

高周波デバイス開発の特性評価技術に関する研究

電子デバイス技術課 角田龍則、坂井雄一

1. 緒言

今日、携帯情報端末として、スマートフォンやノートパソコンなどが広く普及している。その無線機器の通信規格 4G では、利用周波数帯は 800MHz と 1.5~3.5GHz であり、さらに次世代通信 5G では 3.6~4.8GHz と 27~29GHz となる。より多くの端末との高速通信が可能になり、データ通信量の著しい増加を支える高度な通信システムが構築される。本研究では、今後ますます需要が拡大すると見込まれる次世代通信電子デバイス(アッテネータ)に関する設計試作の技術開発を行った。

2. 実験方法と結果

2.1 薄膜素子抵抗体試作

高周波用減衰器(以降アッテネータ)は、抵抗を複数個組み合わせ合わせた部品である。T型と π 型があり、今回は π 型を採用した。目標電圧減衰率は 10dB とし、インピーダンス 50 Ω の場合の並列直列抵抗の設計目標値を以下の式から算出した。

$$\alpha = 20 \log k$$

α : 減衰率 k : 電圧減衰比 R : インピーダンス

$$\text{並列抵抗値 } R1 = (k+1) * R / (k-1)$$

$$\text{直列抵抗値 } R2 = (k*k-1) * R / 2k$$

$$\pi\text{型 5 素子 並列 } R1 = 192.4 (\Omega) \quad \text{直列 } R2 = 71.2 (\Omega)$$

抵抗素子は、アルミナ基板に NiCr スパッタリングで薄膜を成膜し、その上から Cu 電極を形成した後、基板を分割することで作製した。図 1 はチップ抵抗外観および NiCr スパッタリング時間と抵抗値の関係を示す。これによりアッテネータの直列並列の各素子を作製できた。

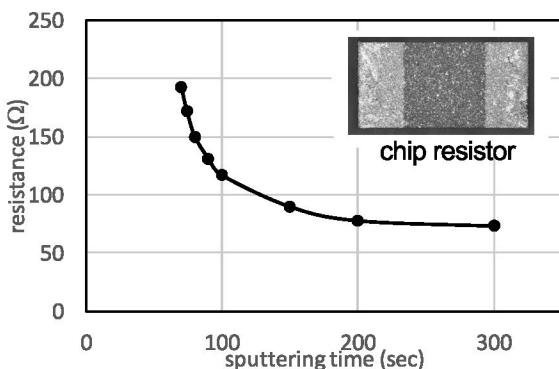


Fig. 1 The tip resistor & Relationship between NiCr sputtering time and chip resistance

2.2 アッテネータの特性シミュレーション

続いて、30GHz までの周波数特性シミュレーションを実施した。電磁界解析に使用したソフトは sonnet lite(無償版)である。基板に抵抗素子を複数個配置したモデルを作成し、周波数特性は S_{12} と S_{11} で評価した。設計目標値は、 S_{12} が $10 \pm 0.1\text{dB}$ 、 S_{11} が -26.5dB (電圧定在波比 VSWR 約 1.1)以下とした。

まずは、基板形状を 5×5mm、NiCr 面積 0.5×0.5mm、配線幅 1mm を基準条件として、各パラメータの影響をシミュレーションにより評価した。図 2 は基準条件モデル、表 1 はシミュレーションの結果、周波数特性(S_{12} , S_{11})が比較的良好な条件を示す。

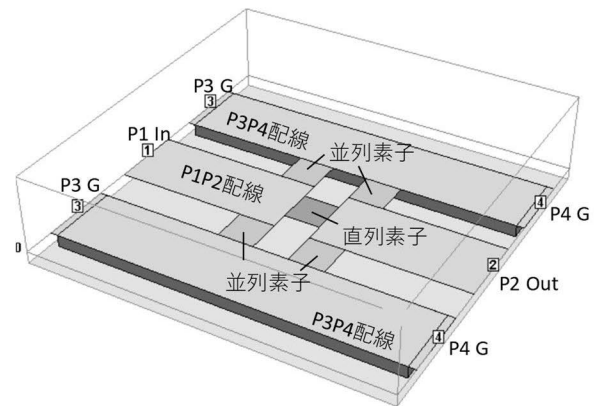


Fig. 2 Simulation model of standard condition

Table 1 Characteristics of the 10dB attenuator

	S_{12}	S_{11}
In-Out 間隔	2~3mm	2~4mm
In-Out 線幅	1mm	1~1.4mm
Ground 線幅	影響小	影響小
NiCr 面積	0.4×0.4~0.5×0.5	0.5×0.5 以下 小さいほうがよい
素子形状	長方形(In-Out 方向短)	正方形 25GHz 以下

また図 3 には、シミュレーションモデルの基準条件と、もっとも周波数特性がよい条件の計算結果を示す。In-Out 間隔を小さくし、NiCr 面積、線幅を最適化することで周波数特性 S_{12} と S_{11} を大幅に改善でき(S_{12} は $10 \pm 0.08\text{dB}$ 、 S_{11} は -27.7dB 以下)、十分設計目標を達成できることがわかった。さらに、NiCr 面積を正方形から長方形にすることで、 S_{12} の周波数特性を約 2 割改善できることがわかった($10 \pm 0.08\text{dB}$ から $10 \pm 0.06\text{dB}$ に)。

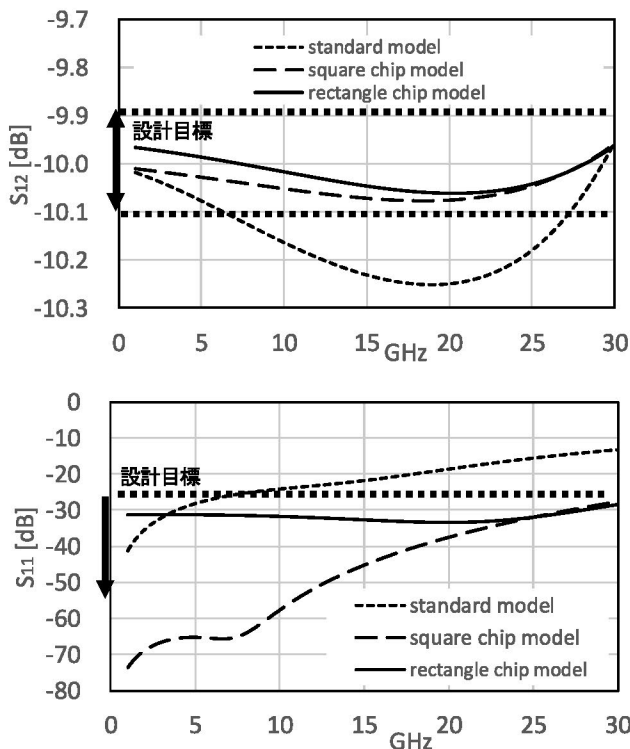


Fig. 3 The frequency response of the simulation model (standard and better S-parameter model)

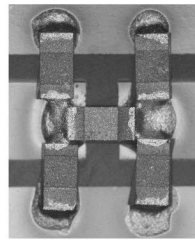
2.3 アッテネータの特性評価

以上を参考にポリイミド基板に所定の幅で銅配線を成膜し、その上に薄膜抵抗素子を導電ペーストで固定接続した。基板の形状、配線、抵抗の形状と配置は、シミュレーションでもっとも良かった条件ではなく、試作可能な範囲で比較的良好な特性の得られる以下の条件で行った。

基板形状：3×4mm P1P2 配線幅：1mm

P3P4 配線幅：1mm NiCr 面積 0.5×0.5mm 正方形

得られたアッテネータの周波数特性を、ネットワークアナライザと GSG プローバー(グラウンド G-シグナル S のプローブ間隔 1.2mm)を用いて 10GHz まで測定した。図 4 は 5 つの薄膜抵抗を実装接続したアッテネータ外観、図 5 はその周波数特性 S_{12} である。1.5GHz 付近に基板由来のスプリアスがあり、8GHz まで $-10 \pm 3\text{dB}$ となった。また、 S_{11} は 3GHz まで -20dB 以下となり、3GHz 以上では



10dB 程度とかなり大きな値になった。本試作の構造において、約 3GHz までが設計目標値を達成できた。

Fig. 4 The 5chip attenuator

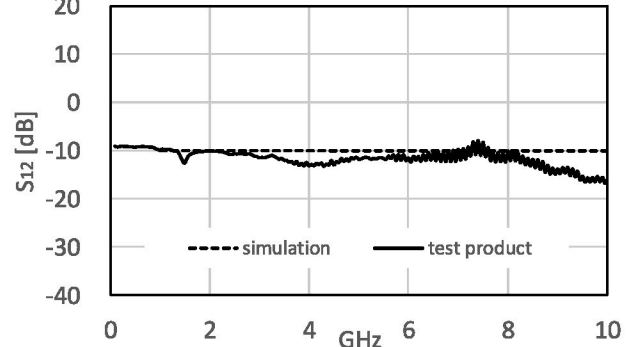


Fig. 5 The frequency response of the simulation model (simulation and test product attenuator)

より高周波において設計目標値を満足するためには、ニクロム電極の平滑化と小面積化、配線材料の変更および基板のスルーホール加工などが必要と考えられる。

3. 結言

本研究では、5G 帯域の電子デバイス(アッテネータ)設計をおこなった。デバイスの周波数特性に影響をあたえる要素を選択し、パラメータを変更してシミュレーションをおこなった。その結果から、NiCr 面積、銅配線およびグラウンドとの短絡位置を最適化することで、周波数特性 S_{12} , S_{11} の設計目標値を十分満足することがわかった。また、NiCr 薄膜抵抗 5 素子の 10dB アッテネータを実際に作製し、その周波数特性を 10GHz まで評価することができた。

参考文献

- 1) 角田龍則他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, 36, (2022) 94

キーワード：高周波用デバイス、アッテネータ、周波数特性シミュレーション

Characteristic Evaluation Method for High-frequency Device

Electronics and Device Technology Section; Tatsunori KAKUDA and Yuuichi SAKAI

In this study, we examined the designing method for high-frequency electric devices (attenuator). By conventional frequency simulation, the most suitable device design was provided. NiCr area, copper wiring and the short circuit with the ground have influence on frequency properties. In addition, the 10dB attenuator of the 5 NiCr resistor was manufactured, and was evaluated the frequency properties to 10GHz.