

人間の脳の演算処理メカニズムに倣った脳型演算処理技術の研究開発

大阪大学大学院基礎工学研究科 産業技術総合研究所

近年、半導体に基づく人工知能の高性能化に伴い、その消費電力は無視できないものとなっている。そこで、本研究では、人間の脳の演算処理メカニズムに倣った脳型演算処理技術の研究開発として、(1)ナノマグネットを用いたリザーバコンピューティングならびに、(2)スキルミオンを用いた超低消費電力計算器に関する研究を実施した。

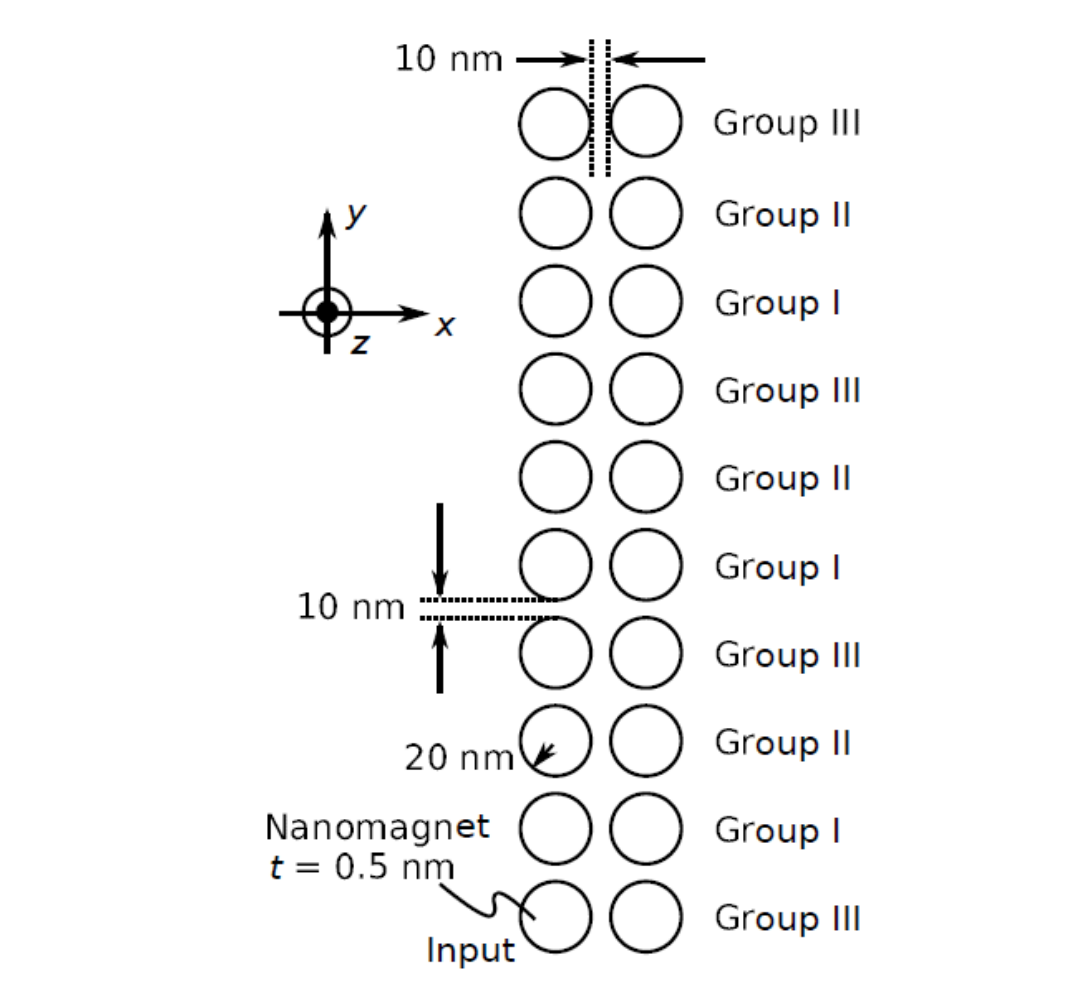
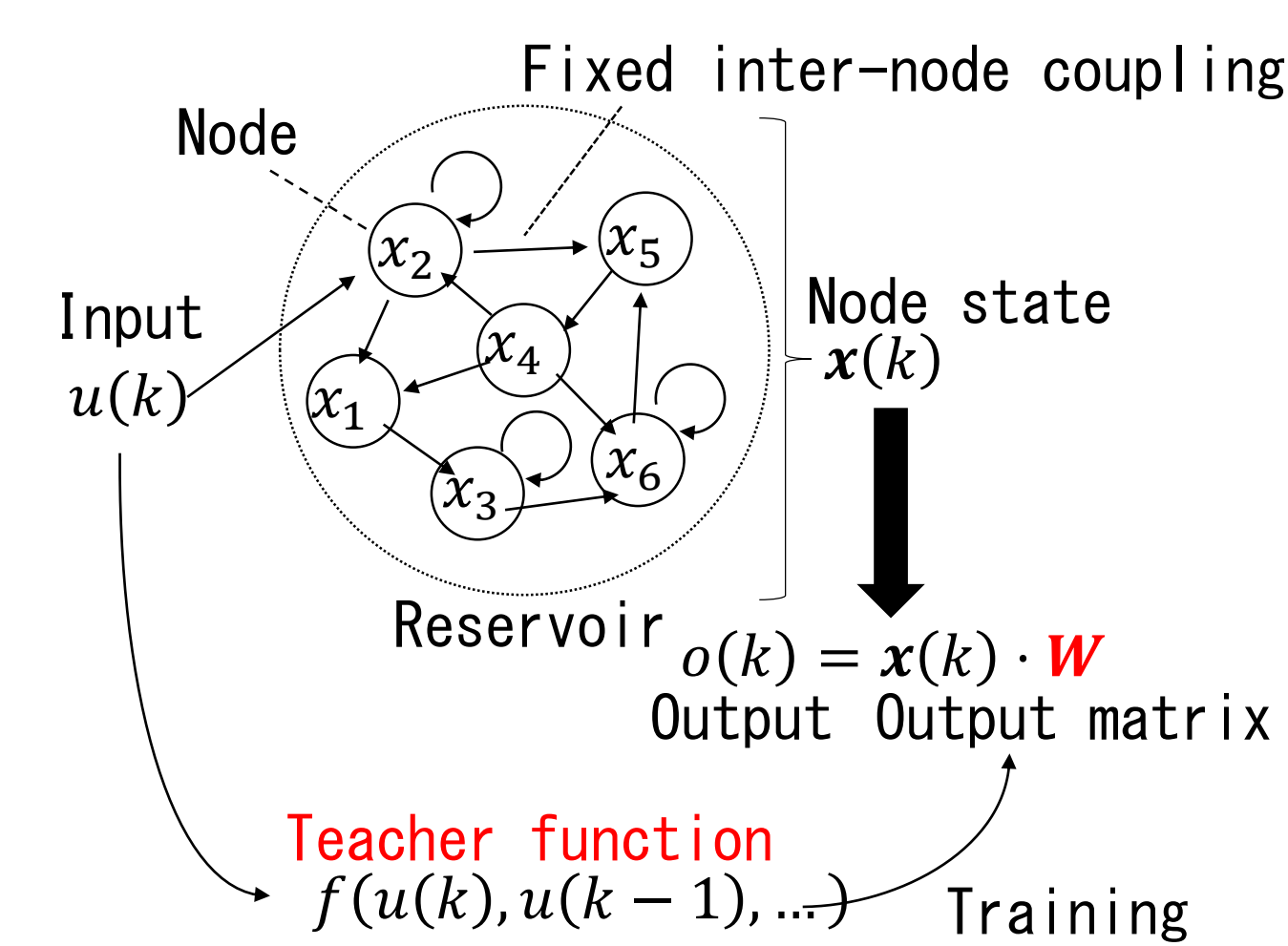
(2)スキルミオンを用いた超低消費電力計算器

【研究開発の背景】人工知能技術の発展に伴い、消費エネルギーの増大が懸念されている。既存のノイマン型の半導体技術を用いて人工知能を構成すると、人間の脳と競争させるために約1 kWの消費電力が必要となる。これは20 Wで動作する人間の脳の50倍に匹敵する。我々は、この消費エネルギーを下げるために、生体が利用している熱揺らぎに着目した。熱揺らぎを利用すると、情報を扱うために必要な最小のエネルギー(熱力学限界)に迫る人工知能の創出が期待できる。

研究目的

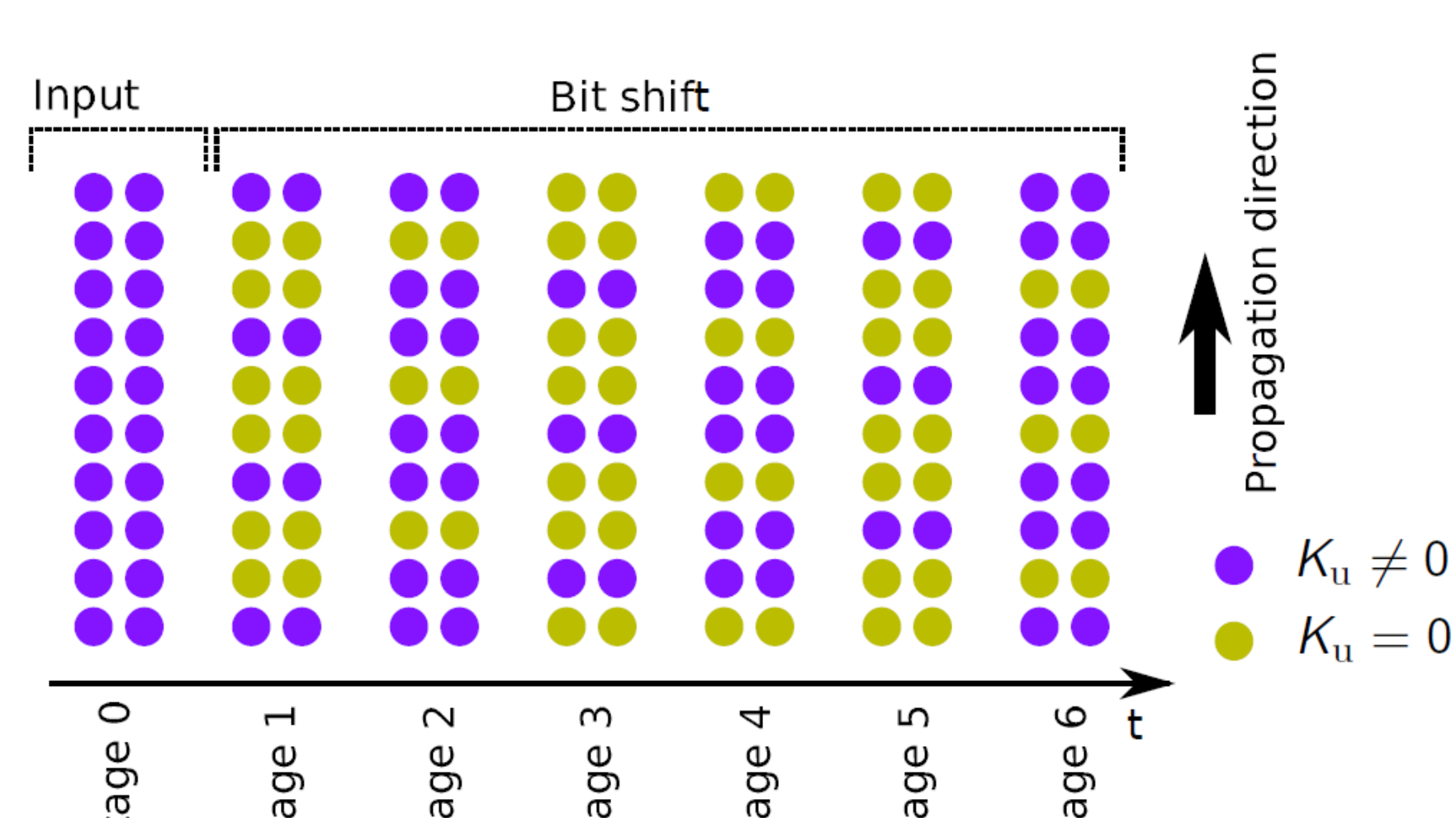
スキルミオンと呼ばれる固体中の粒子の熱揺らぎを用いて超低消費電力計算器の基盤回路・素子を実現

(1) 静磁気結合したナノマグネットアレイを用いたリザーバコンピューティング



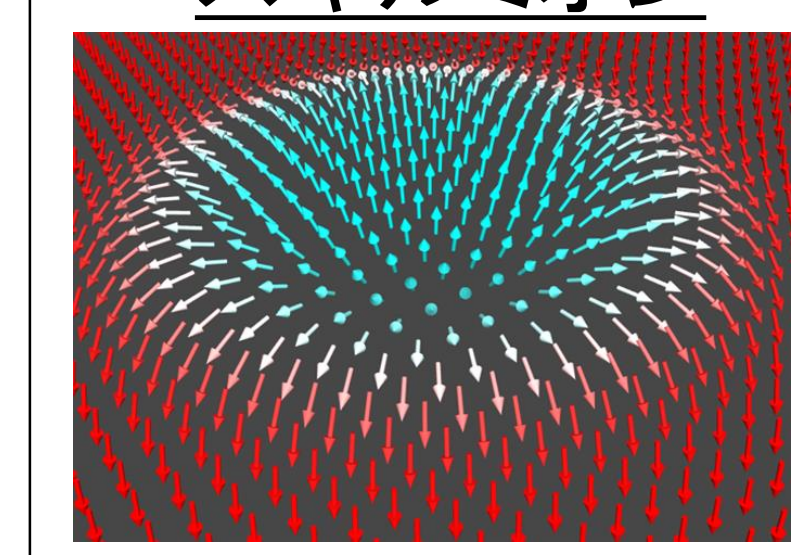
ナノマグネットアレイリザーバの模式図。ナノマグネットの磁化の向きをノード状態に利用

リザーバコンピューティングの概要図



ノード状態更新方法。磁性体の磁気異方性を変化させることで、ノード状態を更新

スキルミオン

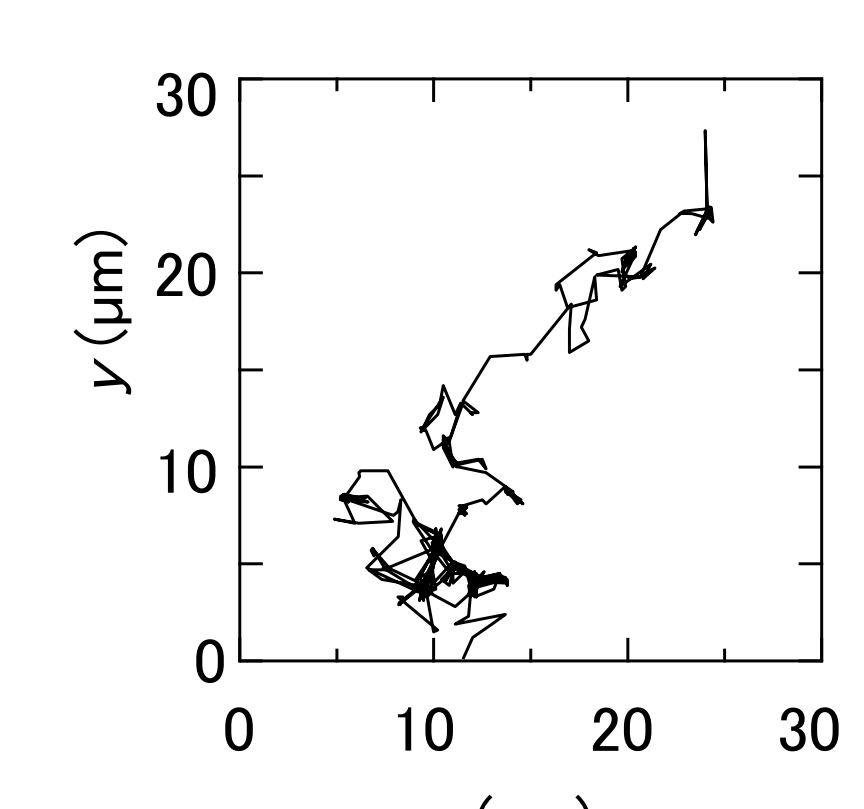


矢印は磁極の向きを表す

磁気光学Kerr効果顕微鏡像 スキルミオンの軌跡



黒い点はスキルミオン



利点

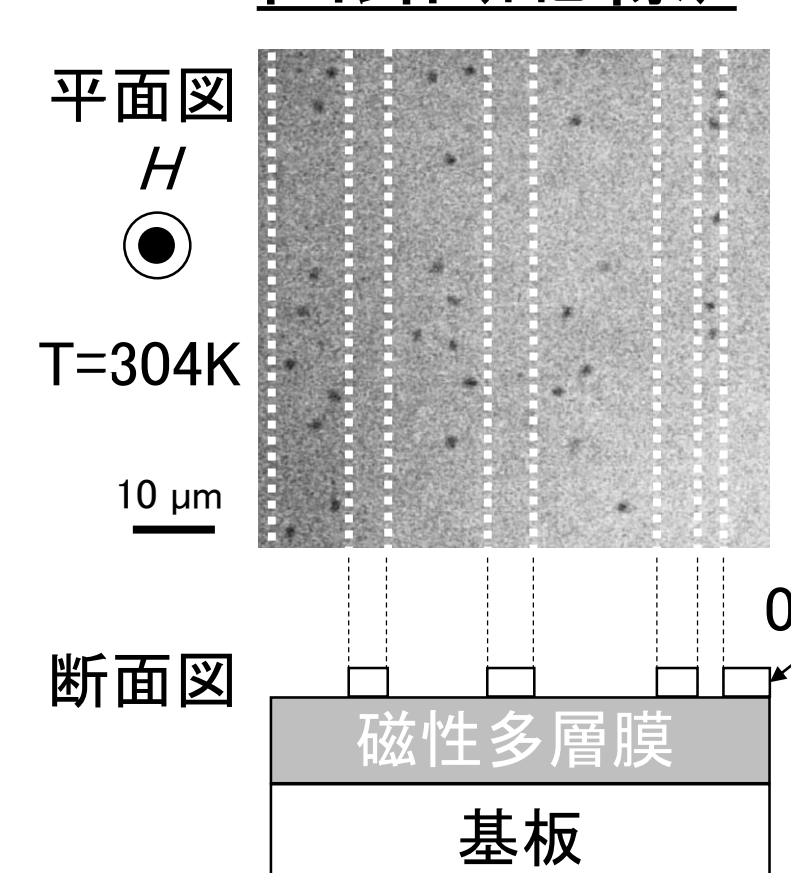
- 室温で制御・検出が可能
- 集積化が可能
- 消滅に大きなエネルギーが必要
- 固体中で粒子の様に振る舞う準粒子

外部のエネルギー供給が無くても運動するスキルミオンの観測に成功
⇒我々の拡散係数は従来研究*の約100倍(高速)

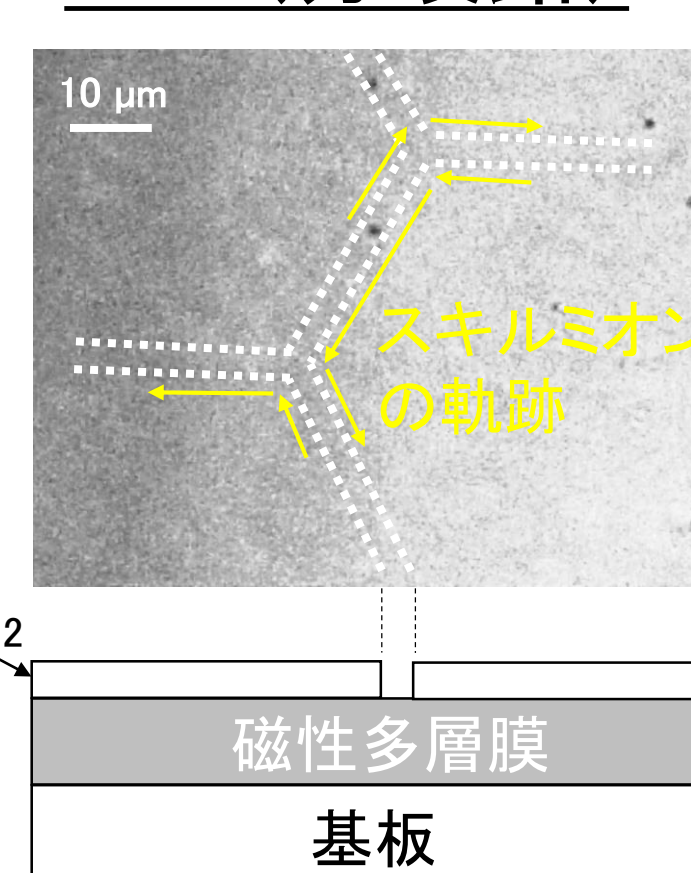
* J. Zazvorka et al., Nat. Nanotechnol. (2019)

【回路と素子の実装】

回路(配線)

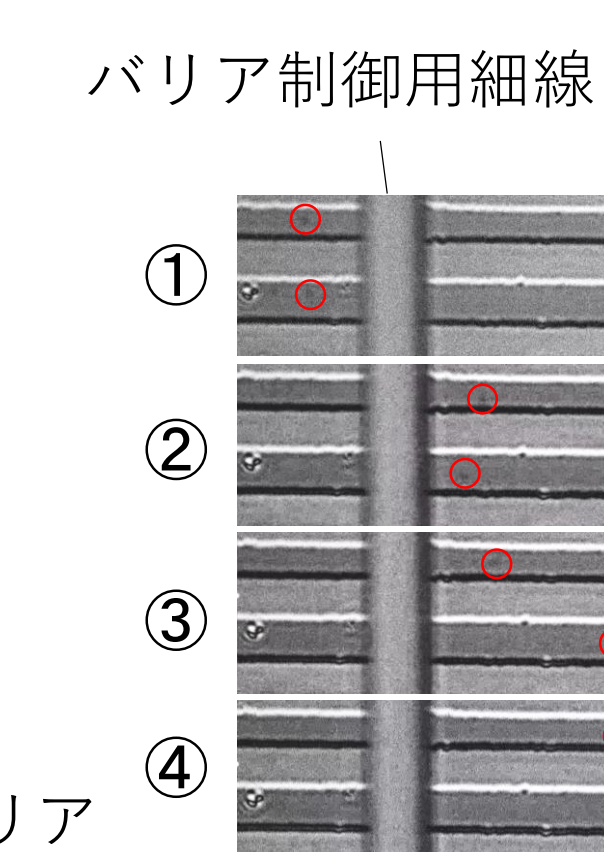
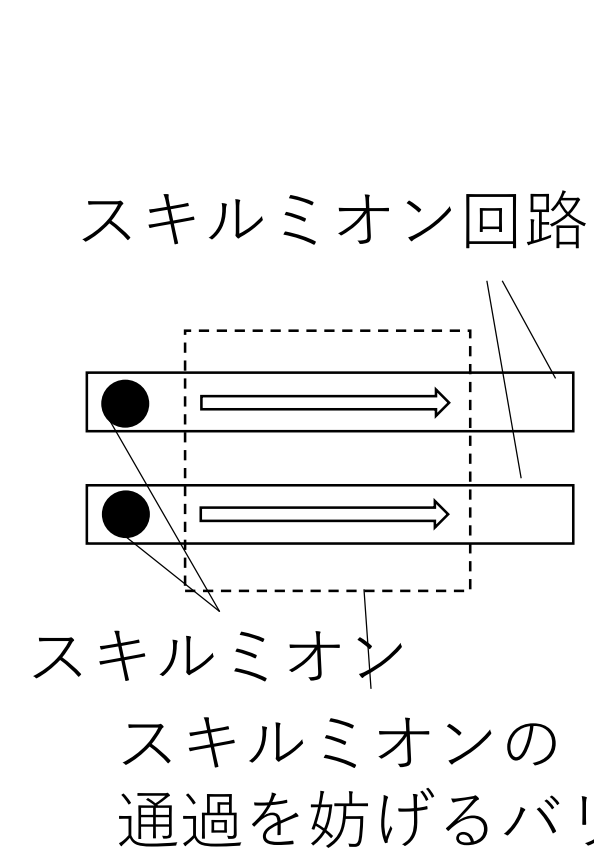


ハブ(分岐路)



ラチェットとC-join

ラチェット: 一度通過したら逆方向には伝搬できない素子
C-join: 二つのスキルミオンが同時に入ってきたときにそれらを通過させる素子

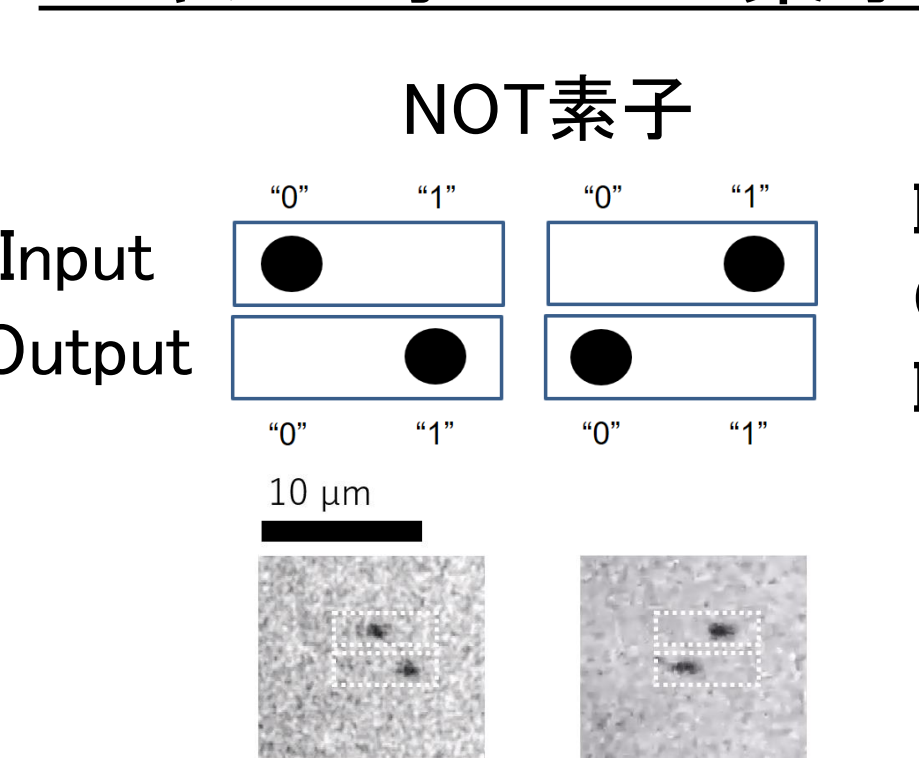


バリアの制御によりC-join(二本のラチェット)を実現

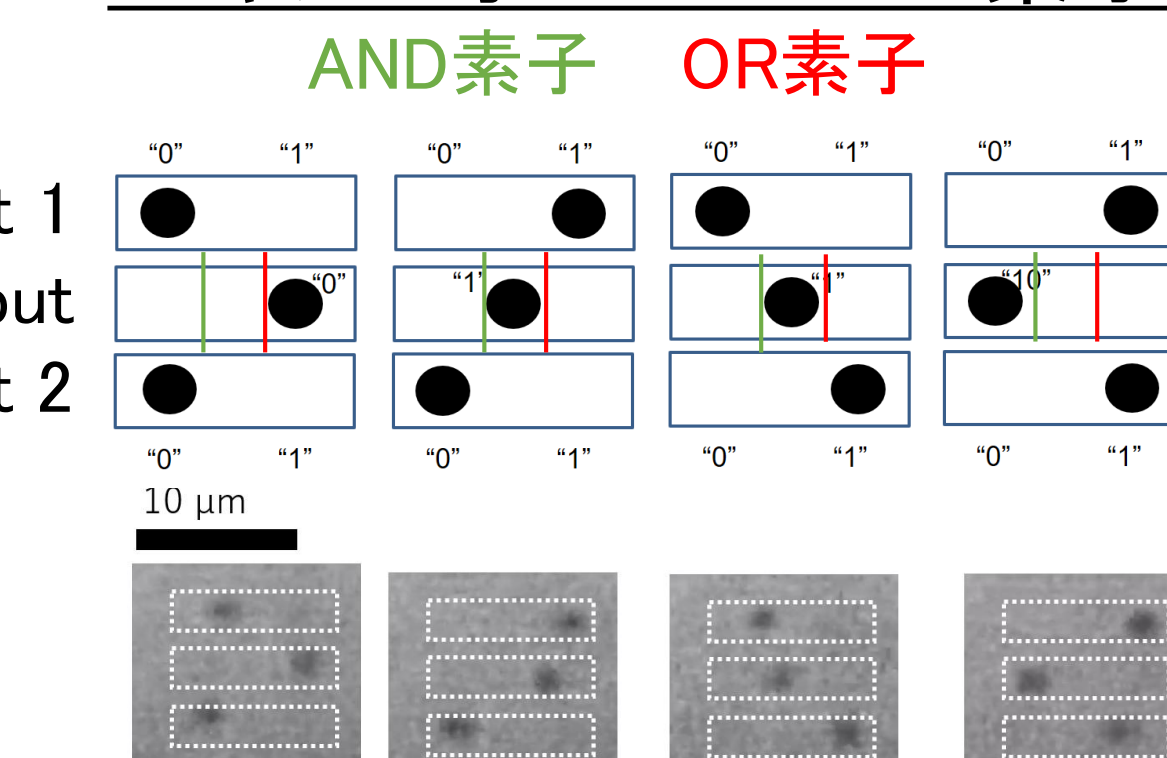
超薄膜SiO₂の追加成膜により回路とハブを実装

Y. Jibiki *M.G. et al.*, Appl. Phys. Lett, 117, 082402 (2020)

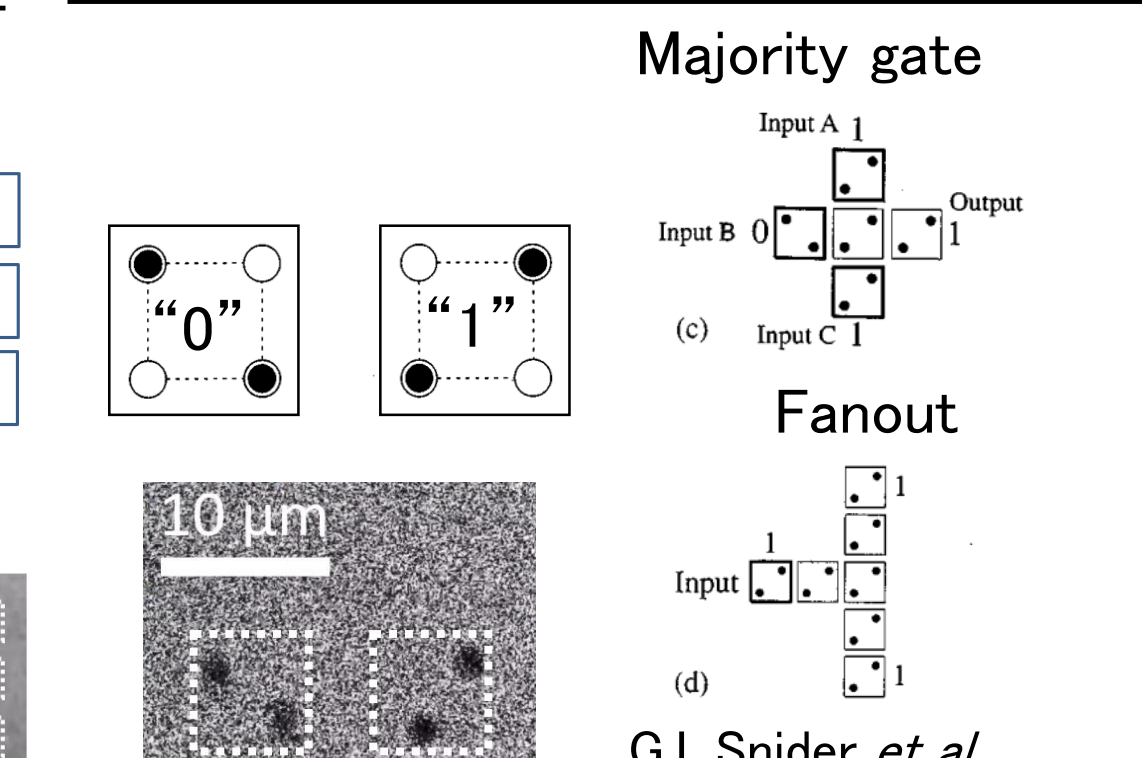
スキルミオンNOT素子



スキルミオンAND・OR素子

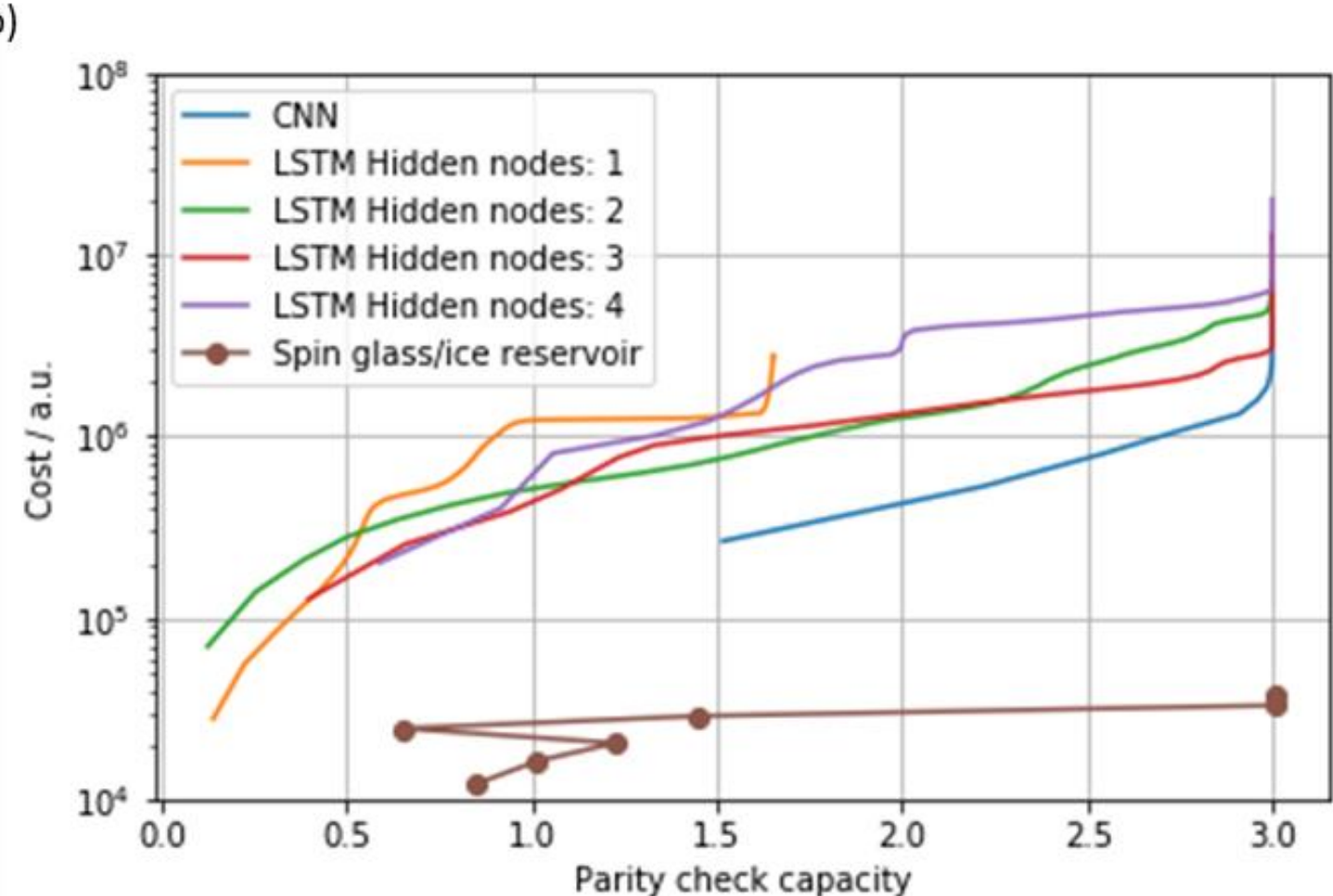
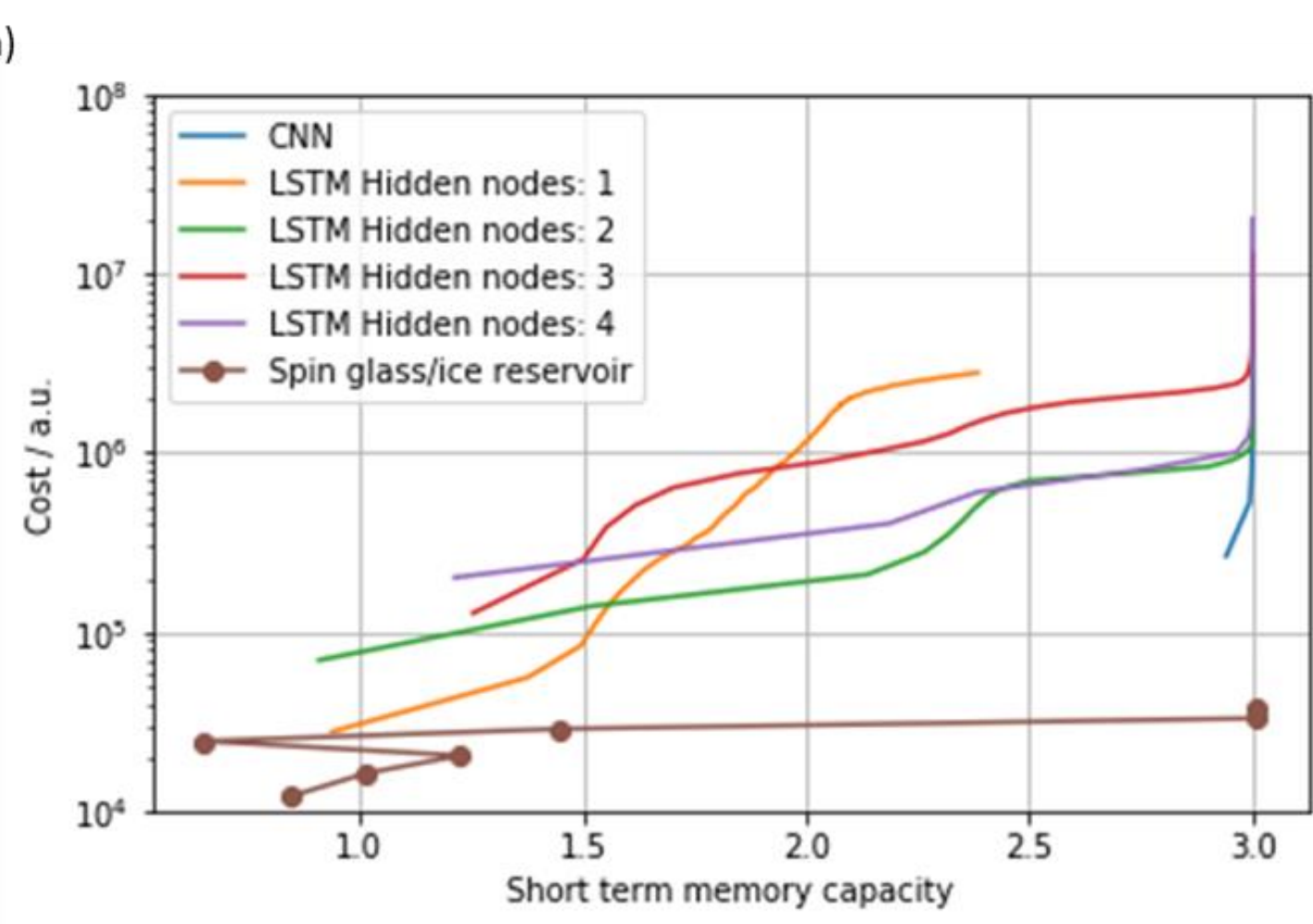


スキルミオン情報伝搬素子

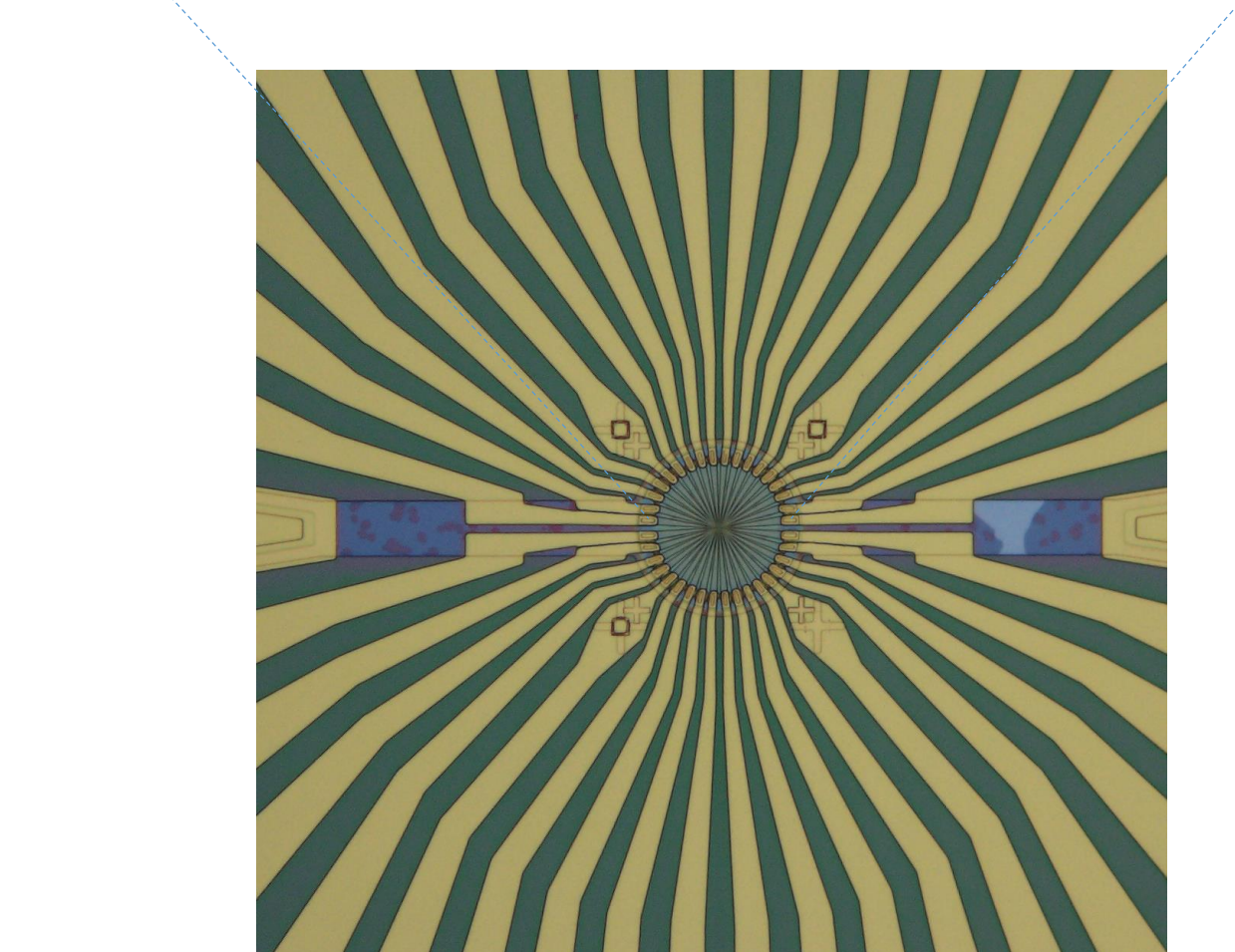
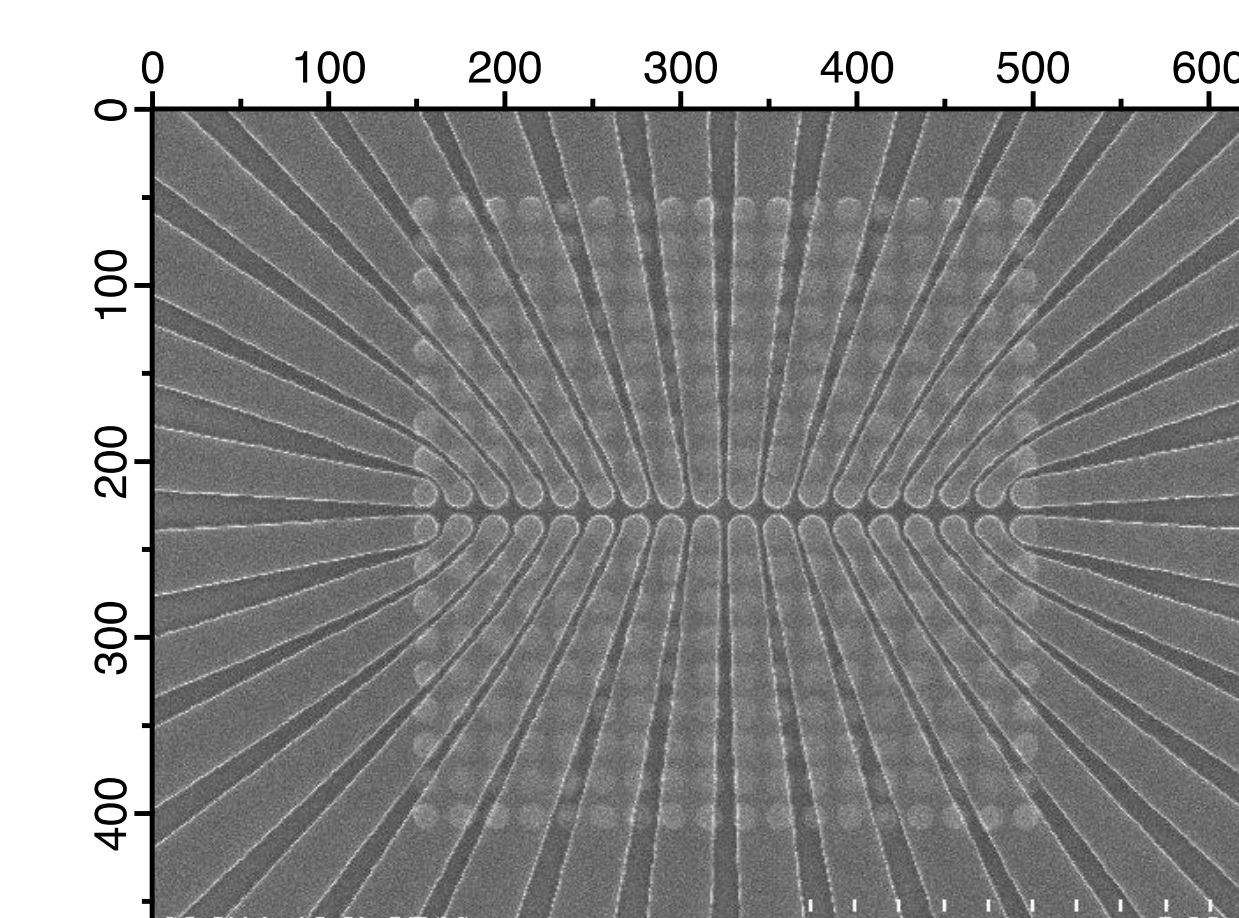


【結論】本研究ではスキルミオンの回路・ハブ・C-join・ラチェット・NOT・AND・OR・情報伝搬素子等の基盤技術を実現した。将来的に、これらは脳型計算器の基盤技術となる。

ナノマグネットアレイを用いたリザーバコンピューティングのシミュレーション結果の一例。(a)-(b)入力値、(c)-(e)教師データ、(f)-(h)リザーバコンピューティング結果。本リザーバにより教師関数を再現可能。H. Nomura, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 58, 070901 (2019)



リザーバ回路(Spin glass/ice reservoir)、CNN、LSTMを用いた際の(a) short term memory capacityならびに(b) parity check capacityに依存した学習に必要な計算コスト



電子線リソグラフィーを用いて作製したナノドットアレイリザーバと磁化状態検出用配線

【謝辞】

本研究開発は株式会社ULVACの補助及び総務省の委託を受けて実施したものです。

【本研究開発成果に関する連絡先】

ICTイノベーションフォーラム2020 ICT重点技術の研究開発プロジェクト 大阪大学・鈴木義茂 suzuki-y@mp.es.osaka-u.ac.jp