

# 有限尺寸介质基板上的共面波导

阮成礼

(电子科技大学, 成都 610054)

**摘要:** 有限尺寸介质基板上的共面波导是一种非常接近于工程应用状态的物理模型. 本文用共形映射技术分析有限尺寸介质基板上的共面波导, 得到了它的单位长度电容、有效介电常数和特性阻抗等基本参数, 与介质基板宽度为无限大的理想化模型作了比较, 给出了介质基板为多宽可以认为是无限宽的判别公式.

**关键词:** 共面波导; 共形映射; 有限尺寸基板; 有效介电常数; 特性阻抗

**中图分类号:** TN814 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 03-0104-02

## Coplanar Waveguides on the Substrate with Finite Dimensions

RUAN Cheng-li

(Univ. of Elec. Sci. and Tech. of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** The coplanar waveguide on the substrate with finite dimensions is a physical model which is very closed to the engineering situation. The coplanar waveguides are analyzed using conformal mapping techniques, and the exact solutions including the effective dielectric constant, the capacitance per unit length and the characteristic impedance are obtained. The results obtained in this paper have been compared with that of the coplanar waveguide with infinitely wide substrate.

**Key words:** coplanar waveguide; conformal mapping; substrate with finite dimensions; effective dielectric constant; characteristic impedance

### 1 引言

近几年共面波导 (CPW) 受到愈来愈多的重视<sup>[1~5]</sup>, 它在微波和毫米波集成电路中有广泛应用. CPW 是在介质基板的一个面上制备三条金属带构成, 中间金属带为信号带, 两边金属带同时接地. 现在已经研究了多种共面波导. 例如自由空间中的共面波导 (CPW<sub>1</sub>)、半无限厚介质基板上的共面波导 (CPW<sub>2</sub>)、有限厚度介质基板上的共面波导 (CPW<sub>3</sub>) 等, 这几种共面波导在不同程度上还是理想化模型, 即介质基板的横向尺寸为无限大. 在工程应用中共面波导的介质基板尺寸总是有限的, 即它的厚度和宽度都是有限值. 本文讨论的有限尺寸介质基板上的共面波导 (CPW<sub>4</sub>) 是一种最接近工程应用情况的物理模型.

分析 CPW 有多种方法, 用得最多的是共形映射技术, 它能给出解析的闭合解, 对计算机优化设计非常方便. 本文用共形映射技术给出了有限厚度有限宽度基板上共面波导的基本参数, 包括单位长度电容、有效介电常数和特性阻抗的闭合表达式.

### 2 有限厚度介质基板上的共面波导 CPW

如图 1 所示, CPW<sub>4</sub> 的基板宽为  $a$ , 两边接地导体带外边缘之间的距离也是  $a$ , 基板相对介电常数为  $\epsilon_r$ , 厚度为  $h$ .

CPW<sub>4</sub> 问题可分解为两个问题, 即自由空间中无边带尺寸有限的 CPW<sub>a</sub> 和介电常数为  $(\epsilon_r - 1)$  的有限尺寸介质基板的 CPW<sub>b</sub>. 对于 CPW<sub>a</sub>, 由于对称性可取 1/4 平面区域来研究, 用变换

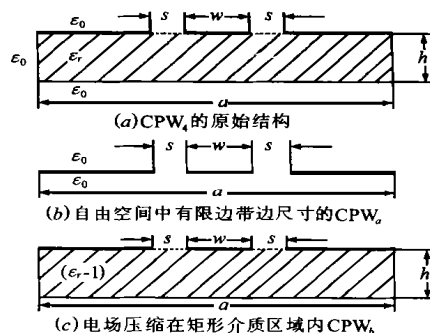


图1 有限尺寸介质 CPW<sub>4</sub> 问题

$$t = z^2 \quad (1)$$

把 1/4 平面区域映射为半平面, 在  $t$  平面上 CPW<sub>a</sub> 问题变为非对称 CPS (共面带线) 问题, 如图 2 (a) 所示可得

$$C_a = 4 \frac{K(k_a)}{K(k'_a)} \quad (2)$$

$$k_a = k_1 v$$
$$v = \frac{1 - (\frac{w}{a})^2 / k_1^2}{\sqrt{1 - (\frac{w}{a})^2}} \quad (3)$$

收稿日期: 1998-09-28; 修订日期: 1999-01-20

基金项目: 国家教委博士点基金 (No. 9561406) 资助课题

对于图 1 (c) 所示的 CPW<sub>b</sub>, 第一步是把矩形介质区域映射为下半平面, 如图 2 (b) 所示, 仍然取下半平面的一半作映射, 变为非对称 CPS 问题, 可得

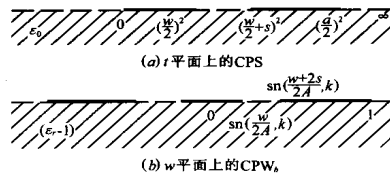


图 2 CPW<sub>a</sub> 和 CPW<sub>b</sub> 的共形映射

$$C_b = 2 \ln \left( \frac{K(k_b)}{K(k_a)} \right) \quad (4)$$

$$k_b = \frac{\operatorname{sn}(\frac{w}{2A}, k_4)}{\operatorname{sn}(\frac{w+2s}{2A}, k_4)} \quad (5)$$

$$A = a/2 K(k_4)$$

$$k_4 = (e^{a/2h} - 2)^2 / (e^{a/2h} + 2)^2, \quad 1/2 < k_4^2 < 1 \quad (6)$$

$$k_4 = (e^{2h/a} - 2)^2 / (e^{2h/a} + 2)^2, \quad 0 < k_4^2 < 1/2 \quad (7)$$

其中  $\operatorname{sn}(\cdot, k)$  是 Jacobi 椭圆函数, 可用文献 [6] 所给程序计算. CPW<sub>4</sub> 的单位长度电容为  $C_4 = C_a + C_b$ , 又可写成

$$C_4 = 4 \ln \left( \frac{K(k_a)}{K(k_b)} \right) \quad (8)$$

$$e_4 = 1 + \frac{r-1}{2} p_4 \quad (9)$$

$$p_4 = \frac{K(k_b)}{K(k_a)} \frac{K(k_a)}{K(k_b)} \quad (10)$$

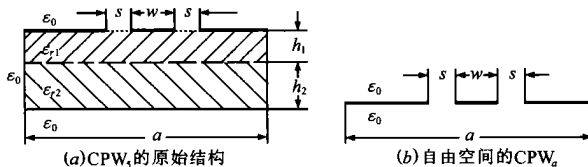


图 3 双层有限尺寸介质基片上的 CPW<sub>5</sub>

当介质基片由三层或更多层介质组成时, 其分析方法是一样的, 这里不再重复. 需指出的是在计算某层介质的极化电容时, 由于邻两层介质介电常数的安排, 可能会出现负值, 这并不影响计算共面波导单位长度电容的最终结果.

共面波导是一种在微波和毫米波集成电路中应用很广泛的传输线, 它在实现单片集成电路时有一定的优越性. 为了满足各种工程应用环境, 会用到各种不同形式的共面波导. 本文分析的有限尺寸介质基片共面波导是一种十分接近于工程应用状态的共面波导, 我们用共形映射给出了共面波导的解析闭合解, 这给工程优化设计提供了方便. 还给出了有限宽度介质基片共面波导与无限宽介质基片共面波导的比较, 根据本文所给公式, 可以确定介质基片多宽可以认为是无限宽的. 为了改进共面波导的某些特性, 会用到多层介质基片, 或者在导体带的上方也是多层介质, 则这类共面波导单位长度电容为自由空间共面波导单位长度电容与各层介质极化电容之和.

CPW<sub>4</sub> 的特性阻抗为

$$Z_4 = \frac{120}{\sqrt{e_4}} \frac{K(k_a)}{K(k_b)} \quad (11)$$

把 CPW<sub>4</sub> 的结果与 CPW<sub>3</sub> 的结果比较, 设定  $\epsilon_4$  为小的正数,  $\epsilon_4$  与  $\epsilon_3$  的相对误差小于  $\epsilon_3$  可以认为介质基片电宽度为无限宽的, 可得

$$(1 + \epsilon_4) p_3 + \frac{2}{(r-1)} p_4 = (1 - \epsilon_4) p_3 - 2 / (r-1) \quad (12)$$

其中

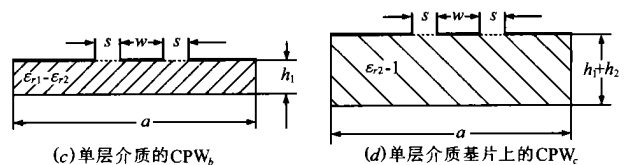
$$p_3 = \frac{K(k_3)}{K(k_1)} \frac{K(k_1)}{K(k_3)}$$

$$k_3 = \operatorname{sh}(w/4h) / \operatorname{sh}[(w/4h)(1/k_1)], \quad k_1 = w/(w+2s) \quad (13)$$

$p_3$  和  $p_4$  的计算中,  $\frac{K(k)}{K(k)}$  可用文献 [7] Hillberg 给出的三种不同精度的近似公式, 其最高精度达到  $4 \times 10^{-12}$ .

### 3 讨论

为了改善 CPW 的某些特性, 会用到多层介质基片, 如图 3 所示的两层有限尺寸基片上的 CPW<sub>5</sub>, 两层介质的相对介电常数分别为  $\epsilon_1$  和  $\epsilon_2$ , 厚度分别为  $h_1$  和  $h_2$ , 四周都是自由空间. CPW<sub>5</sub> 可分解为三部分之和, 即自由空间中边带尺寸有限的 CPW<sub>a</sub>, 介电常数为  $(\epsilon_1 - \epsilon_2)$ , 厚度为  $h_1$  的 CPW<sub>b</sub>, 介电常数为  $(\epsilon_2 - 1)$ , 厚度为  $(h_1 + h_2)$  的 CPW<sub>c</sub>, 应用上节的方法可得相应的公式.



### 参考文献

- [1] G. Ghione, C. Naldi. IEEE Trans. 1987, MTT-35(3):260
- [2] S. S. Bedair, I. Wolff. IEEE Trans. 1992, MTT-40(1)
- [3] N. I. Dib, L. P. B. Katehi. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1992, 2(10):406
- [4] S. S. Gevorgian. Electronics Letters, 1994, 30(15):1236
- [5] Y. Qian, E. Yamashita and K. Atsuki. IEEE Trans. 1992, MTT-40(10):1903
- [6] W. Press, B. Flannery, S. Teukolsky and W. Vetterling. Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing. Cambridge, England: Cambridge Univ. Press, 1986:188
- [7] W. Hilberg. IEEE Trans. 1969, MTT-17:259

阮成礼 教授, 博导. 发表论著 150 余篇, 获国家级和部省级科技进步奖 6 项. 感兴趣的研究方向为微波毫米波理论与技术、超宽带电子磁学等.