

超電導Web21

超電導 Web21
Superconductivity

2002年5月号

＜発行者＞ 財団法人 国際超電導産業技術研究センター

〒105-0004 港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F Tel(03)-3431-4002/Fax(03)-3431-4044

「超伝導エレクトロニクス」 ロードマップ発行される

この度、日本学術振興会第146委員会「超伝導エレクトロニクス」(委員長：岡部洋一)から平成13年度編集版「超伝導エレクトロニクスロードマップ」が発行された。このロードマップは、同委員会「デジタル応用分野分科会」、「高性能SQUIDシステム分科会」及び「マイクロ波～光分科会」の3分科会によりまとめられたものである。報告書は、超電導エレクトロニクスの第1部「超伝導デジタル技術」、第2部「SQUIDと計測応用技術」及び第3部「超伝導 マイクロ波～光 技術」から構成されており、平成12年度(当時委員長：早川尚夫)から準備を開始し、平成14年1月から3月に加筆・修正することによって発行されたものである。

詳細な内容に興味のある方はつぎの日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会のホームページから自由に閲覧できる。しかし、PDF ファイルは約 12M バイト(160 ページ)の大作であるため、ここに内容の一部を紹介する。
<http://www.okabe.rcast.utokyo.ac.jp/jsps/index-j.html>

第1部は、デジタル応用分科会13名の委員が執筆分担し、主査東海林彰氏によって纏められている。第1章では、ソフトウェア無線用受信機をSFQ回路の応用ターゲットとして、AD変換器、SFQスイッチ及びそれらの応用提案がなされている。第2章では、半導体集積回路と超電導集積回路のロードマップの比較、超電導DA・AD変換器の開発、超電導サンプラーの開発及びデバイスを実現するために必要なSFQの作成プロセス、特性評価、室温回路とのインターフェースなどの要素技術とSFQチップの実装とマルチチップモジュールによる集積技術の現状と展望が紹介されている。また、付録として「量子コンピューティング」に関する研究紹介もなされている。

第2部は、高性能SQUIDシステム分科会4名の委員が執筆分担し、主査栗城真也氏によって纏められてい

る。第1章では、SQUIDと計測システム技術としてNb系金属超電導体をベースとした低温(LTS)デバイスの完成状況並びに高温(HTS)SQUIDデバイス開発の現状とシステム開発について述べられている。これらの応用分野として医学、バイオ、材料評価、電流計測、宇宙物理などへの応用分野が全般的に記述がなされている。第2章では、全世界ですでに75台(内半数は日本)納入されている脳磁場(MEG)計は臨床試験段階から医療診断や脳研究の段階にあることが詳しく述べられている。第3章では、心臓磁場(MCG)計とシステム開発の現状について述べられている。第2章及び第3章ではアンケート結果を分析し、LTS-並びに HTS-SQUID 計測機器の市場適合性の相違を示している。

第3部は、マイクロ波～光デバイス分科会15名の委員が執筆分担し、主査大嶋重利氏によって纏められている。第1章でマイクロ波超電導エレクトロニクスの基本的な特性と必要技術が、第2章でマイクロ波超電導エレクトロニクスの現状、第3章でマイクロ波超電導エレクトロニクスの将来像がそれぞれ述べられている。特に、現在話題の移動体通信の基地局用フロントエンド及び機械振動や磁気ノイズの点で有望な小型パルス管クライオクーラの最新の情報が掲載されている。また、テラヘルツ電磁波検出や光デバイス、超電導単結晶両面微細加工による新しいデバイスなども紹介されている。(編集局 田中靖三)

超電導関連5 - 6月の催し 物案内

5/15

超電導技術動向報告会「省エネルギー・環境・産業応用 動き出した超電導技術」

場所：都市センターホテル3F コスモスホールⅠ(東京都千代田区)
(主催：財団法人 国際超電導産業技術研究センター)

5/17

第1回材料研究会「超高磁場NMRに用いる超電導材料」・見学会
場所：理研／横浜市大(横浜市)
(主催：低温工学協会)

5/18-20

第66回(春季)低温工学・超電導学会

場所：工学院大学(東京都新宿区)
(主催：低温工学協会)

6/3-7

EPAC2002/8th European Particle Accelerator Conference
Paris, France

<http://epac2002.lal.in2p3.fr/6/29-7/4>

Future Perspectives of Superconducting Josephson Devices EuroConference on the Physics and Applications of the Intrinsic Josephson Effect
Pommersfelden, Germany

<http://www.esf.org/euresco/02/pc02147>

目次

「超伝導エレクトロニクス」ロードマップ発行される	1
超電導関連5 - 6月の催し物案内	1
超電導と低温技術	2
経済産業省が平成14年度から実施する研究開発事業	2
冷凍機冷却超電導マグネット1	2
冷凍機冷却超電導マグネット2	3
冷凍機冷却超電導マグネット3	3
超電導関連製品ガイド	3
新聞ヘッドライン	4
応用物理学会報告	4
第10回JST国際シンポジウム－量子コンピューティング会議－から	4
特許情報	5
CTIA展示会報告	5
【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3)	5
標準化活動 標準化電子システム(e-JISC)2002年4月20日スタート	7
読者の広場(Q&A)	7
超電導速報－世界の動き	

2002年5月号別冊

超電導と低温技術

超電導を決定付ける条件は、温度、磁界及び電流密度の3つである。特に、超電導体にはそれぞれ臨界値があって、その値の高さが超電導の有用性を決定付けている。なかでも、超電導体の臨界温度が室温以上にならない限り、超電導体を室温以下のマイナス120度からマイナス270度の臨界温度以下に冷却しなければ超電導状態は実現しないという冷却のためのペナルティが付き纏う。

このような低温に冷却することや低温を維持する低温技術が実は、「超電導」の生みの親であることをご存知だろうか。その理由は、1908年7月10日にカメリン・オンネスがオランダのライデンにおいてはじめてヘリウムガスの液化に成功し、この液体ヘリウムを用いて1911年に水銀の電気抵抗が4 K近傍で急激に減少し、ついに電気抵抗測定ができなくなる超電導を発見したからである。すなわち、科学技術史の立場からは、低温技術がなければ「超電導」は生まれなかったと言える。

しかし、超電導の実用化の立場からすると、超電導実用化のための技術課題は、(1) 超電導体をその臨界温度以下の温度に保っておく低温技術と(2) 強磁界下でも超電導現象が消失しないようにする耐磁界技術であるといわれる。すなわち、(2)の技術は工夫次第であるので、(1)の低温技術さえ進展すれば超電導は普及するという。すなわち、いまや冷却技術が「超電導」の育ての親であるとか乳母であるという。

これらがいわゆる「超電導卵雛論」、「低温乳母論」などとも呼ばれるものであった。これらのユーモア溢れる解釈が、20世紀における超電導技術の理解の深化、超電導材料技術開発、低温技術の進展並びに超電導応用技術開発に大いに貢献したと言えよう。MRIやNMR技術の進展と普及、高温超電導体の発見、冷凍機伝導冷却超電導マグネット技術、パルス管冷凍機技術、超電導フィルタ技術など20世紀終盤における目覚ましい超電導技術の進展がなよりの証拠となっている。

したがって、21世紀における超電導を車にたとえれば、超電導技術(特に、超電導材料技術)と低温技術がその両輪となって同期して回転しない限り超電導の発展はないといえる。すなわち、21世紀においても超電導材料の臨界温度が室温近傍の温度にまで高まらない限り、超電導と低温技術とは不即不離の関係から逃れることは出来ない。(編集局 田中靖三)

経済産業省が平成14年度から実施する研究開発事業(構造改革特別要求分)の委託先候補に係わる提案募集

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、経済産業省の依頼により、経済産業省が平成14年度から開始する研究開発事業の委託先候補に係わるつぎの調査を実施した。

調査対象事業分野: バイオ、健康福祉、IT、材料、環境技術、プロセス技術など24テーマ

平成14年度予算規模: 総額139億円

調査期間(提案募集期間): 平成14年3月8日から平成14年4月15日(終了)

事前書面調査: 5月上旬(予定)

契約適格性調査委員会: 5月下旬(予定)

経済産業省への報告・推薦: 6月上旬(予定)

契約締結(事業開始): 7月上旬(予定)

なお、超電導分野に関連する提案募集テーマとして、低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発事業(平成14年度予算額615百万円、研究開発期間2002年度より5年間)が含まれている。

本件にご関心のある方は、NEDOのホームページ(<http://www.nedo.go.jp/14fyshinkichosa/>)をご参照ください。

(編集局 田中靖三)

冷凍機冷却超電導マグネット I

住友重機械工業株式会社 技術開発センター
技師 長谷部次教

住友重機械では1992年にBi系酸化物電流リードを用いた冷凍機冷却超電導マグネットを実用化して以来、60台以上の冷凍機冷却超電導マグネットを国内外に販売してきた。Bi系酸化物電流リードはマグネットに適用され10年に及ぶ使用実績を達成し実用材料としてその信頼性が実証されている。

冷凍機冷却超電導マグネットは垂直、水平さらには斜めと設置方向を自在に変えることが可能である特徴を持ち、磁場利用の自由度が高い。代表例として最大中心磁場10T、室温磁場空間直径100mmの装置は回転式架台に標準的に搭載され、多方面の磁気科学研究に供されている。(写真参照)

また、強磁場化の研究開発により、最大発生磁場15Tまでのマグネットが実現している。15T冷凍機冷却超電導マグネットは東北大学・金研において共同利用設備として稼動中である。さらに、冷凍機冷却超電導マグネットと水冷銅マグネットとのハイブリッドマグネットの実現を目指した大口径強磁場化の開発も東北大学と共同で実施している。

住友重機械ではこれらのマグネット開発と磁気科学研究への寄与を通して、冷凍機冷却超電導マグネットの新たな産業応用の開発を目指している。



写真 10 T ϕ 100mm 冷凍機冷却超電導マグネット
(写真提供 住友重機械工業(株))

冷凍機冷却超電導マグネットⅡ

ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 東京営業部
主任部員 渋谷 和幸

つい数年前まで「超電導マグネットではしか得られない強磁場」「永久電流による高い時間安定性」が超電導マグネットを利用する理由の大半であった。冷凍機冷却超電導マグネットが選択される理由として、A) 電磁石で発生可能な磁場だが、大型化の際、運転経費削減効果大 B) 維持、管理の省力化と連続運転可能などが追加されつつある。弊社がマグネットを出荷した例で述べると、磁場中熱処理装置、磁気選鉱装置などは多くがA)に該当し、1.2T-250mm ギャップのスプリットマグネットの場合、冷凍機冷却マグネットの採用で電力、冷却水量ともに約1/10、装置重量で約1/3を実現できる。また、昨年度末、核融合科学研究所殿に納入した2台のジャイロトロン用マグネット(写真)はB)の好例であろう。今後の冷凍機冷却マグネットの普及を考える時、完全無冷媒(伝導冷却)型、再凝縮(浸漬冷却)型、いずれのマグネットが目的に叶うかなど、ユーザーの視点に立ち、線材、マグネット、装置をトータルに設計することがますます重要になると考えている。



写真 ジャイロトロン用冷凍機冷却超電導マグネット
中心最大磁場 6.7T、ボア内径 140mm
(写真提供 ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー
(株)、旧社名：ジャパンマグネットテクノロジー(株))

冷凍機冷却超電導マグネットⅢ

株式会社 東芝 京浜事業所 機器装置部
主幹 佐々木 高士

東芝は、1994年に冷凍機伝導冷却式超電導磁石(以下、直冷磁石と称す)を納入して以来、大学や研究機関、さらには産業応用向けに幅広く製作してきた。これらの直冷磁石は液体ヘリウムなどの冷媒を一切使用せず、極低温冷凍機のみを用いて冷却する超電導磁石であり、当社が開発したEr、Niなどの微細球状磁性蓄冷材を使用した小型で操作性の良い4K-GM冷凍機の出現によって可能となった。液体ヘリウムを使用しないことから取り扱いが素人でも手軽に操作できるようになり、また、磁石を回転させることが可能になり、研究の用途拡大にもつながった。写真に示す直冷磁石は、口径100mm内に10Tを発生させることができ、磁場方向は、回転機構のハンドル操作により縦・横に簡単に回転させることができる。これらの磁石の用途は、材料創製、磁気分離、対流抑制、生物化学などの研究用に用いられている。また当社の直冷磁石は、産業応用としてMRI、単結晶引き上げ用超電導磁石や鉄鋼応用などにも適用されている。さらに最近では、加速器用にもその応用範囲を広げている。今後は、さらなる高磁場、より大きな磁石への適用が進むものと思われる。



写真 直冷磁石(写真提供 東芝)

超電導関連製品ガイド —社名五十音順表示—

スターリング小型冷凍機

○アイシン精機株式会社 エネルギーシステム営業部 E&Eグループ
パルス管冷凍機、スターリング冷凍機

Tel:0566-24-8805
Fax:0566-24-8859
担当：近藤
○住友重機械工業株式会社 精密事業部クライオユニット部営業課
パルス管冷凍機
Tel:0424-68-4094
Fax:0424-68-4254
e-mail:cryo@shi.co.jp
担当：坂島、石川、菅野、渡邊
○ダイキン工業株式会社 半導体機器部
パルス管冷凍機
Tel:0722-41-6111
Fax:0722-43-2652
e-mail:
hiroyuki.morishita@daikin.co.jp
担当：森下弘之
○富士電機株式会社
スターリング冷凍機、パルス管冷凍機
Tel:03-5435-7086
Fax:03-5435-7440
担当：竹内孝行

ギフォード・マクマホン(GM)小型冷凍機

○アイシン精機株式会社 エネルギーシステム営業部 E&Eグループ
パルス管冷凍機、GM冷凍機
Tel:0566-24-8805
Fax:0566-24-8859
担当：近藤
○住友重機械工業株式会社 精密事業部クライオユニット部営業課
4KGM 冷凍機
Tel:0424-68-4094
Fax:0424-68-4254
e-mail:cryo@shi.co.jp
担当：坂島、石川、菅野、渡邊
○ダイキン工業株式会社 半導体機器部
GM-J/T 冷凍機
Tel:0722-41-6111
Fax:0722-43-2652
e-mail:
hiroyuki.morishita@daikin.co.jp
担当：森下弘之
○大陽東洋酸素株式会社
特殊ガス・超低温営業本部 超低温営業部
Tel:03-3231-9845
Fax:03-3274-6257
○株式会社 東芝 電力・産業システム技術開発センター 計測・検査技術開発部
4KGM 冷凍機

Tel:045-510-6695
Fax:045-500-1427
e-mail:
yasumi.ootani@toshiba.co.jp
担当:大谷安見
○三菱電機株式会社 系統変電・交通システム事業所 磁気応用プロジェクトグループ
4KGM冷凍機(3段型、2段型)
Tel:0791-46-2140
Fax:0791-46-2368
e-mail:
matumoto@ako.melco.co.jp
担当:松本隆博

モディファイドソルベイ小型冷凍機

○岩谷瓦斯株式会社 低温機器部
Tel:06-6303-1165
Fax:06-6304-2170
担当:越智靖司
○ダイキン工業株式会社 半導体機器部
Tel:0722-41-6111
Fax:0722-43-2652
e-mail:
hiroyuki.morishita@daikin.co.jp
担当:森下弘之

液体ヘリウム-希釈冷凍機

○大陽東洋酸素株式会社 特殊ガス・超低温営業本部 超低温営業部
Tel:03-3231-9845
Fax:03-3274-6257

次号予定:SQUID 関連製品
(編集局 田中靖三)

新聞ヘッドライン (3/20-4/16)

○原子力開発の中核へ 2法人統合へ骨子 現行長計は維持 3/20 電気新聞
○新超電導磁石 日立など成功 3/22 日本経済新聞
○二ホウ化マグネシウム超電導実用化近づく 世界初の10メートル超線材 日立と物材機構 磁場の発生に成功 3/25 日本工業新聞、電気新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞
○金属系新超電導材料実用化へ 磁石作り、先陣争い 3/29 日本経済新聞、科学新聞

応用物理学会報告

物質・材料研究機構 超伝導材料研究センター 酸化物線材グループ
ディレクター 熊倉浩明

表記の会議が去る2002年3月27日-30日に東海大学で開催された。磁束ピンニング、 J_c のセッションでは、17件の発表があり、その内容は多彩であったが、このうち7件がYBCO-coated線材に関するものであった。ここでは、筆者が興味を持った発表について、ごく簡単に報告したい。

山形大の森合らは、Bi-2212単結晶の磁束分布の磁界角度依存性をビッター法により観察した。磁界がc軸に平行の場合は、磁束量子は細長く流れているように観察され、また角度75度では丸く観察された。丸く見えるのは、ピンニング力が増加して強くピン止めされるためとしている。

産総研の馬渡らは、バルクピンのない超電導ストリップにスリットを設けた場合の磁束の侵入・排出と磁化曲線について、理論解析を行った。スリットを設けたことで磁束の排出が妨げられ、これによって大きな残留磁化を示すなど、興味ある振る舞いが見られるとしている。

超電導工研の山田らは、液相エビタキシャル法によるYBCO膜のピン止め機構について報告した。金属基板上に形成した膜の J_c の角度依存性は、小傾角粒界によるピン止め特性で記述でき、実際に金属基板上の膜では、小傾角粒界が観察されると述べた。このYBCO膜には双晶が多く含まれていることから、双晶もピン止め点になっている可能性があるという。

九州大の井上らは、YBCO-IBAD線材について、70-83Kの高温領域での電流輸送特性の実測から、温度スケール則のスケールリングパラメータを決定し、これによって20Kまでの低温領域における特性を予測し、実測値との比較を行った。その結果、両者には良い一致が見られ、20K程度の温度までは温度スケール則が成り立つとしている。また九州大の今村らは、Bi-2223線材について低磁界におけるE-J特性の実測値から、スケール則に基づくパーコレーションモデルを用いることによって高磁界でのE-J特性を予測した。予測値が実測値に良く一致するとし、これよりスケール則による特性予測が、線材の評価に有効であると述べた。

第10回JST国際シンポジウム-量子コンピューティング会議-から (超電導ジョセフソン量子ビット研究開発速報)

NEC基礎研究所
主席研究員 蔡 兆申

去る2002年3月12日~14日に東京御台場の日本科学未来館で第10回JST国際シンポジウムとして量子コンピューティング会議(ICQC02)が開催され、ジョセフソン系の超電導量子ビットの発表が3件あり、新たに実現した量子ビットの最新のデータがあいつで公表された。固体電子素子の量子ビットはジョセフソン系超電導電荷量子ビットで初めて実現したが、最近量子ドット(NTT)でもラビ振動が30psの間観測された。

超電導系では一般的に桁違いに長いデコヒーレンス時間が観測されている。超電導電荷量子ビットの場合、初期のNECの実験では約6nsのデコヒーレンス時間が観測されていたが、今回の会議で議論されたSaclayの同種回路の実験では、デコヒーレンス時間は500nsまで延長されていた。この実験では量子ビットの観測は、電荷状態に対応して流れる超電導ループ電流を、ラッチ型トンネル接合でスイッチさせて行っており、読み出しのタイミングも外部より制御できるように工夫されていた。一方NECの報告では観測は常時オン状態であったので、観測によってデコヒーレンス時間の上限が決まっていた。Saclay実験では量子振動はマイクロ波誘起のラビ振動であり、動作点は背景電荷や背景磁場の揺らぎの影響を最も受けにくいエネルギーバンドの平らな共振点であった。2パルスの位相制御の操作にも成功している。

NISTの単一ジョセフソン接合による量子ビットの報告もあった。この実験では、比較的サイズが大きく(~10mm)、低電流密度のトンネル接合における位相状態の量子化したエネルギー準位を利用し量子ビットを構成している。基底状態と第一励起状態をマイクロ波で結合させラビ振動を誘起する。読み出し時は第2のマイクロ波を照射し、第1と第2励起状態間に状態の反転分布を起こす。電流バイアスによりエネルギーポテンシャルが非対称になっているので、第2励起状態はエネルギーバリアをトンネルする確率が桁違いに高くなっている。位相のトンネルが起こると接合が電圧状態にラッチ

し、超電導ギャップに相当する大きな電圧を生む。これが読み出しのメカニズムである。この実験ではインダクタンス回路を使った工夫により、見かけ上の外部インピーダンスを数桁高め、励起状態より基底状態への遷移時間(T1)を低減させている。この実験では約10~20nsのデコヒーレンス時間をラビ振動より観測した。また単事象の読み出しも実現している。伝聞ではあるが、カンサス大でも同様のラビ振動をキャビティーモードの抑制により実現しているらしい。

総合的に見ると他の系に比べ、ジョセフソン系では固体素子量子ビットが比較的容易に構成可能であることが実証されたように思われる。これは主には素子パラメーターおよび散逸経路もが、巨視的回路として容易に制御できる事に起因すると思われる。超電導電荷量子ビットの場合、コヒーレントなゲート操作回数(Qファクター)は1万から10万回程度が可能であると実験値から推測され、将来的には高度な量子エラー訂正が可能なが示唆され、超電導量子コンピュータの実現可能性が一段と高まった。

特許情報

◆平成13年度第4四半期の公開特許

平成14年1月~3月に公開されたISTEC出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

1) 特開2002-9353「バイクリスタル酸化物超電導膜体及び該膜体を用いた高温超電導ジョセフソン接合素子並びに超電導量子干渉素子」: バイクリスタル基板上にLPE超電導膜を形成し、優れたバイクリスタル接合特性を実現。

2) 特開2002-37626「ビスマス系高温超電導体の製造方法」: KClをフラックスとして添加することで、Bi/Pb置換をせずにBi2223を容易に焼成可能とした。

3) 特開2002-63815「酸化物超電導体の製造方法」: 金属基材上に酸化物層を介して数ミクロンの超電導LPE膜を積層可能なバッファ層を実現。

4) 特開2002-76457「ペロブスカイト型酸化物積層膜及びその製造方法」: ペロブスカイト型酸化物薄膜の積層で、酸化膜バリアを挿入し金属元素の拡散を防止。

5) 特開2002-80297「酸化物超電導体の製造方法、酸化物超電導体用原

料、および酸化物超電導体用原料の製造方法」: MOD法による高Jc超電導膜の製法とその原料。

6) 特開2002-94370「超伝導半導体ハイブリッド集積回路」: 超電導回路と電源回路に半導体回路を挿入し、消費電力の極めて少ない集積回路を実現。

(SRL/ISTEC開発研究部長 中里克雄)

CTIA 展示会報告

2002年3月18日から20日の間で、CTIA WIRELESS 2002が米国フロリダ州オーランドにて開催された。これは、世界最大級の無線通信、インターネット関連の展示会である。超電導関連では、STI社、Conductus社、イリノイスーパーコンダクター社の米国フィルタ・メーカー3社が出展を行っていた。各社とも主として米国マーケットで数百台から1000台以上の超電導フィルタの販売実績を持つ。現在は、2G及び2.5Gマーケットが中心であるが、今後の3Gマーケットを各社とも虎視眈々と狙っている。米国内での3Gの立ち上がりの時期が不透明なこともあり、3G先進国である日本への期待は大きい。現時点では、超電導フィルタの信頼性、価格面でその採用を躊躇している通信事業者も多いが、価格面では各社コストダウン努力を相当行っており、また、信頼性という面でも、特に冷凍機の面で工夫をこらし、その改善に努めている。また、各社の超電導フィルタは、クレーンなどの重機を使わず無線鉄塔上部へ運搬が可能ながよう冷凍機を含め全てが非常にコンパクトにまとめられており、今や特別な通信機器ではないような印象を受けた。(ISTEC調査企画部 辻 泰三)

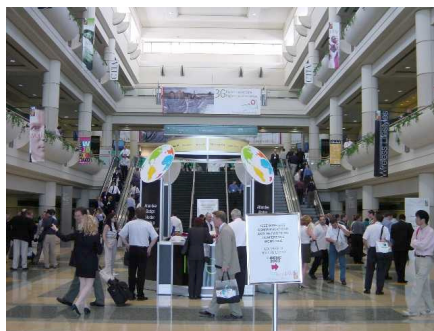


写真 CTIA WIRELESS 2002 会場

【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3)

NEC基礎研究所
主席研究員 蔡 兆申

ナノテクノロジーと固体電子素子 による量子ビット

量子情報処理デバイスを実現する物理系の選択に当たり、当然ながら量子コヒーレンスが保ちやすい原子や分子のような微視的な系が、従来の量子ビットの研究の対象になっていた。¹⁾しかし原子や分子内の量子状態を使うこれらの系では、情報処理技術としての拡張性、設計性、取り扱いやすさ、システム化などで、未解決の技術障壁が幾重にも重なっている。一方、集積化可能な固体電子素子による量子ビットの作製が可能になれば、これら応用技術上の課題は大半が解消でき、情報処理技術として将来的に極めて有望である。

図4の右の二つの例は分子内の核スピンを利用した量子ビットと原子(イオン)の電子軌道を利用した量子ビットであり、いずれも微視的でスケールアップの成り立たない系である。一方固体電子素子は素子集積規模の指数関数的スケールアップが一般的に可能であることが多くの例で示されている。その代表的な例がシリコン集積回路であり、18ヶ月で集積度が2倍になるムーアの法則が成り立っている。量子コンピューティングにおいては、計算能力が指数関数的に向上することが可能なために、一般的にはこのような巨大な集積度は必要とされない。例えば数百ビット以上の量子素因数分解には数千ゲート近いシステムで対応できると推測される。コヒーレンスが散逸効果などで無くなることをデコヒーレンスと呼ぶが、その影響を低減する量子エラー訂正を行う場合、必要なゲート数はさらに一桁近く多くなる。しがって高々数万個のゲートの小規模な集積システムで、古典的パタフロップスコンピュータが宇宙の年齢(200億年)をかけても解けない大規模な計算を、量子コンピューティングは、数秒で実行することが出来る。しかし通常の微視的系を使った量子ビットシステムではこのような小規模な集積度さえ達成することは到底無理であると思われる。

その意味で、集積度のスケールアップが期待できる固体電子素子で量子ビットを構成しようという試みが進められている。表1に提案されている主な固体電子量子ビット研究を一覧表にした。固体素子で量子ビット

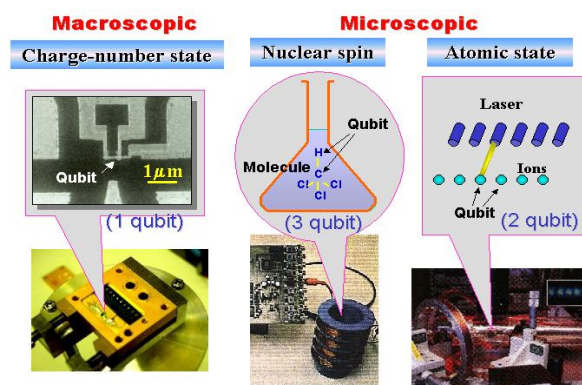


図4 量子ビットの種類と構成例

テクノロジー		量子数 (量子ビット)	加工精度
超電導状態	電子対箱	電荷数状態	100nm
	SQUID	位相状態	100nm
電子状態	半導体量子ドット	量子準位・電子スピン	100nm
	ヘリウム液面電子	量子準位	500nm
	Pト ⁺ -7° SiGe	電子スピン	100nm + P 原子制御
核	Pト ⁺ -7° Si	核スピン	5nm + P 原子制御

表1 提案されている固体電子量子ビット

として利用出来ると提案されている物理状態は、主に超電導状態、電子の状態、および原子核のスピン状態である。一般的には固体電子素子は単純な微視的系に比べ大変複雑だけに、強く外部と結合しているので、量子コヒーレンスは保ちにくい。表1のうち超電導状態の電荷量子ビットのみがこれまでに実証されているのみである。²⁾ 以下の章でこのデバイスについて詳細に説明する。超電導量子ビットは異なる電荷数状態を持つ二つの超電導状態(電子対箱)、または異なる位相状態を持つ二つの超電導状態(超電導量子干渉計-SQUID)を使って、量子ビットを構成する案がある。電子の量子状態を利用した量子ビットもいくつか提案されている。スピン1/2のフェルミオンである電子はそれ自体が二つのスピン状態(上向きと下向き)を持ち自然に量子ビットを構成するので、電子スピンを利用した量子ゲートも提案されている。スピン自由度以外にも電子の二つのエネルギー準位を利用して量子ビットを構成する案もある。電子の空間的捕捉は、半導体量子ドットへの閉じ込め、液体ヘリウム上の閉じ込め、そして局在した核スピンによる結合と言ったような案がある。

表1には量子計算においての重要なパラメーターであるデコヒーレンス時間、または最大ゲート操作回数(デコヒーレンス時間÷ゲート操作時間)はあえて表記していない。その理由は、デコヒーレンス時間は多くの要素に左右されやすい性質のもので、実際に実験を行って見ないと、単純な理論的推測だけでは確立しにくい性質のパラメーターであるからである(実験は今のところ超電導電荷量子ビットしか成功していない)。

スピンのない²⁸Siに囲まれた孤立した³¹P原子核のスピンを量子ビットに利用する研究が主にオーストラリアで大掛かりに進められている。核スピンはデコヒーレンス時間が比

較的に長いという利点がある。しかしこのデバイスを作成するための微細加工精度は、表1からわかるように、他のどの提案よりもその達成が難しいだろう。

さて表1の固体電子量子ビットデバイスは全てナノテクノロジーの範疇にある(ヘリウム上の電子以外が特にそうである)。ここでナノテクノロジーと情報量のスケールリングの問題に少々言及したいと思う。ナノテクノロジーの切り口はさまざまあるが、情報量のスケールリングは一つの大変な尺度である。

図5に素子寸法と情報集積量という二つの重要なパラメーターを使って、テクノロジー全般を分類整理した。図中赤で示した技術は、すでに実現している系で、青で示したのはそうではない系である。そのうちナノテクノロジーと認められるのは、この見方によると、薄緑のエリアである。単なる分子レベルの技術というのは、扱うビットサイズがナノサイズではあっても、情報量のスケールリングが出来ないという意味でナノテクノロジーとは呼べないであら

う。スケールリングが可能な固体素子量子ビットは、情報量において他の系を遥かに凌ぐ可能性を秘めている究極のナノテクノロジーデバイスと言ってよいのではなかろうか。次回に超電導電荷量子ビットの詳細を解説する。

1) 例えば I. L. Chuang, N. A. Gershenfeld, and M. Kubinec, Phys. Rev. Lett., 80, 3408, 1998; C. Monroe, D. M. Meekhof, B. E. King, W. M. Itano, and D. J. Wineland, Phys. Rev. Lett., 75, 4714, 1995 等

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

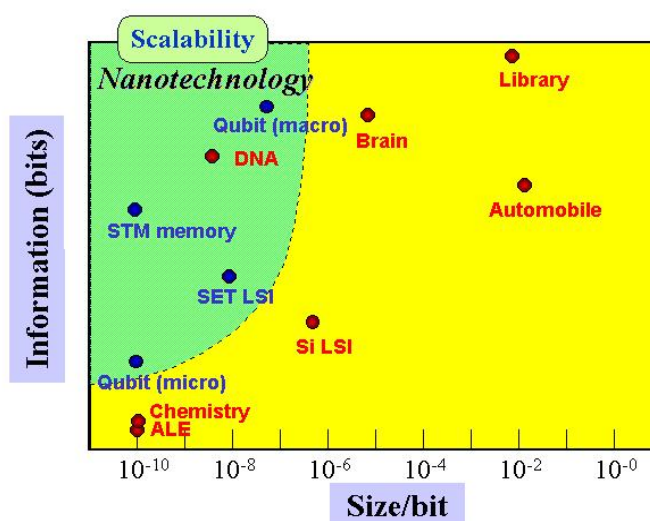


図5 情報処理能力のスケールリング性とナノテクノロジー

標準化活動 今月のトピックス 標準化電子システム (e - JISC) 、2002年4月20日 スタート!

経済産業省、日本工業標準調査会 (JISC、Japanese Industrial Standards Committee) から JIS 作成関連、JIS データベース閲覧などの便宜を図るため、電子ネットワークシステムを導入し、4月20日に公開されました。また、すでに公開されている IEC の電子ネットワークも合わせてご利用ください。

JISC ホームページ <http://www.jisc.go.jp/>
このネットワークにはつぎの機能があります。

(1) 閲覧: JIS 閲覧、JIS 関連情報 (工業標準化、JISC、標準化活動、JIS マーク、適合性評価、国際標準化、標準化戦略など)

(2) パブリックコメント: JIS への意見提出

(3) JIS 原案構築: 作業計画、原案申請方法、原案作成テンプレート、原案作成団体サイト

たとえば、IEC/TC90 超電導委員会事務局 (ISTEC 内): TEL: 03-3459-9872、FAX: 03-3459-9873

(4) ISO/IEC 連携: ISO/IEC 電子投票プロセス支援、IEC (International Electrotechnical Commission) (国際電気標準会議) サイト: Web Store, Search, iec e-tech, IEV Online, Just Published, e-tech forum

IEC ホームページ <http://www.iec.ch/>
(ISTEC 標準部長 田中靖三、竹澤瑞恵)

読者の広場 (Q&A)

Q: ニオブ3・アルミニウム (Nb_3Al) 化合物超電導体は実用化されていますか?

A: Nb_3Al 化合物超電導体は現在実用段階にあるとは言えませんが、実用材料に向けた開発は相当進んだ段階にあると言えます。現在 Nb_3Al 化合物超電導体は、核融合炉超電導マ

グネット用導体、GHz 級核磁気共鳴 (NMR) 分析装置超電導マグネット用導体など高磁界用超電導線材として開発が進められています。

因みに、現在の実用超電導線材は、ニオブ・チタン ($Nb-Ti$) 合金超電導線、ニオブ3・すず (Nb_3Sn) 化合物超電導線及び銀シースビスマス (Bi) 系酸化物超電導線の3種類です。

話を Nb_3Al 化合物超電導体に戻しましょう。

もともと Nb_3Al 化合物超電導体は、臨界温度が 18.9K で 4.2K における上部臨界磁界が 32T であり、 Nb_3Sn 化合物超電導体の 18.0K 及び 22T にそれぞれ勝つことに加えて耐ひずみ特性にも優れていることから、特に高磁界用超電導材料としてその実用化が望まれているものです。しかし、 Nb_3Al 化合物超電導体には、 Nb_3Sn 化合物超電導線や Bi 系酸化物超電導線で行われているような加工方法や拡散などの熱処理方法によっては十分な特性を持つ線材が作れないという、実用化のための技術課題があります。

先ごろこの技術課題を解く2つの進展がありました。一つは、ジェリーロール法といって、ニオブ箔とアルミ箔とをすし巻き状にして相互拡散距離をナノメートル級に短縮することで比較的高い超電導特性を持つ長尺線が製造できました。これは、核融合炉超電導マグネット用導体として日本原子力研究所と企業とで共同開発されているもので、12.5T における電流容量 60kA で長さ 100m の導体製造と一層コイルの製作に成功しています。

今一つは、急熱急冷変態 (RHQT) 法といって、上述のジェリーロール法によるニオブとアルミの複合線を約 2000 度から急冷してニオブにアルミを 25at% 固溶させた体心立方相の過飽和固溶体とし、これを約 800 度で変態させる線材作製方法です。この方法は、GHz 級核磁気共鳴 (NMR) 分析装置超電導マグネット用導体を目指して物質・材料研究機構や企業が研究開発中のものです。この方法による線材は 21T で電流 100A もの大電流を流すことが出来ますが、現状では線径 1.35mm で長さ 300m の線ができた段階です。(編集局 田中靖三)

ISS2002 のご案内

第15回国際超電導 シンポジウム (ISS2002)

日時: 2002年11月11日 (月)

～11月13日 (水)

場所: パシフィコ横浜会議センター (横浜市)

スケジュール:

5月31日 アブストラクト受付・

事前参加登録、出展申込み開始

7月15日 発表申込締切

9月30日 事前登録締切

8月30日 プログラム HP 掲載予定

問合せ先:

<http://www.istec.or.jp/ISS/>

[ISS.html](http://www.istec.or.jp/ISS.html)

iss@istec.or.jp

超電導 Web21 2002年5月号

2002年5月発行

<発行者>

財団法人

国際超電導産業技術研究センター内

超電導 Web21 編集局

〒105-0004

港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F

Tel (03)-3431-4002

Fax (03)-3431-4044

ISTEC のホームページ

<http://www.istec.or.jp>

超電導関連ホームページへの リンク

○超電導情報研究会 (スーパーコム)

<http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/>



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。



e-mail to:

web21@istec.or.jp