

YBCO 薄膜コプレーナ線路のマイクロ波透過特性を用いた 超伝導パラメトリック増幅器の利得評価

Gain evaluation of a superconducting parametric amplifier using the transmission characteristics of YBCO thin film coplanar waveguides

茨城大学 ○高橋 惟吹, 島影 尚

Ibaraki Univ. ○Ibuki Takahashi, Hisashi Shimakage

E-mail : 23nm648r@vc.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

金属系超伝導体を用いたパラメトリック増幅器は高い性能を持ち、天文観測や量子コンピュータなどでの利用に向けて精力的に研究が進められているが、動作には極低温環境が必須である。一方、多様な民生機器での利用へ繋げるためには、高温超伝導体の使用が有効であることから、我々は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) を用いたパラメトリック増幅器の研究を行っている。本研究では、YBCO 薄膜で作製したコプレーナ線路 (CPW) の特性評価を通し、期待される YBCO パラメトリック増幅器の利得などの見積もりを報告する。

2. L_k の直流電流バイアス依存性

0.5 mm 厚 MgO 基板上に作製した YBCO 製 CPW を用いたマイクロ波伝送特性測定において、直流電流バイアスを流すことによる位相変化からカイネティックインダクタンス (L_k) の変化を測定した⁽¹⁾。その結果を Fig.1 に示す。 L_k は(1)式で表されるように電流に対して二次関数的な関係がある。赤線は(1)式を $L_k(0)$ と I_* にフィッティングした理論値であり、二次関数的依存性が確認できた。

$$L_k(I) \approx L_k(0) \left[1 + \left(\frac{I}{I_*} \right)^2 \right] \quad (1)$$

フィッティング値である $L_k(0)$ と I_* は、膜厚 20 nm で 0.425 μH 、3.47 mA、膜厚 50 nm で 0.144 μH 、62.5 mA、膜厚 200 nm で 0.0585 μH 、83.4 mA となった。Fig.2 に、 L_T を磁氣的インダクタンス L_m と L_k の和としたときの L_k/L_T の膜厚依存性と理論値の比較を示す。比較的良い一致が見られた。また、薄膜の臨界電流 (I_C) を測定し、その実測値から I_* と I_C の関係を評価したところ、 $I_* = 0.67I_C$ となった。

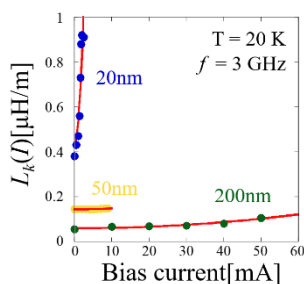


Fig.1 Bias current dependence of kinetic inductance

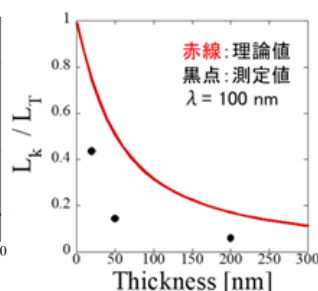


Fig.2 Film thickness dependence of L_k / L_T

3. 増幅利得の見積もり

増幅利得 G_S は伝送線路でポンプ波が受ける変調の位相変化量 $\Delta\theta$ に関連しており、以下の式で表すことができる。

$$G_S = 1 + \left(\frac{k_p |I_p|^2 l}{8I_*^2} \right)^2 = 1 + (\Delta\theta)^2 \quad (2)$$

ここで、 k_p はポンプ波の波数、 I_p はポンプ電流、 l は線路長である。膜厚 20 nm の結果から得られた $I_* = 3.47$ mA を用い、バイアス電流を I_p に置き換えて、利得の計算を行った。現在の素子形状では 3 mA のバイアス電流をかけた際に、最大で 0.67 dB の利得が得られることが分かった。ただし、20 nm 膜厚 YBCO の臨界電流を計測したところ 3.2 mA であったことに注意すると、現状では、常伝導に転移する直下のバイアス電流がかけられていることに相当し、これは信号波のダイナミックレンジが低いことを意味し、実用的とは言えない。そこで次に、金属系超伝導体で一般的に得られている典型的な増幅度やポンプ電力⁽²⁾を YBCO を用いて達成するための線路長を見積もった。ここでは、YBCO 線路の線幅は 1 μm と固定した。その結果として、増幅度 20 dB とポンプ電力 -10 dBm⁽²⁾を達成するためには約 1.4 m の線路長が必要であると見積もることができた。1 μm の線幅の加工が可能であれば、伝送線路は 20 mm 角程度の大きさの基板に収めることは可能と見積もっている。現在、増幅度の線路長に対する依存性を実験的に確認するために、線路長を変化させて実験を進めており、その結果は当日発表する。

【謝辞】

本研究の一部は、産業技術総合研究所ナノプロセス施設の支援を受けて実施されました。

文献

- (1) 高橋 他、第 71 回応用物理学会春季学術講演会、23p-12N-5(2024 年)
- (2) C. Bockstiegel, et al. Journal of Low Temperature Physics 176 (2014): 476-482.