

## ■9 群 (電子材料・デバイス) - 7 編 (マイクロ波伝送・回路デバイス)

---

### 2 章 平面導波路

(執筆者: 橋本 修) [2010 年 7 月 受領]

#### ■概要■

マイクロ波集積回路の伝送路として、平面導波路は極めて重要な技術である。

本章では、種々の平面導波路の解説している。解説では、それぞれの導波路について、その構成から原理、そして伝送特性や特徴について示している。

#### 【本章の構成】

本章は、「2-1 節 マイクロストリップ線路」、「2-2 節 コプレーナ線路」、「2-3 節 スロット線路」、「2-4 節 フィンライン」、「2-5 節 リアクタンス回路素子」、「2-6 節 結合伝送線路」から構成されている。それぞれの線路は、誘電体基板上に、導体膜がプリントされた構成になっている。また、フィンラインは、導波路内に平面導波路を配置して構成されている。さらに、導体膜の形状や配置により、リアクタンス素子が形成できる。

## ■9群-7編-2章

### 2-1 マイクロストリップ線路

(執筆著者：辻 幹男) [2008年12月 受領]

マイクロストリップ線路は、集積回路内で使用される誘電体基板の表面に導体膜がプリントされた平面伝送線路の一つであり、伝送距離の短い集積回路内で使用される。

#### 2-1-1 線路の構造

マイクロストリップ線路 (Microstrip Line) の構造を **図 2・1** に示す<sup>1)</sup>。基板厚さ  $h$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  である誘電体の片方の面に接地導体が、もう一方の面に厚さ  $t$ 、幅  $w$  のストリップ導体が設けられ、基本的には両導体間の誘電体基板内電磁界を集中させることにより電磁波を伝送する構造となっている。線路の特性はスペクトル領域法<sup>2)</sup>などのフルウェーブ解析が必要となるが、使用波長に比べて線路形状が十分に小さい場合には準 TEM 波近似 (静電近似) が有効である<sup>1)</sup>。

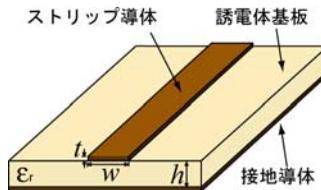
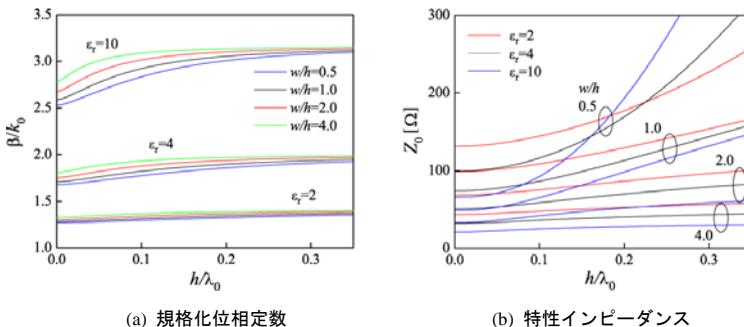


図 2・1 マイクロストリップ線路

#### 2-1-2 位相定数及び特性インピーダンス

スペクトル領域法を用いて、各種マイクロストリップ線路の規格化位相定数  $\beta/k_0$  ( $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ ,  $\lambda_0$ : 自由空間波長) 及び特性インピーダンス  $Z_0$  の周波数特性を求めたものが **図 2・2** (a), (b) である。ここで計算はストリップ導体の厚さを  $t=0$  として行っている。また、混成モードでは特性インピーダンスが一義的に定義できないことから、特性インピーダンスは  $Z_0 = 2P/I^2$  ( $P$ : 伝送電力,  $I$ : 電流) より求めている。図において準 TEM 波近似が成立するのは  $h/\lambda_0$  の値が非常に小さい場合に限られることに注意を要する。



(a) 規格化位相定数

(b) 特性インピーダンス

図 2・2 マイクロストリップ線路の伝送特性

■参考文献

- 1) T. Edwards, "Fundations for Microstrip Circuit Design second edition," John Wiley & Sons, 1992.
- 2) T. Itoh, "Numerical Techniques for Microwave and Millimeter-Wave Passive Structures," John Wiley & Sons, 1989.

## ■9 群-7 編-2 章

### 2-2 コプレーナ線路

(執筆著者：辻 幹男) [2008 年 12 月 受領]

コプレーナ線路は、集積回路内で使用される誘電体基板の片側表面に導体膜がプリントされた平面伝送線路の一つであり、伝送距離の短い集積回路内で使用される。

#### 2-2-1 線路の構造

コプレーナ線路 (Coplanar Waveguide) の構造を **図 2・3** に示す<sup>1)</sup>。厚さ  $h$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体基板の片面だけを導体面とし、その導体面に幅  $s$  の 2 本のスロットが間隔  $w$  で設けられている。通常、両側の導体面は接地導体となっており、電磁界分布は同軸線路の分布と近いことから、同軸線路との結合は容易である。また、半導体素子などの接続も容易に行える。線路の特性はフルウェーブ解析あるいは各種近似式によって求められる<sup>1)</sup>。

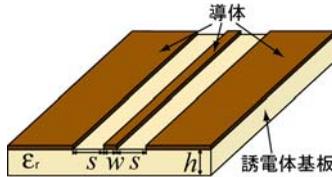


図 2・3 コプレーナ線路

#### 2-2-2 位相定数及び特性インピーダンス

コプレーナ線路はマイクロストリップ線路に比べ形状パラメータが多い分だけ、位相定数や特性インピーダンスを広範囲に調整することが可能となる。**図 2・4**(a),(b)にストリップ幅  $w$  を一定にしてスロット幅  $s$  を変化させた場合の規格化位相定数  $\beta/k_0$  及び特性インピーダンス  $Z_0$  の周波数特性の一例を示す。図より、コプレーナ線路は分散が小さく、特性インピーダンスもほぼ一定値をとることが分かる。なお、図(a)の分散曲線には  $TM_0$  表面波で基板外部に向かって電力漏洩が生じる漏洩モード (Leaky Mode) 発生の臨界曲線も細線で示している<sup>2)</sup>。

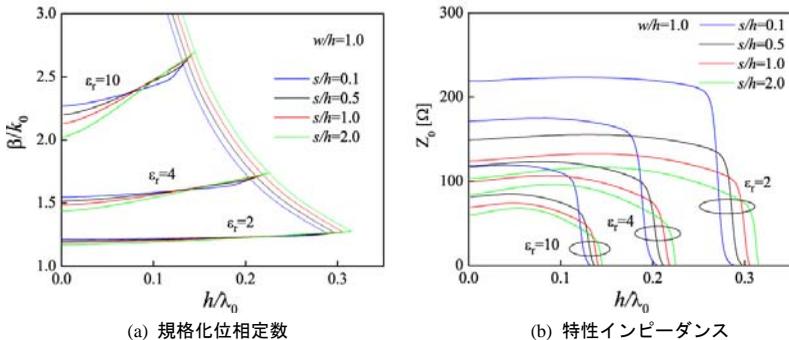


図 2・4 コプレーナ線路の伝送特性

■参考文献

- 1) I. Wolff, "Coplanar Microwave Integrated Circuits," John Wiley & Sons, 2006.
- 2) H. Shigesawa, M. Tsuji, and A. A. Oliner, "Dominant mode power leakage from printed-circuit waveguides," Radio Science, vol.26, no.2, pp.559-564, Mar.-Apr. 1991.

## ■9 群-7 編-2 章

### 2-3 スロット線路

(執筆者：辻 幹男) [2008年12月 受領]

スロット線路は、コプレーナ線路と同様に誘電体基板の片側表面に導体膜がプリントされた平面伝送線路の一つであり、伝送距離の短い集積回路内で使用される。

#### 2-3-1 線路の構造

スロット線路 (Slot Line) の構造を図 2・5 に示す<sup>1)</sup>。コプレーナ線路と同様に厚さ  $h$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体基板の片面だけに導体面があり、その導体面に幅  $s$  のスロットが設けられている。電磁波は 2 導体間のスロットに電界を集中させることにより伝送され、スロット間に半導体素子などの並列素子が用意に接続できる構造となっている。線路の特性はフルウェーブ解析あるいは各種近似式によって求められる<sup>1), 2)</sup>。

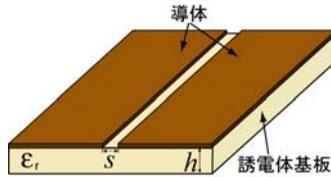


図 2・5 スロット線路

#### 2-3-2 位相定数及び特性インピーダンス

図 2・6(a), (b) にスペクトル領域法を用いて計算した規格化位相定数  $\beta/k_0$  及び特性インピーダンス  $Z_0$  の周波数特性を示す。図 (a) の分散曲線には、 $TM_0$  表面波で基板外部に向かって電力漏洩が生じる漏洩モード (Leaky Mode) 発生の臨界曲線<sup>3)</sup> を細線で示している。図より、基本モードは低周波数でも TEM 波に近いモードとならず、分散は大きくなっている。また、特性インピーダンスも低周波数では、同程度の形状のマイクロストリップ線路に比べて大きくなっている。

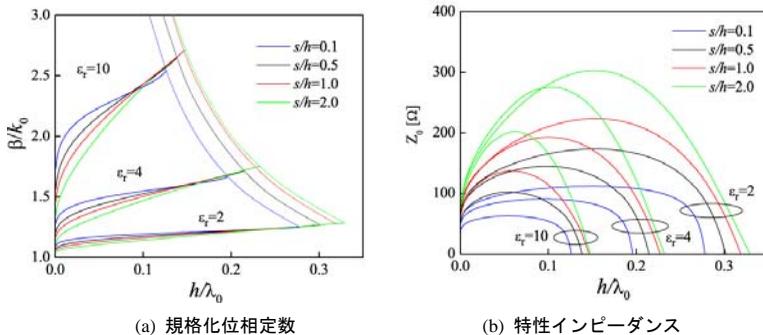


図 2・6 スロット線路の伝送特性

■参考文献

- 1) R. Garg, I. Bahl, P. Bhartia, and K. C. Gupta, "Microstrip Lines and Slotlines second edition," Artech House, 1996.
- 2) R. K. Hoffmann, "Handbook of Microwave Integrated Circuits," Artech House, MA, 1987.
- 3) H. Shigesawa, M. Tsuji, and A. A. Oliner, "Dominant mode power leakage from printed-circuit waveguides," Radio Science, vol.26, no.2, pp.559-564, Mar.-Apr. 1991.

## ■9 群-7 編-2 章

### 2-4 フィンライン

(執筆者：辻 幹男) [2008 年 12 月 受領]

フィンラインは、ミリ波集積回路用に提案された伝送線路の一つであり、基本的には導波管内の E 面に平面伝送線路を挿入した構造を有している。

#### 2-4-1 線路の構造

フィンライン (Fin Line) の四つの基本的構造を図 2・7 に示す<sup>1)</sup>。導波管内の E 面に挿入された厚さ  $h$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体基板の表面に導体フィンが存在するもので、見方を変えれば図 (a) のユニラテラル構造の場合、幅  $s$  のスロットをもつスロット線路が遮蔽導体で覆われた形状になっている。線路の解析はスペクトル領域法<sup>2)</sup>などのフルウェーブ解析が必要となるが、各種近似式も提案されている<sup>2)</sup>。

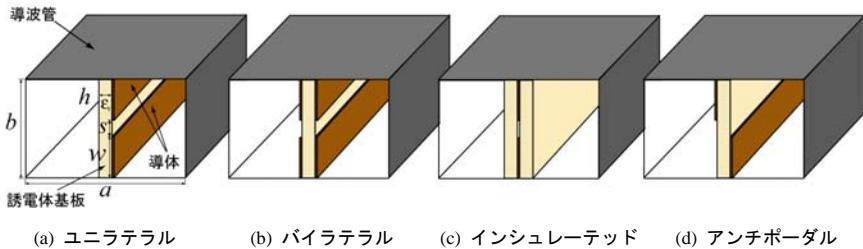


図 2・7 フィンラインの構造

#### 2-4-2 位相定数及び特性インピーダンス

図 2・8(a), (b) に導体厚さを零とし、スペクトル領域法を用いて計算したユニラテラルフィンラインの規格化位相定数  $\beta/k_0$  及び特性インピーダンス  $Z_0$  の周波数特性の一例を示している。低周波数では導波管の伝送モードと同様の分散特性を示す。また、特性インピーダンスはスロット線路と同様に少し高いが、その変化は小さい。

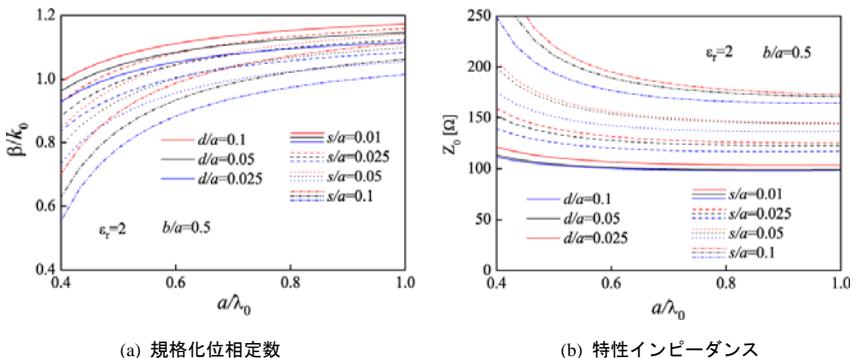


図 2・8 ユニラテラルフィンラインの伝送特性

■参考文献

- 1) P. B. Baht and S. K. Koui, "Analysis, Design and Application of fin lines," Artech House, MA, 1987.
- 2) L. P. Schmidt, T. Itoh, and H. Hofmann, "Characteristics of Unilateral Fin-Line Structures with Arbitrarily Located Slots," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-29, no.4, pp.352-355, Apr. 1981.

## ■9 群-7 編-2 章

### 2-5 リアクタンス回路素子

(執筆: 辻 幹男) [2008 年 12 月 受領]

リアクタンス回路素子には磁気エネルギーに関わるインダクタと電気エネルギーに関わるキャパシタがあり、以下では平面伝送線路、特にマイクロストリップ線路を基に構成できるそれぞれの素子について簡単に述べる。

#### 2-5-1 集中定数リアクタンス素子

電気回路における素子と同様の考えに基づく集中定数インダクタ (Inductor) は方形リングやパイラル形状 (図 2・9(a),(b)) あるいは円形のそれらが用いられる。また、キャパシタ (Capacitor) については、図 2・9(c),(d) に示すようにストリップ導体の一部をオーバーラップさせたものや線路の一部にギャップを設けたものが用いられる<sup>1),2)</sup>。

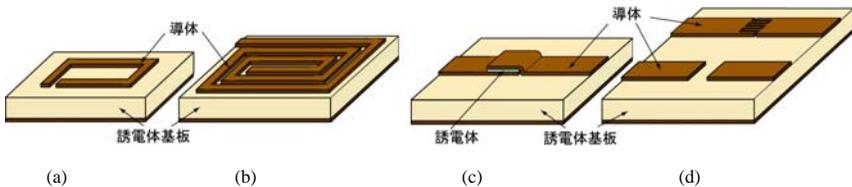


図 2・9 集中定数リアクタンス素子

#### 2-5-2 分布定数線路を利用するリアクタンス素子

伝送線路のある点で並列に分岐したスタブを用いると、終端の条件及びスタブの長さを適切に選ぶことにより並列インダクタあるいはキャパシタを構成することができる。ただし、素子の値は周波数に依存するため、狭帯域での使用に限られる。また、図 2・10(a) に示されるように短い距離の間で線路幅を狭くしたものは直列インダクタとして働き、図 2・10(b) のように線路幅を広くしたものは並列キャパシタとして働く<sup>1),2)</sup>。

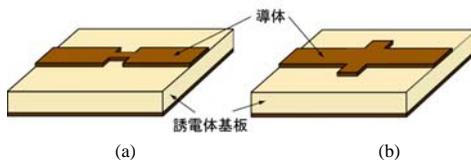


図 2・10 分布定数線路を利用したリアクタンス素子

#### ■参考文献

- 1) 小西良弘, “マイクロ波回路の基礎とその応用,” 総合電子出版社, 1990.
- 2) R. K. Hoffmann, “Handbook of Microwave Integrated Circuits,” Artech House, MA, 1987.