

半導体集積化技術を用いた メタマテリアルマイクロ波伝送線路の試作



Fabrication of Metamaterial Microwave Transmission-Line Utilizing Semiconductor Integration Technology

●平原大地, 野地紘史, 堀正和, 磯野晃輔, 三田信, 川崎繁男 (宇宙航空研究開発機構)

目的

伝送路の周期構造によって電磁波の位相振舞いの操作が可能となるメタマテリアル伝送線路をマイクロ波・ミリ波回路へ応用させようとしている。さらに、マイクロ波・ミリ波帯の高周波集積回路(MMIC)技術などの先端技術を宇宙エレクトロニクスへ適用し、高性能アンテナ回路モジュールを小型高機能化・低コスト化させる。衛星プロジェクト・一般応用通信システム機能のワンチップでの実現を目指し、観測ミッションでの検波器信号線路部、推力剤タンク内センサー、無線通信・電力送信機器などに展開する。

研究開発体制

川崎研究室, クリーンルーム管理者, 相模原の通信・データ処理G, 電子部品・デバイスG, 電源Gのメンバーで構成される。設備は川崎研の設計・解析ツール(図1)と測定・評価システム(図2), クリーンルームの真空蒸着器, スパッタ装置, EB描画装置, SEM, 光学顕微鏡などの半導体製作装置(図3)となる。設計, 製作, 評価, パッケージ化までを行う。これらのスーパーユーザーの育成, 設備拡張や, ALL-JAXAでの利用, 大学連携も検討している。ISAS設備の利用率向上, 高効率化を兼ねている。

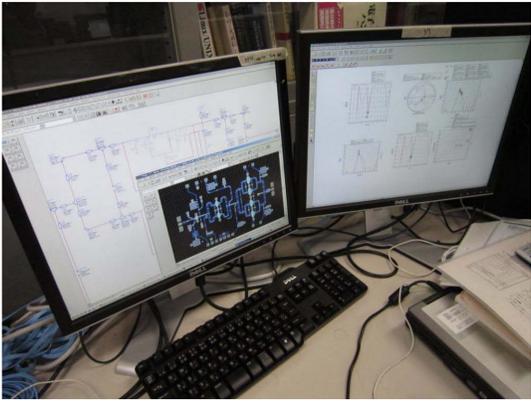


図1 回路設計・解析ツール



図2 評価系(プローブステーション)



図3 半導体製作プロセス装置(EB描画装置)

経緯

メタマテリアルは、母材となる伝送線路内部に周期的構造を構成することにより、これまでに自然界では存在しなかった特性を有する物質構造である。メタマテリアルではある周波数において、等価誘電率、及び等価等磁率が同時に負となる左手系が存在し、伝播する電磁波にて位相速度と群速度が逆行する現象が起こる。この特異な現象を利用することで、周波数の異なる双方向伝播が可能となり、例えば、センサーへの電力伝送とセンサーからの情報伝達などが同時に期待できる。しかし、左手系を得るために共振器を組み合わせた構造が用いられてきたが、狭帯域のため損失が大きく製品化される実用レベルでの実現には課題が山積であった。そこで近年、伝送路理論に基づく非共振型の左手系媒質の構成法が提案され、その広帯域動作かつ低損失動作が電磁波応用に期待されている。さらに、伝送線路であればMMIC技術を用いることで小型化も可能となる。本研究では、GaAsにて左手系/右手系複合伝送路(Composite-Right/Left-Handed Transmission-Line ; CRLH-TL)を設計・試作し実証した。さらに、低コスト化とレアメタル使用の軽減、RF-CMOS技術の利用の観点から、SiによるCRLH-TL実証に着手している。

試作と検討

GaAsによるCRLH-TLの設計, 試作, 評価(図4)と, Si基板上に蒸着したAlによる基本伝送導波路の設計, 試作, 評価(図5), Siによるメタマテリアル導波路の設計検討(図6)を行った。まずアナログ回路(図6左)で欲しいCRLH特性(図4下, 図6右)になるよう各素子の値を決定し、伝送線路で得られるよう解析によって構造を求める(図4上, 図5左)。CADデータから描画データを作製し、半導体集積化技術により製作する。完成後はプローブステーションで測定する(図4真中, 図5右)。これらの結果から、SoC(System-on-a-Chip)の設計手法を確立し、RF-CMOS/化合物半導体MMIC混成によるアクティブメタマテリアルへの適用を検討していく。

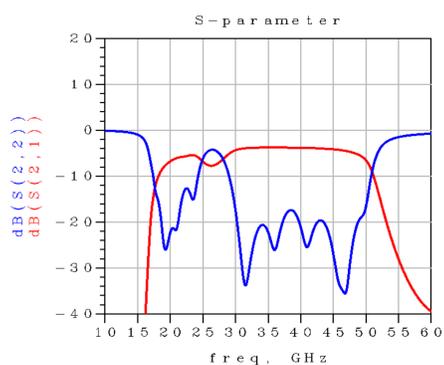
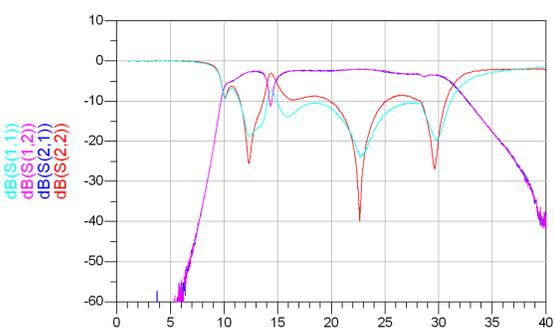
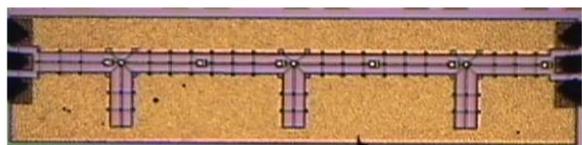


図4 GaAsによるCRLH-TLの測定結果。(上)完成素子の顕微鏡画像。(真中)伝搬特性。20GHz近傍でCRLH特性。(下)シミュレーション結果。

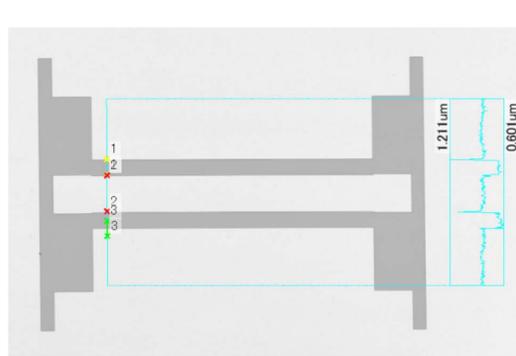


図5 Si基板上でのAl-CPW伝送導波路。(左)光学顕微鏡にて測定。(中央)スミスチャートによるインピーダンス評価。50Ω整合を確認。(右)測定結果。伝搬損失は0.6dB以下を確認。

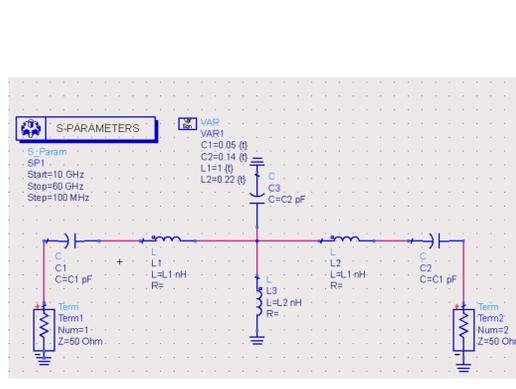


図6 Siメタマテリアル伝送導波路のシミュレーション結果。(左)等価回路。GaAs・CRLH-TLの特性に類似となるための設計。(中央)インピーダンス評価。(右)シミュレーション結果。

課題

本結果からプロセス精度を考慮し、Si基板で図6のC1, C2, L1, L2各値を得るために調整・設計し、製作する必要がある。Si基板でCRLH-TL実証後、RF-CMOS/化合物半導体MMIC混成によるアクティブメタマテリアル回路へ展開する。混成回路の設計後は、協力機関の大型製造プロセスを用いてSoC化し、プロトタイプ実証後にはファウンドリへの発注も検討していく。完成後、推進系燃焼試験やローバーなどに向け改良していく。