

平成21年6月11日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560364

研究課題名（和文）ミリ波・テラヘルツ波帯高誘電率薄膜伝送線路の基礎研究

研究課題名（英文）Basic Study on High permittivity Tape Transmission Line at Millimeter-wave and THz-wave Spectrums

研究代表者 黒木 太司 (KUROKI FUTOSHI)

呉工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：30195581

研究成果の概要：

高誘電率薄膜伝送線路を提案し、この伝送線路の基本伝送特性を解明するとともに、集積回路用導波路としての構成法とその設計指針を確立した。またミリ波・テラヘルツ波帯における伝送特性を理論・実験の両面から検討した結果、この導波構造は高誘電率材料の材料損失にかかわらず低損失性を保持することが明らかになり、超高周波帯における応用展開の基礎を与えることが出来た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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・テラヘルツ波、誘電体導波路、超高周波伝送回路

## 1. 研究開始当初の背景

超高速信号用伝送線路の高性能化に関する研究は量産性を有するプリント線路によるアプローチと、新たな誘電体線路の提案に大別される。前者に関しては線路をサスペンデットにする、或いはその中心導体の形状に丸みをつける、MEMS技術を用いるなどの工夫がなされているが、導波媒体が本質的に金属なので導体損の急増は免れない。また後者に関してはNRDガイドの研究があ

るが、量産性の点で問題が残されている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、プリント線路の量産性とNRDガイドの低損失性を具備した新しいミリ波・テラヘルツ波帯伝送線路の開発を行い、更には超高速信号伝送線路への応用展開の基礎を与えるものであり、ギガビットを越える超高速デジタル信号伝送線路や、ミリ波・テラヘルツ波帯伝送線路の低損失化、低歪み

化を実現するために、高誘電率薄膜伝送線路を提案する

### 3. 研究の方法

高誘電率薄膜伝送線路は図1のようにトリプレート線路で伝送損失増加の原因となる中心導体を高誘電率誘電体で置き換えただけの簡単な構造である。図2は代表的なその分散特性であり、この伝送線路は、遮断平行平板の速波効果によりA点に示すようなカットオフ周波数を有するが、B点からC点にわたる、ある特定の周波数帯域では、伝送波の位相速度に関して極めて低分散な特性を示し、またこの低分散領域では伝送損失はプリント線路の一万分の一以下に改善されるという結果が、近似計算により得られた。さらにこの高誘電率薄膜の厚みは、ミリ波帯で数十～数百マイクロン、テラヘルツ波帯で数マイクロンになることから、エッチング技術による製作が可能になり、これまでの懸案であった低損失誘電体線路の量産性問題も解決することが出来る。

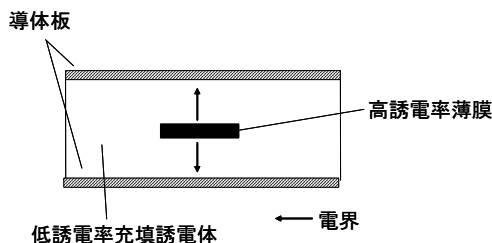


図1 高誘電率薄膜伝送線路の構造

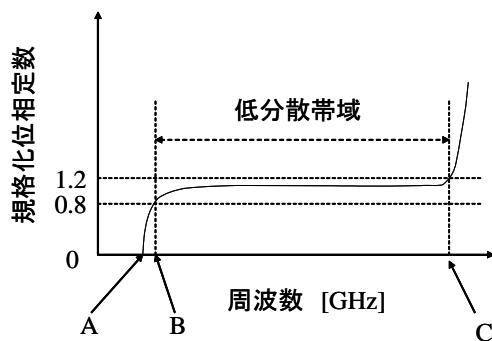


図2 高誘電率薄膜伝送線路の分散特性

そこで本研究では、以下の計画に沿って本提案導波路の動作原理の解明と、その応用展開を図った。

- (1) 本研究経費で購入予定の有限要素法による3次元電磁界解析ソフトを用いて、この伝送線路に伝送可能な導波モードの同定とその伝送定数の解析を行う。
- (2) (1)で得られた結果をもとに、低分散現象の解明とその広帯域化に対する線路パラメータを見出す。
- (3) 高誘電率薄膜や充填する低誘電率誘電体の誘電損失をもとに伝送線路の伝送損失を計算し、導波モードの低伝送損失条件を把握する。
- (4) より実用的な高誘電率薄膜伝送線路として、図3に示すような線路形状を提案する。これは低誘電率誘電体基板上に形成した高誘電率誘電体薄膜を中空遮断平行平板導波管ハウジングの水平対称面に挿入したもので、この低誘電率基板は電磁界が極めて希薄なハウジング端で支持・固定されている。理論的にはこのような形状でも前述の図2に示す伝送特性は確保されると予想されることから、この伝送線路の3次元電磁界解析を精密に行い、その設計指針を確立する。
- (5) (4)で提案した伝送線路の製作誤差が伝送特性に与える影響を理論検討する。

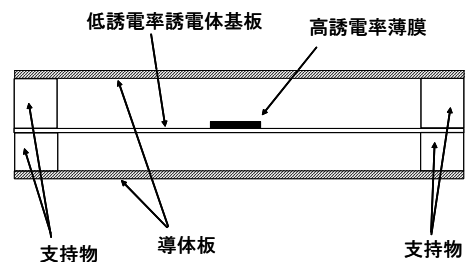


図3 低誘電率誘電体基板で支持された高誘電率薄膜伝送線路の構造

#### 4. 研究成果

##### (1)分散特性

高誘電率薄板の比誘電率を、入手可能な 24.2、90、200 のセラミックと仮定し、平行平板の間隔を 2.25mm、またそれぞれの薄板の厚みと幅を、比誘電率 24.2 の薄板では 1mm 及び 0.2mm、比誘電率 90 の薄板では 0.4mm 及び 0.15mm、また比誘電率 200 の薄板では 0.4mm 及び 0.2mm に固定して計算した、周波数に対する最低次モードの規格化位相定数を図 4 に示す。同図によれば、カットオフ近傍の分散特性は急峻であるが、その後規格化位相定数が 1 付近になると、周波数が上昇しても規格化位相定数の変化は緩やかになり低分散性を示し、その後再び分散が急峻になることがわかる。図 5 に比誘電率 197 の誘電体材料を用いた場合の分散曲線の理論値と実験値を示すが、両者は一致し、本厳密解の妥当性が確認できた。

なお、このような分散特性を示す原因とは以下のように考えられる。

この伝送線路は高誘電率薄板を伝送する表面波が平行平板による速波効果をうけたものと解釈できることから、まずカットオフ近傍では平行平板の遮断効果により、金属導波管と同様に分散特性が急峻になる。その後周波数の上昇とともに、電磁界が平行平板と高誘電率薄板の間に集中し、TEM 波に類似した伝送モードになることから低分散性を示す。そして、さらに周波数が上昇すると電磁界は高誘電率薄板内に集中し、表面波本来の急峻な分散特性を示すものと考えられる。

##### (2)電磁界分布

前節で述べた考察を確認するため、伝送波の電磁界分布を、カットオフ近傍、低分散領域、高周波領域の 3 種の周波数に分けて計算し、その結果を図 6 に示す。予想通り、カットオフの近傍及び低分散領域では電磁界は

平行平板と高誘電率薄板の間に広がり、また高周波領域では電磁界は高誘電率薄板内に集中していることがわかる。このことは、誘電正接が悪い高誘電率薄板を利用しても低分散領域では充填する低誘電率材料の誘電正接を低く設定すれば、高誘電率薄板伝送線路の低損失性が確保されることを意味する。一般に比誘電率が高くなるほど誘電正接は劣化する傾向にあるが、本伝送線路はその影響を受けにくいという特徴を有する。

##### (3)伝送損失

実験に用いた高誘電率材料の比誘電率は既知であるが、ミリ波帯における誘電正接は未知であることから、誘電正接の関数として伝送損失の周波数特性を計算し、これを図 7 に示す。また実験により求めた伝送損失を同図に○印で示すが、誘電正接は 0.005 の時、理論と実験は一致した。また低分散な周波数領域における伝送損失は 18dB/m であり、ミリ波集積回路用伝送線路として十分実用に供しうる値を得ることができた。

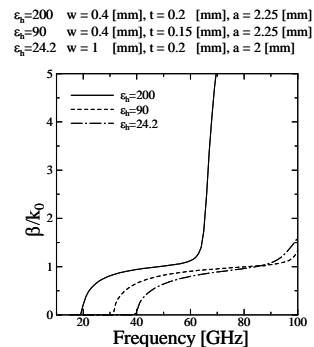


図 4. 高誘電率薄板伝送線路の分散特性の計算値

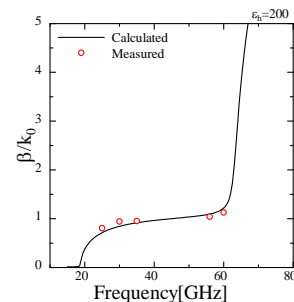


図 5. 比誘電率 200 の薄板からなる高誘電率薄板伝送線路の分散特性の計算値と実験値

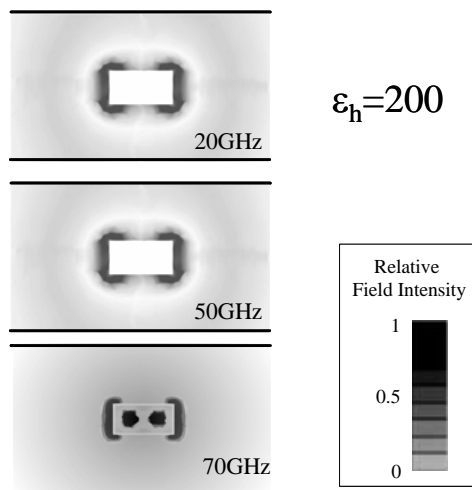


図6 比誘電率200の薄板からなる高誘電率薄膜伝送線の電磁界分布の計算値

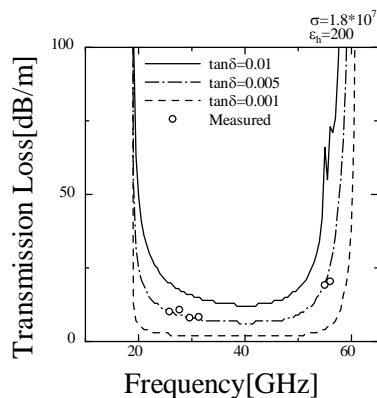


図7 比誘電率200の薄板からなる高誘電率薄膜伝送線の伝送損失の計算値と測定値

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件)

- ① R. Tamaru and F. Kuroki, “High Permittivity Tape Transmission Line Supported by Low Permittivity Substrate at Millimeter-Wave Frequencies”, Electronic Proceedings of IEEE MTT-S Microwave Symp. (June, 2009 in Boston, USA) (to be published)
- ② 田丸了次、黒木太司“ミリ波帯高誘電率薄板伝送線の支持方法に関する一考察”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-2-42 (2008年9月、生田)
- ③ 田丸了次、黒木太司, “低誘電率基板で支持された高誘電率薄板伝送線のミリ波伝送特性”、電子情報通信学会マイクロ波研究会、pp. 39-42 (2008年6月、豊橋)
- ④ R. Tamaru and F. Kuroki, “High Permittivity Tape Transmission Line Embedded in Low Dielectric Support at Millimeter-Wave Frequencies”, Proceedings

of Korea Japan Microwave Conference, pp.189-192, (November, 2007 in Okinawa)

- ⑤ F. Kuroki, R. Tamaru, and K. Miyamoto, “Experimental Study on Transmission Characteristics of High Permittivity Tape Transmission Line at Millimeter-Wave Frequencies”, Proceedings of the 37th European Microwave Conference, pp.957-960, (October, 2007 in Munich, Germany)
- ⑥ 黒木太司、田丸了次、”埋め込み形高誘電率薄板伝送線のミリ波伝送特性”、電子情報通信学会マイクロ波研究会、pp.45-48 (2007年5月 姫路)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称：電磁波伝送線路及びアンテナ

発明者：黒木太司、山口博文(日本タングステン)、末吉知力也(〃)、

権利者：日本タングステン

番号：特開 2007-235630

公開年月日：2007年9月13日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページなど

<http://www010.upp.so-net.ne.jp/kuroki-1ab/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒木 太司 (KUROKI FUTOSHI)

呉工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：30195581

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし