

YBCO 薄膜を用いたパラメトリック増幅器の検討

Examinations of parametric amps by using YBCO thin films

○後藤 隆志¹, 木村 寛太¹, 島影 尚¹, 武田 正典² (1. 茨城大学, 2. 静岡大学)

○Takashi Goto¹, Kanta Kimura¹, Hisashi Shimakage¹, Masanori Takeda²

(1. Ibaraki Univ., 2. Shizuoka Univ.)

E-mail: 16nm612y@vc.ibaraki.ac.jp

【はじめに】 超伝導パラメトリック増幅器は、広帯域動作かつ量子限界に迫る雑音性能を有しており、電波天文分野での応用が期待されている[1]。我々も、単結晶 NbTiN 薄膜コプレーナ線路による超伝導パラメトリック増幅器の検討を行っている[2]。本研究では、パラメトリック増幅器を構成する超伝導材料として YBCO 薄膜を想定し、予備実験で作製した YBCO 細線の実験評価をもとに、YBCO 薄膜パラメトリック増幅動作についての理論的な検討を行ったので報告する。

【超伝導パラメトリック増幅】 超伝導パラメトリック増幅は、超伝導伝送線路固有のカイネティックインダクタンス L_k の非線形成分を触媒とした四波混合によるものである。超伝導体でコプレーナ線路を構築した場合のカイネティックインダクタンス L_k は、 $L_k = \mu_0(\lambda^2/dw)g(s,w,d)$ で求められる。ここで、 λ は磁場侵入長、 s,w,d はそれぞれコプレーナ線路のギャップ幅、線路幅、膜厚であり、 $g(s,w,d)$ はコプレーナ線路の形状因子である。カイネティックインダクタンス L_k は印加電流 I に対し、 $L_k(I) \approx L_{k0}(1+(I/I^*)^2)$ と非線形に変化する。パラメトリック利得は、光ファイバパラメトリック増幅器において、ポンプ波周波数 f_p 、信号波周波数 f_s 、アイドラー波周波数 f_i が、 $2f_p = f_s + f_i$ と縮退している場合の結合波方程式を解くことで、 $G = 1+(\Delta\theta)^2$ と求まる。ここで $\Delta\theta$ は印加電流における位相変化量であり、伝搬定数 β と線路長 L を用いて、 $\Delta\theta = \{\beta(f_p, I=0) - \beta(f_p, I)\}L$ と表される。

【利得の検討】 YBCO 薄膜は PLD 法により MgO 基板上に成膜し、フォトリソグラフィによるパターンニングとスパッタエッチングを用いて加工を行った。作製した線幅 $6\mu\text{m}$ の細線より、60 K で臨界電流密度 1.0 MA/cm^2 を得た。この結果から、コプレーナ線路の形状を、線幅 $4\mu\text{m}$ 、ギャップ幅 $2\mu\text{m}$ とし、印加最大電流値を 1.6 mA 、ポンプ波周波数を 5 GHz とした時のパラメトリック利得の計算を行った。絶対零度時の YBCO の磁場侵入長は 135 nm とした[3]。図 1 に電流印加時のカイネティックインダクタンスの変化量を、また、図 2 に印加電流を 0.8 mA に設定した場合のパラメトリック利得 G と位相変化量 $\Delta\theta$ の線路長依存性を示す。膜厚は 150 nm と 40 nm の二種類で計算を行った。その結果、膜厚が 150 nm の場合、 L_{k0} は、 189 nH/m と小さく、また、電流印加時の非線形性も弱く、高いパラメトリック利得を得られなかった。膜厚が 40 nm の場合、 L_{k0} は 956 nH/m となり、電流印加時の非線形性が強くなった。また、線路長が長くなれば位相変化量が大きくなり、パラメトリック利得も大きくなることがわかった。膜厚 40 nm の場合、線路長 1000 mm で 29 dB のパラメトリック利得が期待できる。

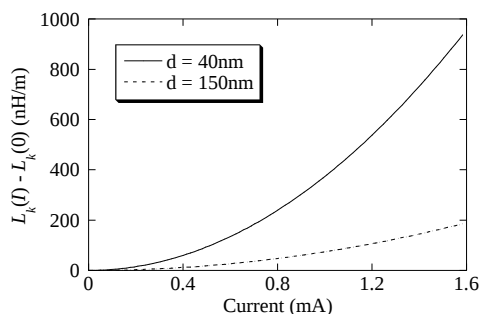


図 1. 電流印加時のカイネティックインダクタンス変化量

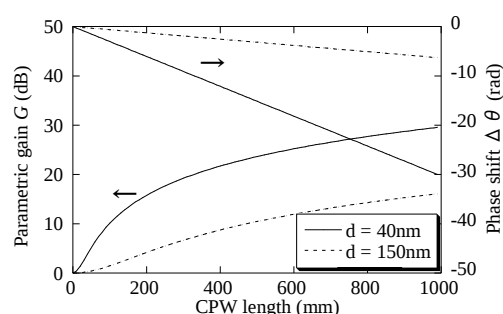


図 2. パラメトリック利得と位相変化量の線路長依存性

参考文献

- [1] B. Ho, Eom, P. K. Day, H. G. LeDuc, and J. Zmuidzinas, Nature Phys., vol. 8, pp. 623-627, (2012)
- [2] 武田 正典、小嶋 崇文、牧瀬 圭正、斎藤 敦、斎藤 伸吾、島影 尚、日本赤外線学会誌、vol. 24, no. 2, pp. 50-56, (2015)
- [3] J. M. Pond, K. R. Carroll, J. S. Horwitz, D. B. Chrissey, M. S. Osofsky and V. C. Cestone, Phys. Lett. 59, pp. 3033, (1991)