

「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」

平成15年度採択研究代表者

蔡 兆申

(NEC基礎・環境研究所 主席研究員)

## 「超伝導量子ビットシステムの研究開発」

### 1. 研究実施の概要

現状のSFQ集積回路技術で及び回路パラメータでインターフェイス回路を構築した場合、希釈冷凍機環境で動作させることは数々の困難がある。そのひとつは、SFQ回路が発生する熱に希釈冷凍機の冷却能力が対応できない点である。本年度はSFQ回路の低電力化について、回路シミュレーションにより検討を行った。現在SFQ回路の電流供給に使われている抵抗負荷に代わりに、インダクタンスと微小抵抗からなるバイアス供給回路を用いることにより、回路のスピードと動作余裕度を損なうことなく、現状のSFQ回路の消費電力を二十分の一程度に引き下げられることを明らかにした。それに加えてSFQ回路の臨界電流を十分の一にすることにより、その分発熱を更に低減できる。臨海電流の低減には、回路のスピードを劣化させる超伝導臨界電流密度の低減を行わず、接合の大きさを微細化技術により達成できるという見通しが得られた。

将来SFQ回路と量子ビット回路をそれぞれ異なったチップに分離するシステム構成が十分考えられる。この場合、SFQチップと量子ビットチップ間を広帯域でつなぐためのフィリップチップボンディング形状の3次元シミュレーションを行った。数十GHzの信号の伝播が可能ながわかった。パルス発生器として、一定周波数のSFQパルス列で駆動されたジョセフソン定電圧源を多数スタック上に配置する方式について検討した。回路シミュレーションにより、SFQ回路を用いて出力振幅数mV、立ち上がり時間20psの任意振幅、任意パルス幅のパルス発生が可能であることが明らかになった。

超伝導量子ビットの状態を正確に観測するためには、観測以前に量子ビットの状態に影響を及ぼさないこと、短時間に観測が完了できること、1回の観測で状態を確定することが必要である。これらの観測を極低温下に集積化されたSFQ回路を用いて、高速かつ高精度に行う方法について数値解析を中心に検討した。超伝導を利用した量子ビットの中で磁束量子ビットがSFQ回路ともっとも整合性が高い。その磁束量子ビットの量子状態の読み出しには量子状態を反映した $1\mu\text{A}$ 程度の電流をシングルショットで検出する必要がある。まず、高速高感度計測が可能なSFQ-A/D変換器の解析を行った。このA/D変換器の最高感度は10nA、帯域幅は100MHzに達し、量子状態の計測には十分な性能であることが分かった。しかしながら、実装の問題で性能が引き出せない可能性があるほか、回路規模が大き

いため発熱が大きく複数量子ビットに拡張した場合、希釈冷凍機での冷却には適さないことも明らかとなった。そこで、回路規模の縮小化とより短い時間での計測を目的に、現在はSFQパルス1個の伝搬遅延時間に量子ビットの状態を反映させ、その遅延時間をT/D（時間/デジタル）変換器をベースに計測する手法を提案、解析を進めた。

より高速なパルスにより駆動する事が可能で、デコヒーレンスを起こす準粒子の励起がより少なく、より高温で動作する事にも適しているNb量子ビットの研究を行っている。今期はFIB微細加工と斜め蒸着法を用いたNb微細トンネル接合作成技術を新たに開発し、これらの方法により単一電子トランジスタを作成し特性を評価した。来年度はこの技術を使ったNb量子ビットの試作を目指す。

## 2. 研究実施体制

### NECグループ

- ① 研究分担グループ長：中村泰信（NEC基礎・環境研究所、量子情報テクノロジーグループ、主任研究員）
- ② 研究項目：量子ビットシステムの研究
  - 量子ビット間の相互作用をオフすることの可能な集積方法の研究
  - 量子ビットとSFQ回路の実装方法の検討
  - 磁束量子ビットの読出しをSFQ回路を用いて行なう方法の検討
  - 磁束量子ビットのコヒーレンス時間増大のための検討
  - Nb系微小ジョセフソン接合作製技術の開発

### ISTECグループ

- ① 研究分担グループ長：日高睦夫（ISTEC超電導工学研究所デバイス研究開発部低温デバイス開発室、室長）
- ② 研究項目：量子ビットインターフェイスシステムの研究
  - SFQインターフェイス回路試作の検討と準備
  - フリップチップボンディングの3次元シミュレーション
  - SFQインターフェイス回路低電力化のための接合微細化検討

### 横浜国立大学グループ

- ① 研究分担グループ長：吉川信行（横浜国立大学大学院工学研究院、教授）
- ② 研究項目：SFQによる量子ビットの操作
  - 量子ビット操作用SFQ高速パルス回路の研究
  - 量子ビット操作用超伝導マイクロ波パルス発生回路の研究
  - SFQインターフェイス回路低電力電流供給方式の研究

### 名古屋大学グループ

- ① 研究分担グループ長：藤巻 朗（名古屋大学大学院工学研究科 量子工学専攻、教授）
- ② 研究項目：SFQによる量子ビットの高速、高精度観測
  - 量子ビット観測用SFQ回路方式の研究
  - SFQパルス遅延時間のT/D変換器をベース計測手法の研究

### SUNYグループ

- ① 研究分担グループ長：アベリン、デミトリ・V（ニューヨーク州立大学ストーニブルック校、物理天文学部、教授）
- ② 研究項目：電荷/位相量子ビットと複数量子ビット回路のディフェージング
  - SFQ回路を使った電荷/位相量子ビットの量子限界読み出し法の理論的研究
  - デコヒーレンス効果の理論的解析

### 大阪市立大学グループ（2004年度より東京大学）

- ① 研究分担グループ長：加藤岳生（大阪市立大学 工学研究科 電子情報専攻 数理工学分野、講師）
- ② 研究項目：量子ビットの制御・観測に関する理論的評価
  - デコヒーレンスの抑制のために最適な実験パラメータの理論的評価