

平成 30 年度 卒業論文
空洞量子電磁力学実験のための
マイクロ波空洞共振器の設計

小松 優基

2019 年 2 月 19 日

目次

第 1 章	序論	3
1.1	研究背景	3
1.1.1	量子コンピューターの課題	3
1.1.2	ジョセフソン接合	3
1.1.3	固有ジョセフソン接合	3
1.2	章構成	4
第 2 章	序論	5
2.1	はじめに	5
2.2	目的	5
2.3	章構成	5

論文概要

提出日 2019 年 2 月 20 日

専攻 物理・数理学科

指導教員 北野 晴久教授

学籍番号 15115062

氏名 小松優基

論文題目 空洞量子電磁力学実験のためのマイクロ波空洞共振器の設計

論文要旨

量子コンピューターに使われる量子ビットの有力候補の一つに「超伝導回路」によるものがある。超伝導回路ではジョセフソン接合を用いて量子もつれ状態を実現しているが、情報の保存時間であるコヒーレンス時間が現在数十マイクロ秒程度であり、0.1K 以下の極低温下でしか動作しないなどの課題も多い。北野研究室では、2015 年度の結果から、固有ジョセフソン接合 (IJJ) 素子の高次スイッチ現象において、41.5GHz のマイクロ波照射下でスイッチング電流分布の二重ピーク構造が観測され、離散化したエネルギー準位の形成が示唆された。前述の課題解決に向けて高温超伝導体の IJJ を用いた超伝導量子ビットの実現を目指し、本研究では、40 GHz における、空洞量子電磁力学実験 (cavity QED) を行うためのマイクロ波空洞共振器の設計を電磁界解析シュミレータ (MW-Studio, CST 社) を用いて行った。本研究では、同軸ケーブルとの結合を考慮し 37.51GHz で共振周波数を変化させる機能を持った共振器の設計ができた。今後の課題として、より高い Q 値になるように、電磁場の結合方法を探していくことが必要となる。また、シミュレーションのみでは微小な試料を入れた際の応答までは計算できないため、実際に今回試したモデルを元に空洞共振器を試作し、共振器自体の特性を調査する必要がある。

第 1 章

序論

1.1 研究背景

1.1.1 量子コンピューターの課題

近年、量子コンピューターが話題に上がることが多くなってきた。量子コンピューターは超並列計算機とも呼ばれ、因数分解、最適化計算に優れるため、同時に話題になっている AI（ディープラーニング）やビッグデータなどとの相性が良いことがその一因であることが考えられる。既に商用化された量子コンピュータもあるが、まだまだ課題は多い。量子コンピューターの動作原理である量子ビットには量子性を保ち制御できる仕組みが必要だが、現在それができる仕組みは多くなく、実用化に至るには様々な制約がある。その中で、最も有力だと言われているものが「超伝導回路」による量子ビットである。超伝導回路ではジョセフソン接合を用いて量子もつれ状態を実現しているが、情報の保存時間であるコヒーレンス時間が現在数十マイクロ秒程度であり、極低温下でしか動作しないなどの課題も多い。北野研究室では、その課題解決に向けて高温超伝導体の固有ジョセフソン接合 (IJJ: Intrinsic Josephson Junction) を用いた超伝導量子ビットの実現を目指している。

1.1.2 ジョセフソン接合

二つの超伝導体が弱く結合した接合をジョセフソン接合と呼ぶ。超伝導状態では、2つの電子が引力相互作用によりクーパー対を形成し、そのクーパー対の状態が巨視的な数重ね合わさり、一つの状態で記述することができるようになる。この状態を記述する関数を、巨視的波動関数と呼ぶ。ジョセフソン接合では2つの（巨視的波動関数の位相が）異なった超伝導体間に薄い絶縁体を挟むなどして弱く結合することにより、その2つの接合にトンネル電流が流れるという現象が見られる。

以下に模式図を示す。2つの超伝導体の位相差を $\Delta\theta$ とすると、そこに流れる超伝導電流は以下のように記述できる。

$$I = I_c \sin \Delta\theta$$

1.1.3 固有ジョセフソン接合

超伝導体となる物質の中には、その物質の内部に絶縁体と超伝導が非常に薄い層状に重なっている構造をもつものが存在する。そのような物質はその層間にジョセフソン接合があると視做することができる。これを固有ジョセフソン接合と呼ぶ。

以下にその例として、Bi2212 の構造を示す。

1.2 章構成

あのイーハトーヴォのすきとおった風、夏でも底に冷たさをもつ青いそら、うつくしい森で飾られたモリーオ市、郊外のぎらぎらひかる草の波。

第 2 章

序論

2.1 はじめに

あのイーハトーヴォのすきとおった風、夏でも底に冷たさをもつ青いそら、うつくしい森で飾られたモリーオ市、郊外のぎらぎらひかる草の波。

2.2 目的

あのイーハトーヴォのすきとおった風、夏でも底に冷たさをもつ青いそら、うつくしい森で飾られたモリーオ市、郊外のぎらぎらひかる草の波。

2.3 章構成

あのイーハトーヴォのすきとおった風、夏でも底に冷たさをもつ青いそら、うつくしい森で飾られたモリーオ市、郊外のぎらぎらひかる草の波。