

電磁界解析とジョセフソン回路シミュレーションを利用したクロストークを回避するための量子ビット設計に関する検討

Design of superconducting qubit utilizing both electro-magnetic field analysis and Josephson circuit simulation toward crosstalk elimination

富士通(株)量子研¹ ○才田 大輔¹, 廣瀬 真一¹, 川野 浩康¹, 阿部 徹¹,

高馬 悟覚¹, 近藤 大雄¹, 土肥 義康¹, 佐藤 信太郎¹

FUJITSU¹, °Daisuke Saida¹, Shinichi Hirose¹, Hiroyasu Kawano¹, Toru Abe¹,

Norinao Kouma¹, Daiyu Kondo¹, Yoshiyasu Doi¹ and Shintaro Sato¹

E-mail: saida.daisuke@fujitsu.com

ゲート型超伝導量子回路では、回路規模の拡張性を有し、電荷揺らぎの影響を受けにくい構造として、Transmon 型量子ビット(Qubit)が広く用いられている[1]。量子ビットの状態は、容量結合された共振器(Resonator)を介して読み出される。我々は、回路の拡張性を容易にすることを念頭に、量子ビットと共振器が接続された構造を4つ組み合わせて単位格子を構成している。単位格子を2次元平面上に並べ、量子ビット間を容量結合することで回路を拡張する。例えば、64量子ビットを実装する超伝導量子回路では、16個の単位格子が2次元平面上に配置される。この時、量子ビット間は容量を介して接続されているため、隣り合う量子ビットの間だけでなく、遠方にある量子ビットの影響も受け得る(クロストーク)。クロストークは、量子ビットの状態操作における正確さ(fidelity)に影響するため、原因を同定し、対策を検討できるようにすることが重要である。クロストークの原因を同定するための施策として、従来の電磁界解析(COMSOL[2])を行うと共に、我々はジョセフソン回路シミュレータ(JSIM[3])を併用する方法を検討した。JSIMでは、ジョセフソン接合を非線形インダクタンスとして取り扱う。ゼロ点振動状態が維持されるような電流信号を与えた時に、基底状態にある量子ビットと共振器にそれぞれ流れる内部電流を計算した。

図1(a)は量子ビットと共振器のレイアウト構造の一例である。各共鳴周波数が4.8 GHzと7.2 GHzとなるように、形状や構成を調整した[4]。図1(b)はCOMSOLで計算した固有周波数のモード解析結果である。量子ビットと共振器の共鳴周波数に対応するモードが確認できる。図1(c)は、JSIMの計算で得られた共振器の内部電流をフーリエ解析したものである。2つのピークは4.8 GHzと7.2 GHzに一致した。この例は1量子ビットの系であるが、量子ビット間を容量結合させたモデルに対して同様の方法を適用することで、クロストークの存在に対して、電磁界計算による固有周波数のモード解析以外に内部電流という視点でも考察できるようになり得ると考えている。今回設計したレイアウト構造に対して、素子試作と10 mKでの特性評価を行う予定である。

参考文献 [1] J. Koch et al., *Phys. Rev. A* **76** (2007) 042319., [2] <https://kesco.co.jp/comsol/>, [3] E. Fang and T. Duzer, *Proc. Ext. Abstr. 2nd Int. Supercond. Electron. Conf.*, (1989) 407. [4] J. Hertberg et al., *npj | Quant. Inf.*, **7** (2021) 129.

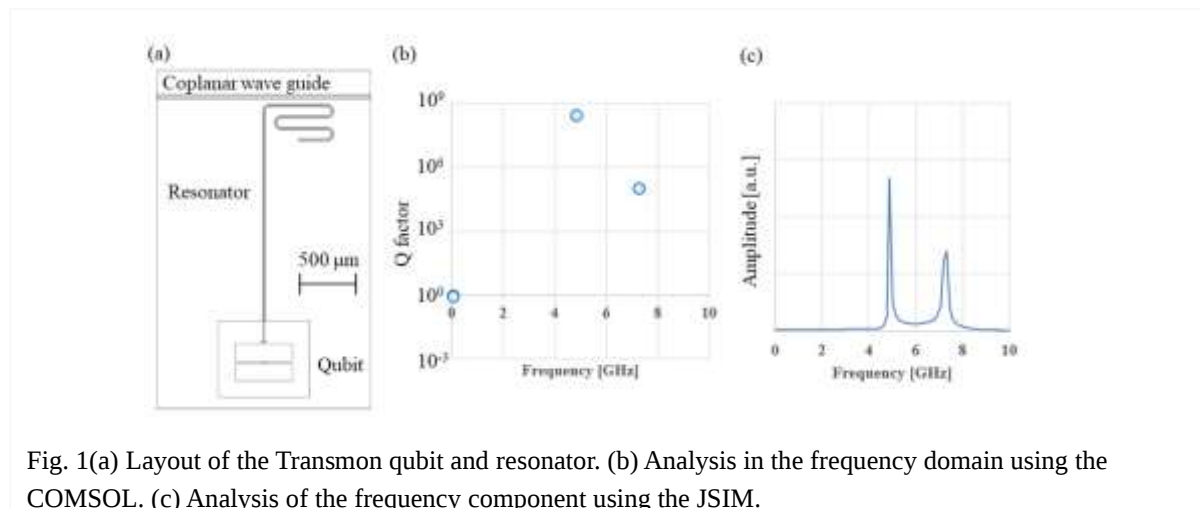


Fig. 1(a) Layout of the Transmon qubit and resonator. (b) Analysis in the frequency domain using the COMSOL. (c) Analysis of the frequency component using the JSIM.