

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2005～2008

課題番号：18560325

研究課題名（和文）サブミクロン分割型線路を用いた送信用超伝導フィルタの開発

研究課題名（英文）Development of transmitting filters using sliced microstrip lines

研究代表者

大嶋 重利（OHSHIMA SHIGETOSHI）

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40124557

研究成果の概要：耐電力の高いフィルタを設計・試作するために、新しい分割型マイクロストリップ線路を提案し、それを用いてフィルタを試作し耐電力を評価した。電磁界解析シミュレーションにより、分割線路端の集中電流が低減することを明らかにし、また、分割線路と非分割線路を用いて3段共振器のバンドパスフィルタを設計、試作、評価した。その結果、分割線路を用いたフィルタは、非分割線路フィルタと比較し、約2dB以上の耐電力が向上することを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	0	2,200,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	390,000	3,890,000

研究分野：工学

研究費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード：超伝導フィルタ、バンドパスフィルタ、高温超伝導薄膜、携帯電話基地局、微細加工、超伝導マイクロ波、超伝導エレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

小電力を対象とする受信用超伝導バンドパスフィルタシステムはすでに米国や中国で実用化されている。しかしながら、10Wを超える高耐電力超伝導バンドパスフィルタは、まだ研究段階である。超伝導フィルタの耐電力を向上させる手法は幾つか提案されているが、共振器の小型化や多段化が難しく、実用化は困難である。我々は、新しい共振器「サ

ブミクロン分割線路共振器」を提案し、その共振器が送信用超伝導フィルタに応用できるかどうかを検討した。

2. 研究の目的

マイクロストリップ線路を分割して作製する「分割線路共振器」について、以下のことを明らかにするのが本研究の目的である。

(1) 耐電力向上のための最適な分割数の確立

- (2) 分割線路共振器を用いた超伝導バンドパスフィルタの設計
- (3) 分割線路共振器を用いた超伝導バンドパスフィルタの耐電力を評価し、その有効性の検討

3. 研究の方法

研究は次の3手法を用いて行った。

- (1) 電磁界解析ソフトを用いた電流分布シミュレーション・・・マイクロストリップ線路端の電流集中の解析
- (2) フィルタの設計・・・最適なフィルタ形状を決定するために、電磁界解析ソフトを用いて種々の形状のフィルタ特性を評価
- (3) フィルタ特性評価・・・高温超伝導薄膜を用いて、フィルタを試作し、その耐電力特性を評価。

以上の3項目を検討し、送信用超伝導フィルタの開発を検討した。

4. 研究成果

(1) 最適な分割法の確立

超伝導線路にマイクロ波電流を流すと、図1(c)で示されるように、線路端に電流が集中して流れる。その電流が臨界電流を超える

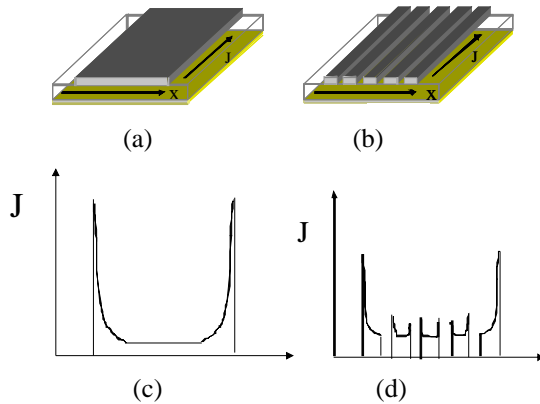


図1 非分割線路及び分割線路の電流分布

と超伝導状態が破壊され、フィルタとして機能しなくなる。集中電流を低減するには、図1(b)で示すように線路を分割すれば良い。(c)、(d)に、電磁界シミュレーションで求めた線路の電流分布を示す。この結果、線路を分割すると急激に線路端の電流値が小さくなるのが分かる。すなわち、線路の耐電力が向上することが予想される。

図2に分割数と線路端の電流値の関係を示す。図中のgは線路間のギャップ長を表している。この結果、線路ギャップ長を小さく

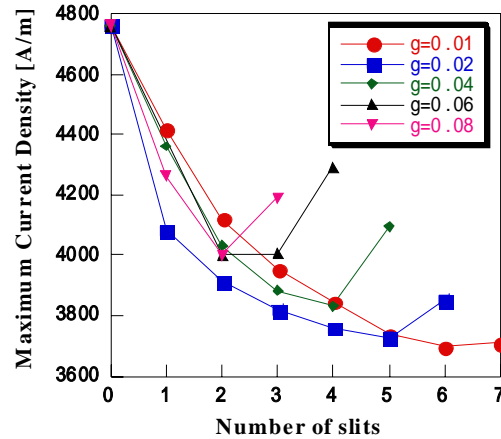


図2 分割数と線路端の電流密度の関係

し、分割を6以上にすれば、線路の電流集中が小さくなることが判った。

(2) 分割線路共振器を用いた超伝導バンドパスフィルタの設計

分割線路を用いて、共振器を作製する場合その分割法は図3で示されるように、3種類存在する。どの形状がバンドパスフィルタを作製するのに適しているかどうかをまず検討した。

(a) 両端短絡 (b) 一端短絡 (c) 両端開放

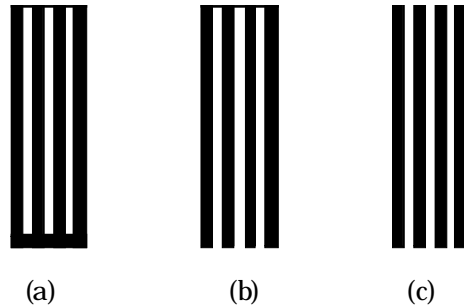


図3 分割線路共振器の幾つかの形状

図4に、図3で示されている3種類の共振器を用いて、5GHzのバンドパスフィルタを設計した時の周波数特性を示す。その結果(a)、(c)形状の共振器フィルタは、5GHz帯のバンドパスフィルタ特性以外にも多くの通過特性を示し、バンドパスフィルタとしては適さないことが分かる。一方(b)の形状の共振器フィルタは比較的良好な周波数特性を示している。従って、分割線路の共振器形状は、(b)の一端短絡型が優れていると判断し、この共振器を用いてフィルタを設計し、種々の特性評価を行った。フィルタは2分の1波長の共振器をもつ3段チェビシェフ型とした。

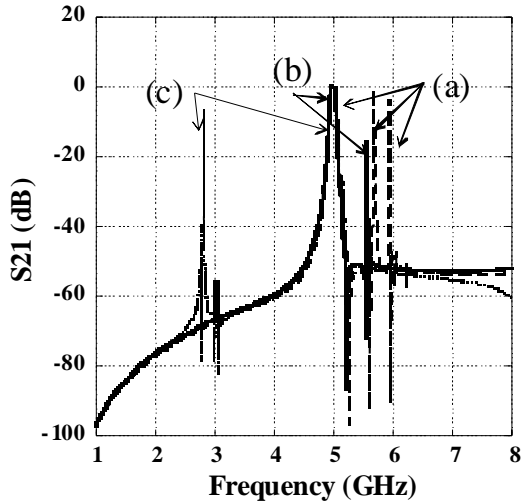


図4 図3で示された共振器を用いて設計したフィルタの周波数特性

(3) 分割線路共振器を用いた超伝導バンドパスフィルタの耐電力特性の検討

分割した線路と分割していない線路を用いてフィルタを試作し、その耐電力特性を評価した。用いた超伝導薄膜は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO) である。図5に分割線路を用いたフィルタのレイアウトを示す。(b)には、実際の線路の顕微鏡写真を示す。YBCO線路をウェットエッチングにより、13分割した。

このフィルタの耐電力特性を評価し、分割した時の特性変化を求めた。図6に、分割した線路 (with slits) と分割していない線路 (without slits) を用いた時のフィルタの耐電力特性を示す。測定は、バンドパスフィルタに電力を入力し (Pin)、その通過電力を測定する手法を用いた。入力と出力の線形関係が失われた時が、フィルタの最大耐電力と定義する。その結果、分割線路フィルタでは、19.5dBm、分割していない線路フィルタでは、17.5dBm となり、分割してある線路フィルタの方が約 2dB 耐電力特性が優れていることが分かった。ここで用いた YBCO 薄膜は、

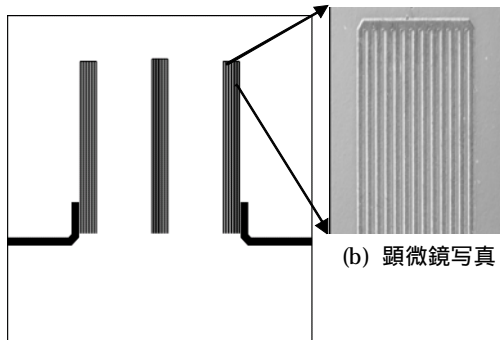


図5 分割線路を用いた超伝導フィルタの外形図

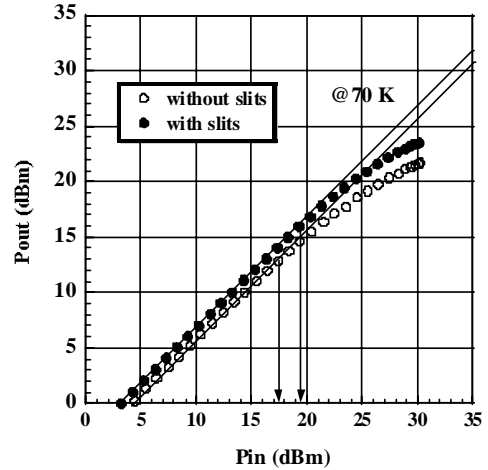


図6 分割線路、非分割線路フィルタの耐電力特性

膜厚が 0.2 ミクロンと極めて薄い。従って、耐電力も 20dBm と小さい。膜厚を厚くした高品質の YBCO 薄膜を用いれば、より高耐電力のフィルタが作成できる。実際 0.5 ミクロン厚の YBCO 薄膜を用いて作製した分割線路フィルタで 35dBm の耐電力を持つことを確かめている。

超伝導バンドパスフィルタを実用化するためには、耐電力の評価以外に、フィルタの非線形効果の大きさを評価する必要がある。非線形効果は、バンドパスフィルタに基本波 f_1 を投入した時に発生する第3次高調波 $3f_1$ の大きさを測定することで評価した。図7に用いた超伝導バンドパスフィルタの周波数特性を示す。中心周波数は 5GHz、バンド幅 100MHz、最大リップル 1dB である。

図8に、図7で示した特性の超伝導フィルタの非線形効果 (IMD3) を示す。基本周波数の信号 ($f_1=5.05\text{GHz}$) と第3高調波歪信号 (IMD3) の差が 60dBm 以上あることが要求される。従

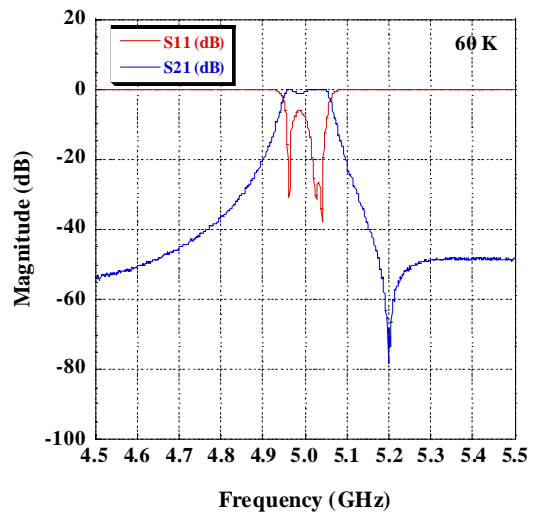


図7 超伝導フィルタの周波数特性

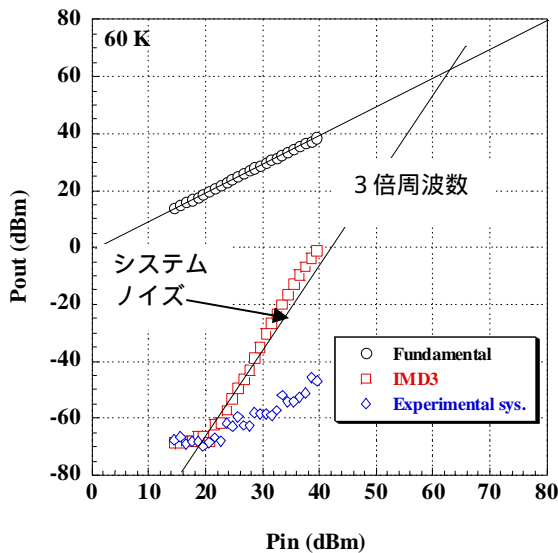


図 8 超伝導フィルタの非線形特性

って、このフィルタは約 35dBm まで使用可能であることがわかる。

5. まとめと今後の問題

線路を長さ方向に分割することにより、超伝導電流の集中を防ぎ、耐電力が向上することを、シミュレーション、実験両方で明らかにした。これは、世界で初めてのデータである。また、移動体通信の基地局用送信フィルタに用いるためには、耐電力が 10W 以上要求されるが、その耐電力もクリアすることができた。しかし、超伝導フィルタの問題である、非線形効果 (IMD3) を小さくすることが未だ不十分であることも分かった。今後は、非線形効果の低減およびより段数を増やしたフィルタの設計・評価を行い、送信用超伝導フィルタの実現を目指す。

6. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

S. Ohshima, T. Kaneko, JH Lee, M. Osaka, S. Ono, Superconducting Band-Pass Filters Using a A. Saito. 'Automatic Trimming Technique for Trimming Library' IEICE Trans. Electron. E92-C, pp302-306 (2009) 査読有

S. Ono, Y. Harada, A. Saito, T. Kato, J. -H. Lee, T. Oba, M. M. Yoshizawa, and S. Ohshima 'Fabrication and measurement of a 5 GHz miniturized 10-pole bandpass filter using superconducting microstrip quasi-spiral resonators' Physica C, 468, pp.1969-1972 (2008) 査読有

A. Saito, T. Tomioka, S. Ono, J. H. Lee, M.

Osaka, H. Teshima, and S. Ohshima 'Design for transmit bandpass filter and trimming method using superconducting bulk ring resonator and dielectric rods' . Phys.: Conf. Ser. 97, 012228. (pp.1-6) (2008) 査読有

M. Ohsaka, S. Takeuchi, S. Ono, A. Saito, J. -H. Lee, A. Akasegawa, K. Yamanaka, K. Kurihara, and S. Ohshima 'A mechanism for tuning 5 GHz HTS filter' Physica C, 468, pp.1966-1968 (2008) 査読有

N. Sekiya, Y. Nakagawa, A. Saito, and S. Ohshima. 'Novel trimming technique for tunable HTS microstrip filters' Physica C, 468 pp.1958-1961 (2008) 査読有

S. Takeuchi, M. Ohsaka, H. Kinouchi, J. -H. Lee, S. Ono, A. Saito, A. Akasegawa, T. Nakanishi, A. Kawakami,

K. Yamanaka, K. Kurihara, and S. Ohshima 'Power handling capability improvement of HTS filter with slotted microstripline resonators' Physica C, 468, pp.1954-1957. (2008) 査読有

S. Ohshima, S. Takeuchi, M. Osaka, H.

Kinouchi, S. Ono, J.-F. Lee, and A. Saito 'Examination of the resonator structure for a superconducting transmitting filter' J. Phys.: Conf. Ser. 97, 012052. pp1-6 (2008) 査読有

S. Ono, M. Kimura, A. Saito, S. Hirano, S. Ohshima, Y. Harada, T. Takahashi, H. Iriuda, and M. Yoshizawa. 'Design and Fabrication of 5GHz Miniaturized Bandpass Filter using Superconducting Microstrip Quasi-Spiral Resonators' IEEE Trans. Applied Superconductivity, Vol. 17, No. 2, pp890-893. (2007) 査読有

A. Saito, H. Teshima, S. Ono, M. Kimura, S. Takeuchi, H. Kinouchi, M. Osaka, H. Hirano, S. Hirano, and S. Ohshima 'Design and fabrication of 5 GHz band pass filter using circle-type HTS bulk resonator' IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 17, No. 2, pp.886-889. (2007) 査読有

A. Saito, N. Sekiya, H. Teshima, H. Obara, Y. Noguchi, H. Hirano, S. Hirano, and S. Ohshima 'Surface resistance measurement of modified QMG superconducting bulks' Physica C, 445-448, 330-333. (2006) 査読有

N. Sekiya, A. Kubota, A. Kondo, S. Hirano, A. Saito, and S. Ohshima 'Broad-band superconducting microstrip antenna using additional Gap-coupled resonators' Physica C, 445-448, 994-997. (2006) 査読有

関谷尚人, 小野哲, 中島健介, 齊藤 敦, 平野 悟, 大嶋重利 '超伝導アンテナとフィルタの

レーザートリミングによる特性改善」, 低温工
学学会誌, 41 巻, 2 号, 81-86. (2006) 査読有

〔学会発表〕(計 15 件)

齊藤 敦, 大坂真野, 金児卓郎, 小野 哲,
李 宰勲, 大嶋重利 「超伝導フィルタ
の自動チューニングシステムの開発
第 78 回低温工学・超伝導学会, 2D-a08
(2008.5.27)

大坂真野, 竹内慎治, 小野 哲, 相澤慶二,
李宰勲, 齊藤 敦, 赤瀬川章彦, 山中一
典, 栗原和明, 大嶋重利 「5 GHz 帯高
温超伝導フィルタの 500 MHz チューニン
グ()」第 55 回応用物理学関連連合講
演会, 27p-NA-13 (2008.3.29)

佐藤桂輔, 山中一典, 赤瀬川章彦,
中西輝, 栗原和明, 大坂真野, 齊藤
敦, 大嶋重利, 志垣雅文 「誘電体ブ
レートによる超伝導フィルタのチュ
ーニング」第 55 回応用物理学関連連合
講演会, 27p-NA-8 (2008.3.29)

小野 哲, 原田善之, 加藤卓也, 李 宰勲,
齊藤 敦, 大場辰則, 吉澤正人, 平野 悟,
大嶋重利 「10 段 Quasi-spiral 共振器
Chebyshev 型小型バンドパスフィルタの
設計と試作()」第 55 回応用物理学関
連連合講演会, 27p-NA-9 (2008.3.29)

小池優輔, 關谷尚人, 中川恭彦, 齊藤 敦,
大嶋重利 「送信用高温超伝導フィルタ
の新しいチューニング技術の検討」第 55
回応用物理学関連連合講演会,
27p-NA-12 (2008.3.29)

加藤卓也, 小野 哲, 李 宰勲, 齊藤 敦,
大嶋重利 「小型超伝導フィルタの設計・
試作・評価」第 77 回低温工学・超伝導
学会, 3C-a12 (2007.11.20)

小野 哲, 原田善之, 加藤卓也, 李 宰勲,
齊藤 敦, 大場辰則, 吉澤正人, 平野 悟,
大嶋重利 「10 段 Quasi-spiral 共振
器 Chebyshev 型小型バンドパスフィ
ルタの設計と試作()」第 68 回応用
物理学学会学術講演会, 5a-ZH-4
(2007.9.4)

大坂真野, 竹内慎治, 小野 哲, 相澤慶
二, 齊藤 敦, 赤瀬川章彦, 山中一典,
栗原和明, 平野 悟, 大嶋重利
「5GHz 帯高温超伝導フィルタの 500MHz
チューニング()」第 6 物理学学会学術
講演会, 5a-ZH-3 (2007.9.4)

竹内慎治, 大坂真野, 木野内大樹,
小野 哲, 齊藤 敦, 赤瀬川章彦,
中西輝, 山中一典, 栗原和明, 平野
悟, 大嶋重利 「分割型マイクロスト
リップ線路共振器を用いた送信用超
伝導フィルタの設計・評価()」第
68 回応用物理学学会学術講演会, 5a-ZH-2
(2007.9.4)

小野 哲, 原田善之, 齊藤 敦, 木村雅芳,
入宇田啓樹, 吉澤正人, 平野 悟,
大嶋重利 「10 段 Quasi-spiral 共振器
Chebyshev 型小型バンドパスフィル
タの設計・試作」第 54 回応用物理学
関連連合講演会, 27a-ZV-10 (2007.3.28)

木野内大樹, 小野 哲, 大坂真野, 谷口
洋平, 萩原甚吾, 竹内慎治, 木村雅芳,
齊藤 敦, 赤瀬川章彦, 平野 悟, 大嶋重
利 「超伝導フィルタの耐電力および
IMD 特性の改善に関する研究()」
第 54 回応用物理学関連連合講演会,
27a-ZV-8 (2007.3.28)

大坂真野, 竹内慎治, 木村雅芳, 小野 哲,
相澤慶二, 齊藤 敦, 赤瀬川章彦, 山中
一典, 平野 悟, 大嶋重利 「5GHz 帯
高温超伝導フィルタの 500MHz チュ
ーニング」第 54 回応用物理学関連連合
講演会, 27a-ZV-5 (2007.3.28)

竹内慎治, 木村雅芳, 小野 哲, 齊藤 敦,
赤瀬川章彦, 中西輝, 山中一典, 栗原和
明, 平野悟, 大嶋重利 「分割型マイクロ
ストリップライン線路共振器を用いた送
信用超伝導フィルタの設計・評価()」
第 54 回応用物理学関連連合講演会,
27a-ZV-4 (2007.3.28)

木村雅芳, 小野 哲, 齊藤 敦, 平野 悟,
大嶋重利, 真部高明, 熊谷俊弥 「第
4 世代移動体通信用 5GHz バンドパ
スフィルタの開発」第 54 回応用物理
学 関 連 連 合 講 演 会 , 27a-ZV-2
(2007.3.28)

木村雅芳, 小野 哲, 齊藤 敦, 平野 悟,
大嶋重利, 真部高明, 熊谷俊弥 「第
4 世代通信用 5GHz 帯超伝導 BPF の多段
化と帯域外遮断特性」第 53 回応用物理
学 関 係 連 合 講 演 会 , 22p-M-19
(2006.3.23)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大嶋 重利 (OHSHIMA SHIGETOSHI)
山形大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号 40124557

(2) 研究分担者

研究分担者 (2006 年度 ~ 2007 年度)
齊藤 敦 (SAITO ATSUSHI)
山形大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号 70313567

(3) 連携研究者 (2008 年度 ~)

齊藤 敦 (SAITO ATSUSHI)
山形大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号 70313567