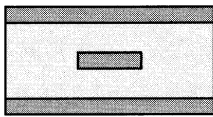


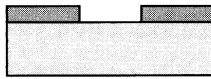
このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座 -理論と実際- 第1巻」の一部分の見本です。
内容・購入方法などにつきましては是非以下のホームページをご覧ください。
<http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/79/79711.htm>

第5章 平面構造形の導波路

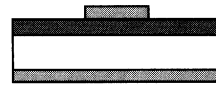
プリント基板などから作りやすいのでよくマイクロ波集積回路には平面構造形の導波路が用いられる。代表的なものを図1に示す。以下、順を追って説明する。



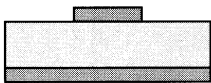
(a) ストリップ線路
(strip line)



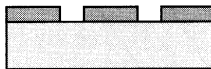
(c) スロットライン
(slot line)



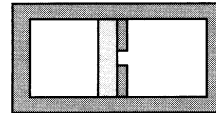
(e) サスペンデッドライン
(suspended microstrip)



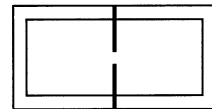
(b) マイクロストリップ
(microstrip)



(d) コプレーナガイド
(coplanar Waveguide)



(f) ファインライン
(fin line)



(g) E面線路
(E plane line)

図1 種々の平面構造形の導波路の断面図

5.1 ストリップ線路

(1) 構造とモード

図1(a)に示したように真中の中心導体と上下の接地板からなり、ちょうど同軸線路を平らに押しつぶした構造である。したがって、中心導体と接地板間に加えた信号は図2(a)のような電界と

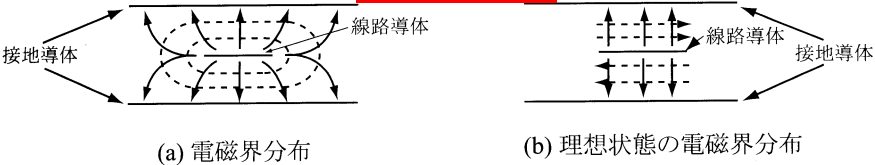


図 2 ストリップ線路の電磁界分布

磁界をもつ TEM 波で伝播する。無限に広がる均一平面波中に 2 枚の導板を電界に垂直に挿入したような場合には図 2(b) のように、電界は導体に垂直で磁界が平行であるが、有限幅の中心導体と無限平板の上下の接地板との間に信号を加えた場合には図 2(a) のように電界は中心導体のふちに集束する。これは金属導体と接地間に電圧を加えると、金属導体の尖ったところに電界が集中する静電界の原理に基くもので、以下に説明する。

いま図 3 に示すように金属円筒に電荷を与えると、電荷密度は円周方向に一様である。そして円筒内の円周に近い P 点の電界は、それら円周に一様に分布した電荷の影響で零になっている [∵ 導体内の静電界は零である]。次に同図点線のように一部を尖らせると、 P 点に一番近い電荷 q は尖らせたために P 点から遠ざかるため、尖ったところには距離が離れた分だけより多くの電荷 q' を与えないと円筒の場合の P 点における q によるクーロン力が得られない。よって中心導体の両端の尖ったところに電荷が集束する。さて電流は qv_p (v_p は電波の速度) であるから中心導体のふちで電流密度が最大になる。

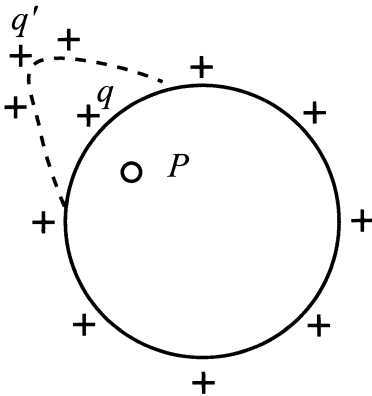


図 3 尖った所に電荷が集まる理由の説明図

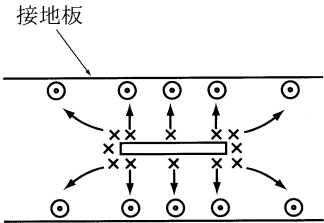


図 4 ストリップ線路を流れる

また接地板では中心導体に対抗する部分が最大である。この模様を示すと図 4 のようになる。ストリップ線路では電流密度がふちに集束するため、全電流を同じにしたとき、同軸線のように電流分布が一様であったのに比べて導体損が増す。

(2) 特性インピーダンス

まず、図 2(b) のようにふち効果のない場合を考えてみる。いま長さ 1[m] の線路において、上の接地板と中心導体との間のキャパシティは $\epsilon \cdot W \times 1 / \frac{b}{2}$ であるから下の接地板も考えるとキャパシティ C は $C = \frac{4\epsilon W}{b}$ となる。一方 C と特性インピーダンス Z_c との間には $Z_c = \frac{1}{Cv_p}$ の関係があるから上式の C の値を用いて

$$Z_c \frac{b}{4\epsilon W} \sqrt{\epsilon\mu} = \frac{b}{4W} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tag{1}$$

となる。しかしながら、ふち効果（中心導体のふちに電荷が集まる効果）のために C が増し、 Z_c は減少する。また中心導体の厚み t が増すとやはりふちと接地間のキャパシティが増し Z_c は減少する。これらの関係を図示すると図 5 のようになる。いま厚み t が無限小の場合には

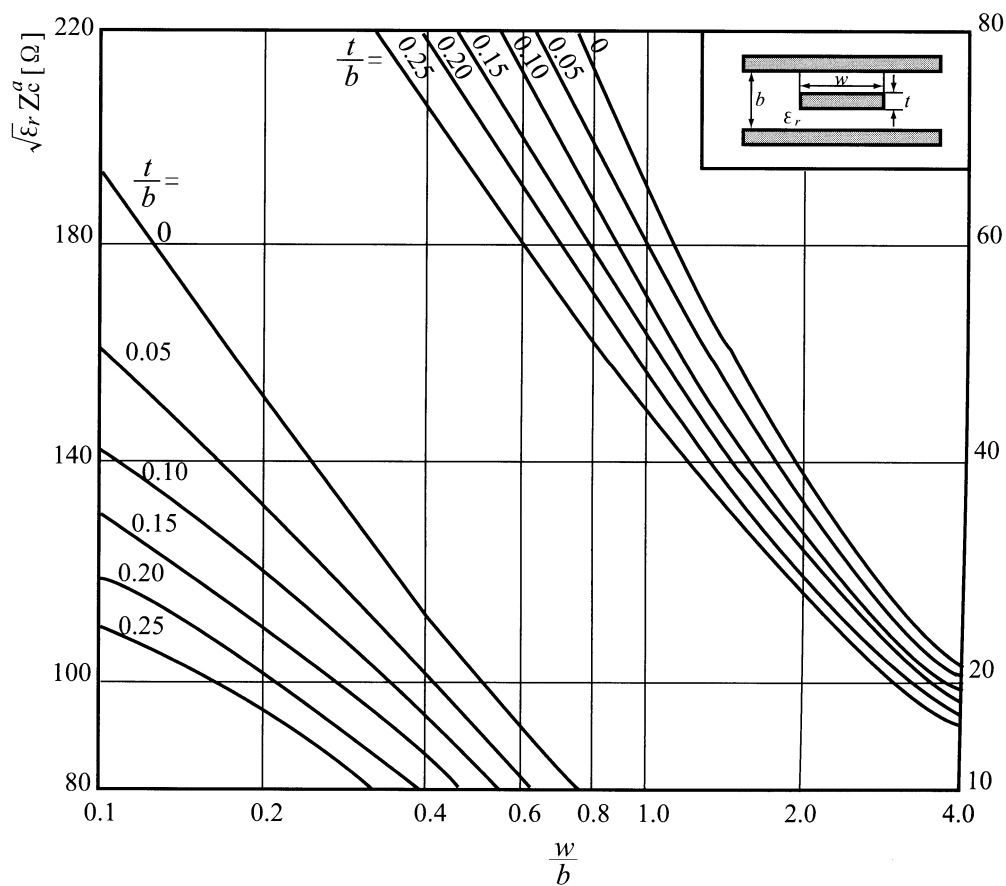


図 5 ストリップ線路の特性インピーダンス。
 ϵ_r は線路中の媒質の比誘電率 Z_c^a は媒質が真空の時の Z_c の値

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{K(k)}{K(k')} \\ k &= \operatorname{sech} \left(\frac{\pi W}{2b} \right) \\ k' &= \sqrt{1 - k^2} \\ &= \tanh \left(\frac{\pi W}{2b} \right) \\ K &: \text{第一積の楕円積分} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる [1]。また (2) 式は近似的に次の (3)、(4) 式で表現できる。

$$0 < \frac{W}{b} < 0.56 \text{ の場合} : Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left(2 \coth \frac{\pi W}{2b} \right) \quad (3)$$

$$0.56 \leq \frac{W}{b} \text{ の場合} : Z_c = \frac{148}{\sqrt{\epsilon_r} \ln \left(2 \exp \frac{\pi W}{2b} \right)} \quad (4)$$

また中心導体の厚み t を考慮した Z_c の値は (5) 式によって与えられる [3] [4]。

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= \frac{30 \ln}{\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ 1 + \frac{4}{\pi} \frac{b-t}{W'} \left[\frac{8(b-t)}{\pi W'} + \sqrt{\left(\frac{8}{\pi} \frac{b-t}{W'} \right)^2 + 6.27} \right] \right\} \\ \frac{W'}{b-t} &= \frac{W}{b-t} + \frac{\Delta W}{b-t} \\ \frac{\Delta W}{b-t} &= \frac{x}{\pi(1-x)} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \ln \left[\left(\frac{x}{2-x} \right)^2 + \left(\frac{0.0796x}{W/b + 1.1x} \right)^m \right] \right\} \\ m &= 2 \left[1 + \frac{2}{3} \frac{x}{1-x} \right]^{-1}, \quad x = \frac{t}{b} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

そして (5) 式の値は $\frac{W'}{(b-t)} < 10$ の範囲において 0.5% 以下の誤差であることが示されている。また上下および左右に遮蔽板があるときの Z_c をマイクロストリップ線路 (5.2 で述べる) の場合 (TEM 近似のとき) も含めて、付録 8. および 9 に示した。

(3) 伝送損失

伝送損失は導体損失による α_c と媒質の誘電体損失による α_e とからなる。そして α_c は一般基礎 7 の (22) 式および (23) 式で述べたように断面構造の微小変化により求めることができ、(5) 式の Z_c を用いてそれを求めた結果、次の (6-a) 式が得られている [4]。また誘電体損による α_e は一般基礎 7 の (32-h) 式に $\lambda = \lambda_g$ を代入して [TEM 線路なるゆえ] 直ちに次の (6-b) 式が得られる。ここで (6-a) および (6-b) 式は dB/単位長の単位で示した。