

有効媒質近似を用いた超伝導テラヘルツ光源の解析および設計

Analysis and design of superconducting terahertz light sources based on the effective medium approximation

小林亮太¹、巴山 顕¹、掛谷 一弘¹ (京大院工¹)

R. Kobayashi¹, K. Hayama¹, and I. Kakeya¹ (Kyoto Univ.¹)

E-mail: kobayashi.ryota.86a@st.kyoto-u.ac.jp

高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) は、結晶内部に超伝導層と絶縁層の積層構造を有しており、単結晶メサ構造に電圧を印加することで交流ジョセフソン効果と空洞共振効果に起因するテラヘルツ帯の電磁波を放射する[1]。Bi2212におけるテラヘルツ放射の機構は Lawrence-Doniach (LD) モデル [2]によって記述することができるが、このモデルは超伝導層間の秩序パラメータ位相差 φ_n 、電場 $\mathbf{E}$ 、磁場 $\mathbf{H}$ が複雑に関係しており[3]、数値計算によるデバイス設計を困難にしている。一方で、Bi2212 の電磁場に対する受動的な応答は LD モデルの巨視的極限として得られる異方的な誘電率テンソルによって記述することができる(図1)、この手法を有効媒質近似 (EMA) と呼ぶ[4]。EMA を用いたモデルでは、超伝導電子の応答を誘電率に織り込んでいるため、3D-FDTD シミュレーションソフトを利用した解析が可能である。

本講演では、3D-FDTD シミュレーションソフトである CST Studio Suite[5]を用いて超伝導メサに励振される電磁波モードの計算を行った結果を発表する。同一形状のデバイスに対して、シミュレーション結果と過去に測定した実験結果[6]を比較することにより、EMA を超伝導テラヘルツ光源の解析に適用することの妥当性を評価した。講演の最後には、この計算手法を通して得られた超伝導テラヘルツ光源の高出力化の指針やそれに基づいた新規デバイス形状の提案を行う。

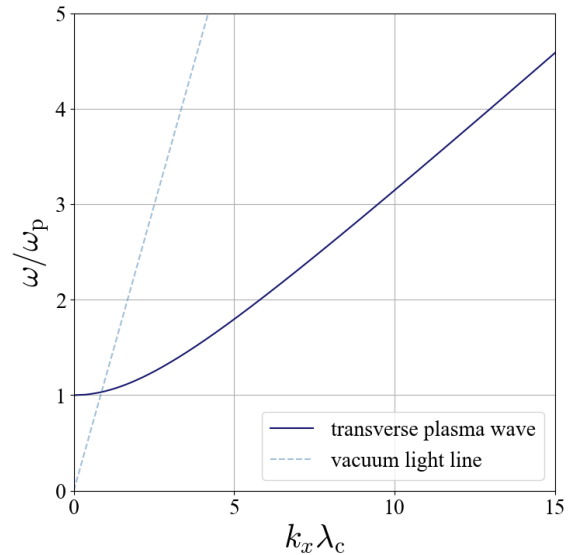


Fig 1. Dispersion relations of a Josephson transverse plasma wave calculated by EMA

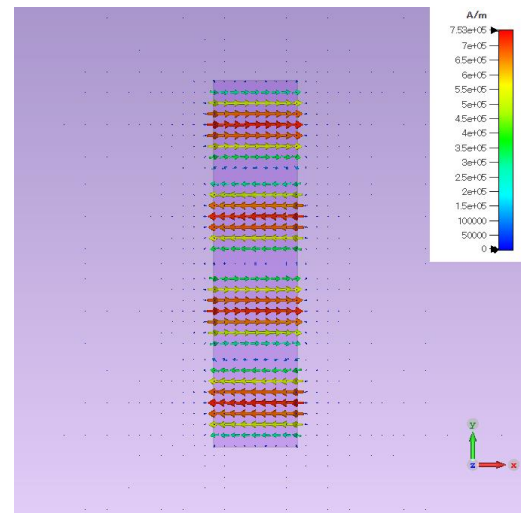


Fig 2. Example of an excited TM mode in a mesa-structured superconducting light source

[1] I. Kakeya and H. Wang, *Supercond. Sci. Technol.* **29**, 073001 (2016). [2] W. E. Lawrence, and S. Doniach, "Proceedings of the Twelfth Conference on Low Temperature Physics, Kyoto, 1970." (1970). [3] H. Matsumoto, *et al.*, *Physica C: Supercond.* 468(15-20), 1899-1902 (2008). [4] A. L. Rakhmanov, *et al.*, *Phys. Rev. B*, **81**(7), 075101 (2010). [5] CST Studio Suite, Dassault Systemes, <https://www.3ds.com/ja/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/> [6] R. Kobayashi, *et al.*, *Phys. Rev. Appl.* **17.5**, 054043 (2022).