

## 固有ジョセフソン接合を用いたテラヘルツ波発振素子の放射特性の解析

## Evaluation of radiation properties in THz-wave oscillators using intrinsic Josephson junctions

防衛大・電気電子 ○立木 隆, 内田貴司

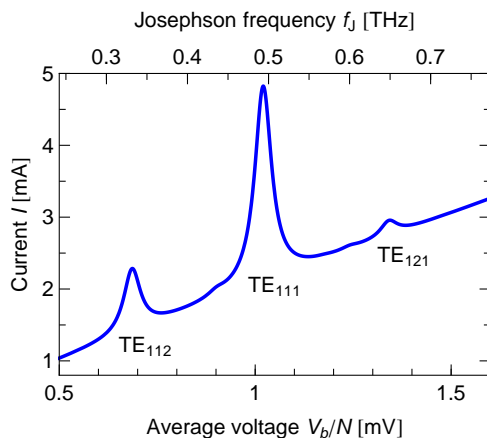
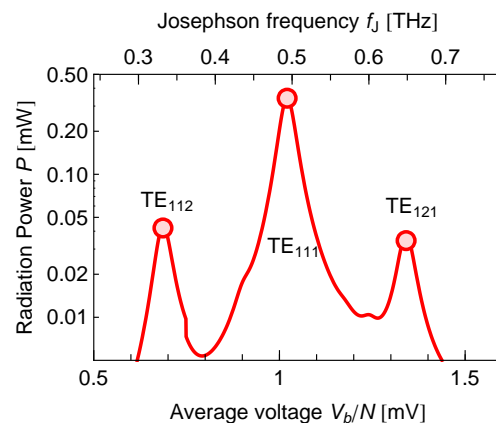
National Defense Academy ○Takashi Tachiki, Takashi Uchida

E-mail: tachiki@nda.ac.jp

はじめに  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  固有ジョセフソン接合を用いた発振素子は 0.3 ~ 1.0 THz 付近までのテラヘルツ波を連続発振することができる。我々は、これまで同素子の高出力化に向けてメサ構造内のキャビティ共振を理論的に検討し、実験で得た発振周波数の温度依存性等から共振モードを同定してきた [1]。また、共振特性を容易に計算するため連続体近似した結合サイン・ゴードン方程式により電磁界分布等を得たものの [2]、端部で電磁界が閉じた境界条件を与えたため、放射電力のバイアス依存性 ( $P$ - $V$  特性) が求められなかった。本研究では、放射的境界条件を与えることにより  $P$ - $V$  特性等を求め、解析法の有用性を検討した。結果および考察 連続体近似した式 [2] にメサ端面で内部の交流電磁界と外部の放射電磁界が等しい条件を適用し、テラヘルツ波放射が観測された素子 (発振周波数 0.499 THz @ 0.68 V, 0.649 THz @ 0.89 V) と同じ幅  $w = 78 \mu\text{m}$ , 長さ  $\ell = 138 \mu\text{m}$ , 高さ  $h = 1 \mu\text{m}$ , 臨界電流密度  $J_0 = 860 \text{ A/cm}^2$ , マッカンバー定数  $\beta_c = 5.0 \times 10^4$ , プラズマ周波数  $f_p = 99 \text{ GHz}$  を用いた。図 1 は全接合 ( $N = 670$ ) が抵抗状態になった後のリターンカーブの  $I$ - $V$  特性である。同図に示された 3 つのピークは、電磁界分布によりそれぞれ低電圧側から  $\text{TE}_{112}$ ,  $\text{TE}_{111}$ ,  $\text{TE}_{121}$  モードのキャビティ共振に基づくことが分かった。このときのジョセフソン周波数はそれぞれ 0.332, 0.494, 0.648 THz となり、高電圧側の 2 つは、実験で得られた発振周波数にほぼ一致した。図 2 に示す  $P$ - $V$  特性において、図 1 の  $I$ - $V$  特性上の 3 つの共振ピークにおける電圧付近で放射電力が増大した。図 2 中の丸印で示した  $\text{TE}_{mnp}$  モード (共振周波数  $f_{mnp}$ ) の放射電力は次式で計算した。

$$P_{mnp} = \frac{8(\phi_0 f_p J_i / J_0)^2 \beta_c}{\mu_0 s \lambda_{ab} \{1 + (p\pi/h)^2\}^3 f_{mnp}} \left\{ \frac{m \ell h}{w} \sinh(m \alpha_x w) + \frac{n w h}{\ell} \sinh(n \alpha_y \ell) \right\} \quad (1)$$

ここで  $\phi_0$ ,  $s$ ,  $\lambda_{ab}$ ,  $J_i$  はそれぞれ磁束量子,  $\text{CuO}_2$  層間距離,  $ab$  面の磁界侵入長, 電流分布であり,  $\alpha_x$  と  $\alpha_y$  はメサ端部から染み出す電磁界の減衰係数を表す。計算値 ( $P_{mnp} = 34 \sim 340 \mu\text{W}$ ) よりも実験値は 1 桁以上低いが、実験ではリトラッピング等により最高電力が得られるバイアス点に素子をバイアスできないことが原因であると考えられる。式 (1) より見積もられる最高電力は、単一のメサにおいても数百  $\mu\text{W}$  に及ぶと予想され、実験による検証が期待される。

Fig. 1  $I$ - $V$  characteristicFig. 2  $P$ - $V$  characteristic

## 参考文献

- [1] 堅田 寛, 立木 隆, 内田 貴司: 第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (2013.3) 27p-G3-11.  
 [2] 立木 隆, 内田 貴司: 電気学会論文誌 A **132** (2012.9) 747.