

### 背景及び目的

#### ●超伝導量子ビットの光接続

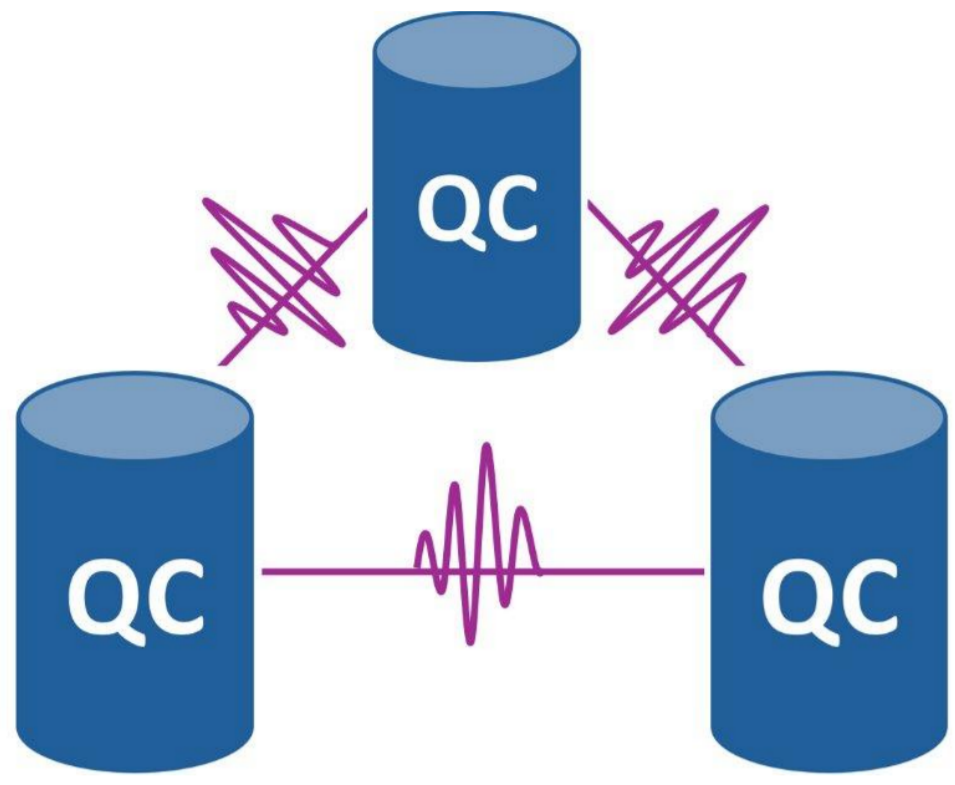
光 = マイクロ波(~GHz)と比較して**広帯域(~10 THz)**

##### ▶配線数削減

マイクロ波より**5桁程度エネルギーが高い**

##### ▶室温でも伝播可能

→ 室温の配線を伴う分散量子計算が可能



#### ●光-マイクロ波間の量子波長変換

##### ・色中心オプトメカ方式

フォノン(~GHz帯)と歪み感受率の高い色中心を用いて、フォノン-光変換の結合をより強く

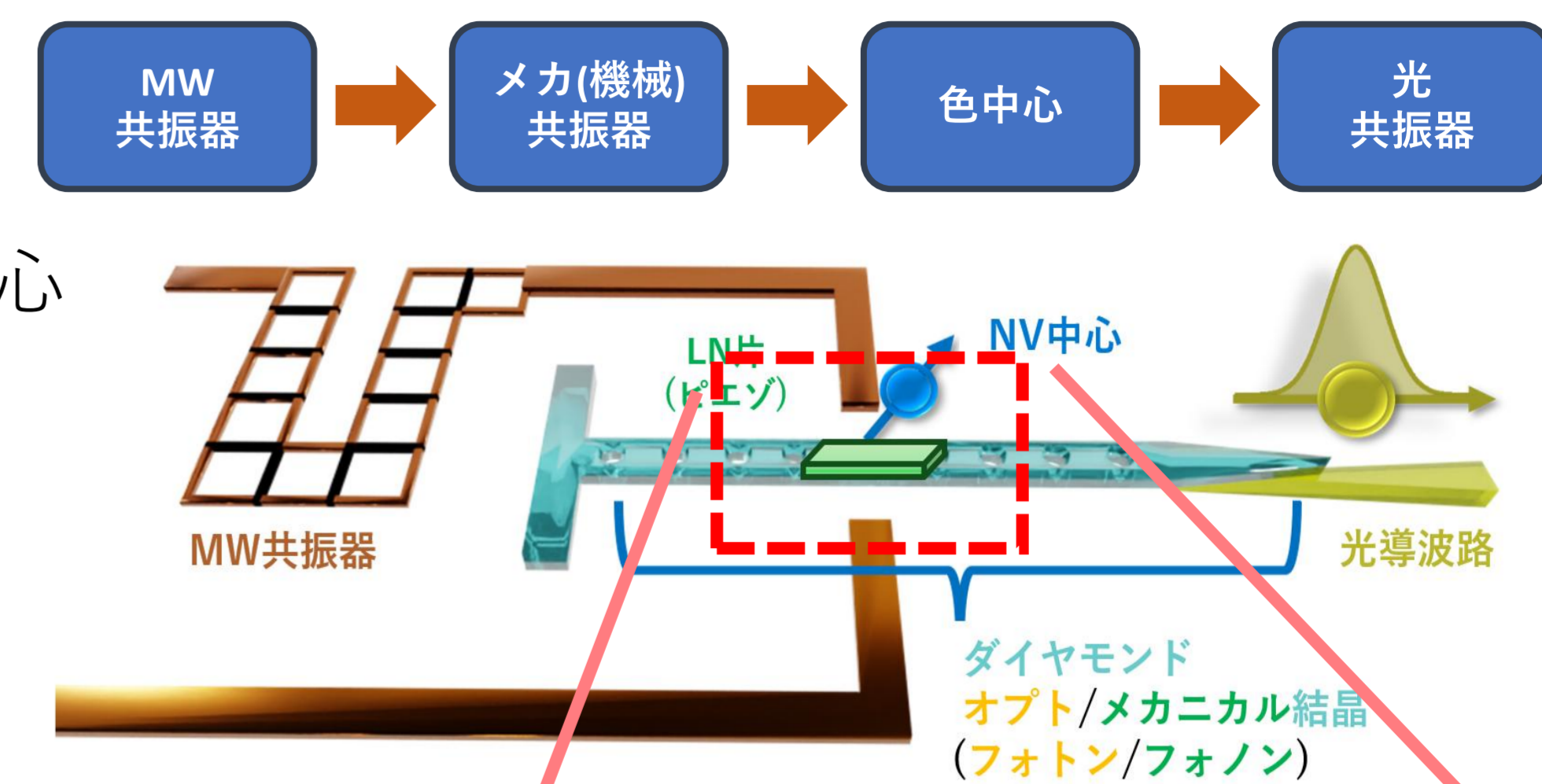
##### ▶弱いポンプで変換可能

→ 理論上は付加ノイズ  $\ll 1$  の量子波長変換が可能

##### 目的

色中心オプトメカ方式の量子トランスデューサの開発に向けた要素技術としての周波数可変超伝導マイクロ波共振器の開発

- ・ 電場結合 → 高Q値、高インピーダンス
- ・ 周波数一致 → 周波数可変性



### 理論

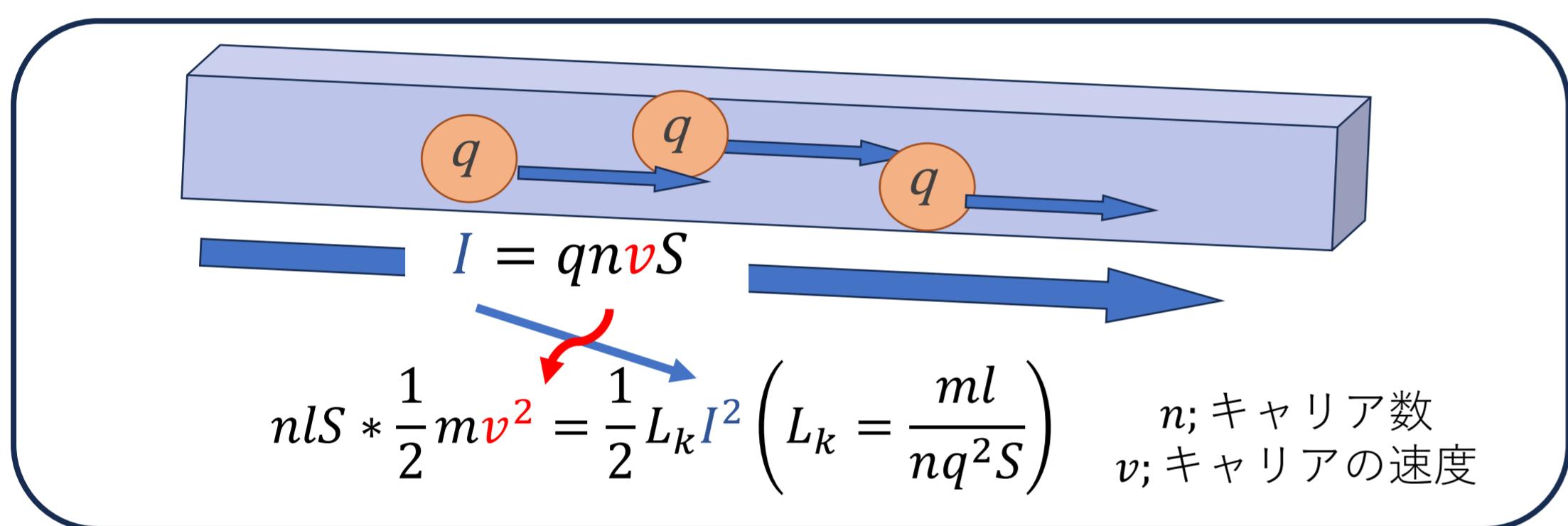
#### ●力学的インダクタンス

超伝導LC共振器

電場と磁場にエネルギー

+ 力学的エネルギー (キャリアが速くなる)

→ 力学的インダクタンス



#### ●周波数可変

超伝導体キャリア(クーパー対)は磁場(遮蔽電流)によって減ることが知られている

→ キャリア数の減少で  $L_k$  が増加

→ 共振周波数が低周波側へシフト

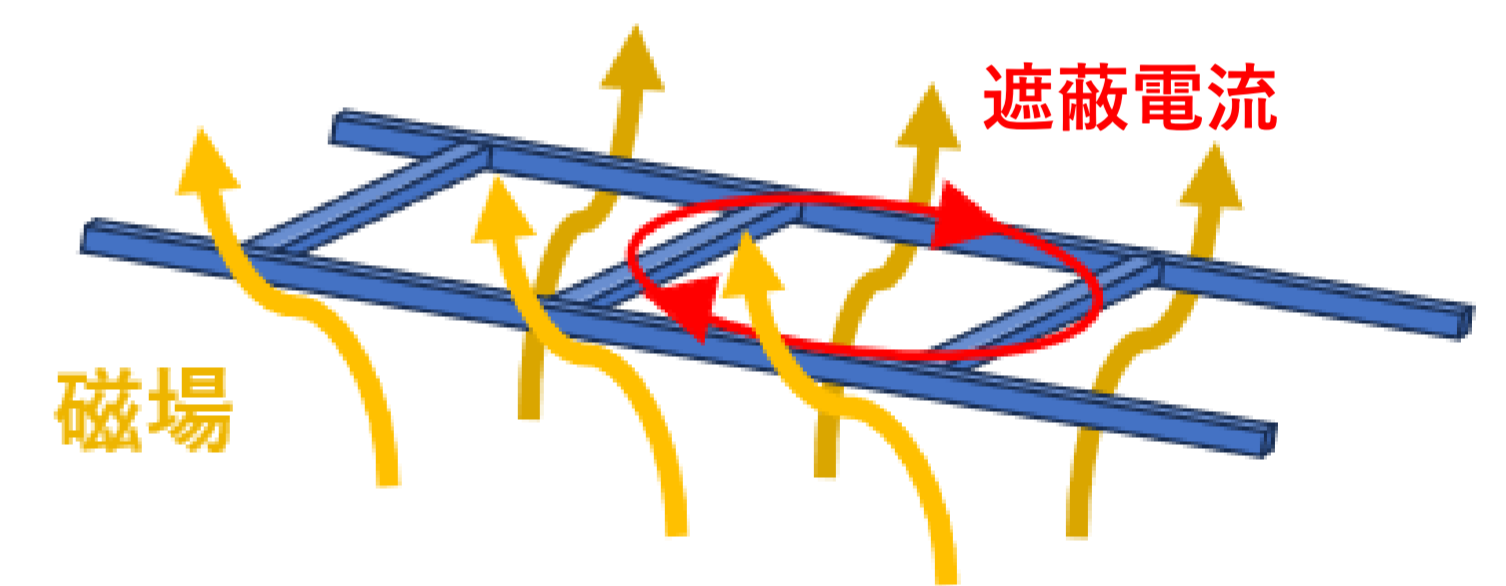
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{C(L_g + L_k)}}$$

磁場で変化

#### ●磁場感受性を高めるラダー構造

ラダー構造の隙間への磁場も遮蔽電流でキャンセル

→ キャリア数を変えずに結合面積のみを増やす



### サンプル情報及び測定結果

#### ●サンプル情報

基板: Si

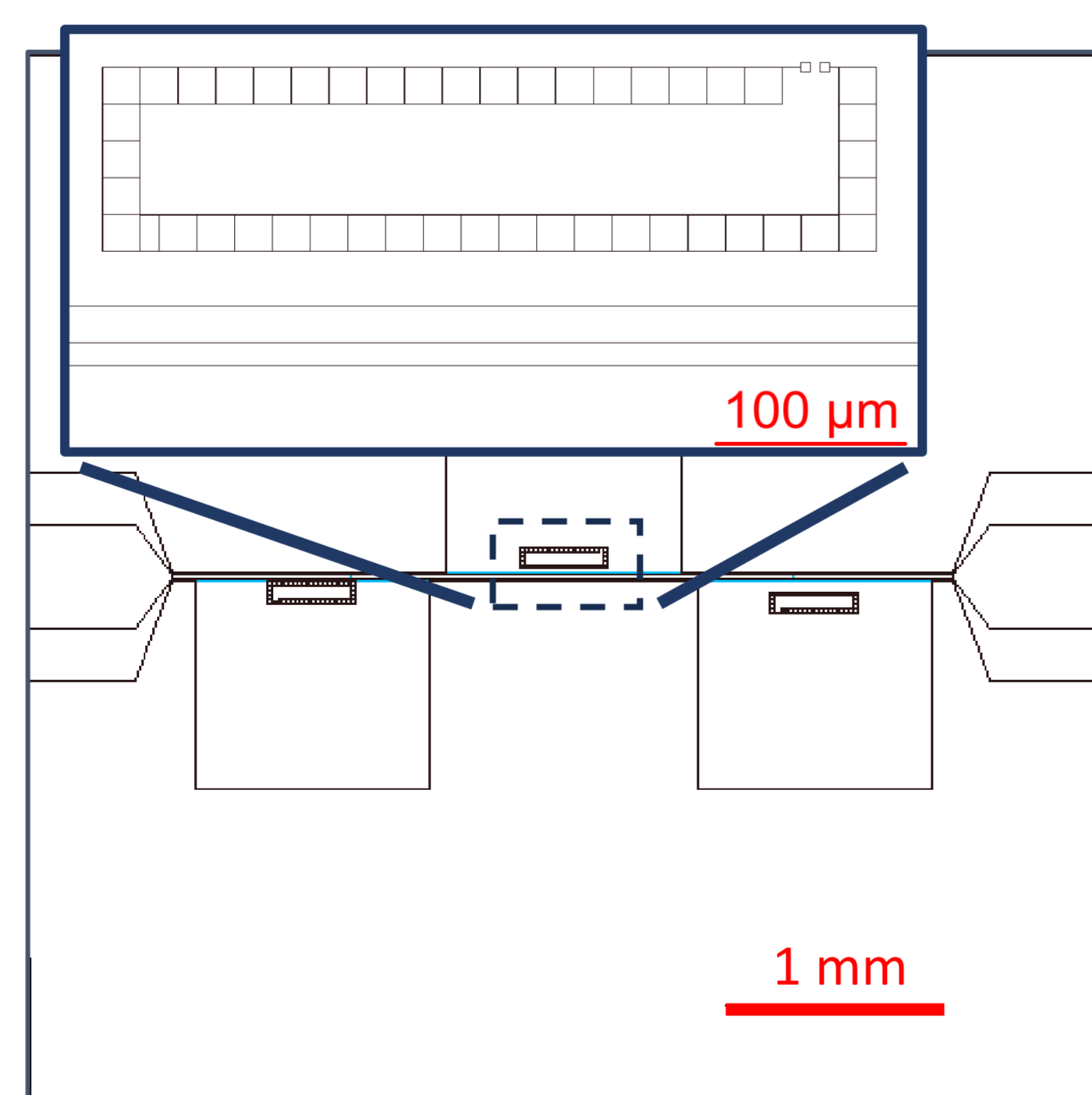
パターン: TiNbn

→ キャリア密度 低

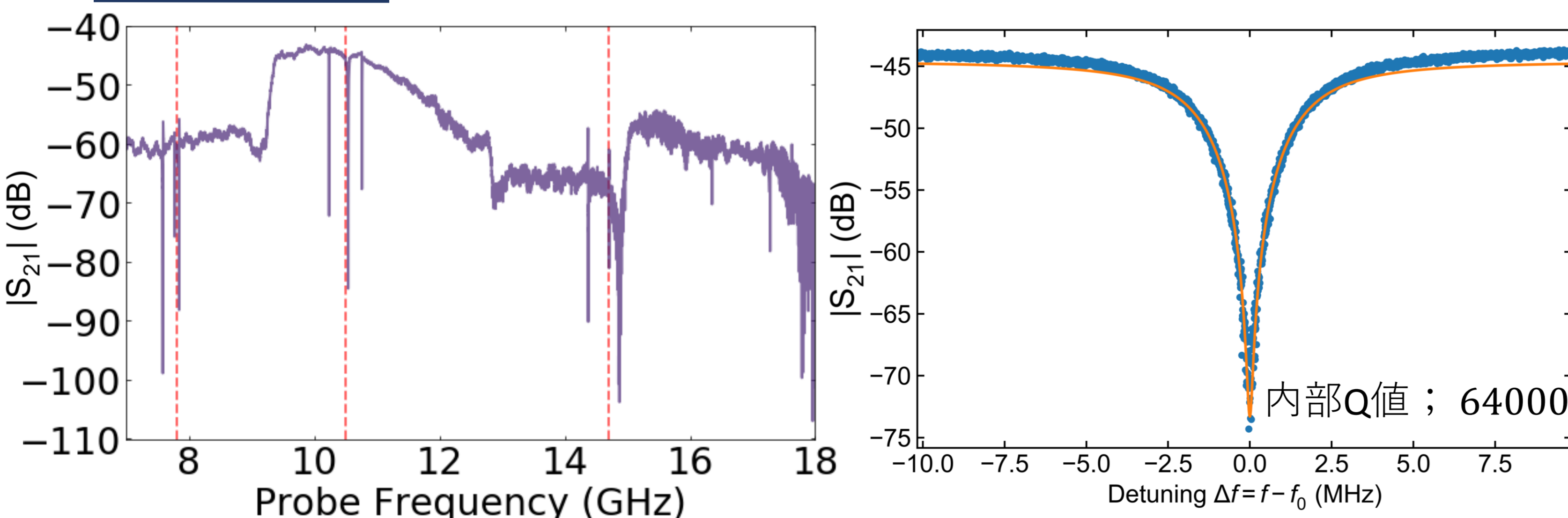
インピーダンス

$$Z = \sqrt{L/C} \cong \omega L_k = 4400 \Omega$$

周波数操作用の磁場はサンプル面に垂直に印加した



#### ●無磁場応答

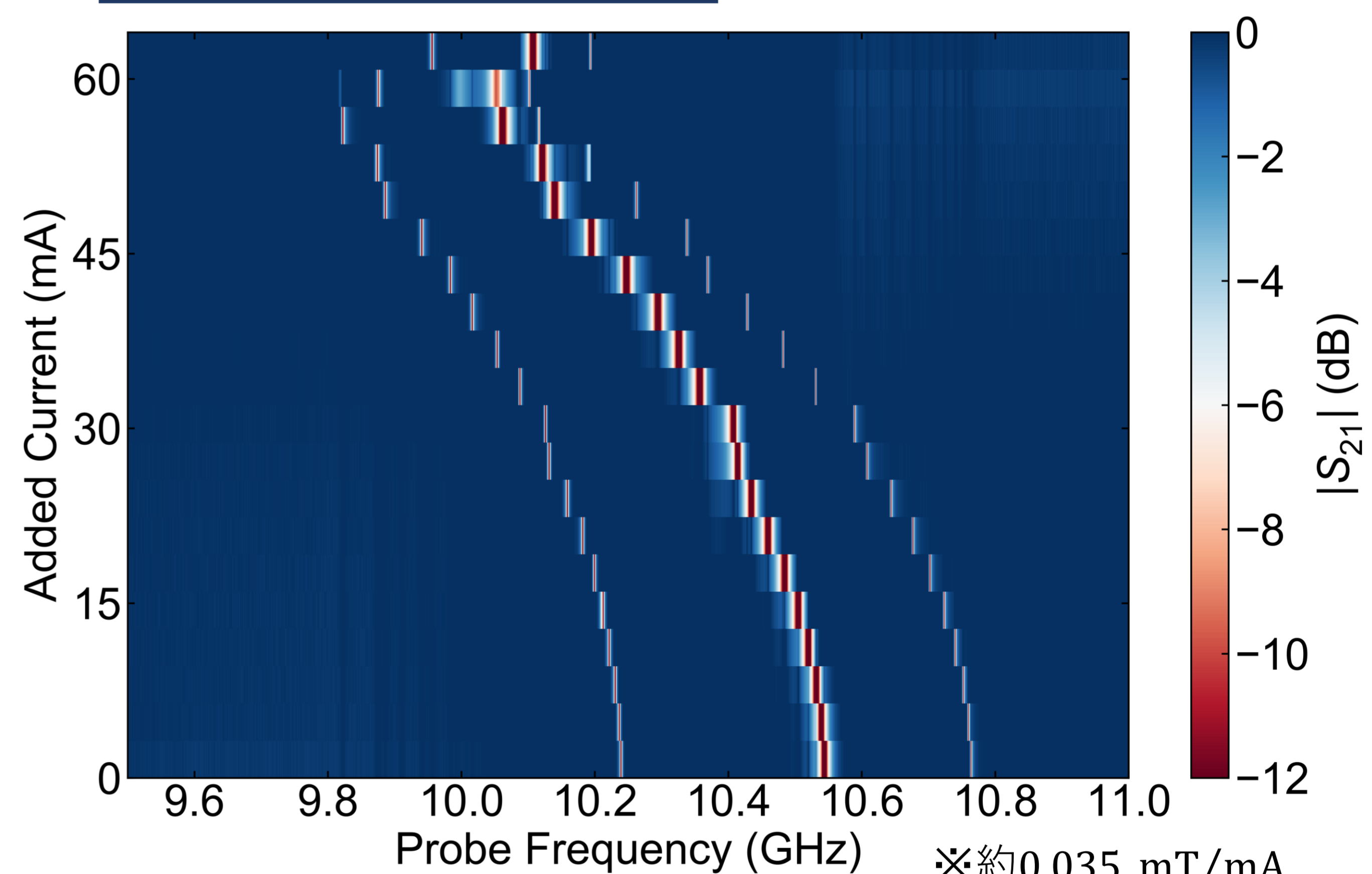


※赤線はシミュレーションの2,3,4次モード

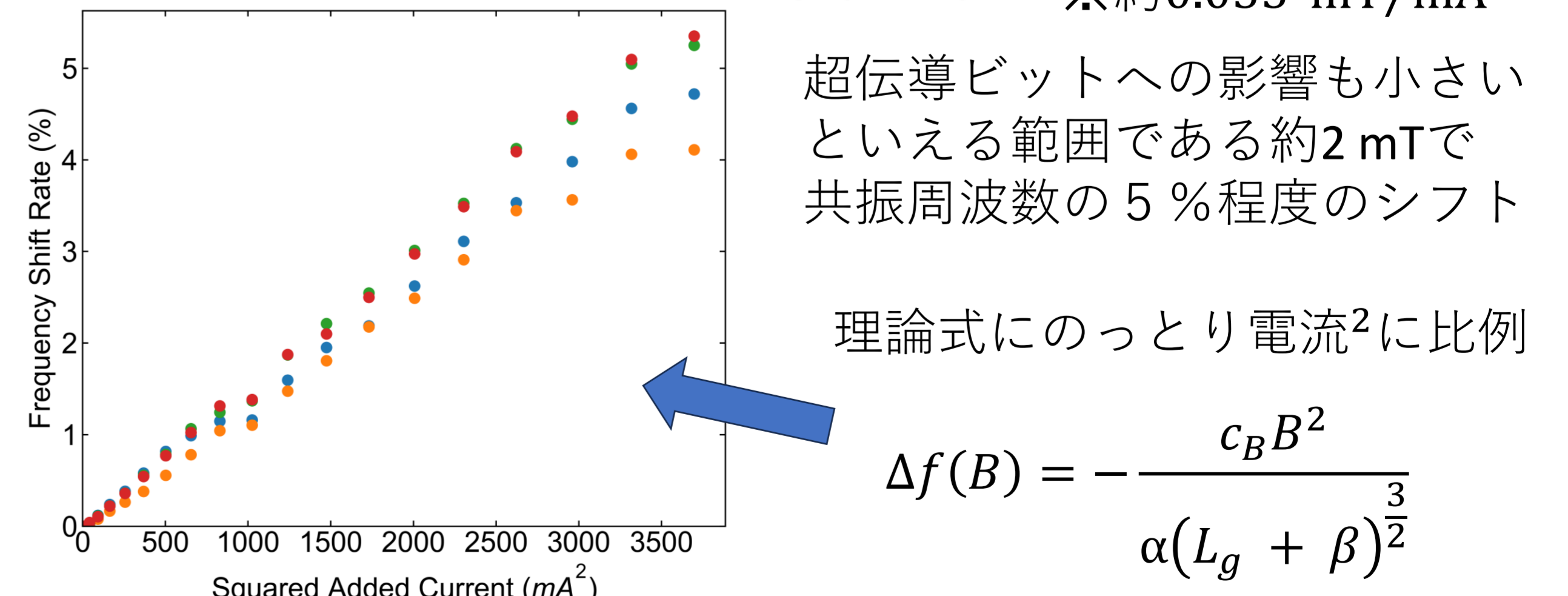
$f_0 = 10.239 \text{ GHz}$

共振器が3つ結合しているためシミュレーション結果に対して複数モード見える

#### ●磁場による周波数シフト



※約0.035 mT/mA



超伝導ビットへの影響も小さいといえる範囲である約2 mTで共振周波数の5%程度のシフト

理論式にのっとり電流<sup>2</sup>に比例

$$\Delta f(B) = -\frac{c_B B^2}{\alpha(L_g + \beta)^2}$$

### 考察

#### 内部Q値について

▶ インピーダンスから求まる、結合レート(50~100MHz)と比較して十分低ロス(約150kHz)。

#### シフト量について

▶ 先行研究<sup>\*</sup>(3.5%)と同程度。メカモードの歩留まり次第だが十分といえる程度だと思う。

<sup>\*</sup> Xu et al., Appl. Phys. Lett. 114, 192601 (2019).

### 謝辞

サンプル提供していただいた、NICTの寺井氏に感謝します。

本研究は、JST「ムーンショット型研究開発事業」(JPMJMS2062)、JST CREST grant (JPMJCR1773)、科研費基盤研究(S)、挑戦的研究(開拓)の支援を得た。