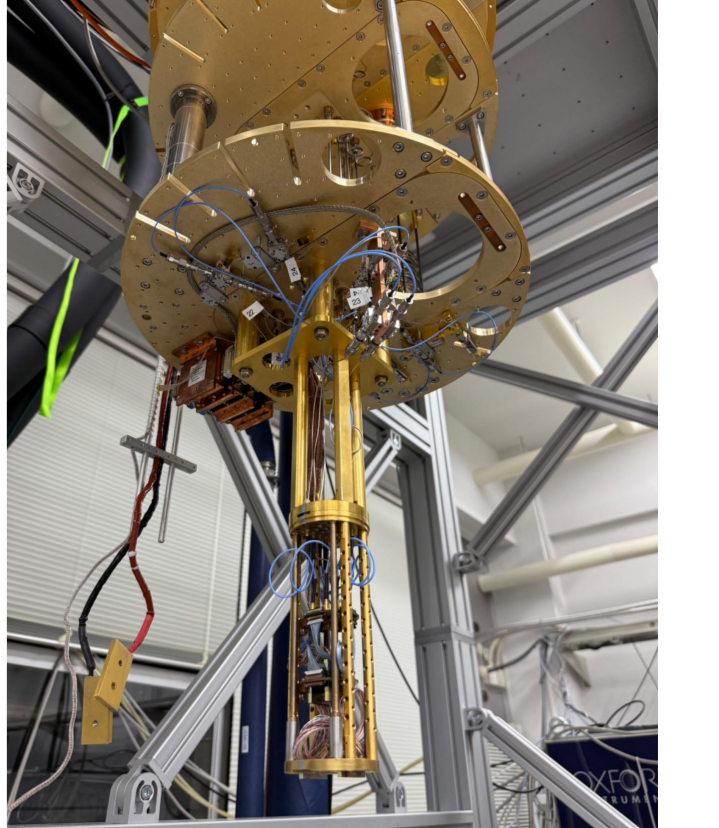
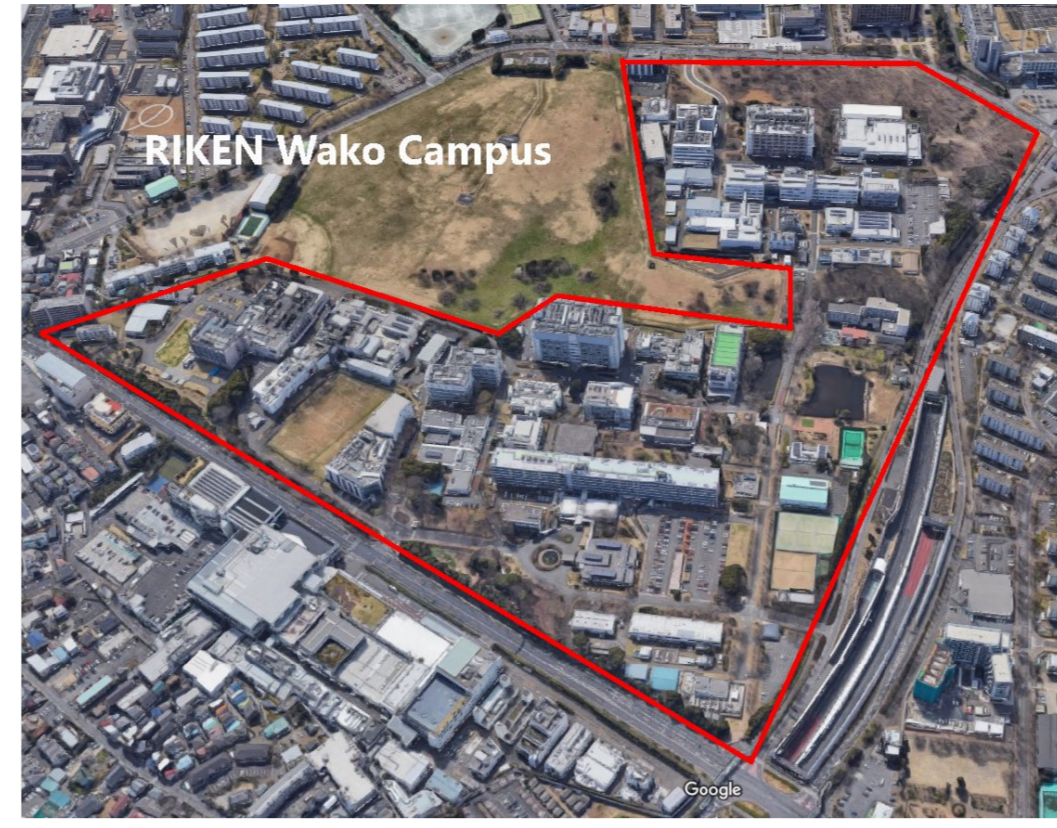


CEMS 理化学研究所 創発物性科学研究センター 量子電子デバイス研究チーム



主要設備(東大): 希釈冷凍機2台 など

大学院生(研修生)もすべて利用可能

主要設備(理研): 希釈冷凍機5台、0.3K冷凍機2台、1.5K冷凍機2台、光学測定用冷凍機1台、グローブボックス1台、プラズマエッチング装置1台、原子層積層システム1台など

共用設備: クリーンルーム(電子線描画装置、電子線蒸着装置、マスクレス描画装置、プラズマエッチング装置、スパッタ装置、CVD装置)、電子顕微鏡など

共同研究: 仏国立科学研究所 NEEL、産総研、独Ruhr大学Bochum校、物材機構、韓国科学技術院、米Texas A&M大学、慶應大学、東北大学など

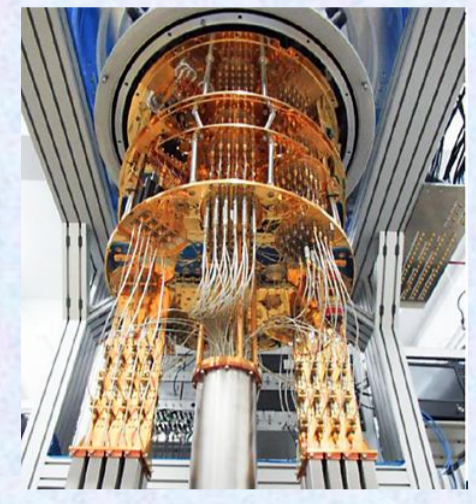
## 新原理の電子波束量子コンピューター

PCT/JP2023/025244 (国際特許出願)

Semiconductor Circuits for Quantum Computing with Electronic Wave Packets: arxiv.org/abs/2410.16244

現在の固体量子ビット: すべて局在した量子二準位系

2経路干渉計: 量子演算回路 (which-path qubit)



誤り訂正が必要  
→ 膨大な物理量子ビットが必要  
→ 全ての局在量子ビットに配線し、誤り訂正のために演算をし続ける  
→ 途轍もない困難とコスト

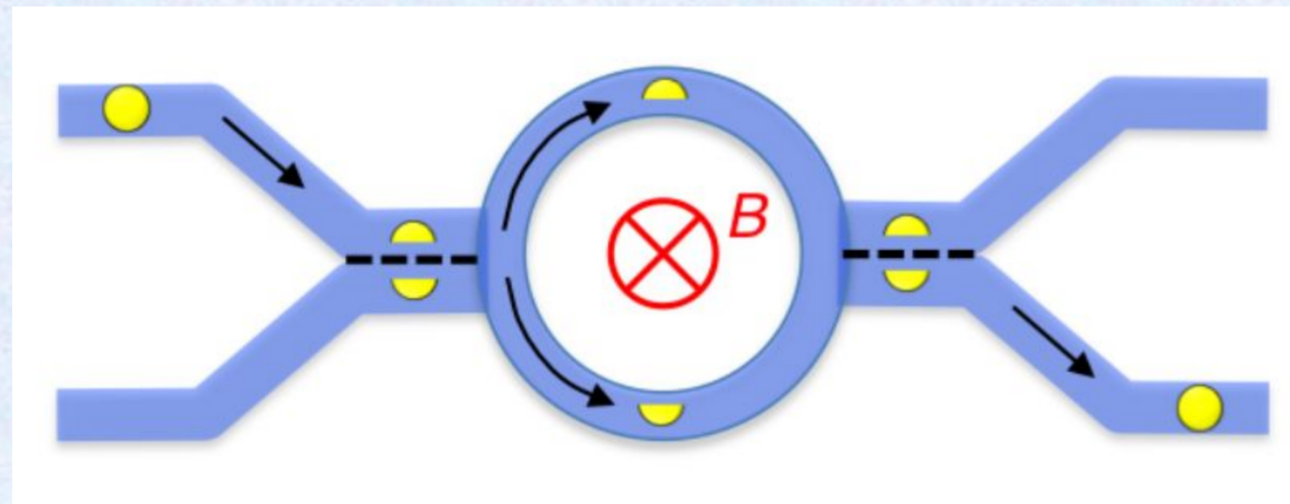
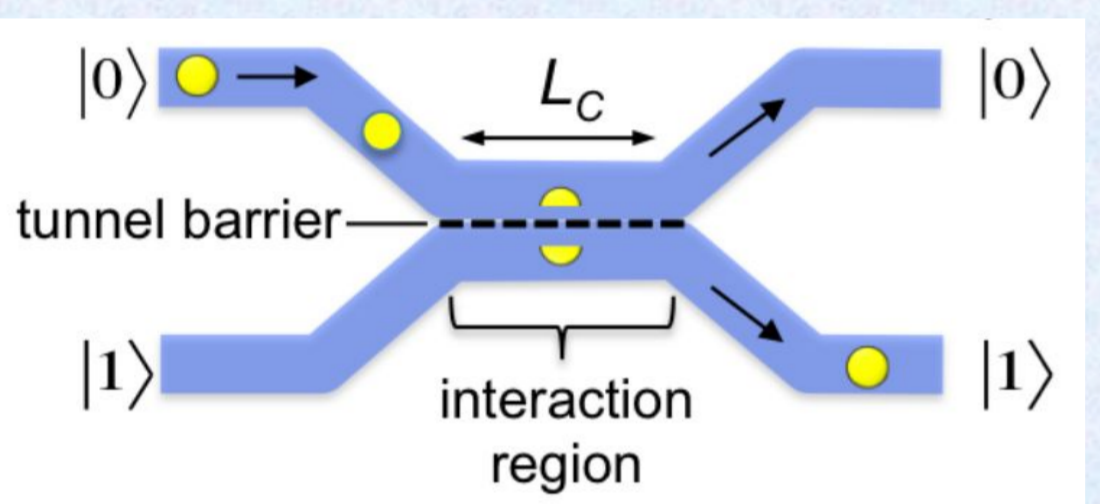
ハードウェアサイズ:  
量子ビット数  $N$  にほぼ比例  
→ 大規模化が課題

理研 量子コンピューター (国産1号機 53量子ビット)

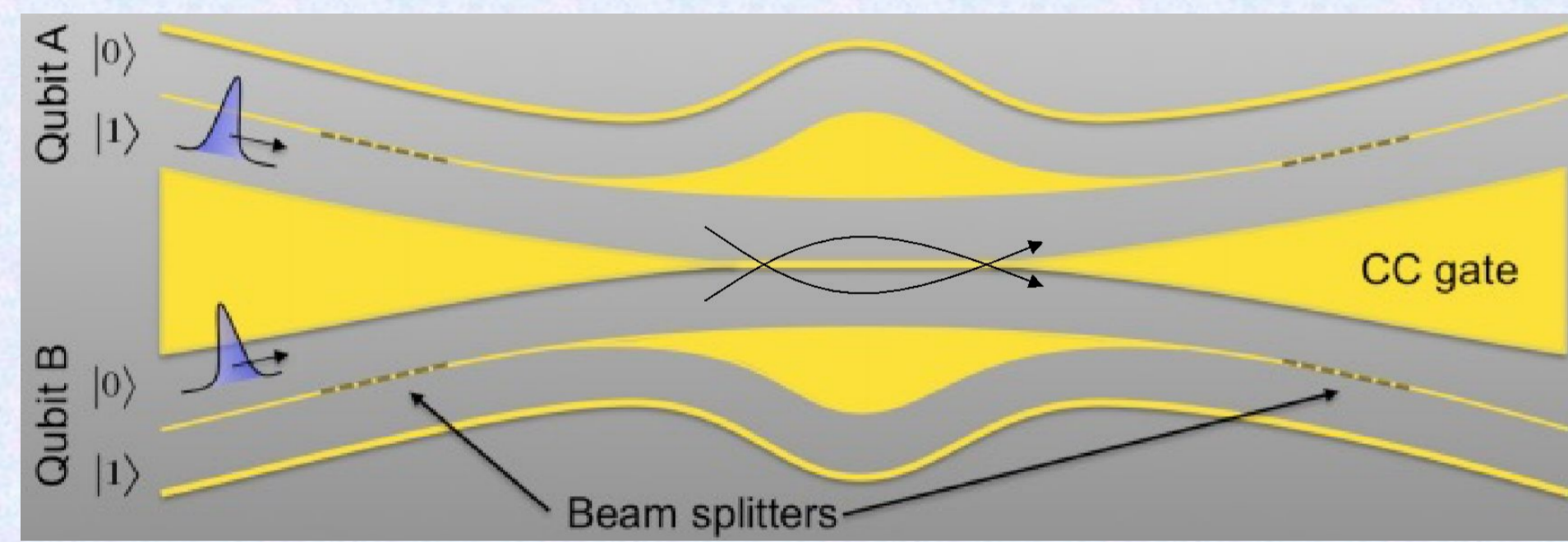
### 1量子ビット演算

•  $R_x$ : 経路間のトンネル結合

•  $R_z$ : 経路間の位相差 (位相  $L \cdot k_F$ : 経路幅を介して  $k_F$  を電気制御)

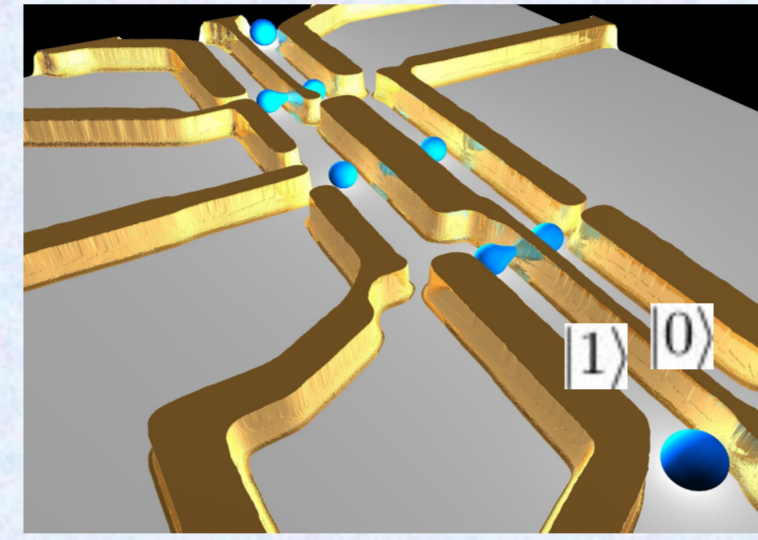


### 2量子ビット演算



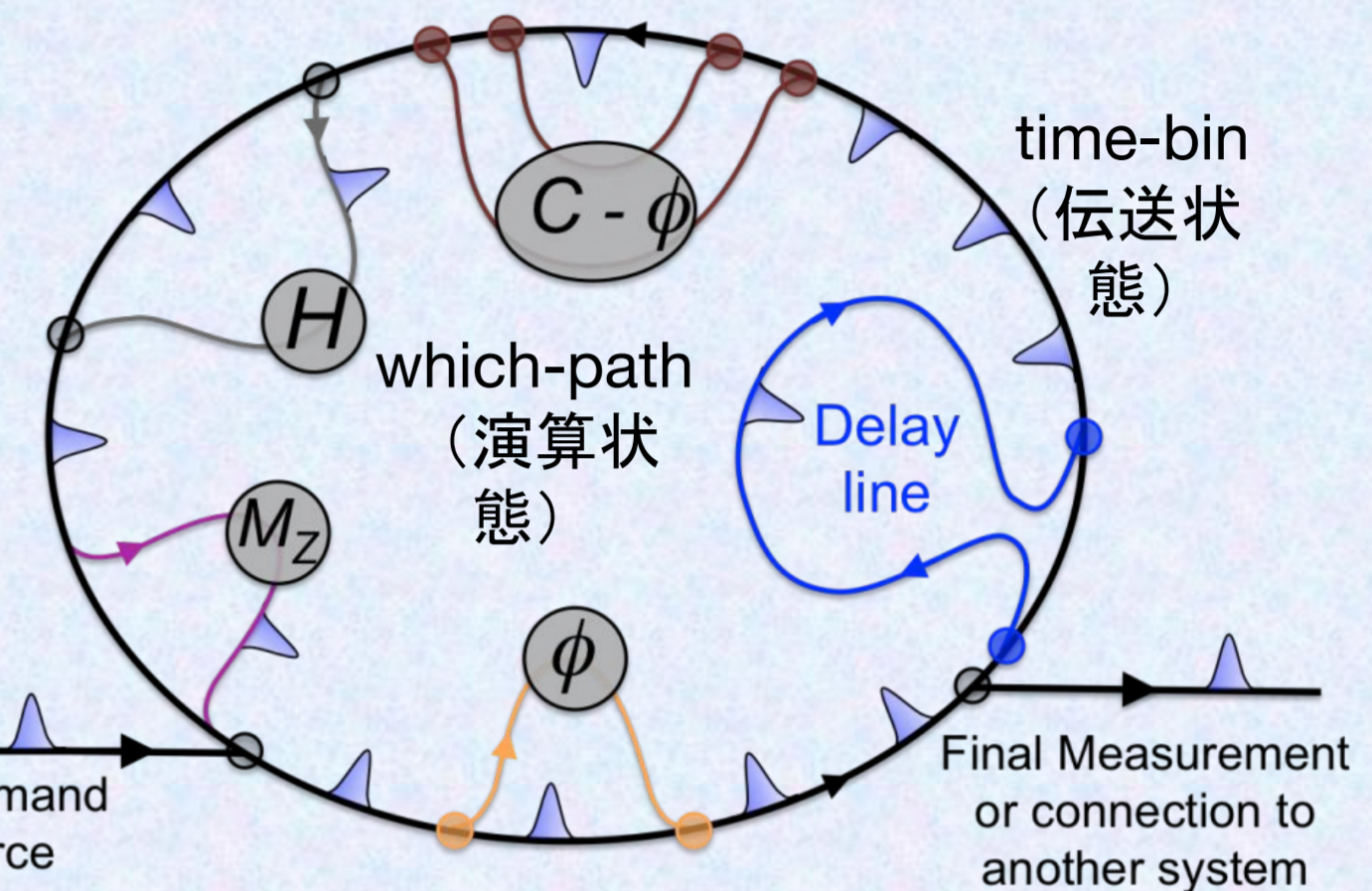
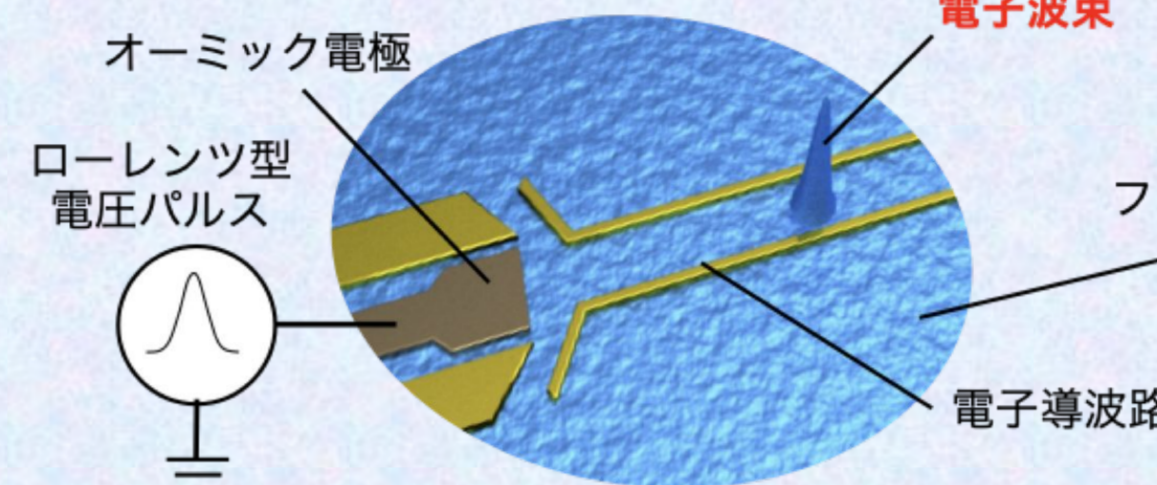
遅延回路を調整:  
2つの波束が交差する際のクーロン相互作用を利用  
→ 位相シフト

$$U = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & e^{-i\theta_c} & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{pmatrix}$$



Nat. Nanotechnol. 7, 247 (2012)

電子波束励起: 低緩和飛行量子ビット



短い電子波束(整数電荷、ローレンツ型、プラズモン)  
電子間相互作用などによる量子情報損失がない  
→ 高忠実度の量子演算

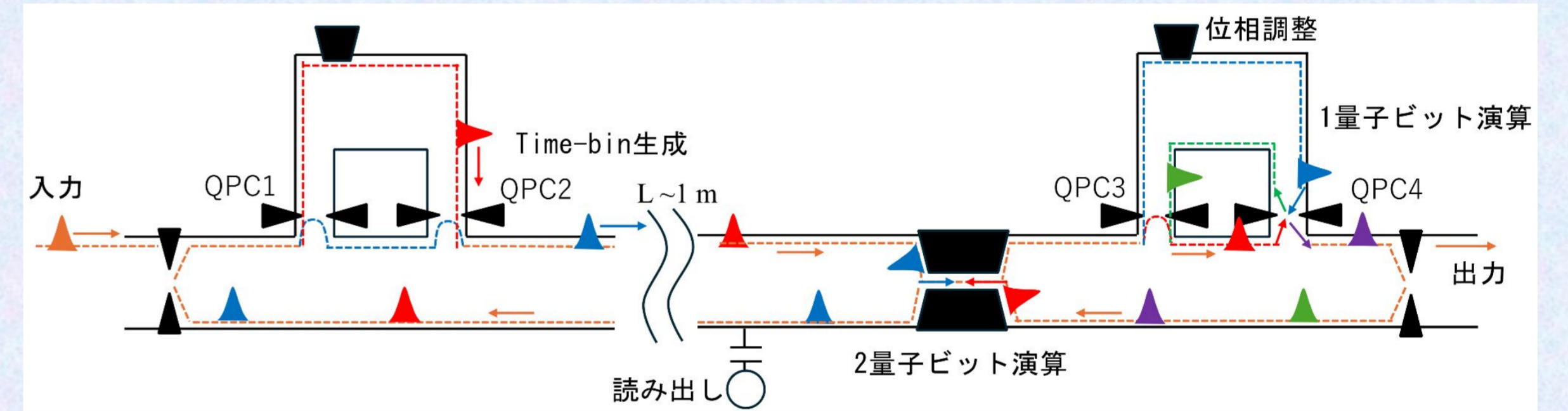
ハードウェアサイズ  $\propto N^\alpha$  ( $\alpha \leq 0.5$ )

→ 数千の配線(1台の冷凍機)で実用的な量子コンピューターに必要な数の量子ビットを制御

### 量子ホール端チャンネルを伝搬する time-bin量子ビット

量子ホール状態: 理想的な量子回路

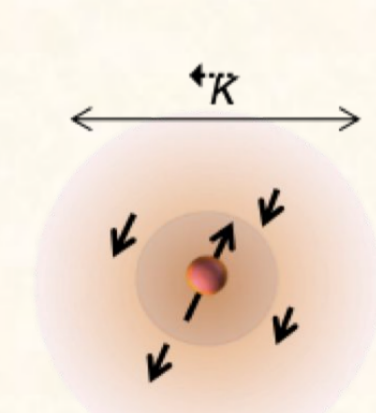
- 不純物や揺らぎの影響を受けない伝搬チャンネル(トポロジカル保護)
  - マクロなサイズでも正確に定義される伝導モード
- 電子波束のtime-bin量子ビットの生成と制御の新しい手法を提案(特許申請)  
プロトタイプデバイスを作製



## 強相関電子系(スピン格子系)の量子シミュレーション

近藤状態(近藤雲)

Electrical control of a Kondo spin screening cloud: arXiv:2404.11955



局在スピン+伝導電子: 強相関系の基本的な構成要素(基本単位)

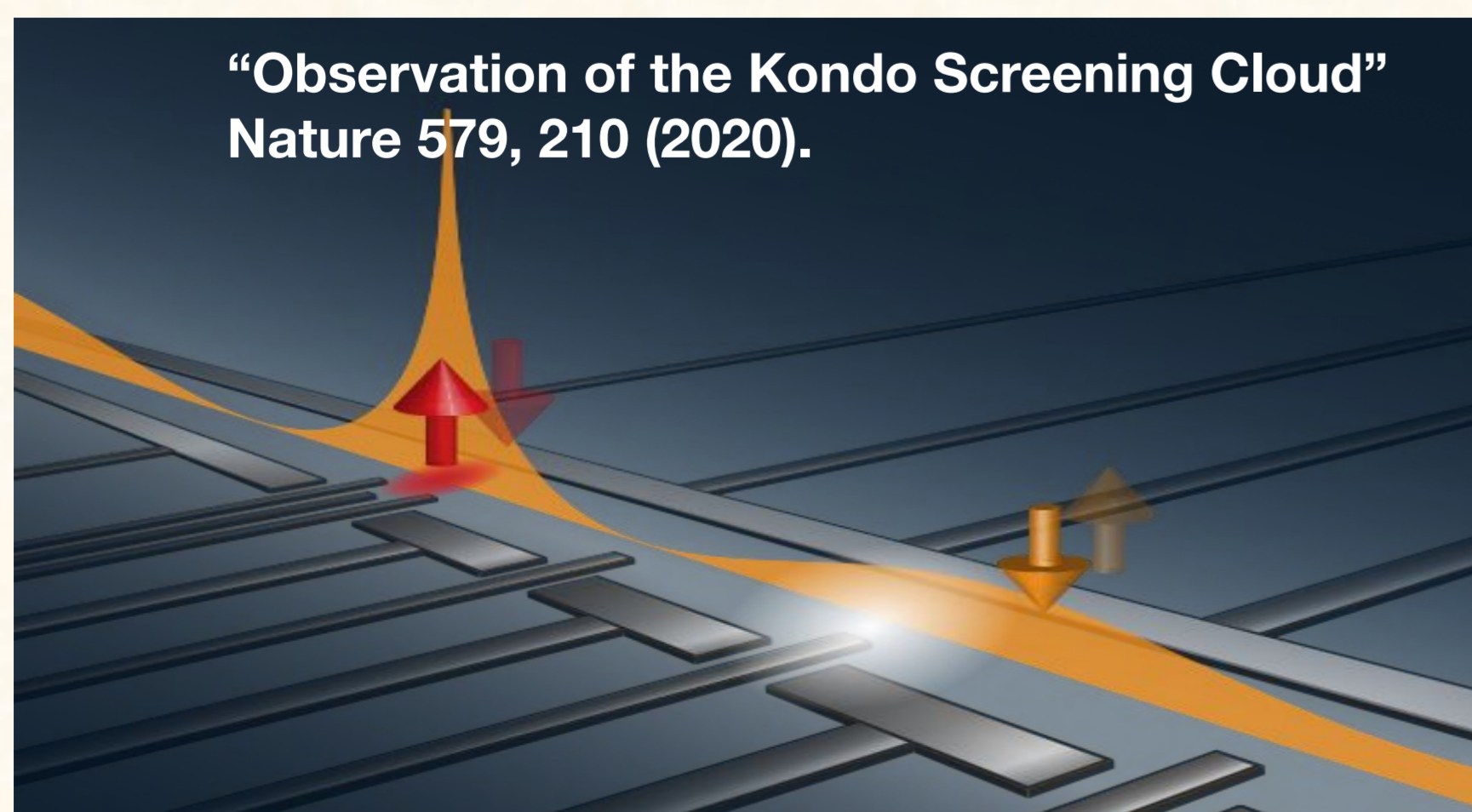
局在スピンと多数の伝導電子の間の多体スピン-重項  
→ 局在スピンを遮蔽するひとつの量子もつれ状態

物理的な理解や物理量の計算手法が確立  
(数値繰り込み群法: 最も確実な計算手法)  
ただし、確実な計算は単一の局在スピンまで

近藤雲の広がり

- 大きさは近藤温度(スピン-重項結合のエネルギー)だけに依存
- 形状は普遍(他のパラメータの詳細に依らない)

半導体の人工原子(量子ドット)に局在スピンを閉じ込め、電子干渉を利用して近藤雲を観測&制御

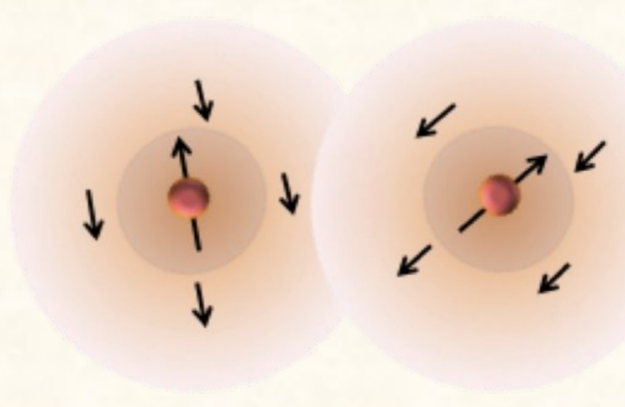


"Observation of the Kondo Screening Cloud" Nature 579, 210 (2020).

## Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida interaction (RKKY相互作用)

伝導電子を介した局在スピン間の相互作用

スピンのコヒーレンス長を考慮した表式はない(計算困難、未知量)



2不純物近藤効果: 2つの局在スピン+多数の伝導電子  
→ スピンの状態を計算することが困難

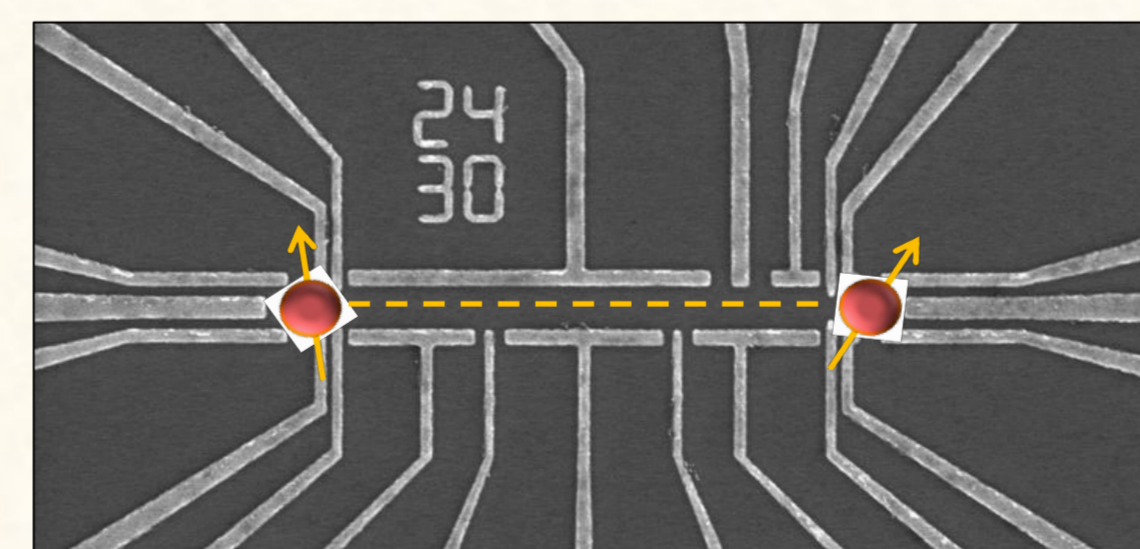
状態を決めるパラメータ

局在スピン間の距離  $R$ , 近藤雲の大きさ  $\xi$ , 伝導電子のフェルミ波数  $k_F$

RKKY相互作用  $I(R/\xi, k_F R)$  を実験的に取得:

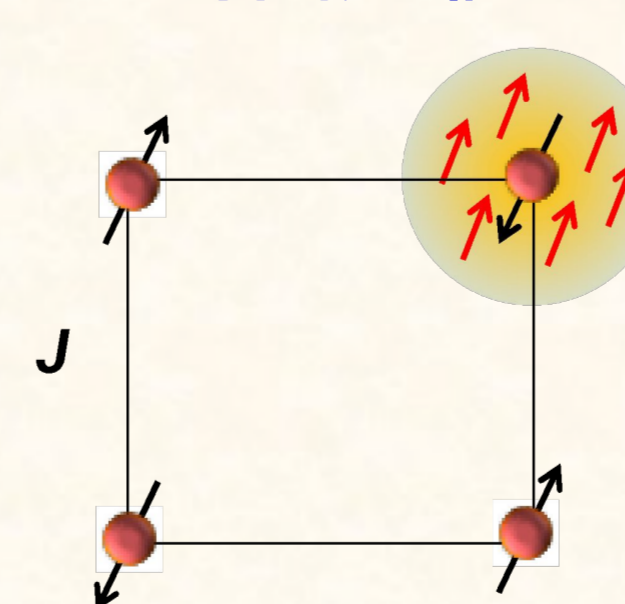
量子シミュレーション  
(既存の古典計算のリソースでは取得困難)

$I(R/\xi, k_F R)$  は符号を含めて制御可能

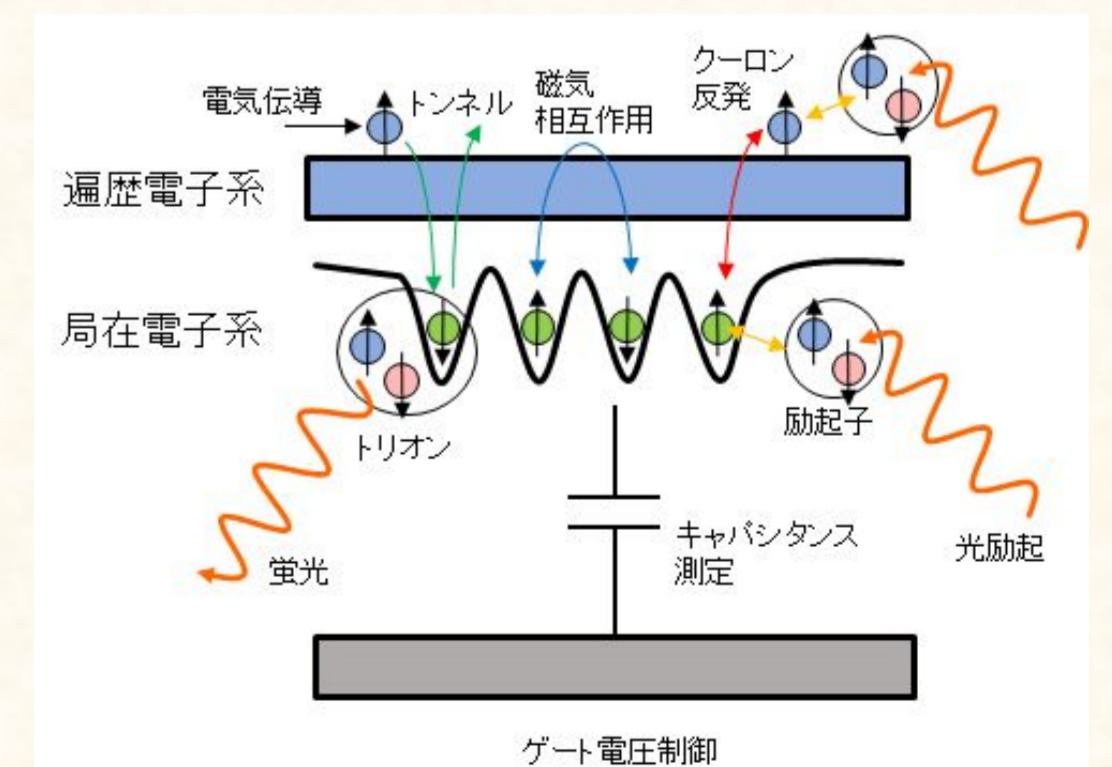


## 多彩なスピン格子系

半導体微細構造



原子層ヘテロ構造: 原子レベルで精密かつマクロな局在スピン格子 ( $R \sim 10 \text{ nm}$ )



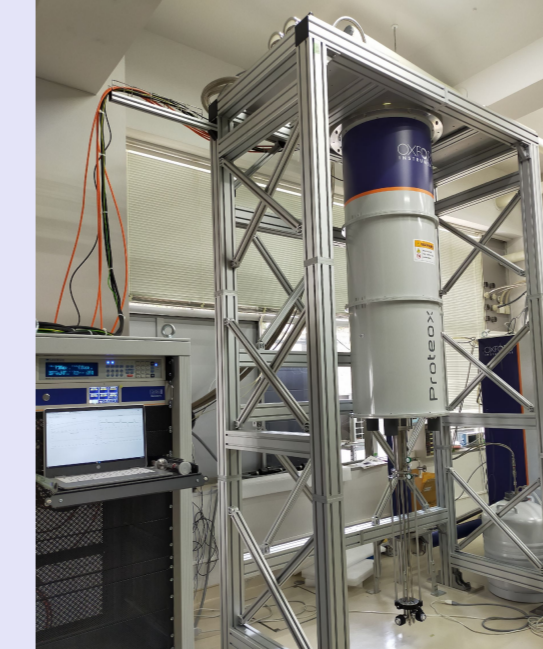
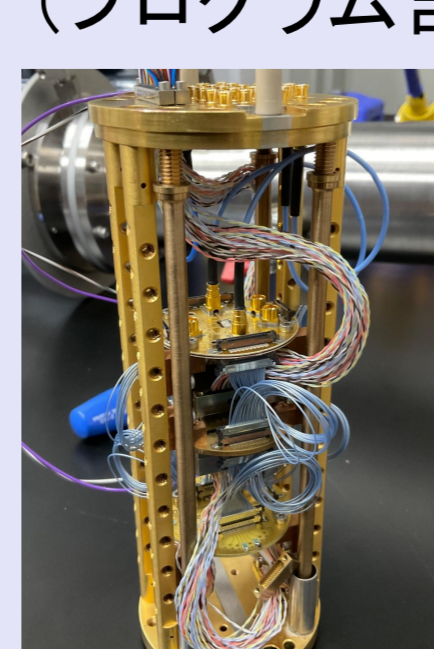
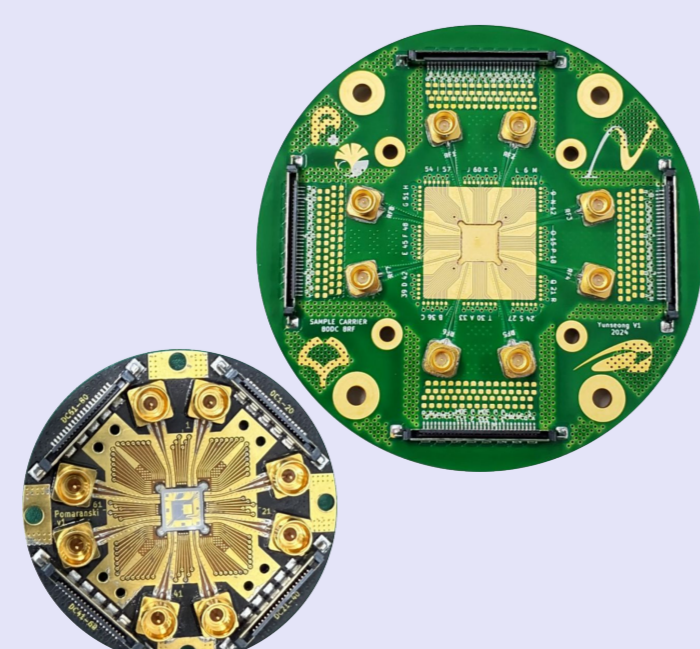
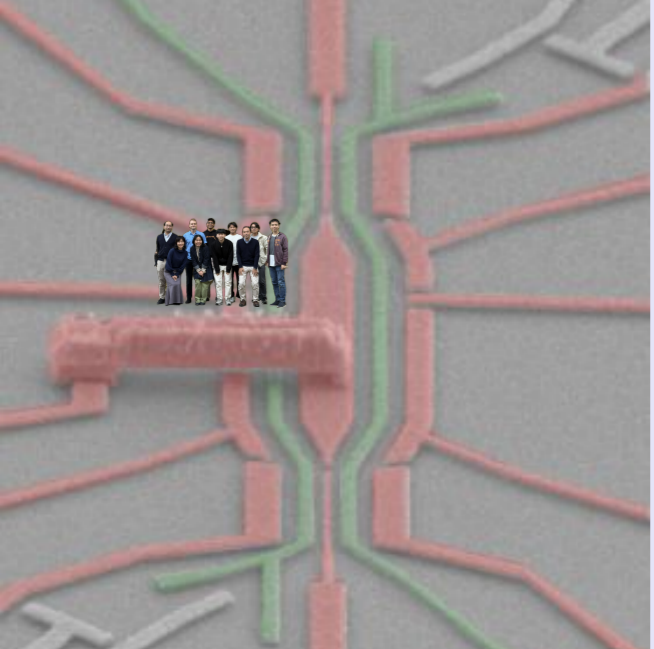
## 研究生活

• アイデアを議論する

• デバイスをデザインし、作製する

• 測定系・制御系をつくる (プログラム含む)

• 実験を行う



## 見学・訪問歓迎

- 普遍的な物理を追求したい人
- 実験を楽しんで、多彩な量子技術を習得したい人
- 人とちょっと違うことをしてみたい人
- 自分の手で電子あるいは量子を1個単位で操ってみたい人
- 新しいものを作ったり使ったりしたい人
- 旅行が好きな人
- 様々な文化に触れたい人
- .....