

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 年度～2010 年度

課題番号：21760248

研究課題名(和文) 超低損失ミリ波帯フィルタ実現のための構成要素技術の研究開発

研究課題名(英文) Research on the component technology for the realization of ultralow-loss millimeter-wave filters

研究代表者

清水 隆志 (SHIMIZU TAKASHI)

宇都宮大学・工学研究科・助教

研究者番号：80500397

研究成果の概要(和文):本研究では、超低損失ミリ波帯フィルタ実現のための構成要素技術の開発として、フィルタ設計基礎資料となるミリ波帯材料定数データベースの構築と高 Q 共振器構造および狭帯域フィルタ構造の検討を行った。その結果、遮断円筒導波管法と WG モード誘電体共振器法を用いて、30-110GHz 帯における材料定数データベースを構築した。また、極低温下、30GHz 帯にて無負荷 Q 値が 15,000 を得られる平面回路構造共振器および常温、常温、60GHz 帯にて無負荷 Q 値 5000 が得られる立体回路構造共振器を見出し、目標を達成した。これらの共振器を用いた狭帯域フィルタは、従来フィルタの 1.5-3dB 程度挿入損失の改善が可能であることを計算により見出し、その有効性を実証した。

研究成果の概要(英文):In this research, we studied structures of high Q resonators and narrow band filters. The database of millimeter wave material constants in 30-110GHz band, which are used for the filter design, was constructed by using the cutoff circular waveguide method and the WG mode resonator method. Moreover, we developed a planar type 30GHz resonator with high Q value of 15000 under low temperature condition, and a NRD guide type 60GHz resonator with high Q value of 5000 under room temperature condition. It is verified numerically that the narrow band filters using these resonators can be improved the value of insertion loss about 1.5-3dB.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野:工学

科研費の分科・細目:電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード:マイクロ波・ミリ波, 受動回路, 超電導

1. 研究開始当初の背景

光ファイバに代表される有線で構成されたブロードバンドネットワークとシームレスに接続可能な 30-40GHz 帯超広帯域高速無線装置・固定無線アクセスの研究開発が盛んに行われている。

急峻な遮断特性を有し、低損失なミリ波狭帯

域フィルタ実現が重要性を増してくる。低損失な狭帯域フィルタを実現するためには、高い無負荷 Q 値を有する共振器の実現が必要である。そのため、共振器の構成要素となる導体や誘電体に低損失材料を採用し、その上で共振器構造による高 Q 化を狙う必要がある。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は2つある。

ひとつは、低損失ミリ波誘電体材料の複素誘電率測定および常電導金属・高温超電導体の表面抵抗測定を行い、設計資料となるミリ波帯材料定数データベースを構築することである。

もうひとつは、そのデータベースに基づいて、各種材料の選定を行い、平面回路・立体回路構造の両面から高 Q 共振器構造の検討を行う。さらに、それを用いたミリ波低損失狭帯域フィルタの有効性を実証することである。

3. 研究の方法

(1) ミリ波帯材料定数データベース構築

ミリ波誘電体材料の複素誘電率測定を遮断円筒導波管法、WG モード誘電体共振器法を用いて行い、その特性を明らかにする。また、ミリ波帯における導体の表面抵抗を2誘電体共振器法により測定し、特性を明らかにする。これら測定結果をもとにミリ波材料定数データベースを構築する。

(2) 高 Q 共振器構造および超低損失ミリ波帯域通過フィルタの検討

(1)により開発した材料定数データベースをもとに、高 Q 値が得られる共振器構造の検討を行う。具体的には、平面回路構造として、低温にて Q 値が 10,000@30GHz を有する超電導体を用いたミリ波コプレーナ構造共振器を検討する。立体回路構造として、常温にて、Q 値が 10,000@30GHz を有する NRD ガイドと誘電体共振器を用いた構造を検討する。さらに、見出した高 Q 共振器を用いたミリ波狭帯域フィルタの実現性について検討する。

4. 研究成果

(1) ミリ波帯材料定数データベース構築

(a) 遮断円筒導波管法の適用範囲の拡大

従来、遮断円筒導波管法は 30-75GHz 帯における測定範囲であった。これを110GHz帯まで拡大した。この結果、30-110GHz 帯における材料定数データベース作成が可能となった。

(b) 遮断円筒導波管法とWGモード誘電体共振器法によるラウンドロビン試験

遮断円筒導波管法と WG モード誘電体共振器法により、同一測定試料の測定を行うラウンドロビン試験を行い、図1に示す測定結果を得た。両測定法の結果が一致していることから、両測

定法の測定結果の信頼性を向上させた。

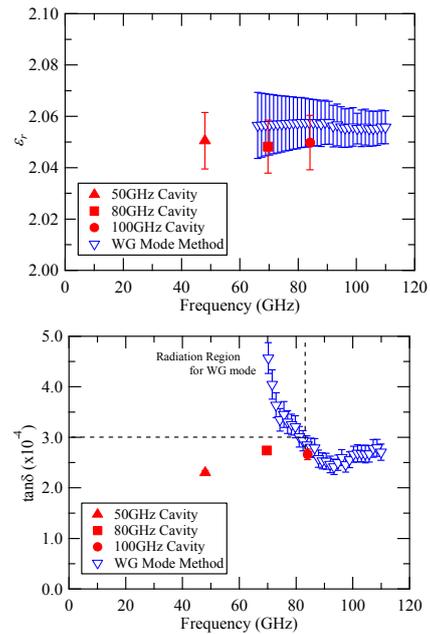


図1 遮断円筒導波管法とWGモード誘電体共振器法の測定結果の比較

(c) ミリ波誘電体材料定数データベース

遮断円筒導波管法、WG モード誘電体共振器法を用いて各種ミリ波回路基板の複素誘電率測定を行い、30-110GHz 帯における材料定数データベースを構築した。その測定結果の一例を表1に示す。今後もデータの蓄積を続ける。

表1 各種誘電体材料の測定結果@室温

Name	t [mm]	f_0 [GHz]	Q_u	ϵ_r	$\tan\delta$ ($\times 10^{-4}$)
Under fill	0.394 ± 0.006	69.708 ± 0.020	170 ± 10	3.22 ± 0.04	118 ± 8
PTFE	1.033 ± 0.002	79.234 ± 0.008	2500 ± 30	2.04 ± 0.01	2.7 ± 0.2
SB-1	0.467 ± 0.005	49.851 ± 0.011	5220 ± 40	2.28 ± 0.01	3.5 ± 0.1
Quartz glass	0.566 ± 0.002	43.385 ± 0.007	4060 ± 40	3.82 ± 0.01	2.7 ± 0.1
Sapphire	0.483 ± 0.001	32.772 ± 0.009	8450 ± 100	9.39 ± 0.02	0.34 ± 0.02
AlN	0.244 ± 0.001	102.074 ± 0.011	1510 ± 90	8.45 ± 0.03	6.0 ± 0.4

(d) ミリ波帯導体材料定数データベース

2 サファイア誘電体共振器法を用いた 20, 30GHz 帯における導体・超電導体の表面抵抗測定系を構築し、図2に示すように銅導体の表

面抵抗の周波数特性を測定した。その結果、銅導体の表面抵抗は周波数 1/2 乗特性に良く一致することを明らかにした。一方、液体窒素温度下による測定系では、試作した BSCCO 超電導体は、一部しか超電導性を示さなかったため、高周波特性の測定は行えなかった。今後も他の超電導体も含めて、測定を行っていく。

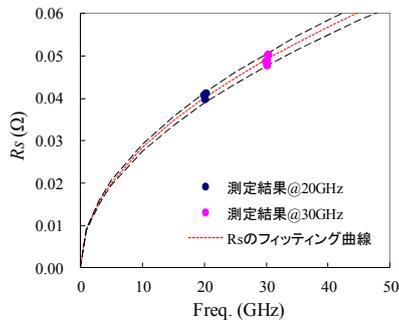


図 2 銅導体の表面抵抗の周波数特性

(2) 高 Q 共振器構造および超低損失ミリ波帯域通過フィルタの検討

(a) 平面回路構造

コプレーナ構造超電導 $\lambda/4$ 共振器, コプレーナ構造超電導円形スロット共振器の検討を行った。なお、ミリ波超電導共振器の構成材料として、基板材料にサファイア、超電導体材料に YBCO 薄膜を選択した。その結果、図 3 に示すコプレーナ構造超電導円形スロット共振器が、極低温下、30GHz 帯において、無負荷 Q 値 15000 程度が得られることを見出した。

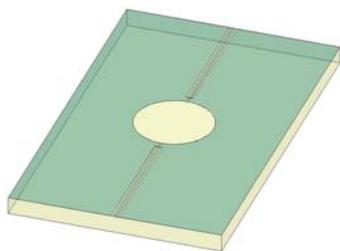


図 3 コプレーナ構造超電導円形スロット共振器の構造

見出した円形スロット共振器は、共振点において直交する 2 つの共振モードが存在する。この縮退をとくことで、1 つの共振器を用いて 2 段帯域通過フィルタが構成できる。図 4 にコプレーナ構造超電導 2 重モード 30GHz 帯 2 段帯域通過フィルタの構造を示す。提案構造では、縮退分離方法として、円形スロット内にノッチを設ける方法を採用した。

図 5 に周波数特性の計算結果を示す。1 つの共振器で 2 段帯域通過フィルタ特性を実現していることがわかる。また、中心周波数 29.97GHz, 3dB 帯域幅 290MHz(比帯域幅 0.97%)、挿入損失 0.12dB 程度の値が得られることを計算により実証した。この値は、銅導体を用いた場合に比べ、3dB 程度の改善であることが分かった。さらに、入出力部が結合した結果、通過域両側に極が発生し、急峻な遮断特性を実現している。今後の課題として、試作による実証試験、多段化による遮断特性の向上がある。

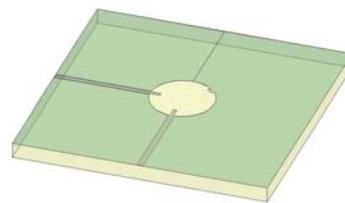


図 4 コプレーナ構造超電導 2 重モード 30GHz 帯 2 段帯域通過フィルタの構造

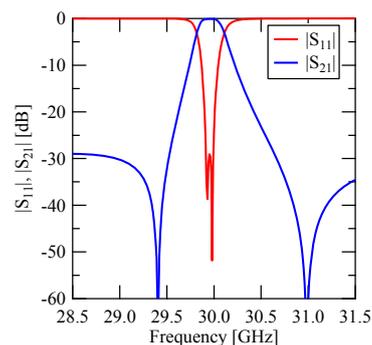


図 5 30GHz 帯 2 段帯域通過フィルタの周波数特性の計算結果

(b) 立体回路構造

図 6 に示す NRD ガイド励振サファイア円板誘電体共振器の検討を行った。常温、60GHz 帯において、無負荷 Q 値 5000 程度が得られることが計算によりわかった。サファイア円板誘電体共振器は周波数・無負荷 Q 値一定の関係があるため、30GHz 帯に換算すると無負荷 Q 値 10000 程度となる。

この共振器を用いて、図 7 に示す 60GHz 帯 NRD ガイド励振 3 段帯域通過フィルタの設計および試作を行った。周波数特性の計算結果および測定結果を図 8 に示す。中心周波数 57.0GHz, 3dB 帯域幅 540MHz(比帯域 0.95%)、挿入損失 0.6dB の低損失帯域通過フィルタを実

現した。この値は従来構造フィルタの挿入損失に比べ、1.5dB 程度の改善に相当する。しかしながら、5GHz 程度離れた周波数域にスプリアスが生じたため、この改善は今後の課題である。

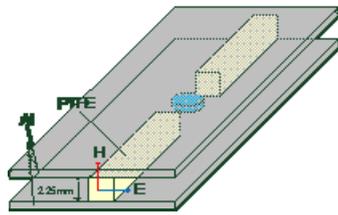


図 6 NRD ガイド共振サファイア円板誘電体共振器の構造

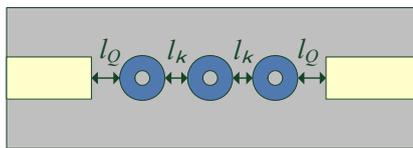


図 7 NRD ガイド共振 60GHz 帯 3 段帯域通過フィルタの構造

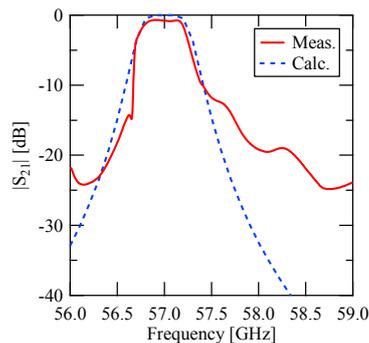


図 8 60GHz 帯 3 段帯域通過フィルタの周波数特性

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① T.Shimizu, S. Akasaka, Y.Kawahara, Y.Kogami, "A Development of a 100GHz Grooved Circular Empty Cavity for Complex Permittivity Measurements in W band," *IEICE Transaction on Electronics*, vol.E94-C, no. 10, Oct. 2011.(条件付採録)

[学会発表] (計 11 件)

- ① 清水隆志, 古神義則, 平地康剛, "20-100GHz 帯における AlN 平板の複素誘電率の周波数依存性測定," 2011 電子情報通信学会総合大会, C-2-49, p.87, Mar. 2011.
- ② 友部源生, 清水隆志, 古神義則, "NRD 回路を用いたミリ波帯域通過フィルタに関する研究," 平成 22 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, p.167, Mar. 2011.

- ③ T.Shimizu, S. Akasaka, Y.Kawahara, Y.Kogami, "A 100GHz Grooved Circular Empty Cavity for Low Loss Dielectric Substrate Measurements in W Band," *2010 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings*, FR2E-3, pp.1701-1704, Dec. 2010.

- ④ 清水隆志, 中村雅人, 川原祐紀, 赤坂清三, 古神義則, "遮断円筒導波管法による W 帯における複素誘電率測定の検討," 信学技報, MW2010-106, pp.7-10, Nov. 2010.

- ⑤ 渡邊渉, 中村雅人, 清水隆志, 菊池幸市, 古神義則, "WG モード共振器法による積層基板材料の複素誘電率測定に関する検討," 信学技報, MW2010-107, pp.11-14, Nov. 2010.

- ⑥ 中村雅人, 清水隆志, 小宮谷壽郎, 古神義則, "遮断円筒導波管法による誘電体基板の複素誘電率の面内分布測定," 2010 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-34, p.70, Sep. 2010.

- ⑦ 清水隆志, "放送分野から見たミリ波フィルタ必要論," 平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, TC17-1, pp.582-583, Sep. 2010.

- ⑧ 古神義則, 清水隆志, 中村雅人, 渡邊渉, "ミリ波誘電体基板材料と材料評価法の最新動向," 平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, TC16-1, pp.566-569, Sep. 2010.

- ⑨ 清水隆志, 中村雅人, 古神義則, "遮断円筒導波管法によるアンダーフィル材料の複素誘電率測定に関する検討," 信学技報, vol. 110, no. 25, MW2010-23, pp. 51-54, May. 2010

- ⑩ 清水隆志, 中村雅人, 古神義則, "50GHz, 70GHz 帯におけるアンダーフィル材料の複素誘電率測定," 2010 電子情報通信学会総合大会, C-2-57, Mar. 2010

- ⑪ 大澤悟, 中村雅人, 清水隆志, 古神義則, "WG モード共振器法によるミリ波誘電体基板材料の複素誘電率測定に関する検討," 信学技報, vol.109, no.431, MW2009-188, pp.53-58, Mar. 2010.

[その他]

ホームページ等

<http://mmw.ee.utsunomiya-u.ac.jp/~shimizu/>

<http://mmw.ee.utsunomiya-u.ac.jp/>

http://www.eng.utsunomiya-u.ac.jp/koukou/kenkyu/densi_kyouzyu/shimizu/index.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

清水隆志 (SHIMIZU TAKASHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80500397