

超伝導磁束量子ビットを利用した Interconnection における結合調整に関する検討

Switching availability of interconnection utilizing the superconducting flux qubit

産総研 D-Tech¹, 富士通(株)量子研², ○才田大輔^{1,2}, 牧瀬圭正¹, 日高睦夫¹

AIST D-Tech¹, Fujitsu², °D. Saida^{1,2}, K. Makise¹, M. Hidaka¹

E-mail: saida.daisuke@aist.go.jp, saida.daisuke@fujitsu.com

我々は、超伝導磁束量子ビットを用いて、2次元及び2.5次元実装で量子アニーリング用の回路を作製してきた[1-3]。この手法では、拡張の単位となる基本格子を設計し、基本格子間を超伝導磁束量子ビット(connection qubit : CQ)で接続して回路を拡張する[3]。基本格子を論理回路で構成することで、Ground-state spin logic に基づいて、量子アニーリングで解くことができるハミルトニアンに変換することができる[4]。本手法の特徴は、ハミルトニアンと直接対応付く超伝導量子ビット回路を作製することである。これまでに、乗算器ユニットを基本格子として、格子間を CQ で接続することで、4-bit 因数分解回路の動作を検証してきた[3]。CQ は、基本格子を接続する結合器としての役割を担うものであり、ハミルトニアンを実装した格子にとっては、結合のオン特性が重要になると言える(Fig. 1(a))。一方で、回路の規模が大きくなった場合、ハミルトニアンの実装に寄与しない格子も存在し得る。その際には、結合のオフ特性が重要になる(Fig. 1(b))。CQ と格子内の量子ビットは誘導結合をしているため、CQ のオフ特性が不十分である場合、未使用の量子ビットからのクロストークが起き得る。今回、CQ による interconnection において、結合状態の切り替える方法を 10-mK の実験と simulation で検討した。

2つの超伝導磁束量子ビット(Q1, Q2)を CQ で結合させた試料を作製し、印加磁束による結合のオン特性の変調性を調査した。CQ に対する横磁場($\Phi_{\text{trans_CQ}}$)の印加方法を複数検討し、結合のオフ特性をシミュレーションで調査した。Q1 が 1-state をとる条件を採用して、Q2 に与える自己磁場の大きさを変調した。計算結果の一例を Fig. 1(c)に示す。11 は Q1 と Q2 が共に 1-state, 10 はそれぞれ 1-state と 0-state であることを表す。 $\Phi_{\text{trans_CQ}}$ を印加しない場合は、CQ で結合しない時(w/o coupling)から外れる傾向が見られた。一方、磁束量子(Φ_0)の半分の大きさでアニーリングした場合、w/o coupling と概ね一致し、結合を厳密にオフ状態にできることがわかった。CQ のエネルギーポテンシャルの形状を制御することで、結合状態を制御できることが示唆される。この知見を元に、ゲート方式の量子ビット(Transmon)を CQ で interconnect させる方法を新規に考案した。本手法は、2.5次元実装で2つの異なる種類の量子ビットを連携する新しいアイデアである。

References [1] D. Saida et al., *Sci. Rep.*, **12** (2022) 13669. [2] D. Saida et al., *Sci. Rep.*, **12** (2022) 15894. [3] 才田大輔他, 秋季応物, 21a-C201-6 (2022). [4] J. Whitfield et al., *EPL*, **99** (2012) 57004.

謝辞 この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(NPNP16007)の結果得られたものである。試料は、(国研)産業技術総合研究所の超伝導クリーンルーム CRAVITY において作製された。

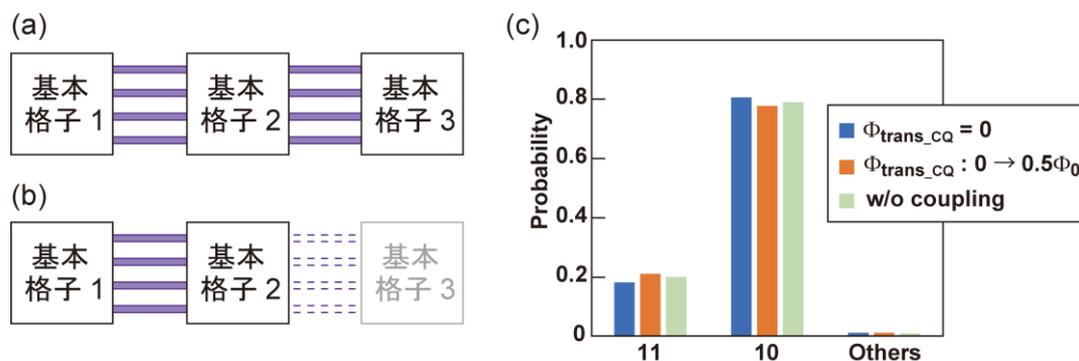


Figure 1(a) 基本格子が CQ(紫色)で接続された回路。(b)計算上、基本格子 3 が使われていない回路。CQ による結合をオフ状態にしない場合、クロストークが起き得る。(c)CQ を介して結合された 2つの量子ビットについて、結合をオフ状態にするための計算検証。w/o coupling は CQ を用いない場合であり、この結果に近い程、結合が厳密にオフ状態となっていることを表している。