

# 中华人民共和国国家标准

## 半导体集成电路封装结到外壳 热阻测试方法

GB/T 14862—93

Junction-to-case thermal resistance test methods of packages  
for semiconductor integrated circuits

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了半导体集成电路封装结到外壳热阻的测试方法。  
本标准适用于半导体集成电路陶瓷、金属、塑料封装结到外壳热阻的测量。

### 2 引用标准

GB/T 14113 半导体集成电路封装术语  
GJB 548 微电子器件试验方法和程序

### 3 术语、符号、代号

#### 3.1 术语

- 3.1.1 热测试芯片 thermal test chip  
为表征集成电路封装的热特性而设计的芯片。
- 3.1.2 被测器件 device under test  
装有热测试芯片供测量封装热阻的微电子器件。
- 3.1.3 结温  $T_j$  junction temperature  $T_j$   
表示微电路中主要热量产生部分的半导体结的温度。
- 3.1.4 加热功率  $P_H$  heating power  $P_H$   
施加在器件上以产生结到参考点温度差的功率。
- 3.1.5 温敏参数 TSP temperature-sensitive parameter TSP  
与被测结温相关且可对温度进行校准以检测所需结温的电特性。

#### 3.2 符号、代号

- 3.2.1  $R_{\theta JR}$ : 结到参考点热阻
- 3.2.2  $R_{\theta JC}$ : 结到外壳热阻
- 3.2.3  $R_{\theta JM}$ : 结到安装表面热阻
- 3.2.4  $T_R$ : 参考点温度
- 3.2.5  $T_{MC}$ : 校准温度
- 3.2.6  $V_{MH}$ : 热敏参数值  
该参数在测试电流( $I_M$ )和相应的加热功率( $P_H$ )所产生的结温下测量。
- 3.2.7  $V_{MC}$ : 温敏参数值  
该参数在测试电流( $I_M$ )和规定的校准温度( $T_{MC}$ )下测量。

## 4 测试方法

### 4.1 目的

本测试方法采用热测试芯片测定陶瓷、金属、塑料封装从结到外壳或结到安装表面的热阻。对陶瓷、金属封装可在散热器和液体槽试验环境中进行,对塑料封装只限于在液体槽试验环境中进行。

### 4.2 概述

半导体集成电路封装的热阻是量度集成电路载体或封装以及安装技术所提供的散逸半导体结上热量的能力,当外壳或安装表面温度、加热功率以及结温已知时就可计算出热阻。

利用测量加热功率前后热测试芯片上热敏半导体元件的结温来间接指示出该芯片的结温,通常用于间接测量结温的温度敏感参数是二极管的正向电压和双极型晶体管的发射极到基极间的电压。当热测试芯片功能部分的结电压不宜作温敏参数时,其他适当的温度敏感参数也可用来间接测量结温,例如结隔离单片集成电路的衬底二极管等。然而在这种特殊情况下,在衬底二极管处于正向偏压的同时,加热电源必须断开。

在进行指定的测量时,应认为封装已达到热平衡。即当从施加功率到读取数据的时间减少一半时,在所要求的测量准确度下,指示的结果不致产生误差。

利用热测试芯片上热敏元件来测量集成电路封装的热阻。为了得到工作结温的真实估值,封装内整个芯片应加热功率以便得到适当的内部温度分布。结温测量过程中,芯片加热功率应保持不变,此时结的校准电流也保持稳定。

### 4.3 测试装置

#### 4.3.1 热电偶

当测试温度范围为 $-100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时,热偶材料应用康铜(T型)或等效材料,线的规格不得大于线径 $0.250\text{ mm}$ ,热偶的结应熔成球状而不得焊接或绞合,热偶及有关测试系统的不确定度应为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.3.2 电气设备

- a. 功率可调电源;
- b. 温敏参数测量仪,电压分辨率为 $0.5\text{ mV}$ ;
- c. 温度可控的恒温装置,不确定度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.3.3 散热装置

散热装置由温度控制器、液体循环器和主散热器组成。用以安装被测器件典型的散热装置如图1所示。它们能保持规定参考点的温度在预定测量值的 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。主散热器是用液体循环器进行水冷却控温的。为测定进出口的水温,装有热电偶传感器、适配器或散热器应紧固在主散热器的散热表面,并具有特定的几何形状,以便安装各种外壳,如扁平封装、双列封装、片式载体等。安装表面温度可通过热电偶从适配器的侧面或底部来测定,热电偶用导热胶或导热脂紧贴在适配器和封装界面上或界面的附近。被测器件在该点的温度是规定的和可控的。适配器包括插座或其他互连系统,在界面上通常涂以厚度为 $25\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 的薄导热脂,如氧化锌硅脂,以提供可靠的热接触。

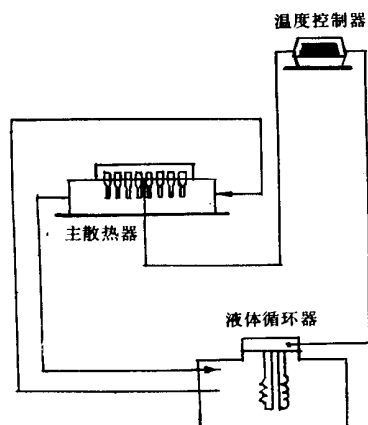


图 1 温度可控的散热装置示意图

#### 4.3.4 液体槽装置

液体槽装置由温度控制器、液体循环器和液体槽组成。典型的温度可控液体槽如图 2 所示。它们能保持规定参考点的温度在预定测量值的 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。被测器件安装在液体槽内,槽内液体应不断地搅动,以保证所需的温度稳定性。由于这种“工作流”作为“无限大散热器”在参考点外壳对液体(环境)的温度将降至最小,即小于或等于 $20^{\circ}\text{C}$ 。若外壳对液体的温差大于 $20^{\circ}\text{C}$ 时,由于封装与液体界面上的液体膜边界层温度梯度有较大的变化,将给测试精度和重复性带来困难。外壳对液体的温差可通过增大液体流速和减少液体承受的功率密度来降低。测试时被测器件的安装应不影响热传向液体,对于带引线的器件,其引线取向应不干扰热向液体的传递,并且不影响由封装中功耗所产生的热流的流动。为了减少引线的导热,应使用线径 $0.125\text{ mm}$ 导线,将被测器件插座连接到专用插座架上。被测器件的壳温可用紧贴在壳上的热电偶来测定而不能假定为液体温度。使用的液体在 $25^{\circ}\text{C}$ 温度下热导率至少为 $0.06\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ,合适的冷却液是惰性氟里昂液体和硅油。

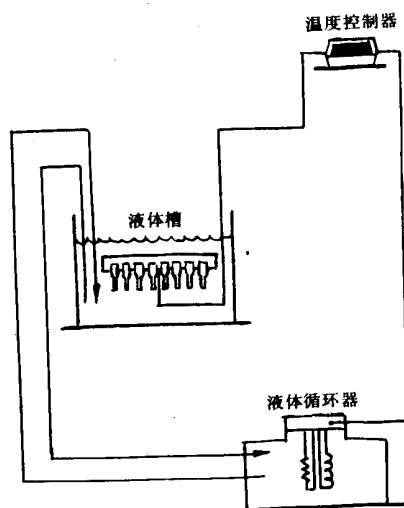


图 2 温度可控的液体槽装置示意图

### 4.4 测试程序

#### 4.4.1 试样准备

按附录 A 要求选取适当的热测试芯片,并装配成待测热阻的微电子器件。

#### 4.4.2 壳温 $T_c$ 的测量

为了测量被测器件的热阻,壳温应在可触及的外壳表面温度最高的部位进行测量。确定此参考点时,被测器件应工作在无风和无外加散热器的环境。通常此参考点位于芯片正下方的封装底部的外表面上,即在从芯片到散热器或外界环境的热流主通路上。图3表示陶瓷封装芯腔向上和向下两种情况的参考点位置。对于封装底部外表面附有整体散热器的封装,其壳温参考点应位于散热器表面与芯片背面相对应处,如图4所示。

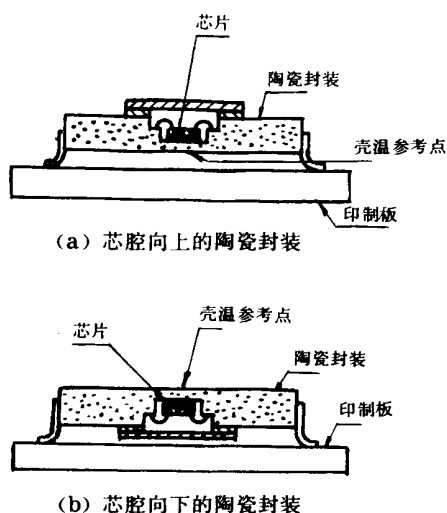


图3 测量壳温的参考点位置

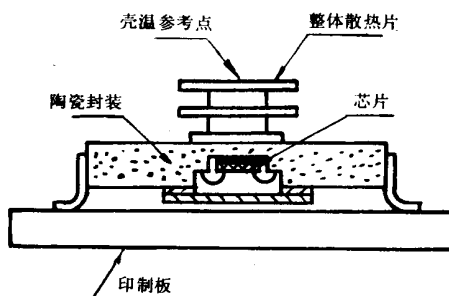


图4 带有整体散热器的陶瓷封装壳温测量的参考点位置

壳温  $T_c$  测量时,被测器件应按要求安装,以使壳温保持在规定值。(通常  $T_c$  选取  $60^\circ\text{C}$ )。应将热偶紧贴在芯片正下方的器件封装表面,为此可利用导热环氧树脂。当发现热偶球不能直接紧贴到外壳上时,可把热偶球焊到直径为 2.5 mm,厚度为 0.2 mm 铍铜合金圆片的一面,然后用一薄层粘胶将铍铜合金圆片的另一面粘到外壳上要测的位置,并使圆片和封装外壳保持一平行间隙。

#### 4.4.3 安装表面温度 $T_M$ 的测量

安装表面温度是在被测器件的主要散热表面正下方测定的,通过直接固定在(或靠近)散热器的安装表面的热电偶来测定。图5所示为一种典型的安装。安装底座(主散热器)的铜表面应镀镍,以防氧化。

在安装底座上打孔,以安装热电偶。使热电偶引线处于需测外壳温度区域的正下方,建议热电偶用导热粘合剂或焊料紧固到该安装底座上,同时要特别注意使热偶结周围的空气间隙为最小。在安装底座和被测器件的分界面应用导热脂或粘合剂涂覆。

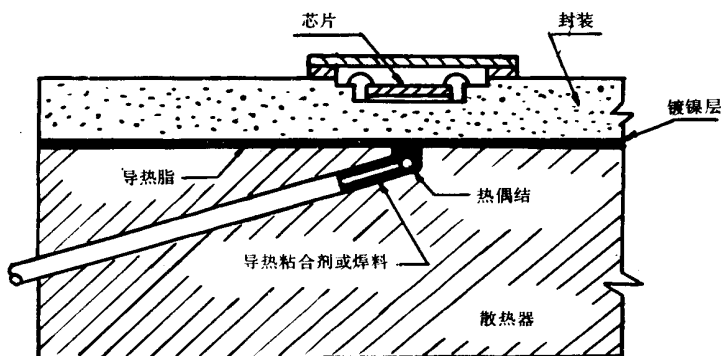


图 5 安装表面温度测量

#### 4.4.4 结温 $T_j$ 的测量

##### 4.4.4.1 温敏参数 TSP 温度系数的测量(校准)

温敏参数的温度系数是通过将被测器件置于恒温装置或液体槽装置中进行外部加热,并使其在通过某一恒定的测试电流下,测量 TSP 随参考点温度的变化关系而获得的。校准中的参考点温度范围应包括加热功率测试(见 4.4.4.2 条)中涉及的温度范围,测试电流一般选定为使 TSP 随整个给定范围内的温度上升而线性下降,而且使该电流在硅和金属接触点上所产生的热可忽略不计。为了确定最佳的 TSP 校准或测试电流,应作出所需校准温度范围内两端温度点上的  $V_{MC}-\log I_M$  曲线。然后在这两条  $V_{MC}-\log I_M$  曲线上的线性段选择最佳测试电流,测试电流的范围一般取 0.05~5 mA,具体值取决于测 TSP 时被测器件的工作条件和规范值。当测试中使用特定测量电流时,TSP 温度系数的值  $\Delta V_{MC}/\Delta T_{MC}$  可借助于  $V_{MC}-T_{MC}$  的校准曲线来计算,为确定此系数,至少采用三个点来确定电压与温度曲线。

##### 4.4.4.2 $V_{MC}$ , $V_{MH}$ 和 $P_H$ 的测量

加热功率试验按两步进行,并保持参考温度  $T_R$  在预定值不变。第一步先测 TSP,即将测试电流  $I_M$  选在校准过程中所用值(见 4.4.4.1 条)的条件下测  $V_{MC}$  值;第二步使被测器件在加热功率  $P_H$  下工作,而测试电流  $I_M$  仍保持不变,测  $V_{MH}$  值。

加热功率  $P_H$  的选择应使在测量  $V_{MH}$  时结到参考点的温差大于或等于 20℃,同时,为避免影响芯片上温度敏感元件与加热电路间的绝缘性,被测器件也不应工作在过高的加热功率下。另外,在封装引线和压焊线上的功耗过大将导致芯片有源区上耗散功率超出预定范围,因而应避免加热功率大于封装内连线系统的设计值。

$P_H$  的测量应根据选用的芯片决定,但精度应保持一致。

在上述测试条件下,记录下列数据:

- a. 温敏电参数( $V_F$ 、 $V_{EB}$ 或其他合适的 TSP);
- b. 结温  $T_j$  用下式计算:

$$T_j = T_R + (V_{MH} - V_{MC})(\Delta V_{MC}/\Delta T_{MC})^{-1}$$

式中:  $T_R = T_C$  (或  $T_M$ );

- c. 壳温  $T_C$  或安装表面温度  $T_M$ ;
- d. 加热功率  $P_H$ ;
- e. 安装方法(包括被测器件安装时所受压力和热电偶附着方法或液体温度)。

#### 4.4.5 封装热阻 $R_{\theta JR}$ 的计算

根据 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 和 4.4.4 条的程序测出结温  $T_j$ , 便可计算出封装的结到参考点的热阻。

$$R_{\theta JR} = (T_j - T_R) / P_H$$

式中:  $R_{\theta JR} = R_{\theta JC}$  (或  $R_{\theta JM}$ )。

### 5 测试报告

测试报告应包括下列内容:

- a. 封装情况, 包括热测试芯片, 壳温测量位置, 主散热器结构以及安装方法;
- b. 所用的测试条件;
- c. 测试电压、电流和热测试芯片的加热功率;
- d. 每种测试条件下的记录数据;
- e. 热特性文字符号的含义;
- f. 测试结果。

附 录 A  
热 测 试 芯 片  
(补充件)

A1 概述

本附录规定了热测试芯片的设计要求及样本数据格式。

A2 设计要求

A2.1 热源

热源即电阻条或晶体管。应尽可能的利用有效芯片面积,使测得的封装热阻能表示出采用的封装面积。键合区和划线区总宽度为 0.25 mm(见图 A1),采用的芯片尺寸范围能使封装热阻作为芯片尺寸的函数来测定。基本单元的推荐尺寸为 1.90 mm×1.90 mm,其功耗容量为 7.5~10 W,热源区应超过该基本单元有效芯片面积的 85%。基本单元按阵列形式排列最大可扩展到 11.40 mm×11.40 mm 见方的芯片。

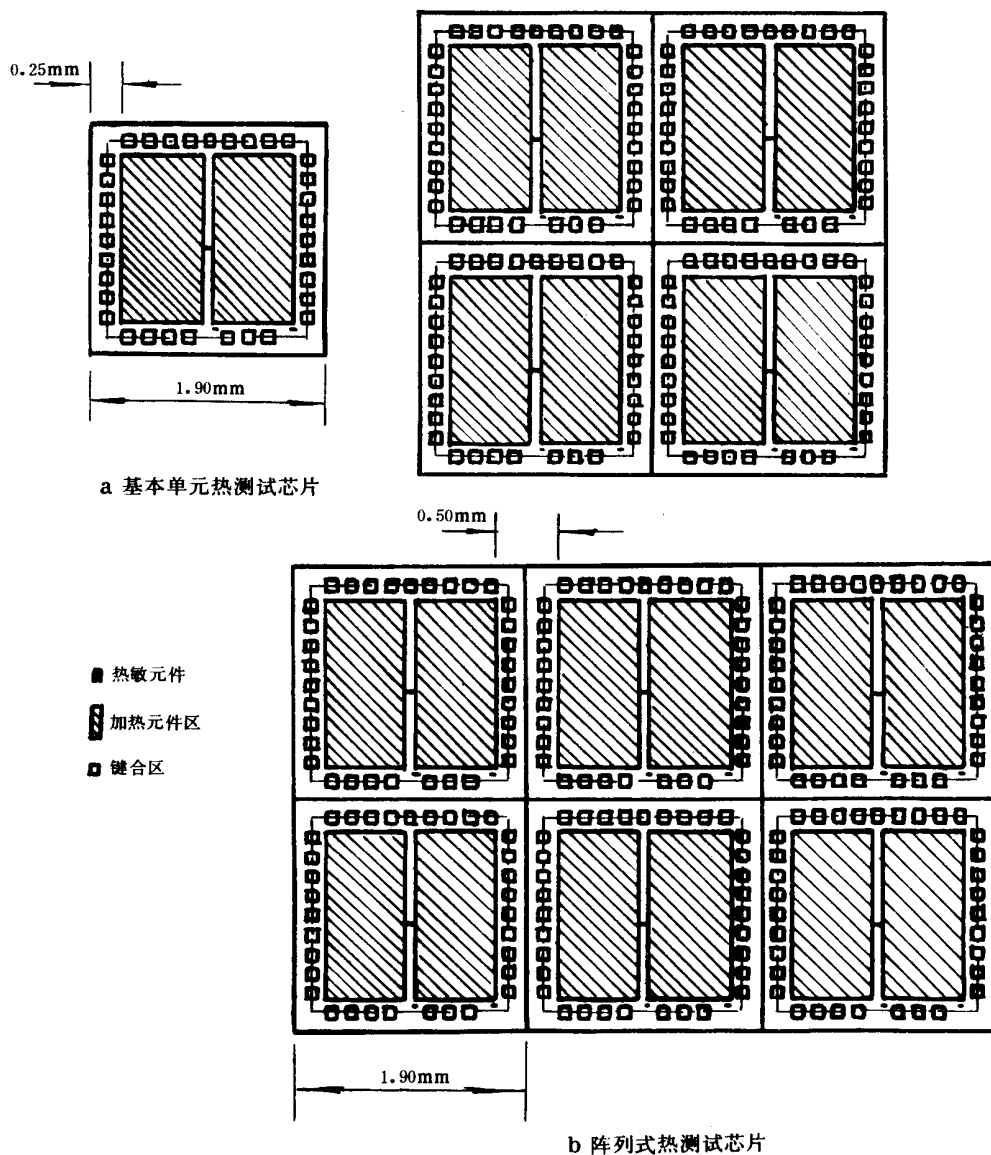


图 A1 热测试芯片

### A2.2 热源间距

容纳热敏元件即 PN 结所需的热源间距应不大于 0.50 mm, 热敏元件应位于芯片表面的中心。对于一个以标准单元排列而成的芯片来说还要求敏感元件靠近基本单元的一个角, 并在两相邻角之间, 即靠近无源区或位于无源区内。在合适时, 对于象评价芯片粘接及研究不均匀功耗的附加热敏元件也可包括在内。所有热敏元件及与它们相连的金属化通道都必须与热源电绝缘。

### A2.3 热测试芯片厚度

应为 0.46~0.56 mm。

### A2.4 热测试芯片的设计原则

应使其功耗极限值和所涉及的封装热阻的范围相符, 其中包括合理设计金属化图形。对阵列式芯片, 当将加热电流施加于内部芯片时, 由封装至内部芯片的键合引线最短, 要求由芯片表面至外壳至少产生具有 20℃ 温差的能力。为此, 对于安装在各种基片 (如氧化铝、氧化铍等) 上的芯片, 每边为 1.90 mm 的基本单元至少应能耗散功率 7.5 W。

### A2.5 键合区

键合区每边长应等于或大于 0.1 mm。热敏元件和加热元件不能连接到公共键合区上。对于阵列式芯片,键合区的位置及大小应便于基本单元间的键合,并使从封装到芯片的键合连线减至最短。

### A2.6 热敏二极管或二极管桥式元件

它们应能用于热测试芯片的整个加热功率和温度范围,至少结温升高到 130℃时,热测试芯片仍能正常工作。

### A2.7 阵列式及按比例增大的热测试芯片。

阵列式热测试芯片见图 A1b,按比例增大的热测试芯片见图 A2。加热元件(阴影区)为芯片内外许多串并联的晶体管或电阻条,应使加热元件如实际电路那样尽量布满阴影区(符合集成电路版图布局设计规则)。

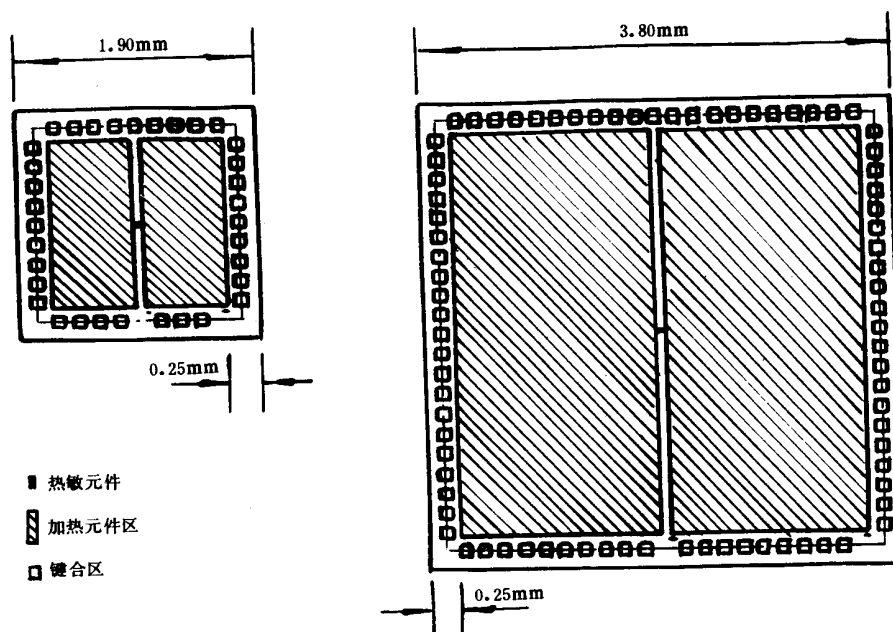


图 A2 按比例增大的热测试芯片

## A3 样本数据格式

### A3.1 一般说明

热测试芯片为双极型或 MOS 型硅芯片,它具有金属化的上表面或金属化上、下表面和加热用的晶体管或电阻器(金属膜、多晶硅、离子注入电阻或扩散电阻),以及用作热敏元件的二极管、二极管桥式出现的晶体管 e-b 结、二极管 PN 结。该芯片是为表征集成电路封装的热特性而设计的。

### A3.2 机械说明

a. 标明热敏元件、加热元件、芯片上互连及键合区位置尺寸的芯片图,标出所有键合区,并标明必须接到最正或最负外加偏置的键合区,说明为了正常工作是否需将芯片底面(背面)予以电连接。

b. 芯片厚度。

c. 所有必要的操作及芯片测试注意事项。

d. 在芯片表面键合区及底部安装面所采用的金属化层类型。

e. 所采用的钝化类型和任何特殊的装片环境要求,说明最佳的芯片粘接及引线键合程序。

f. 各种芯片阵列的引线键合图,并指明加热功率的极限值。

### A3.3 最大额定值

#### A3.3.1 温度

a. 贮存温度范围  $T_{stg}$ : \_\_\_\_\_ ~ \_\_\_\_\_ °C。

b. 工作结温范围  $T_j$ : \_\_\_\_\_ ~ \_\_\_\_\_ °C。

### A3.3.2 全工作温度范围的电压

施加到加热晶体管集电极或加热电阻上的直流电压(为衬底二极管的反向击穿电压所限制)  $V_H$ : \_\_\_\_\_ V。

### A3.3.3 全工作温度范围的电流

加到加热晶体管集电极或加热电阻上的直流电流  $I_H$ : \_\_\_\_\_ A。

## A3.4 电特性

### A3.4.1 热敏元件(二极管)

a. 在  $T_A$  = \_\_\_\_\_ °C 及  $V_R$  = \_\_\_\_\_ V 时的反向漏电流  $I_R$  = \_\_\_\_\_ mA。

b. 加到热敏 PN 结上,并保证其温度系数为线性的正向测量电流范围  $I_M$  = \_\_\_\_\_ ~ \_\_\_\_\_ mA。

c. 在最大测量电流和  $T_A$  = 25 °C 条件下,正向压降  $V_M$  = \_\_\_\_\_ V。

### A3.4.2 加热元件(晶体管或电阻)

a.  $T_A$  = 25 °C 时在最大集电极电压和集电极电流下,晶体管加热元件的正向电流传输比  $h_{FE}$  \_\_\_\_\_。

b.  $T_A$  = 25 °C 时,电阻加热元件的电阻  $R_H$  = \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

## A3.5 补充材料

芯片的最大功率容量与芯片的粘接及引线有关,当芯片安装在一种陶瓷封装中时,对加热元件可得到下列电特性:

$T_C$  = 25 °C 时的最大额定功率  $P_H$  = \_\_\_\_\_ W。

## 附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由全国集成电路标准化分技术委员会封装工作组制定。

本标准由上海无线电七厂、上海无线电十九厂、清华大学微电子学研究所起草。

本标准主要起草人叶曾达、方立明、贾松良。