

2021年3月11日

9:50-10:00

ムーンショット目標6 キックオフシンポジウム



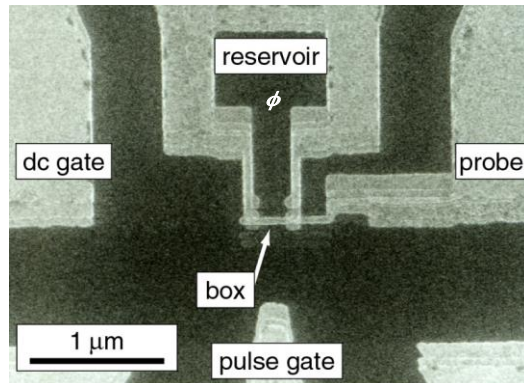
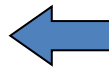
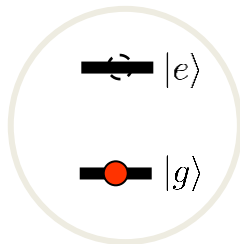
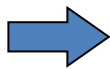
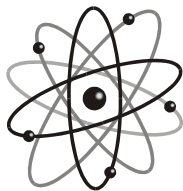
超伝導量子回路の集積化技術の開発

日本電気株式会社

システムプラットフォーム研究所

山本剛

超伝導量子ビットとは？



Microscopic

- atoms
- ions
- spins

....

good coherence

uniform

difficult to handle

Macroscopic (Mesoscopic)

solid-state devices

easy to handle

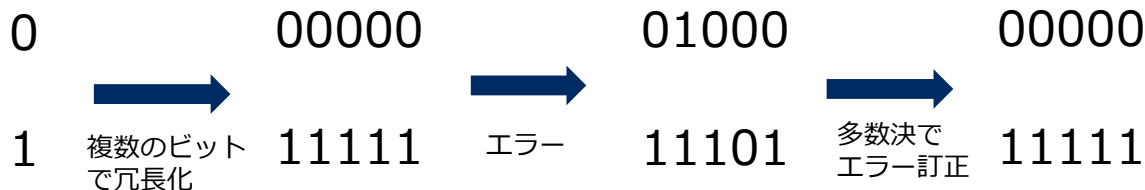
high controllability

special care required for good coherence

膨大な物理量子ビットの数

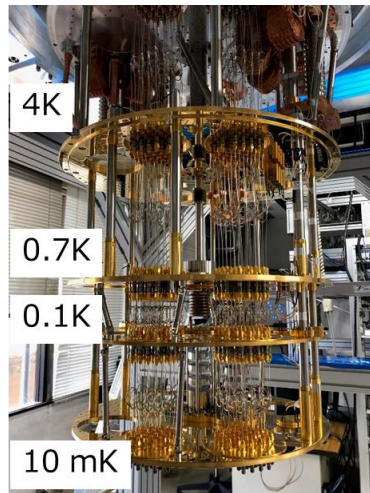
- 量子誤り訂正を実現するためには、複数の量子ビットを用いて一つの論理量子ビットを構成する必要がある
- 現状の超伝導量子ビットのエラーレートで、意味のある計算をしようとする
と、**~10⁸個**もの量子ビットが必要と見積もられている。

古典的な誤り訂正の例



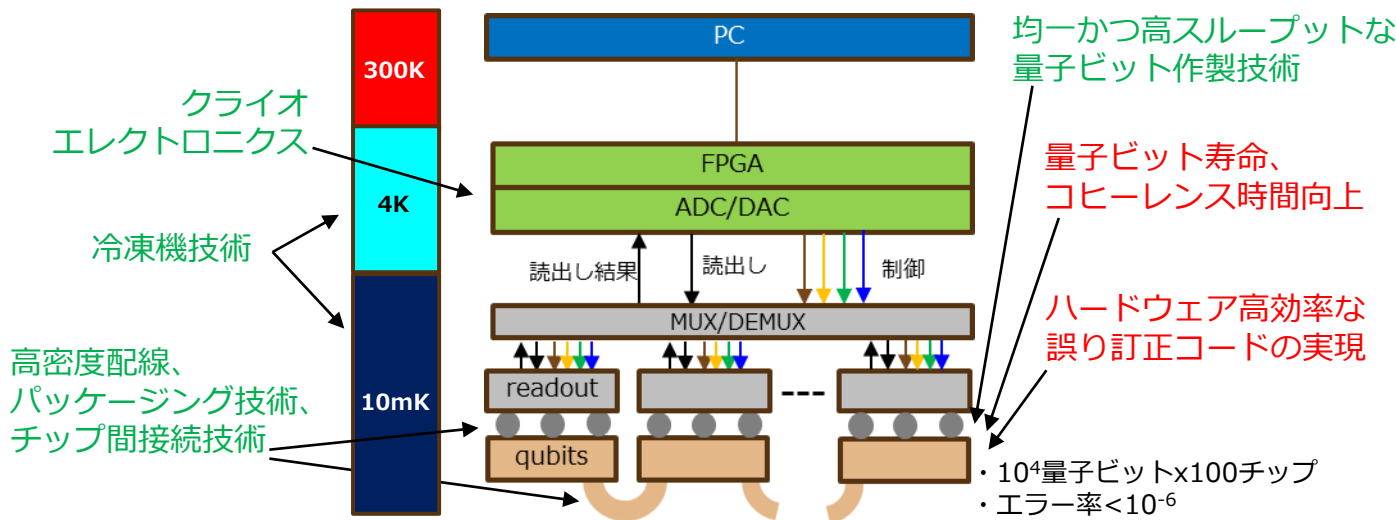
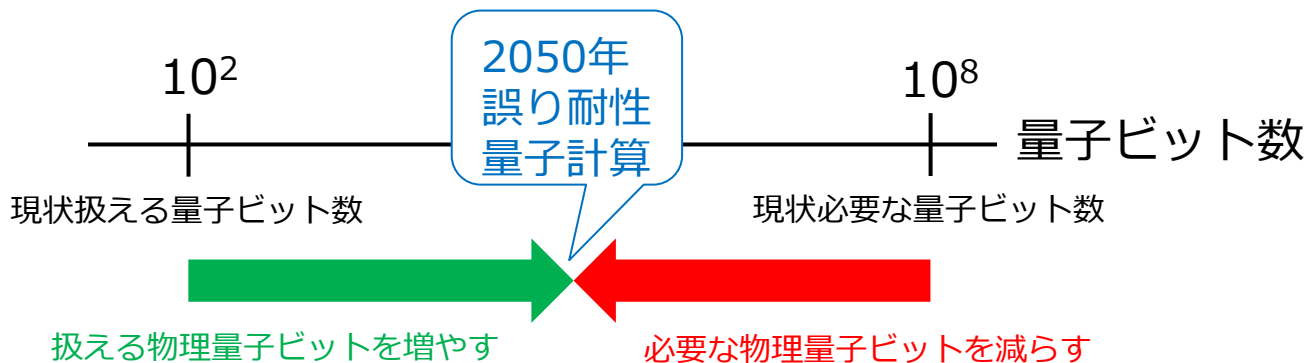
量子ビット制御/読出しの配線数の問題

- 超伝導量子ビットは、希釈冷凍機という冷凍機を用いてほぼ絶対零度 ($\sim -273^{\circ}\text{C}$) に冷却する必要がある。
- 超伝導量子ビットは、ギガヘルツのマイクロ波を用いて制御/読出しを行うため、室温と -273°C の間を同軸ケーブルでつないで信号をやりとりしている。
- 一つの量子ビットあたり >1 本の同軸ケーブルを用いる現行方式では、冷凍機内部のスペースや冷却能力の制限により、**数100量子ビットが限界**と考えられる。



希釈冷凍機内部の写真

本プロジェクトで取り組む課題と目指すシステム



取組む課題と解決方策 1

扱える物理量子ビットを増やす

● クライオエレクトロニクス

単一磁束量子回路、ナノブリッジFPGA、SISミキサによるクライオエレクトロニクスの開発

● 高密度配線、パッケージング技術

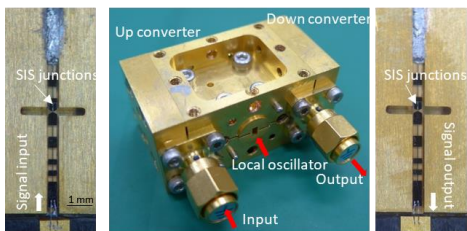
フリップチップ実装技術を用いた量子、古典ハイブリッドチップの実現

● 均一かつ高スループットな量子ビット作製技術

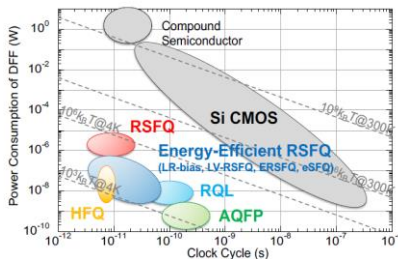
光学露光を用いた量子ビット作製技術の開発

● 冷凍機技術

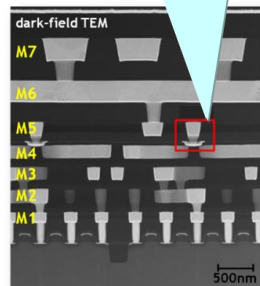
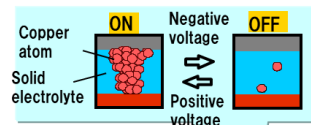
量子計算機向けに冷凍能力を最適化した希釈冷凍機の開発



SISミキサ



超伝導回路の高速性・低消費電力性



ナノブリッジFPGA

必要な物理量子ビットを減らす

●量子ビット寿命、コヒーレンス時間の改善

プロセス・設計・材料改善およびデコヒーレンス源の系統的調査。高周波実装の改善。

●ハードウェア高効率な誤り訂正コードの実現

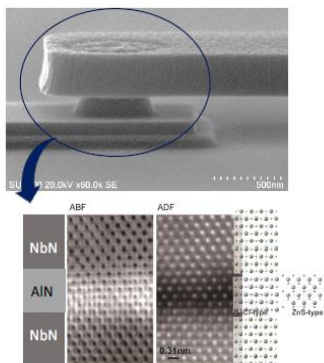
超伝導共振器を用いたボゾニックコードの実現

NTT齋藤グループ

Abdurakhimov et al., APL**115**, 262601 (2019)

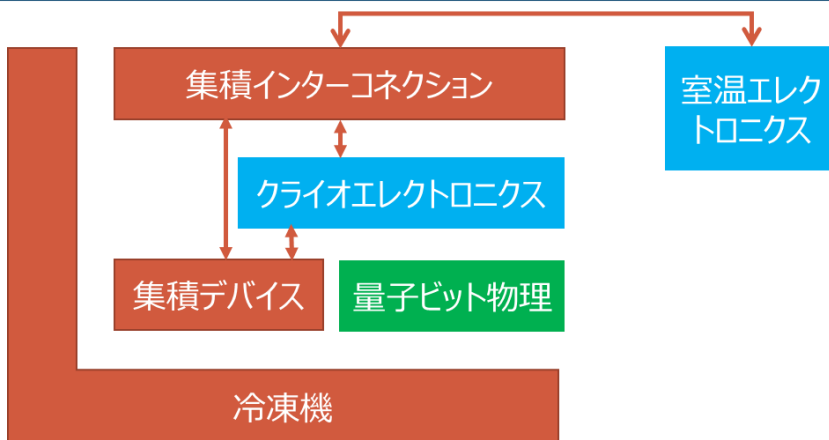
$T_1 \sim 90 \text{ us}$

NbN/AlN/NbN epitaxial junction



NICT寺井博士提供

プロジェクト全体構成



● 誤り耐性量子コンピュータ用量子ビット回路の研究開発

- 日本電気株式会社、産業技術総合研究所、NTT、情報通信研究機構、理化学研究所、株式会社ニコン、東京医科歯科大、名古屋大学

● 量子ビット集積ハードウェアシステムの研究開発

- 理化学研究所、アルバック・クライオ株式会社、株式会社アルバック、国立天文台、情報通信研究機構

● 量子誤り訂正用エレクトロニクスの研究開発

- 名古屋大学、ナノブリッジセミコンダクター株式会社、大阪大学、東京大学、慶応大学

Q-LEAP目標

- ~100個のtransmon qubitを用いてNISQ動作実証（2027）

Q-LEAPで取り組んでいること

- ・量子ビットアレーへの垂直配線技術
- ・100ビット対応室温制御・読出しエレクトロニクスの構築
- ・広帯域JPAの開発

Q-LEAPで(十分には)取組めていないこと

- ・クライオエレクトロニクス
- ・集積インターコネクション(フリップチップボンディングによる配線、アイソレータ、アンプ等マイクロ波部品の集積化)
- ・デコヒーレンス源の系統的調査
- ・transmon以外の高コヒーレンス量子ビット
- ・表面符号以外の符号方式

本プロジェクトの役割

Q-LEAPのNISQマシンを、誤り耐性量子計算機へと
スケールアップさせるための基盤技術を開発する

 **Orchestrating** a brighter world

NEC