現できている。また、SFQ回路を用いたプロセッサも作られており、クロック18GHzでの動作が確認されている。²³⁾

これらの回路はいずれも超電導材料としてニオブが用いられており、そのほかにもいろいろなテスト回路が試作されている段階である。また、高温超電導材料であるYBCOを用いたジョセフソン素子を数十個集積した回路も各種作られている。

今回は、低温超電導材料であるニオブおよび高温超電導材料のYBCOを用いたそれぞれの集積回路プロセス技術について述べるとともに、超電導エレクトロニクスの将来について展望する。

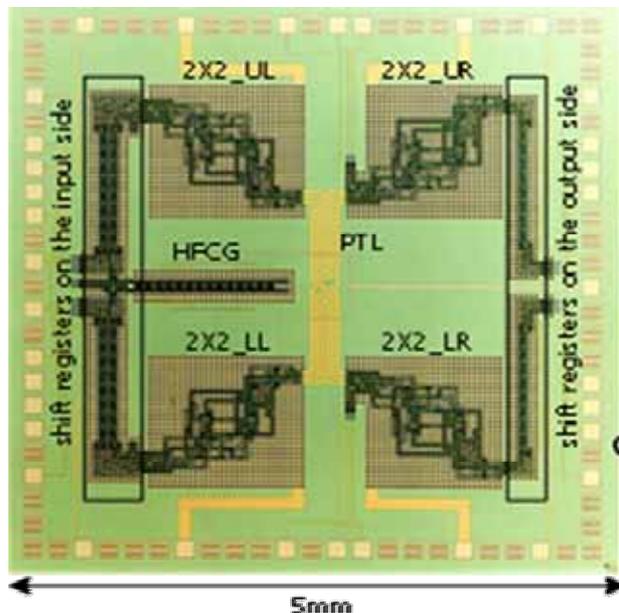


図8 4x4スイッチのチップ写真²²⁾

注1) ゲート長：トランジスタには、電流の大きさをコントロールするためのゲート電極がある。この長さを短くすればするほど高速で動作する。このため“ゲート長”を用いてトランジスタの性能を象徴的に表現することが多い。

注2) CONNECT セルライブラリ：CONNECTとはCooperation with Nagoya Univ., NEC, and CRL teamsの略字で初期の構成メンバーを示している。現在の構成メンバー組織は、超電導工学研究所、名古屋大学、横浜国立大学、情報通信研究機構である。このCONNECTグループが共同で5年以上の歳月をかけて作ったSFQ論理回路セルの集合体をCONNECTセルライブラリという。現在も作製プロセスの進捗に応じてライブラリを更新している。

参考文献

- 21) S. Yorozu et al.: Physica C, vol.378-381, p.1471 (2002)
- 22) S. Yorozu et al.: IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, p.20 (2004)
- 23) M. Tanaka et al.: Digest of ISSCC, 講演番号 16.7 (2004)

[超電導 Web21 トップページ](#)

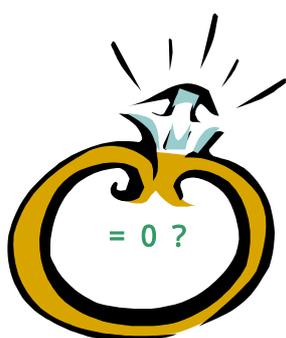
読者の広場

Q&A

Q：ダイヤモンドが超電導になるって、本当ですか？

A：答えは、“イエス”です。

2004年4月1日、ロシア科学アカデミーと米国ロスアラモス国立研究所の研究グループが、ダイヤモンド薄膜に10万気圧、2,500度の高温でホウ素という元素を約2%注入すると、マイナス270.5度（臨界温度約2.5K）、臨界磁界約3.5テスラ(T)の超電導になることを発表した。日本でも物質材料研究機構と早稲田大学の研究グループで追試実験が行われ、ロシアグループよりも優れたマイナス264.5度（臨界温度8.5K）で超電導になることを確認した。ただし、このダイヤモンドは人工ダイヤモンドと呼ばれるもので、成分や結晶構造は装飾用の高価な宝石とほとんど同じであるが、工業用の薄膜ダイヤモンドとして別扱いされている。



人工ダイヤモンド成分は宝石のダイヤモンドと同じ炭素である。宝石のダイヤモンドは炭素が高温高压の地球内部で圧縮されて8面体の構造に変化したものである。人工ダイヤモンドを作る方法には、高压合成により炭素に10万気圧程度高压をかける方法、化学気相成長法(CVD)によりプラズマ状にしたガス（たとえば、メタンと水素を混合させたもの）からシリコンなどの基板上に成長させる方法、衝撃法などが知られている。今回ロシアグループはの方法を適用し、物質材料研究機構と早稲田大学の研究グループはの方法を適用した。

さて、人工ダイヤモンドがどうして超電導になるかを説明しよう。ダイヤモンドは、本来、透明で、硬度が高く、電気を通さない絶縁材料であるが、特定の方向に衝撃を加えることや高温下で化学反応を起こさせると変質することが知られていた。また、人工ダイヤモンドには、作る過程で不純物元素の混入、結晶構造欠陥、炭素の同素体であるグラファイトの混入などの技術課題があり、大抵は薄い黄色の結晶であった。今回は、こうしたダイヤモンドの特質や技術的欠点を逆用して、価数が4価の炭素より1個少なく、かつ原子半径が小さい3価のホウ素をダイヤモンド構造に注入して超電導を発見したものである。ホウ素の注入量が僅かな場合はダイヤモンド半導体になるが、今回のように2%もの高濃度で注入すると、絶縁体から電気抵抗ゼロのダイヤモンド超電導体になった。

こうした研究の背景では、前者のダイヤモンド半導体が高周波帯域における高出力の電子電源や高周波トランジスタの可能性を秘めていることから、多くの研究が進められていた。すでに81GHzで動作するダイヤモンド半導体素子が実現している。しかし、ダイヤモンド半導体の製造過程で発生する結晶欠陥や不純物混入は、一般的に普及しているシリコン半導体に比べ依然として実用化の技術課題となっている。一方、ダイヤモンド超電導体の発見の快挙は、かかる人工ダイヤモンドの技術的欠点を積極的に生かした逆転の発想にあったといえる。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)