超伝導エレクトロニクスの課題と展望

Current Problems and Future Prospects for Superconducting Electronics

産総研　日高　睦夫

AIST, Mutsuo Hidaka

E-mail: m-hidaka@aist.go.jp

超伝導体のエレクトロニクス応用は、マイクロ波フィルタ、SQUID、検出器、電気標準、デジタル、量子コンピュータに大別される。それぞれの応用ごとに使用する超伝導体の性質は異なり、個別の課題解決に向けた努力が続けられている。一方、超伝導の性能を極限まで引き出すこと、超伝導分野外のユーザでも使いやすいシステムを実現すること、キラーアプリを見つけることが共通した課題である。本稿では、SQUID 以外の応用についてその課題と展望を概説する。

超伝導体の交流抵抗がマイクロ波領域で金属より 3 桁以上小さいことを利用して、急峻かつ低損失のバンドパスフィルタが高温超伝導体を用いて実現されている。マイクロ波フィルタは海外では多数の携帯電話基地局に使用されており、我が国では気象レーダへの実装や NMR 検出プローブなどの応用に向けた研究開発が進められている。超伝導検出器には様々なタイプがあり、傑出した高性能と裏腹な関係にある扱いにくさが特徴となっている。特に検出面積が小さいことは、観測時間の増加を招き大きな問題となっている。この問題を解決するためおよびイメージングを行うために多ピクセル化が推進されており、配線を介した熱流入を低減する入出力多重化が大きな研究課題である。マイクロ波領域での周波数多重化や単一磁束量子（SFQ）回路を用いたデジタル多重化が研究されている。ジョセフソン効果を用いた直流電圧標準は既に国家標準となっており、現在は交流電圧標準の超伝導化が進められている。また、ジョセフソン効果と双対な関係にあるコヒーレント量子位相スリップを用いた電流標準の研究も進められている。

超伝導リング中の SFQ の有無をデジタル信号に対応させる SFQ 回路が超伝導デジタル回路の主流である。超伝導リングへの SFQ の出し入れにはジョセフソン接合の電圧状態へのスイッチを用いるが、このスイッチは超高速かつ低電圧で行うことができるため、高速性と低消費電力性が両立された回路が実現できる。我が国では世界に先駆けてメモリを内蔵した SFQ プロセッサの完全動作に成功しており、米国では SFQ コンピュータに向けた巨大プロジェクトが進行中である。現在の研究トレンドはさらなる低消費電力化と磁性材料の取り込みであり、コンピュータだけでなく超伝導検出器や量子コンピュータの信号処理回路としても注目を集めている。量子コンピュータは超伝導の巨視的量子効果を積極的に利用したものであり、通常の物質では原子サイズでしか実現できない量子現象を固体デバイス上で実現することができる。デコヒーレンス時間の改善や多ビット動作など量子コンピュータの課題は山積みされておりその実現には時間がかかるが、実現できれば革命的な影響をもたらし得ると考えられる。一方、イジングモデルに量子ビットを導入した超伝導量子アニーリング機械は既にカナダの会社から販売されている。現時点ではまだ小規模であるが、今後大規模化に向けた開発が進んでいくものと思われる。

© 2017年 応用物理学会