

氏 名	苦 米 地 義 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年 4 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 48 年 3 月 山形大学大学院工学研究科電子工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	方形誘電体導波路の不連続部に関する研究
論 文 審 査 委 員	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 川上彰二郎 東北大学教授 宮城 光信

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

近年の光情報通信技術の発展により光波帯における回路構成は、従来の集積回路の微細加工技術とマイクロ波通信の導波技術をもとに次第に集積化構造になりつつある。光集積化回路の中では一般に方形断面を有する誘電体導波路が基本的な回路構成要素であり、その電磁界的諸特性を知ることが光集積化回路設計上不可欠となる。しかし方形誘電体導波路はその構造上波動方程式を変数分離の形で解くことができず、厳密な波動解が得られない。本論文ではこの方形誘電体導波路の導波モードの近似的界分布表示式を誘導することおよび光集積化回路どうしを接続する際生じるであろう各種不連続部問題をこの界分布を用いて解析することを中心課題として取り扱っている。

本論文の第 1 の目的は、方形誘電体導波路の固有値および界分布表示式を数式的に取り扱いやすい形で求めることである。第 2 の目的は、実際にこの界分布表示式等を各種不連続部問題に適用し不連続部における反射や散乱特性を明らかにしミリ波、サブミリ波、光波用集積化回路の設計の基本的資料を得ることである。

第 2 章 方形誘電体導波路の界分布表示式と分散特性

方形誘電体導波路の管軸に垂直な横方向領域を 9 つの小領域に区分し、各領域での界分布表示式を余弦関数と指数関数を用いて書き表す。次にこの表示式に含まれる横方向位相定数や等価誘電率を一般化された実効誘電率法を応用して決定している。この様にして得られた界分布表示式や位相

定数を他の解析法によって得られる結果と比較検討した。その結果この近似的界分布表示式は、横方向領域の一部で他の解析法の結果と食い違いが見られるものの、大略方形誘電体導波路の導波モードを表示しようとの判断を行ない第3章以下の各種不連続部問題の解析に用いることとした。さらに章の最後では、この界分布表示式を直接適用して直線状方形誘電体導波路のコア材質の誘電正接による減衰定数を閉じた形で初めて算定し、別途行なった実験結果と比較することにより本界分布表示式の有効性を示している。

第3章 方形誘電体導波路の開放端部近傍電磁界の解析

方形誘電体導波路が伝搬軸に垂直な平面で切り放された場合の反射および放射特性を第2章で算出した界分布表示式を用いて解析した。まず不連続面で成立する境界条件式をフーリエ変換し、スペクトル領域で導波モードと放射モード間の直交関係を満足するように放射モードの位相定数に相当するパラメーターを逐次補正法を用いて決定する。その結果不連続面での導波モードの反射係数は一定値に収れんする。反射係数が収れんした時には不連続面でのエネルギー保存則は0.3%以内の精度で保たれることが示されている。さらにこの反射係数を用いて開放端部の近傍電磁界分布を逆フーリエ変換することにより算出した。図1にその結果の一例を示す。この図で○印や●印

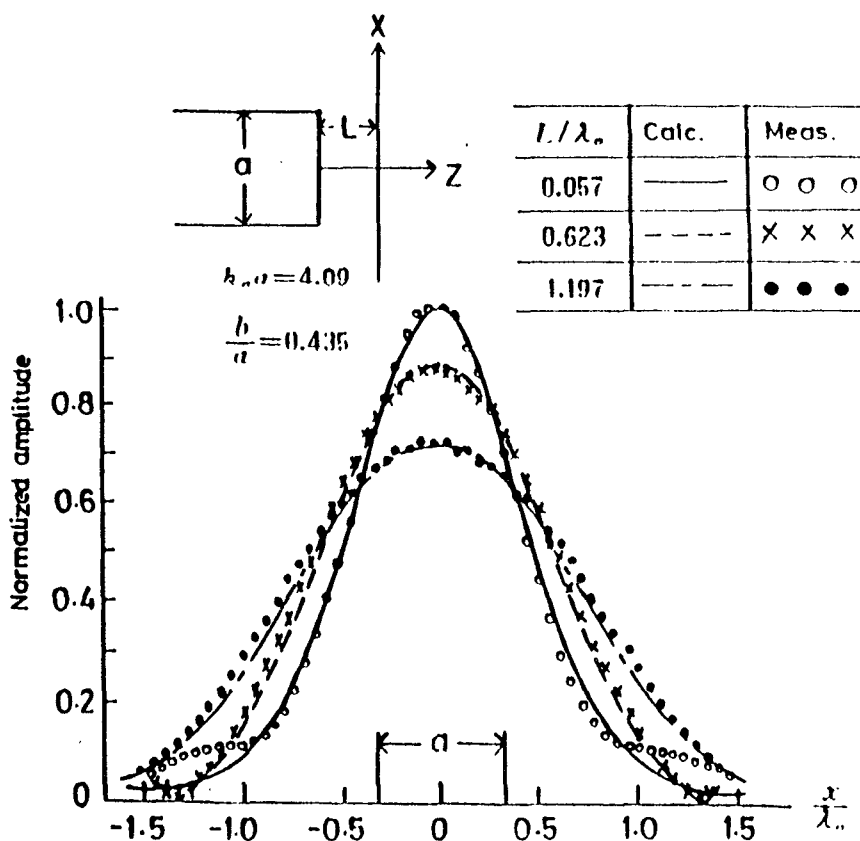


図1 x軸に沿う電界強度の変化

は別途行なった実験により得られた結果であるが、この図から両結果は互いに良く一致していることが分かり、本解析法の有効性が確かめられた。またこの解析方法を用いることで従来の2次元型スラブ導波路の取り扱いでは求めることのできない開放端部近傍の横方向電磁界分布を数値解析的に求めることができた。

第4章 方形誘電体導波路の同心状接続部における反射および透過特性の解析

断面寸法が異なる2本の方形誘電体導波路が、同心状に接続された場合の反射、透過および放射特性を第3章の方法を拡張して解析した。その結果導波モードの反射係数および透過係数はともに複素数であり、虚数部は負になることが初めて明らかになった。章の後半では、不連続面で発生する放射モードのうち反射波成分を省略する簡便な方法（モード整合法として知られている。）によりこの不連続部を解析し、厳密な本解析法との結果と比較検討した。この結果、厳密な本解析法は断面寸法が互いに大きく違う2本の導波路が接続された場合でも適用可能であるが、モード整合法は断面寸法比が1に近い場合にしか適用できないことが明らかになった。

第5章 方形誘電体導波路の軸ずれ接続部の反射および透過特性

相等しい2本の方形誘電体導波路が軸ずれ（偏心）を生じて接続されている場合の反射、透過および放射特性を解析する手法を示した。その結果従来の2次元型スラブ導波路を用いた解析では得ることのできなかつたXおよびY軸方向に同時に軸ずれが生じた場合にも本解析法が適用できることが明らかになった。すなわち入射導波モードの偏波方位と同じ方向へ軸ずれの場合の方が、偏波方位と直角に軸ずれして接続された場合よりも、同じずれ量（偏心量）に対し、小さい反射係数を持つことが初めて明らかになった。これらの結果は実験的に透過導波電力を測定するという方法で理論計算結果と比較検討され、本解析法の有効性が示されている。本章で取り扱った不連続部の解析結果は集積化回路どうしを接続する際に有効な指針を与えるものと思われる。

第6章 方形誘電体導波路のわずかな折れ曲がり部分の反射、透過および放射電力

相等しい2本の方形誘電体導波路が、わずかに折れ曲がって接続されている場合の反射、透過および放射特性を解析している。解析手法として、折れ曲がり角度が小さいため反射放射モード成分が非常に小さいことを見通して第4章で導入したモード整合法を適用した。その結果小さな角度で折れ曲がって接続された場合の導波モードの透過係数を閉じた形で算定することが可能になった。実験的に折れ曲がり接続部付近の近傍電磁界分布を位相分布も含め測定し、先の解析結果の妥当性を確かめるとともに折れ曲がり角度が大きくなれば、放射電磁界が増大する様子確かめた。

第7章 立体交差型配置をとる方形誘電体導波路の結合特性

図2のように2本の方形誘電体導波路が立体交差型配置をとる場合の結合特性を解析した。解析は2本の導波路が互いに近接することによる電磁界分布の摂動を考慮し、さらに結合した導波路系

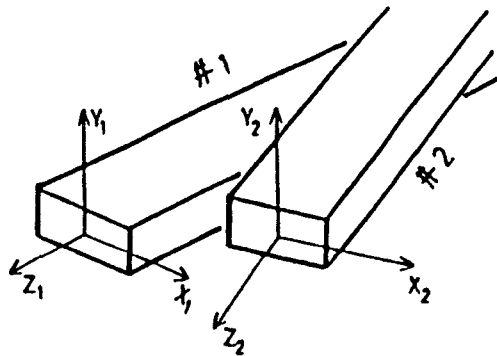


図2 立体交差点と座標系

に階段状近似を施し，部分的に平行に配置された2本の導波路の結合特性を把握することから始めた。続いて立体交差型配置で強く結合した場合の結合特性を算定し，2本の導波路の間隔および立体交差角に依存する結合系の結合係数と各導波路に沿って伝送される結合電力等の特性を求めた。結合電力の一例を図3に示す。この結果極端に導波路が接近しない限り本解析結果は実験結果と良く一致しており，本解析手法は異なる平行層内に配置された誘電体導波路間の結合状態を解明する有効な手段となり得ることが判明した。この結合問題の解析は集積化回路が積層化された場合にその回路設計に有効な指針を与えるものである。

第8章 結 論

本章では本研究で得られた主要な成果を要約している。本論文で述べた一連の研究成果は，光通信システムを構成する際の集積化回路内の導波路分岐部や分布型方向性結合器等の回路素子の設計指針となるものであることを結論している。

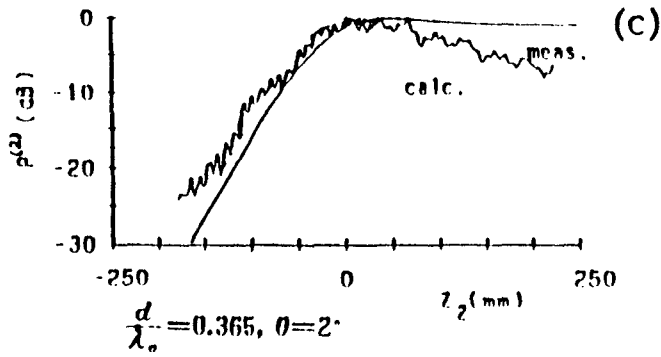
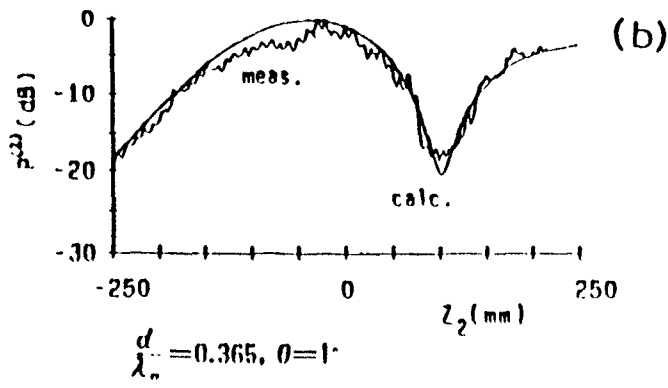
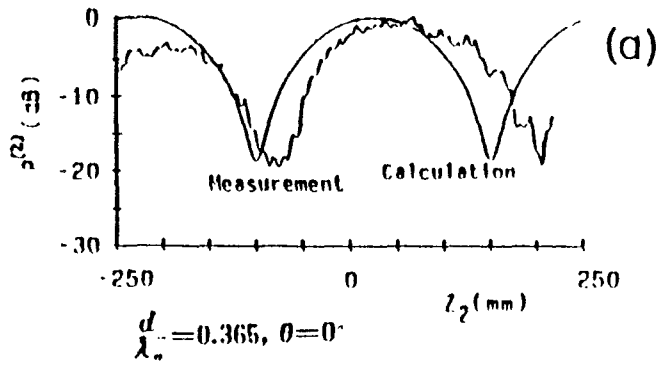


図3 結合電力の z_2 依存性