

晶体管红外热像图的热谱分析方法*

朱阳军 苗庆海 张兴华 卢烁今

(山东大学物理与微电子学院, 济南 250100)

摘要: 使用自编的分析软件, 根据比色法对所拍摄的晶体管红外热像图进行了热谱分析, 给出了晶体管发射区热谱和发射区一维温度分布曲线. 一维温度分布曲线给出了整个发射区的结温分布情况, 并可直接读取发射区的峰值结温和最低结温, 还可以计算出平均结温. 晶体管热谱是表示晶体管结温不均匀性的一种与热像图不同的新方法.

关键词: 晶体管热谱; 峰值结温; 红外热像图; 归一化面积

PACC: 7300; 6500; 7220

中图分类号: TN32 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2005)07-1364-05

1 引言

半导体功率器件的结温均匀与否是影响其热学性能、电学性能、可靠性以及寿命的重要因素, 人们对这方面的研究越来越深入^[1~4]. 迄今为止, 研究功率晶体管发射结温度均匀与否的最好方法是摄取红外热像图. 红外热像图虽然只是芯片表面的温度分布图而不是发射结的温度分布图, 但是由于发射结是浅表结, 距离表面很近, 在忽略表面至发射结之间温差的情况下, 可以近似地把表面温度当作是发射结结温来看待.

尽管红外热像图能直观地给出整个芯片的温度分布以及峰值结温, 但是它没有突出显示整个有源区特别是发射区平均温度是多少, 更不知道平均温度与峰值结温的差值是多少, 而此差值将关系到芯片使用的可靠性问题^[5]. 所以本文提出了一种新的方法对此进行重点分析.

2 分析方法

如图 1 的三幅热像图所示, 它是由 QFI Infra-Scope 型红外热像仪拍摄的. 图 1(a), (b), (c) 分别是同一只样管在不同功率偏置条件下拍摄的红外热像图, 该晶体管型号为 3DD102, 管芯尺寸为

3.65mm × 3.65mm (发射极宽 244μm, 基极宽 201μm, EB 间距 203μm). 可以看出图 1(a) 发射区温度比较均匀, 其对应的偏置条件是 20V, 1A; 图 1(b) 表示芯片热量开始区域集中, 温度分布已不均匀, 其对应的偏置条件是 40V, 1A; 图 1(c) 表示芯片由于热量过度集中而形成明显的热斑, 芯片温度分布很不均匀, 其对应的偏置条件是 50V, 1A.

所用样管的有源区即发射区可以看成是由许多发射极条组成, 如图 1 所示. 每一个发射极条当作一个子晶体管, 简称子管, 那么一个晶体管可以看作由若干个子管并联而成^[6], 其发射区也是由子发射区并联而成, 把每一个子管发射区的温度状况累加起来即可得到整个晶体管发射区的温度分布状况^[5].

由上面的模型, 利用比色方法我们自行研发了一套“红外热像图热谱分析软件”, 界面如图 2 所示. 本软件的实现主要分为两个部分: (1) 程序初始化, 主要是根据红外热像图的色标计算出图像内每种颜色值所对应的温度值. (2) 选定区域图形分析, 可以用直线或者矩形框选择要被分析的区域, 根据第一步所得的数据, 利用比色法获取选定区域内每个点所对应的温度值, 以及整个选定区域内的最高、最低、平均温度, 如图 3 所示. 我们对整个芯片的所有发射极条 (共 18 条) 都用直线选定, 用分析软件进行逐条分析, 即可得到整个有源区温度分布情况.

*国家自然科学基金资助项目 (批准号: 60476039)

朱阳军 男, 1980 年出生, 博士研究生, 研究方向为半导体器件及其可靠性分析.

2004-11-05 收到, 2004-12-25 定稿

为晶体管发射区的热谱,可泛称为晶体管热谱^[5].

晶体管热谱图内最高温度就是峰值结温,即 $T_P = T_{max}$,发射区的平均温度 $\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i S_{ei}$. 由图 4 可以方便看出晶体管结温的均匀性情况. 图 4(a) 谱线跨度较窄,结温 T_j 范围为 84~100, 峰值结温 T_P 与平均温度 \bar{T} 差值也较小,且都在低温区,这说明

结温分布还是较均匀的;图 4(b) 情况跟(a)类似,只是谱线整体向高温区挪移,且跨度较(a)大,结温 T_j 范围为 103~138; 图 4(c) 谱线跨度更大,结温 T_j 范围为 106~336, T_P 与 \bar{T} 已经差了很多,而且低温区的热谱强度大,这说明低温部分占据了发射区的大多数面积,即芯片发射区的大部分区域温度较低,局部温度过高,这就是我们所说的热斑情况.

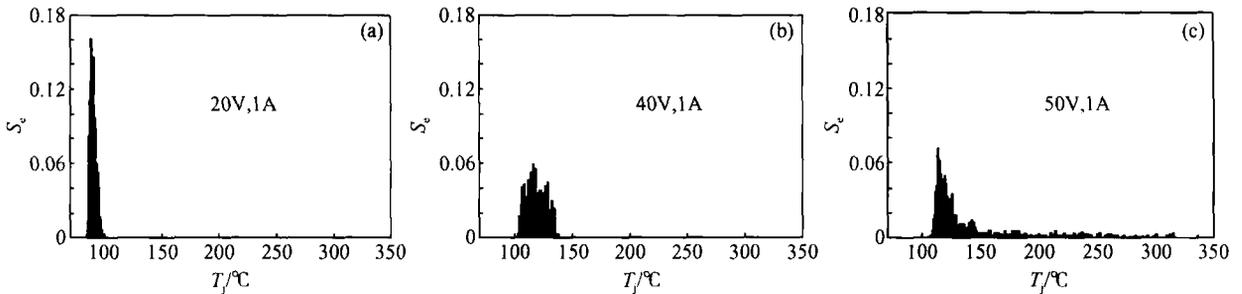


图 4 三种不同偏置条件下的热谱柱状图

Fig. 4 Thermal spectrum histograms with three different power condition

3.2 一维温度分布图

如果把有源区内具有相同温度的点“集结”起来当作一个子管,那么由热谱柱状图里的 n 个温度可以把晶体管分成 n 个子管,每个子管的结温和面积即对应于柱状图里的 T_i, S_{ei} . 如果把有效面积当作一维来处理,每个子管的有效面积作为该子管的长度,那么把这 n 个子管按照温度从低到高依次排列起来组成一条线,线的总长度为 1. 把温度最低的子管的一端作为原点,由图 4 可以得到图 5. 图 5 抽象

地反映出了晶体管有源区的温度分布,曲线上点的横坐标表示该子管相对于原点子管的位置,纵坐标表示该位置处子管的结温,纵、横坐标的数学表达式如下:

$$Y_i = T_i, \quad X_i = \sum_{j=0}^{i-1} S_{ej} \quad (1 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq i-1, S_{e0} = 0) \quad (2)$$

即横坐标是这点之前的所有温度点所占有的归一化面积的累加,记为 $S_{e_progression}$.

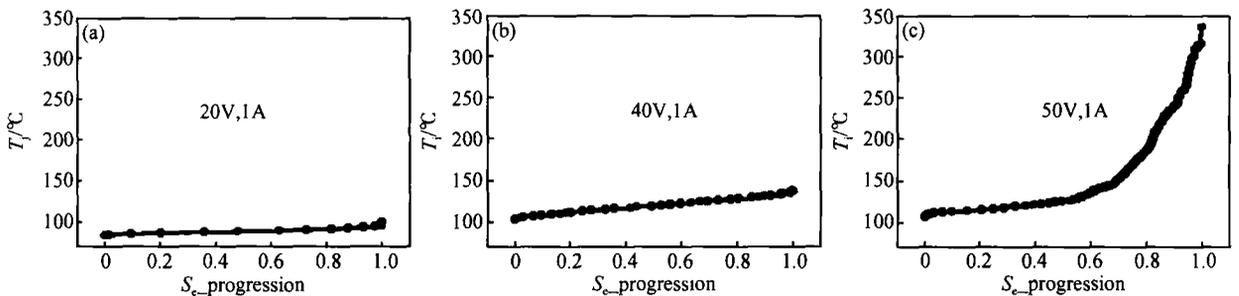


图 5 抽象的发射区一维温度分布图

Fig. 5 Abstract one-dimension temperature distribution of emitter region

图 5 更清楚地表达出芯片有源区的温度分布和可靠性信息,曲线的陡峭程度表征了温度跨度和有效面积的相对大小,各点横向均匀程度及其间隔大

小表征了结温分布均匀状况. 对图 5 三种偏置条件下的温度分布曲线解析如下:(a) 曲线平直,表明温度跨度小,且点间距较大,表明每个温度点的归一化

面积较大,发射区结温分布均匀;(b)曲线有些向上倾斜,点间距减小,表明温度跨度增大,归一化面积减小,发射区温度分布已经不均匀了;(c)曲线大部分(横坐标:0~0.6)较平坦且温度点均匀分布,后端小部分(横坐标:0.6~1.0)曲线出现陡峭,且温度点密集排列,表明发射区大部分面积温度较低,而局部小部分温度很高,芯片出现了明显的热斑。

图1芯片红外热像图和图5抽象的一维温度分布图反映的都是晶体管温度分布状况,但在反映结温分布均匀性和均匀度以及可靠性分析方面,后者较前者更具有优越性。因前者是二维的具体的芯片温度分布,给出了整个芯片内各点的温度信息;后者则专门抽象统计分析出了有源区即发射区内的温度分布,不仅给出了峰值结温,表征了结温均匀性,还可以计算出平均结温以及结温分布的不均匀度,这将更有利于进行可靠性分析。

4 结论

(1) 本文利用较先进的红外热像仪 QFI InfraScope 对晶体管芯片摄取热像图,并自行研发出分析软件对热像图上任意选定区域进行分析,得到了较为理想、形状类似光谱的热谱曲线。

(2) 通过晶体管的一维温度分布曲线图能更方便地读出结温的均匀性,计算结温的不均匀度:高温占多少面积,低温占多少面积,是否出现热斑。曲线越是陡峭热斑越明显,晶体管可靠性越差。这比热谱柱状图更简捷直观,可读性好。

(3) 根据热谱分析的结果可以计算出发射区的平均温度,以及平均温度与峰值温度的差值,可以简单直观地判断晶体管的可靠性。使用峰值温度与平均温度的差值来评判温度的均匀性比使用峰值温度

与最低温度的差值来判断更恰当合理。

参考文献

- [1] Yang Zhiwei, Miao Qinghai, Zhang Dejun, et al. Measuring junction temperature inhomogeneity of bipolar transistors by electrical method. Research & Progress of SSE, 2001, 21(2): 170 (in Chinese) [杨志伟, 苗庆海, 张德骏, 等. 双极晶体管结温分布不均匀性的电学测量方法. 固体电子学研究与进展, 2001, 21(2): 170]
- [2] Yang Zhiwei, Miao Qinghai, Zhang Dejun, et al. Measurement of junction temperature inhomogeneity of bipolar transistors by V_{be} method. Chinese Journal of Semiconductors, 2000, 21(10): 1028 (in Chinese) [杨志伟, 苗庆海, 张德骏, 等. 用 V_{be} 法对双极晶体管结温分布不均匀性的测量. 半导体学报, 2000, 21(10): 1028]
- [3] Yang Zhiwei, Miao Qinghai, Zhang Dejun, et al. Research on current thermotaxis of bipolar transistors and the effect on measuring the junction temperature. Semiconductor Technology, 1999, 24(2): 44 (in Chinese) [杨志伟, 苗庆海, 张德骏, 等. 双极晶体管发射结电流趋热效应及其对结温测量的影响. 半导体技术, 1999, 24(2): 44]
- [4] Feng Shiwei, Xie Xuesong, Lü Changzhi, et al. Measurement and study on thermal characteristics of semiconductor devices by electrical method. Chinese Journal of Semiconductors, 1999, 20(5): 358 (in Chinese) [冯士维, 谢雪松, 吕长志, 等. 半导体器件热特性的电学法测量与分析. 半导体学报, 1999, 20(5): 358]
- [5] Miao Qinghai, Du Wenhua, Zhang Xinghua, et al. Temperature spectrum on normalized area of emission region area for transistors. Semiconductor Technology, 2003, 28(12): 53 (in Chinese) [苗庆海, 杜文华, 张兴华, 等. 晶体管发射区归一化面积的温度谱. 半导体技术, 2003, 28(12): 53]
- [6] Hower P L, Blackburn D L. An electrical technique for the measurement of the peak junction temperature of power transistor. IEEE Power Electronics Conference, 1976: 234

Thermal Spectrum Analysis Method for Infrared Thermogram of Transistors^{*}

Zhu Yangjun , Miao Qinghai , Zhang Xinghua , and Lu Shuojin

(*School of Physics and Microelectronics, Shandong University, Jinan 250100, China*)

Abstract : The infrared thermograms of transistors are investigated according to the colorimetric method. The thermal spectrum curves and one-dimension temperature distribution curves are given from the thermal spectrum analysis. The junction-temperature distribution of the emitter region of the transistors ,peak junction temperature ,and minimum junction temperature are briefly shown and the average junction temperature is calculated through the one-dimension temperature distribution curves. Transistor thermal spectrum ,as a new method ,different from the commonly infrared thermogram ,is introduced to characterize the non-uniform property of the junction temperature distribution.

Key words : transistor thermal spectrum ; peak junction temperature ; infrared thermogram ; normalized area

PACC : 7300 ; 6500 ; 7220

Article ID : 0253-4177(2005)07-1364-05

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 60476039)

Zhu Yangjun male ,was born in 1980 ,PhD candidate. His current research interests focus on semiconductor devices and their reliability analysis.

Received 5 November 2004 ,revised manuscript received 25 December 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics