

氏名	黒木太司
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学位論文題目	ミリ波ストリップ導波路に関する研究
指導教官	東北大学教授 西田 茂穂
論文審査委員	東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 米山 務 東北大学教授 宮城 光信

論文内容要旨

第 1 章 緒 論

ミリ波帯は周波数利用の拡大に伴う大容量通信や、特色のあるリモートセンシングへの応用等の可能性から開拓が進められているが、近年の半導体工学の発展により良好な発振、及び検出素子が得られつつあり、これらをデバイスとして実用化するための導波路が種々研究されている。特にプリント配線技術を用いて作成される金属ストリップ導波路、所謂プリント線路は信頼性が高く、且つ集積化、量産化に適した利点から検討がなされているが、周波数の増加とともに導体損が急増し、伝送波が曲りや不連続で放射波に変換される欠点をもつので、ミリ波帯でのプリント線路の使用には、損失の軽減が課題となっている現状である。

そこで本論文では低損失で、しかも放射の無いミリ波プリント線路の確立を目的として、高次モード対称ストリップ線路 (Higher Mode Symmetrical Strip Line ; HS ラインと略す) を提案し、その有用性を理論的、実験的に明らかにしている。

第 2 章 高次モード対称ストリップ線路の基本特性

平行な 2 枚の導体板の間隔を使用周波数の半波長以下にすれば、導体板に平行に偏波した電磁波は遮断されて伝播できない。しかしこのような場合でも金属ストリップを図 1 のように挿入すれば、同図に示した伝送波が伝播可能となり、構造が平板間の中央の面に対称な限り放射波は発生しない

ので、極めて取り扱い易い導波路となる。しかもこのモードはTE₁₀金属方形導波管の側壁を磁気壁とした電磁界に類似しているので、プリント線路ではあるが伝送損は導波管の2～3倍程度と、従来のストリップ線路に比べて十分低損失となり、ミリ波帯で実用的な無負荷Qが期待できる。

以上がHSラインの動作原理であり、その伝播定数は横共振法により計算し、実験値と良好な一致を得た。また減衰定数 α と無負荷Q, Q_0 は30GHz帯において、平行平板内に充填する誘電体を空気とした場合、

$$\alpha = 3 \text{ (dB/m)} , \quad Q_0 = 1500$$

低損失なテフロンとした場合

$$\alpha = 6 \text{ (dB/m)} , \quad Q_0 = 950$$

と測定され、マイクロ波帯プリント線路として実績の高いマイクロストリップ（35GHzで $\alpha = 23.4 \text{ dB/m}$ ）と比べて損失は十分改善されていることが明らかとなった。

第3章 高次モード対称ストリップ線路に設けたスロットに沿う電磁波

HSラインでリアクタンス素子や半導体素子を構成する場合、或は将来のモノリシック化に対してはストリップ上に設けたスロットの利用が考えられ、その設計指針を得るために本章ではスロットで発生する高次モードの遮断波長を横共振法により計算している。その結果、計算値と実験値とは良く一致し、理論の妥当性が示された。

第4章 高次モード対称ストリップ線路におけるリアクタンス素子とその応用

ストリップ上に素子パターンを形成し回路を集積化する第一歩として、HSラインとスロットとの結合部、及びギャップの等価回路定数を測定した。その結果スロットは小さな反射を打消す整合素子に、またギャップは容量性リアクタンス素子に利用できることが明らかとなった。

なおHSラインでは横方向の非対称性からTEM伝送波が励振され、回路素子の劣化を招く場合があるが、TEM伝送波の1/4波長の長さのスロットを1/4波長間隔で数個設ければTEM伝送波は抑圧できることが明らかとなり、各種回路を構成する上で有用となっている。

第5章 高次モード対称ストリップ線路における帯域通過フィルタ

マイクロストリップ共振器の無負荷Qはミリ波帯では数10程度しか得られないが、HSライン共振器では第2章で示したように実用的な値になるので、この性質は帯域通過フィルタに利用できる。そこでまず、図2(a)に示すHSラインフィルタの設計法を従来より簡便な方法で導き、中心周波数32GHz、比帯域2%の0.1dBリップルチェビシェフ型として試作した。同図(b)にフィルタと同じ

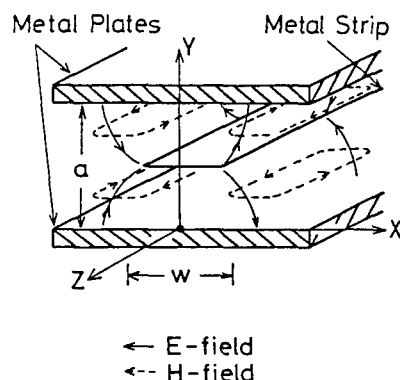


図1 HSラインの構造と基本伝送波の電磁界分布

長さの直線HSラインと比較して測定したフィルタの透過損を示すが、挿入損は0.7dBであり、低損失なミリ波プリント線路フィルタはHSラインではじめて実現されることが明らかとなった。

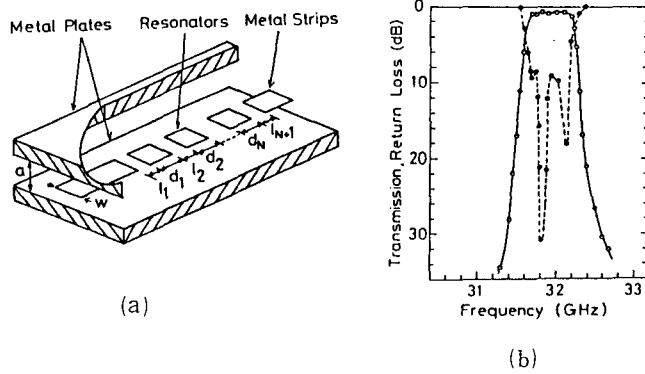
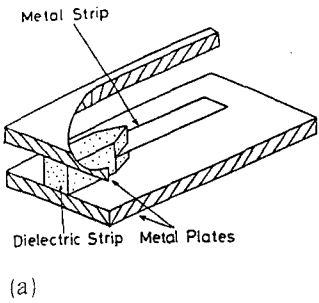


図2 (a)帯域通過フィルタの構造と(b)その特性測定値 (—○—;透過損, -●-;リターンロス)

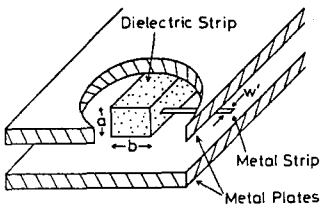
第6章 各種非放射性導波路相互間のモード変換特性とその応用

従来遮断平行平板内に金属や誘電体ストリップを挿入して回路を集積化する非放射な導波路としてHSラインの他に対称ストリップ線路、及びNRDガイドが挙げられる。前者は特性インピーダンスが低いために半導体素子との結合が良好であり、後

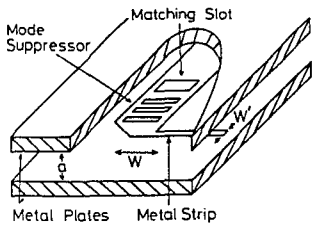
者は誘電体を導波路としているのでミリ波帯で著しい低損失性を示す。そこで本章では、平行平板内における回路構成の多様化の点で有用と考えられる、これら非放射性導波路相互間の結合特性を実験的に検討した。その結果、HSラインとNRDガイドは図3(a)のように軸方向に、またNRDガイド及びHSラインと対称ストリップ線路とは同図(b)(c)のように横方向に結合させれば良く、それぞれ中心周波数で反射電力0.05%のモード変換が可能であることを示した。更にこの横方向に出



(a)

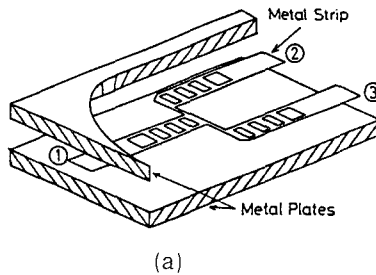


(b)

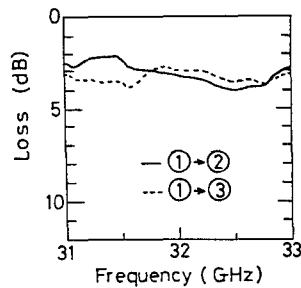


(c)

図3 各種モード変換器の構造
(a)HSライン-NRDガイド
(b)NRDガイド-対称ストリップ線路
(c)対称ストリップ線路-HSライン



(a)



(b)

図4 (a)モード変換を利用したHSラインT分岐の構造と(b)透過損の測定値

力を取り出すモード変換器は図4(a)のようなT分岐にも応用できる。直線HSラインと比較した分岐出力は同図(b)のように、32GHzを中心に2~4 dBと測定され、実用の可能性が示されている。

第7章 結 論

HSラインの伝送波は周知のとおり対称ストリップ線路の高次モードである。従来このような高次モードの使用には低次モードとの干渉や高特性インピーダンス性等の問題が本質的であったが、本論文ではこの困難を補う種々の方法を示し、高次モードを利用した実用的なミリ波集積回路実現の可能性を明らかにした。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、ミリ波帯域開発の進展にともない、信頼性の高いミリ波デバイスの要求が強い。そのため、回路の集積化を目的とした誘電体ストリップや金属ストリップを用いた導波路の研究が注目されている。

著者は、信頼性が高く、小形軽量で回路の集積化に適し、かつ量産性の高い導波路として、新しい形式の金属ストリップ導波路を提案し、理論と実験の両面からその特性を解明して設計法を確立した。またこの導波路を用いた各種回路素子を開発して実用への道を開いた。本論文はこれらの成果をまとめたもので全文7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、著者の提案になる高次モード対称ストリップ導波路について、その動作原理を明らかにし、基本的な伝送特性を理論的、実験的に検討してその設計法を確立している。ここで得られた特性は良好で、従来の金属ストリップ導波路に比して損失特性が優れており、高い性能の回路を構成し得ることを指摘している。

第3章では、能動素子の装荷を目的として、金属ストリップに設けたスロットに沿う伝送波について考察している。ここでは2種類の伝送モードの存在を理論と実験によって明らかにし、これらの選択利用の方法など新しい知見を得ている。

第4章では、回路構成に必要なリアクタンス素子について検討している。即ち、金属ストリップに設けたスロットおよびギャップに対する等価回路表示を求め、その設計法を明らかにして各種回路への応用を可能にしている。

第5章では、前章までの結果を用いて設計、試作した帯域通過フィルタについて述べている。ここで示されたフィルタの設計法は従来の方法に比して精度が高く、また測定された結果も従来の金属ストリップ導波路では得られない優れた特性を示している。特に挿入損失が低く、第2章で指摘された本導波路の低損失性を実証している。これは優れた成果である。

第6章では、異種導波路間の接続について考察している。即ち、導波路間のモード変換を検討し、優れた特性をもつ変換器を新たに提案して接続の問題を解決し、種々の回路構成を可能にしている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、新しい形式の金属ストリップ導波路を提案してその優れた特性を明らかにし、さらに各種回路素子を開発して実用への道を開いたもので、通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。