

多层圆形组件半解析热分析方法的研究

史 彭¹, 陈雅妮², 王占民¹

(1. 西安建筑科技大学理学院, 陕西西安 710055; 2. 西安微电子技术研究所, 陕西西安 710054)

摘 要: 本文研究上表面含热源的多层圆形组件半解析的热分析计算方法, 用计算机求解其数值解来计算组件上表面温度分布。该计算方法可以用于集成电路、混合电路和微组装置的热设计工作。

关键词: 半解析法; 多层; 圆形; 微组装置; 热分析

中图分类号: TN60, TK11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 08-1121-F-02

Research on Semi-Analytical Thermal Analysis of Multilayer Cylindrical Electronic Module

SHI Peng¹, CHEN Yan-ni², WANG Zhan-min¹

(1. Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shanxi 710055, China;

2. Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an, Shanxi 710054, China)

Abstract: Semi-analytical thermal analysis method of multilayer cylindrical electronic module with heat sources in the surface of the module is presented in this paper. The numerical solution of the temperature distribution in the surface of the modules is calculated by computer using this method. This method can be applied to thermal design of integrated circuits, hybrid circuits, or electronic module.

Key words: semi-analytical method; multilayer; cylindrical; electronic modules; thermal analysis

1 引言

随着集成电路(混合电路、微电子组装置)的集成密度不断提高, 热分析、热设计工作就显得越来越重要。作者在文献[1]中, 研究了上表面含有热源的多层矩形组件半解析的热分析计算方法。集成电路的封装形式主要有矩形和圆形两种形式。国外仅见到已对三层^[2]、四层^[3]等层数较少^[4]的矩形热结构进行了研究。本文主要利用“保角变换”和“递推法”, 研究 n (n 为任意整数) 层具有表面热源圆形热结构组件的半解析热分析计算方法。

2 模型的建立

设圆形组件热结构有 n 层如图1所示。各层的厚度分别为 d_1, d_2, \dots, d_n , 各层的热传导系数分别为 k_1, k_2, \dots, k_n , 模型上表面有任意形状热源。边界条件、边界的处理、热源处理同文[1], 即模型上表面绝热, 侧面绝热, 热源离散成若干个热源。计算出各点热源温度场, 然后叠加, 得出总的温度场。

3 点热源温度场的计算方法

3.1 圆形模型和上半无穷平面的转换

利用保角变换将半径为 a 的圆形模型转换成上半无穷平面。在圆形模型上建立 $x-y$ 坐标系, 在另一上半无穷平面上建立 $\xi-\eta$ 坐标系, 如图2所示。用复数坐标 z, ζ 分别表示 $x-y$ 、 $\xi-\eta$ 坐标系中的点, 即 $z = x + iy, \zeta = \xi + i\eta$ 。两坐标系变换公式为^[5]

$$\zeta = (a - z)i / (a + z) \quad (1)$$

可将 $x-y$ 平面的半径为 a 的圆内区域变换成 $\xi-\eta$ 平面中的上半平面。将式(1)中 ξ, z 解出得:

$$\xi = \operatorname{Re}(\zeta) = 2ay / [(a+x)^2 + y^2] \quad (2)$$

$$\eta = \operatorname{Im}(\zeta) = (a^2 - x^2 - y^2) / [(a+x)^2 + y^2] \quad (3)$$

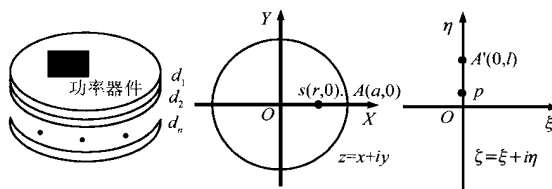


图1

图2

利用式(2)、(3)可将 $x-y$ 平面圆内一点 (x, y) 变换成 $\xi-\eta$ 平面内一点 (ξ, η) 。

3.2 $x-y$ 平面圆内 OA 段 $s(r, 0)$ 点的变换公式

将 $x = r, y = 0$ 带入式(2)、(3), 得

$$\xi = 0 \quad (4)$$

$$\eta = (a^2 - r^2) / (a + r)^2 = (a - r) / (a + r) \quad (5)$$

$x-y$ 平面圆内 OA 段 $S(r, 0)$ 点转变成 $\xi-\eta$ 平面内 $O'A'$ 段中的 $p(0, (a-r)/(a+r))$ 点。 $O(0, 0)$ 点转变成 $A'(0, 1)$ 点, $A(a, 0)$ 点转变成 $O'(0, 0)$ 点, $x-y$ 平面圆内 OA 段各点转变成 $\xi-\eta$ 平面内 $O'A'$ 段中各点。

3.3 xy 平面 $s(r, 0)$ 点处功率密度为 ρ 的点热源的功率密度转换

由于将 xy 平面 $s(r, 0)$ 点附近微面积 $ds = dxdy$, 变换到 $\xi\eta$ 平面内相应点附近的微面积 $ds' = d\xi d\eta$ 发生变化, 则其功率密度为 ρ 将变为 ρ' . 设在 xy 圆内平面, $s(r, 0)$ 点附近热源密度为 $\rho = q/ds = q/dxdy$, q 为 ds 上的热源功率. 经保角变换后, q 未变, 功率密度变为 $\rho' = q/ds' = q/d\xi d\eta$. 由式(2)、(3)得:

$$d\xi = \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y}\right) dy = \frac{4a^2y + 4axy}{[(a+x)^2 + y^2]^2} dx + \frac{2a(a+x)^2 - 2ay^2}{[(a+x)^2 + y^2]^2} dy$$

在 $x = r, y = 0$ 附近, $d\xi_{x=r, y=0} = \frac{2a(a+r)^2}{(a+r)^2} dy = \frac{2a}{(a+r)^2} dy$

$$d\eta = \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) dy = -\frac{2x(a+x)^2 - 2axy^2 - (a^2 - x^2 - y^2)2(a+x)}{[(a+x)^2 + y^2]^2} dx + \frac{-2y(a+x)^2 - 2ay^2 - (a^2 - x^2 - y^2)2y}{[(a+x)^2 + y^2]^2} dy$$

在 $x = r, y = 0$ 附近, $d\eta_{x=r, y=0} = [-2a/(a+r)^2] dy$

在 xy 圆内平面, $x = r, y = 0$ 点变换后相应点附近,

$$ds' = |d\xi d\eta| = [2a/(a+r)^2] dx \times [2a/(a+r)^2] dy = [4a/(a+r)^4] dxdy = [4a/(a+r)^4] ds$$

则, $\rho' = q/ds' = (a+r)^4 \rho/4a$ (6)

3.4 xy 平面 $s(r, 0)$ 点处点热源在其它各场点 $B(x, y)$ 产生的温度场

通过上述保角变换, 将 xy 平面 $s(r, 0)$ 点处功率密度为 ρ 的点热源转变成 $\xi\eta$ 平面内 p 点处的功率密度为 ρ' 点热源. 该点热源在多层上半空间各场点 (ξ, η) 产生的温度场 $u_p(\xi, \eta)$ 可以利用作者在文献[1]中的方法计算出(镜像法、递推法). 由式(2)、(3), 可得 xy 平面 $s(r, 0)$ 点处功率密度为 ρ 的点热源在其它场点 (x, y) 的温度场为

$$u_s(x, y) = u_p(\xi, \eta) = u_p\left(\frac{2ay}{(a+x)^2 + y^2}, \frac{a^2 - x^2 - y^2}{(a+x)^2 + y^2}\right)$$

作坐标变换 $x = r\cos\theta, y = r\sin\theta$, 将 $u_s(x, y)$ 用极坐标表示为 $u_s(r, \theta)$.

3.5 $x-y$ 平面任意点 $s'(r, \alpha)$ 处点热源在其场点 $B(r', \theta)$ 产生的温度场

由对称性可得, xy 平面任意点 $s'(r, \alpha)$ 处点热源在各场点 $B(r', \theta)$ 产生的温度场等于 $s(r, 0)$ 点处同功率点热源在 $B(r', \theta - \alpha)$ 处产生的温度场. 即 $u_{s'}(r', \theta) = u_s(r', \theta - \alpha)$. 如图 3 所示.

4 结论

将上表面热源按文献[1]中所述方法离散成若干个点热源, 计算出各点热源的温度场, 然后叠加, 得出总的温度场.

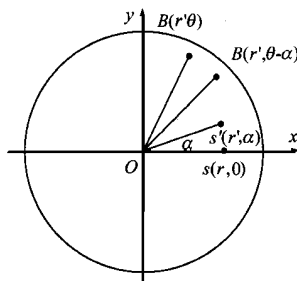


图 3

本文研究的半解析计算方法利用了“保角变换”、“镜像法”、“递推法”, 得到了任意层具有表面热源圆形热结构集成电路上表面温度场的计算公式, 并编制了计算软件, 就典型模型进行了温度场的计算, 计算结果与实测结果一致. 经分析, 计算引入的误差很小, 误差主要来源于各输入参量(各层介质热传导系数、厚度以及底面和外界的热交换系数等)的准确测定. 目前, 尚未见到利用“半解析计算方法”计算圆形热结构的温度场的报道. 该方法和利用“有限元”等进行温度场数值计算方法相比, 具有计算精度高、计算速度快、计算前期的模型处理分析及其他准备工作简单等优点, 该方法具有实用价值.

参考文献:

- [1] 史彭. 多层微组器件半解析热分析方法的研究[J]. 电子学报, 1997, 8: 88-89.
- [2] Kokkas A G. Thermal analysis of multiple layer structures [J]. IEEE Trans. Electron Devices, 1974, ED-21: 674-681.
- [3] Lee C C, Palisoc A L, Min Y J. Thermal analysis of integrated circuit devices and packages [J]. IEEE Trans. on components, Hybrids and Manuf. Technol., 1989 CHMT-12: 701-709.
- [4] Funk J N, Mengle M P, et al. A Semi-Analytical Method to Predict Printed Circuit Board Package Temperatures [J]. Seventh IEEE Semi-Therm(Symposium, 1991: 7-14.
- [5] 梁昆森. 数学物理方法[M]. 高等教育出版社, 1998: 423-459.

作者简介:



史彭 男. 1956年8月生于北京. 1982年1月毕业于西北大学理论物理专业. 现任西安建筑科技大学教授, 硕士生导师. 研究方向主要是器件及材料的物理特性分析. 近几年在学术刊物及会议上发表论文20余篇, 出版著作2本.



陈雅妮 女. 1995年3月生于成都市. 1992年1月毕业于西北大学理论物理专业. 现任西安微电子技术研究所高级工程师. 研究方向主要是集成电路设计与工艺. 近几年在学术刊物及会议上发表论文6篇.



王占民 男. 1970年1月生于陕西合阳. 1992年7月毕业于复旦大学物理系. 现任西安建筑科技大学讲师. 研究方向主要是测量方法和测试技术. 近几年在学术刊物及会议上发表论文5篇.