

2020 年度 修士論文

# 超伝導準集中定数回路を用いた 高強度結合素子の作成

2020 年 11 月 21 日

東京理科大学大学院 理学研究科物理学専攻 蔡研究室  
(学籍番号 1219537)

宮永 崇史

東京理科大学大学院 理学研究科物理学専攻

# 第 1 章

## SSSSZS 序論

2 llsssss この章で従来の [1] 量子アニーリング手法について簡便に解説したのち、今福さんによる新手法の意義、方法について述べる。

### 1.1 アニーリング量子計算 sss

基底状態探索として近年量子アニーリングという手法がよく使われている。この計算手法は駆動ハミルトニアンを  $V$  と定義したときに系のハミルトニアンを

$$\hat{H}(t) = s(t)\hat{H} + (1 - s(t))\hat{V} \quad (1.1)$$

と定義する。初期状態は  $t = 0$  で  $s(t) = 0$ 、 $t = t_f$  で  $s(t_f) = 1$  であることに注意する。量子力学の断熱定理によれば系の初期状態を初期ハミルトニアン  $V$  で用意すれば逐次的にハミルトニアンを変動させることで  $t = t_f$  ではハミルトニアン  $H_f$  において基底状態を実現することができるというものである。

上式によればエネルギー gap が小さければ小さいほ

## 第 2 章

# Appendix

ここで dl は、卒業論文 sssssss 本旨に j は記載 eee しなかった計算の類をまとめておく。

### .1 Appendix

ここでは、Hamiltonian の変換を行う。

$$\hat{\mathcal{H}} = \hbar \begin{pmatrix} \hat{a}^\dagger & \hat{b}^\dagger \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_a & g(\Phi) \\ g(\Phi) & \tilde{\omega}_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$= \hbar \tilde{\omega}_a \hat{a}^\dagger \hat{a} + \hbar \tilde{\omega}_b \hat{b}^\dagger \hat{b} + \hbar g(\Phi) (\hat{a}^\dagger \hat{b} + \hat{a} \hat{b}^\dagger) \quad (2)$$

$$\hat{c}_\pm = \frac{\hat{a} \pm \hat{b}}{\sqrt{2}} \quad \hat{c}_+^\dagger = \frac{\hat{a}^\dagger \pm \hat{b}^\dagger}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$\hat{a}^\dagger = \frac{\hat{c}_+^\dagger + \hat{c}_-^\dagger}{\sqrt{2}} \quad \hat{b} = \frac{\hat{c}_+^\dagger - \hat{c}_-^\dagger}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\hat{a} = \frac{\hat{c}_+ + \hat{c}_-}{\sqrt{2}} \quad \hat{b} = \frac{\hat{c}_+ - \hat{c}_-}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{a} = \frac{1}{2} (\hat{c}_+^\dagger + \hat{c}_-^\dagger) (\hat{c}_+ + \hat{c}_-) \quad \hat{a}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} (\hat{c}_+^\dagger + \hat{c}_-^\dagger) (\hat{c}_+ - \hat{c}_-) \quad (6)$$

$$\hat{b} \hat{b} = \frac{1}{2} (\hat{c}_+ + \hat{c}_-) (\hat{c}_+ - \hat{c}_-) \quad \hat{a} \hat{b}^\dagger = \frac{1}{2} (\hat{c}_+ + \hat{c}_-) (\hat{c}_+^\dagger - \hat{c}_-^\dagger) \quad (7)$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{a} = \frac{1}{2} [\hat{c}_+^\dagger \hat{c}_+ + \hat{c}_+^\dagger \hat{c}_- + \hat{c}_-^\dagger \hat{c}_+ + \hat{c}_-^\dagger \hat{c}_-] \quad (8)$$

$$\hat{b}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} [\hat{c}_+^\dagger \hat{c}_+ - \hat{c}_+^\dagger \hat{c}_- - \hat{c}_-^\dagger \hat{c}_+ + \hat{c}_-^\dagger \hat{c}_-] \quad (9)$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} [\dot{\hat{c}} + \hat{c}_t - \hat{c}_t \hat{c}_- + \hat{c}_-^+ \hat{c}_t - \hat{c}_-^+ \hat{c}_-] \quad (10)$$

$$\hat{a} \hat{b}^\dagger = \frac{1}{2} [\hat{c}_+ \hat{c}_+^4 - \hat{c}_+ \hat{c}_\pm + \hat{c}_- - \hat{c}_+^2 - \hat{c}_- - \hat{c}_-] \quad (11)$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2} \hat{w}_a [\hat{c}_t^+ \hat{c}_+ + \hat{c}_t^+ \hat{c}_- + \hat{c}_-^+ \hat{c}_t + \hat{c}_-^+ \hat{c}_-] \quad (12)$$

$$+ \frac{\hbar}{2} \hat{w}_b [\hat{c}_+^+ \hat{c}_+ - \hat{c}_+^+ \hat{c}_- - \hat{c}_-^+ \hat{c}_+ + \hat{c}_-^+ \hat{c}_-] \quad (13)$$

$$+ \frac{\hbar}{2} g [2\hat{c}_+ + \hat{c}_+ - 2\hat{c}_- \hat{c}_-] \quad (14)$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2} (\hat{w}_a + \hat{w}_b + 2g(\Phi)) \hat{c}_t^+ \hat{c}_+ + \frac{\hbar}{2} (\hat{w}_a + \hat{w}_b - 2g(\Phi)) \hat{c}_-^+ \hat{c}_- \quad (15)$$

$$+ \frac{\hbar}{2} A (\hat{w}_a - \hat{w}_b) (\hat{c}_t + \hat{c}_- + \hat{c}_+ \hat{c}_-) \quad (16)$$

$$\omega_a + \bar{c}_b + 2g(\Phi) = \Omega_+ \quad (17)$$

$$\omega_a + \bar{c}_b - 2g(\Phi) = \Omega_- \quad (18)$$

$$\hat{w}_a - \hat{w}_b = \Delta \quad (19)$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2} \Omega + \hat{c}_+ + \hat{c}_- + \frac{\hbar}{2} \Omega - \hat{c}_\pm \hat{c}_\pm + \frac{\hbar}{2} \Delta (\hat{c}_+ + \hat{c}_- + \hat{c}_+ \hat{c}_-^+) \quad (20)$$

$$- \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} \hat{c}_+ & \hat{c}_\pm \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_1 & \Delta \\ 2 & \Omega_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{c}_+ \\ \hat{c}_- \end{pmatrix} \quad (21)$$

## 2 結合素子の諸々計算

dc-SQUID のインダクタンスは

$$L_s(\Phi) = \frac{\Phi_0}{4\pi I_c |\cos(\phi_-^{min}(\Phi_{ext}))|} \quad (22)$$

と記述することができる。

$$\Phi = \Phi_{ext} + L_{loop} \quad (23)$$

$$\beta_{dc} = \frac{2\pi L_{loop} I_c}{\Phi_0} \quad (24)$$

とすると。

## 参考文献

- [1] Y. Nakamura, Y. A. Pashkin, and J. Tsai, “Coherent control of macroscopic quantum states in a single-cooper-pair box”, [nature](#) **398**, 786 (1999).