超伝導磁束量子ビットを用いた量子アニーリング回路による乗算器の動作検討

Investigation of the Multiplier Composed of the Superconducting Flux Qubits for the Quantum Annealing

産総研 [1]，横浜国大 [2]　○才田大輔 [1]，日高睦夫 [1]，今福健太郎 [1]，平山文紀 [1]，永沢秀一 [1]，川畑史郎 [1]，山梨裕希 [2]

AIST. [1], YNU [2], °D. Saida [1], M. Hidaka [1], K. Imafuku [1], F. Hirayama [1], S. Nagasawa [1], S. Kawabata [1], Y. Yamanashi [2],

E-mail: saida.daisuke@aist.go.jp

我々は，超伝導磁束量子ビットを用いて，アプリケーションに特化した量子アニーリング回路を検討している[1-4]．この手法の特徴は，問題ハミルトニアンの形をそのまま回路へ実装することができるという点である．その結果，ハミルトニアンのエネルギースペクトルの関係を変えることなく解析することができるため，高い計算精度で解を得ることができると考えられる．これまでに基本論理ゲートを実装し，高い精度で解が得られることを実証してきた[2,4]．この技術を応用して因数分解回路を実現するため，基本ユニットとなる乗算器を作製して動作を検討した．

Figure 1(a)は，乗算器に対応するイジング模型のハミルトニアン(自己バイアス，結合係数)の関係を図示したものである．6 つの超伝導磁束量子ビットを用いて，イジング模型を超伝導回路へ実装した(Fig. 1(b))．(X, Y)を担う量子ビットは入力，(Z, D)を担う量子ビットはキャリー，(C, S)を担う量子ビットは出力に相当する．10 mK の実験において，この回路が乗算器として動作することを確認した．乗算器の出力(C,S)の値を固定して，その組み合わせを実現するための入力(X, Y)を求めることは，因数分解を行うことに相当する．Figure 1(c)は，実験(10 mK)と回路シミュレーション(SPICE)の双方で，因数分解を行った結果である．実験では得られる因数にやや偏りがみられたが，因数分解を行うことができることがわかった．この結果は，$(n\text{-}1)^2$ 個の乗算器ユニットを接続することで，n-bit の因数分解回路を実現できることを示唆していると考えられる．

References [1] M. Maezawa et al., JPSJ 88 (2019) 061012, [2] D. Saida et al., arXiv : 2106.08681, [3] 才田大輔他，秋季応物, 19a-E208-10 (2019), [4] D. Saida et al., 33rd International Symposium on Superconductivity (ISS2020) (2020).

謝辞 この成果は，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．本研究に使用されたデバイスは，(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．

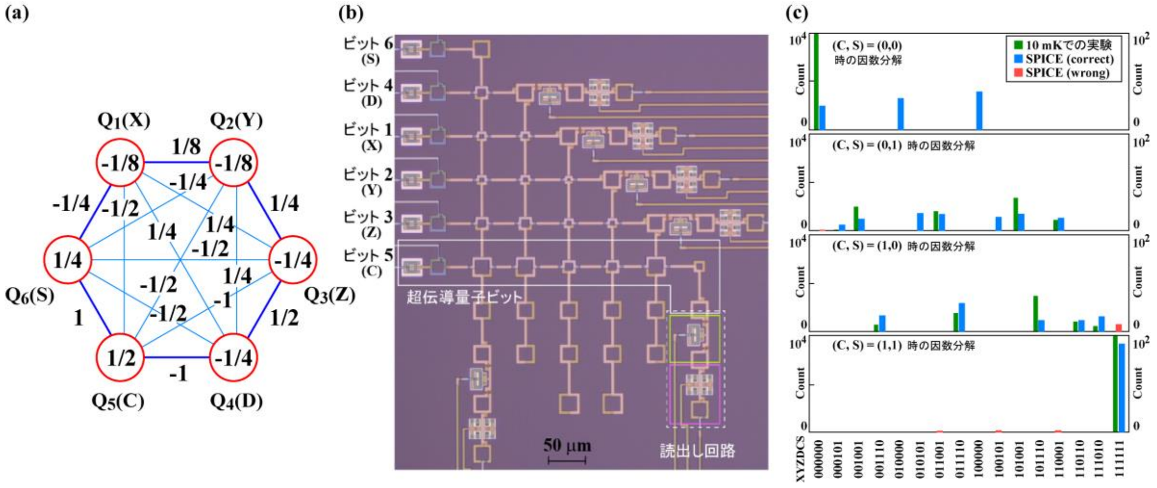

Figure 1(a) 2 bit 乗算器に対応するイジング模型のハミルトニアン．赤丸は自己バイアス(縦磁場)の係数，青線は相互作用に関する係数に対応する．(b) 6 つの量子ビットで構成された乗算器の超伝導回路．(c) 乗算器の出力(C,S)の値を固定して，その組み合わせを実現するための入力について，実験(10 mK)と回路シミュレーション(SPICE)の双方で求めた結果．因数分解を行っていることに相当する．(左軸は実験，右軸は SPICE)

© 2021年 応用物理学会