

2 热流分布及其等效热路

热传递有传导、辐射和对流等基本形式。在该组件中,芯片、底座、帽盖及内外引线内部是热传导,组件外表面到周围环境则是辐射和对流的综合传热。FECL100K 组件的热流分布可用图 2 示意。

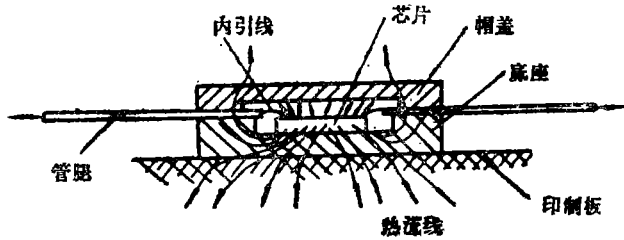


图 2 FECL100K 组件热流分布示意图

在分析该组件的热流分布时,考虑到其外壳的侧面厚度(底座至帽盖总厚 2mm 左右)相对于顶(底)面宽度是很小的,故把侧面看成是一维导热。这样,电路芯片的热量主要是通过下述三路散发到环境空间的。

第 1 路:从芯片传到底座,再从底座传到印制板,从印制板散到环境空间。

若设:芯片与底座的接触热阻为 R_{i01} ;底座的传导热阻为 R_{i11} ;底座与印制板的接触热阻为 R_{i02} ;印制板的传导热阻为 R_{i12} ;印制板与空气的对流换热热阻为 R_{i02} 。上述热阻构成的串联热路,其等效热路如图 3 中的 A 路。

第 2 路:芯片产生的热通过芯片与帽盖之间夹缝空气的传递,芯片的辐射及通过底座传导到帽盖;在帽盖外表面由空气的对流作用散发到周围空间。

若令:芯片通过夹缝空气传热的当量热阻为 R_{iD1} ;芯片的辐射热阻为 R_{ir} ;底座与帽盖的接触热阻为 R_{i03} ;帽盖的传导热阻为 R_{i13} ;帽盖与空气的对流换热热阻为 R_{i01} 。

上述热阻构成的热网络,其等效热路如图 3 中的 B 路。

应注意的是,在帽盖与底座接触面间夹有 24 条管腿,因此,在分析帽盖与底座之间的接触热阻时,必须考虑管腿的影响。

第 3 路:芯片产生的热通过内引线传到管腿(外引线),由管腿的辐射及空气的对流作用,将热量散发出去。当管腿的温度高于印制板时,还有部分热量传到印制板上,由印制板散发掉。当忽略掉管腿之间在传热方面的差别时,求出其中任一条管腿的散热量 Q_i ,其 $\sum_{i=1}^{24} Q_i$ 则为该组件

管腿的全部散热量。

内引线是良导体、且长度很短,将其热阻忽略。

若令:管腿的当量热阻为 R_{iD2} 。该传热路径的等效热路如图 3 中的 C 路。

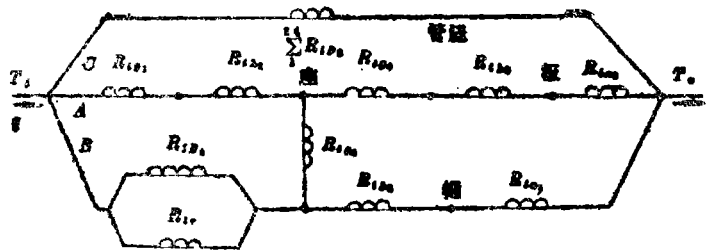


图 3 FECL100K 组件的等效热路

通过上述热分析,FECL100K 组件的等效热路为图 3 所示的网络。

3 各传热路径上热阻的确定

在电路芯片中,由电能转换成热能而使温度达最高点的位置是半导体电路的结面。因此可以把半导体结看成热源。因为芯片(其材料通常为硅片)的导热率一般是陶瓷外壳的7~8倍,所以芯片的传导热阻在组件的传热路径中所占比率甚小,故可忽略。

集成电路组件的热阻受组件结构、各组合件材料、尺寸以及周围介质及其状态的影响。因此,必须在设定的工作条件下来确定热路中各热阻值。分析的第一步是必须建立起它们的数学计算式。

3.1 管腿的当量热阻 R_{LD2}

为求管腿的当量热阻 R_{LD2} ,必先求出其对流换热的积分量。可把每条管腿看成为一个伸展体。如图4,其中一端焊接在芯片上,另一端焊接在印制板上。假定芯片的温度为 T_j (结温),印制板表面温度为 T_b ,环境温度为 T_a 。由传热学可知,伸展体对流散热的热平衡方程为

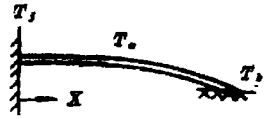


图 4

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{\alpha u}{\lambda A_i} \theta = 0 \quad (1)$$

式中: α 为伸展体与空气的对流换热系数 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$); u 为伸展体的周长 (m), 在图1的结构中, $u = 2(0.00043 + 0.00013) = 11.2 \times 10^{-4} (m)$; λ 为伸展体的导热系数 ($W/m \cdot ^\circ C$)。当知管腿材料(这里为42#合金)后,可直接从有关手册中查得; A_i 为伸展体的横截面积 (m^2)。在图1的结构中: $A_i = 0.00043 \times 0.00013 = 5.59 \times 10^{-8} (m^2)$ 。

令: $\theta = T - T_a$, $M = \left(\frac{\alpha \cdot u}{\lambda \cdot A_i} \right)^{1/2}$ 。现 $T_a = T_a$, 管腿长 $L = 0.01 m = 1 \times 10^{-2} m$,

所以

$$M = \left(\frac{11.2 \times 10^{-4} \cdot \alpha}{5.59 \times 10^{-8} \lambda} \right)^{1/2} = \left(\frac{\alpha}{\lambda} 10^4 \right)^{1/2} = 10^2 \left(\frac{\alpha}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$(1) \text{式的通解为: } \theta = c_1 e^{-Mx} + c_2 e^{Mx} \quad (3)$$

其边界条件是: 当 $x=0$, $\theta_0 = T_j - T_a$,

$$\text{当 } x=L, \theta_L = T_b - T_a \quad (L = 1 \times 10^{-2} m)$$

将 θ_0, θ_L 代入边界条件,求得 c_1, c_2 为:

$$\theta_0 = T_j - T_a = c_1 e^{-M \cdot 0} + c_2 e^{M \cdot 0} = c_1 + c_2, \text{ 故 } c_1 = \theta_0 - c_2.$$

$$\begin{aligned} \theta_L = T_b - T_a &= c_1 e^{-ML} + c_2 e^{ML} = (\theta_0 - c_2) e^{-ML} + c_2 e^{ML} \\ &= \theta_0 e^{-ML} - c_2 (e^{-ML} - e^{ML}) \end{aligned}$$

故

$$\begin{cases} c_2 = \frac{\theta_L - \theta_0 e^{-ML}}{e^{ML} - e^{-ML}} \\ c_1 = \theta_0 - c_2 = \theta_0 - \frac{\theta_L - \theta_0 e^{-ML}}{e^{ML} - e^{-ML}} = \frac{\theta_L - \theta_0 e^{ML}}{e^{ML} - e^{-ML}} \end{cases}$$

将 c_1 、 c_2 值代入(3)式得:

$$\theta = \frac{\theta_L - \theta_0 e^{ML}}{e^{-ML} - e^{ML}} e^{-Mx} + \frac{\theta_L - \theta_0 e^{-ML}}{e^{ML} - e^{-ML}} e^{Mx} \quad (4)$$

伸展体的对流散热量, 应等于从芯片和印制板(假若印制板的温度高于管腿温度)两端导入的热量, 即:

$$Q_{ii} = -\lambda A_i \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=0} + \lambda A_i \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L} \quad (5)$$

温度梯度为:

$$\frac{d\theta}{dx} = M \left[\frac{-e^{-Mx}(\theta_L - \theta_0 e^{ML}) + e^{Mx}(\theta_0 e^{-ML} - \theta_L)}{e^{-ML} - e^{ML}} \right] \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式得:

$$Q_{ii} = \frac{\lambda A_i M [(\theta_L - \theta_0 e^{ML})(1 - e^{-ML}) + (\theta_L - \theta_0 e^{-ML})(1 - e^{ML})]}{e^{-ML} - e^{ML}} \quad (7)$$

将 $M = 10^2 \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{1/2}$, $A_i = 5.59 \times 10^{-8}$, $L = 1 \times 10^{-2}$, $\theta = T_i - T_a$ 代入(7)式得:

$$Q_{ii} = 5.59 \times 10^{-8} \lambda \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \left[(T_b - T_a) - (T_j - T_a) e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \right. \\ \left. + \left[(T_b - T_a) - (T_j - T_a) e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \left[1 - e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} / \left[e^{-\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} - e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (8)$$

(8)式表明, 管腿的散热量 Q_{ii} 是 α 、 λ 、 T_j 、 T_b 及 T_a 的函数。

必须指出, 印制板与管腿结合部的传热方向主要取决于 T_b 的大小。当印制板传入管腿的热量可以忽略(甚至根本不存在)时, 此时管腿的散热量应为

$$Q'_{ii} = -\lambda A_i \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{\lambda A_i M [(\theta_L - \theta_0 e^{ML}) + (\theta_L - \theta_0 e^{-ML})]}{e^{-ML} - e^{ML}}$$

将有关数据代入上式得:

$$Q'_{ii} = 5.59 \times 10^{-8} \sqrt{\lambda \alpha} \left\{ \left[(T_b - T_a) - (T_j - T_a) e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \right. \\ \left. + \left[(T_b - T_b) - (T_j - T_a) e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} / \left[e^{-\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} - e^{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (9)$$

在(8)式及(9)式中, λ 为管腿导热系数, 可根据管腿材料查得; 结温 T_j 可按可靠性要求确定的; 印制插件的表面温度 T_b 及插件腔的空气环境温度 T_a 可由实验测出。管腿与空气的对流换热系数 α 可按下述步骤求得:

(1) 求出空气的膜温 $T_m = \frac{1}{2}(t_{wi} + T_a)$ ($^{\circ}\text{C}$), T_{wi} 为管腿的表面温度。

(2) 以 T_m 为定性温度查得空气的热物性参数:

μ —空气的动力粘度 ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$); λ_f —空气的导热系数 ($\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$); P_r —空气的普朗

特数(无量纲数); ρ —空气的密度(kg/m^3), $\rho = P/(R \cdot T_m)$ (kg/m^3), 其中 p 为空气压力(N/m^2), R 为空气气体常数 $287(\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.

(3) 计算气流的雷诺数 $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$. v 为气流速度(m/s); d 为定性尺寸(m).

(4) 计算强迫对流换热系数: $\alpha = \left(\frac{\lambda_f}{d}\right) c R_e^n P_r^{1/3}$. 其中 c 、 n 可根据 Re 的大小直接查得, 管腿的散热量 Q_{ii} 可根据一定的 α 、 T_j 、 T_b 、 T_a 值求得. 因而, 管腿的当量热阻为:

$$R_{iD_2} = \frac{T_j - T_a}{Q_{ii}} \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (10)$$

3.2 芯片向组件内腔的辐射热阻 R_{ir}

芯片向帽盖辐射的热量为: $Q_{ir} = \alpha_r \cdot F_c (T_j - T_{w_2})$

式中: 芯片的表面积 F_c (m^2), 直接测得; 芯片的结温 T_j ($^\circ\text{C}$), 按可靠性决定; 帽盖内表面温度 T_{w_2} ($^\circ\text{C}$), 可用实验换算; 芯片对帽盖内表面的辐射换热系数 α_r ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), 由下式求得:

$$\alpha_r = \varepsilon_r \psi \cdot f(t_j \cdot t_{w_2}) \quad (11)$$

(11) 式中 ε_r 为芯片表面与帽盖内表面之间的系统黑度, $\varepsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$, ε_1 及 ε_2 分别

为芯片表面和帽盖内表面黑度; ψ 为芯片表面对帽盖内表面的角度系数, 因二表面平行且间距甚小, 故 $\psi = 1$; $f(t_j \cdot t_{w_2})$ 为芯片表面与帽盖内表面的温度函数

$$f(t_j \cdot t_{w_2}) = 5.67 \frac{\left(\frac{T_j}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{w_2}}{100}\right)^4}{T_j - T_{w_2}}$$

将上述各值代入(11)式则得:

$$\alpha_r = \frac{5.67(T_j^2 + T_{w_2}^2)(T_j + T_{w_2})}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)10^8}$$

所以

$$R_{ir} = \frac{1}{\alpha_r F_c} = \frac{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)10^8}{5.67(T_j^2 - T_{w_2}^2)(T_j + T_{w_2}) F_c} \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (12)$$

3.3 芯片与帽盖之间空气传热的当量热阻 R_{iD_1}

芯片与帽盖之间的缝隙很小(约 $0.25 \sim 0.65\text{mm}$), 根据传热理论, 夹缝内的空气可能是自然对流传热, 也可能是纯空气导热或两者的综合作用, 其机理主要决定于相似准则数 Gr (格拉晓夫数) 的大小.

R_{iD_1} 可按下述步骤求得:

(1) 设夹缝两表面平均温度为 $T_{cp} = \frac{1}{2}(T_j + T_w)$ ($^\circ\text{C}$);

(2) 以 T_{cp} 为定性温度, 查空气有关热物性参数;

P_r —普朗特数(无量纲数); ν_a —空气运动粘度(m^2/s); λ_a —空气导热系数($\text{W}/\text{m}\cdot\text{C}$); β_a —空气体胀系数(K^{-1})。

$$(3) \text{ 求格拉晓夫数 } G_r; G_r = \frac{g\beta_a \cdot \Delta T \cdot \delta^3}{\nu_a^2}$$

其中, g —重力加速度, δ —夹缝间距(m), ΔT —夹缝两表面温差, $\Delta T = T_j - T_{w2}$ ($^{\circ}\text{C}$)。

(4) 根据($G_r \cdot P_r$)值, 查《传热学手册》求夹缝当量导热系数 λ_D 与实际导热系数 λ_a 之比值。在恒温下,

当 $G_r P_r < 1700$ 时, $\lambda_D/\lambda_a = 1$;

当 $G_r P_r = 1700 \sim 7000$ 时, $\lambda_D/\lambda_a = 0.059(G_r P_r)^{0.4}$;

当 $G_r P_r = 7000 \sim 3.2 \times 10^5$ 时, $\lambda_D/\lambda_a = 0.212(G_r P_r)^{1/4}$;

当 $G_r P_r > 3.2 \times 10^5$ 时, $\lambda_D/\lambda_a = 0.061(G_r P_r)^{1/3}$ 。

(5) 求出 λ_D 后, 即可求出夹缝当量传热热阻,

$$R_{iD1} = \delta / (\lambda_D \cdot A_D) \quad (^{\circ}\text{C}/\text{W}) \quad (13)$$

其中, A_D 为夹缝的横截面积, 在这里 $A_D = 4 \times 10^{-5} (\text{m}^2)$ 。

由上述分析计算可以看出, 要求得 R_{iD1} 值, 关键是要确定 T_j 和帽盖内表面温度 T_{w2} 。

3.4 组件外表面与空气的对流换热热阻 $R_{i\alpha 1}$

假设气流在常压下以 v_1 (m/s) 速度流过组件的外表面, 其温度为 T_a ($^{\circ}\text{C}$), 组件外表面温度为 T_{w1} ($^{\circ}\text{C}$)。计算组件与空气的对流换热系数 α_1 及对流换热量 $Q_{\alpha 1}$ 。步骤如下:

$$(1) \text{ 求空气的膜温 } T_{m1} = \frac{T_a + T_{w1}}{2} \quad (^{\circ}\text{C})$$

(2) 以 T_{m1} 为定性温度, 查空气的有关热物性参数: μ —空气的动力粘度($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$); P_r —空气的普朗特数(无量纲数); λ_1 —空气的导热系数($\text{W}/\text{m}\cdot\text{C}$); ρ_1 —空气密度; $\rho_1 = \frac{p}{R \cdot T_{m1}}$ (kg/m^3) (式中 p —空气压力(N/m^2), $R = 287$ ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{C}$) 为空气气体常数)。

(3) 计算空气掠过组件表面时的雷诺数 Re_1 :

$$Re_1 = \frac{\rho_1 d_1 v_1}{\mu}, \quad (d_1 \text{ 为定性尺寸}(\text{m}))。$$

(4) 计算对流换热系数 α_1 。根据传热学, α_1 的实验公式为

$$\alpha_1 = \left(\frac{\lambda_1}{\alpha_1} \right) c R_{e1}^n P_r^{1/3} \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C})$$

其中 c 及 n 根据 Re_1 的大小直接查表而得到。

(5) 强迫对流换热热阻为:

$$R_{i\alpha 1} = \frac{1}{\alpha_1 F_1} \quad (^{\circ}\text{C}/\text{W}) = \frac{d_1}{\lambda_1 \cdot c \cdot R_{e1}^n P_r^{1/3} \cdot F_1} \quad (^{\circ}\text{C}/\text{W}) \quad (14)$$

式中 F_1 为组件外壳的有效散热面积。

(6) 组件外壳的对流散热量:

$$Q_{a1} = \frac{T_{w1} - T_a}{R_{ia1}} = \frac{\lambda_1 c R_{e1}^n P_r^{1/3} F_1 (T_{w1} - T_a)}{d_1} = F_1 \alpha_1 (T_{w1} - T_a) \quad (\text{W}) \quad (15)$$

3.5 印制板表面与空气的对流换热热阻 R_{ia2}

假定空气在常压下以 v_1 (m/s) 的速度流过印制板表面, 其温度为 T_a . 印制板表面温度为 T_b . 根据这些条件, 则可按上述同样步骤计算出印制板与空气的对流换热系数 α_2 及对流换热热阻 R_{ia2} . 从而可求得印制板的对流换热量. 它们的计算式分别为:

$$\alpha_2 = \left(\frac{\lambda_2}{d_2} \right) c \cdot R_{e2}^n P_r^{1/3} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$R_{ia2} = \frac{1}{\alpha_2 F_2} = \frac{1}{\lambda_2 \cdot c \cdot R_{e2}^n P_r^{1/3} \cdot F_2} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (16)$$

当以 $T_{m2} = \frac{1}{2} (T_a + T_b)$ 为膜温查得空气的导热系数 λ_2 及 P_r , 并计算出空气的雷诺数 R_{e2} 和印制板表面积 F_2 后, 便可求得 R_{ia2} 的大小. 从而求得印制板的对流换热量:

$$Q_{a2} = \frac{T_b - T_a}{R_{ia2}} = \frac{\lambda_2 \cdot c \cdot R_{e2}^n P_r^{1/3} F_2 (T_b - T_a)}{d_2} \quad (\text{W}) \quad (17)$$

其中 d_2 为定性尺寸(m).

热阻 $R_{i\lambda_1}, R_{i\lambda_2}, R_{i\lambda_3}$ 等, 分别为组件底座、印制板及帽盖等的传导热阻. 它们是根据各结构件的材料决定的. 根据材料从手册中查出其导热系数, 从而求得相应的传导热阻.

接触热阻 $R_{i\theta_1}, R_{i\theta_2}, R_{i\theta_3}$ 分别为芯片与底座、底座与印制板、底座与帽盖的接触热阻. 它们是由各接触面的材料、表面状况 (主要是表面粗糙度) 及接触压力等因素决定的. 当相互接触面的材料、表面状况等因素分析明确后, 便可从手册查得. 若接触面非常光洁, 且材料的导热系数较小, 或接触面之间填充了良导热物质等, 其接触热阻可忽略.

4 组件传热系统的总热阻

求出 FECL100K 组件等效热路中各阻值后, 则可根据有关电学知识, 求整个热网络的总热阻 R_t . 首先必须将图

3 网络作如下变换:

图中, $R_A = \sum_{i=1}^{24} R_{iD2}$,

$$R_B = R_{i\theta_1} + R_{i\lambda_1}$$

$$R_C = R_{i\theta_2} + R_{i\lambda_2} + R_{ia2}$$

$$R_D = R_{i\theta_3}$$

$$R_E = \frac{R_{iD1} \cdot R_{ir}}{R_{iD1} + R_{ir}}$$

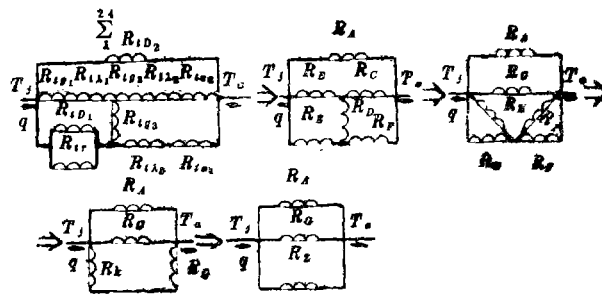


图 5 FECL100K 组件等效热路的变换过程

$$R_F = R_{i\lambda_3} + R_{i\sigma_1}, \quad R_G = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_D}, \quad R_H = R_B + R_D + \frac{R_B R_D}{R_C},$$

$$R_I = R_C + R_D + \frac{R_C R_D}{R_B}, \quad R_K = \frac{R_H R_E}{R_H + R_E}, \quad R_Q = \frac{R_F R_I}{R_F + R_I}$$

$$R_Z = R_K + R_Q = \frac{R_H R_E}{R_H + R_E} + \frac{R_F R_I}{R_F + R_I}$$

$$= \frac{R_B R_C R_E + R_C R_D R_E + R_B R_D R_E}{R_B R_C + R_C R_D + R_C R_E + R_B R_D} + \frac{R_B R_C R_F + R_B R_D R_F + R_C R_D R_F}{R_B R_C + R_B R_D + R_D R_F + R_C R_D}$$

通过上述变换, 可将 FECL100K 组件在强迫对流条件下, 其换热系统的总热阻为

$$R_t = \frac{R_A R_G R_Z}{R_A R_G + R_A R_Z + R_G R_Z} \quad (^\circ\text{C}/\text{W}) \quad (18)$$

5 组件安装方式对散热效果的影响

(18) 式为 FECL100K 组件在强迫对流条件下的热传递数学模型。现在可以根据等效热路及其热传递模型分析该组件在印制板上正反两种安装方式 (见图 6), 对散热效果的影响, 从而论证其安装形式的合理性。

当组件水平反装 (如图 b) 时, 其等效热路如 (图 7)。在环境条件相同的情况

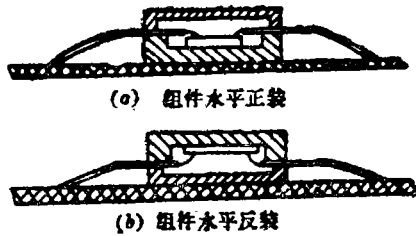


图 6 组件两种水平安装方式

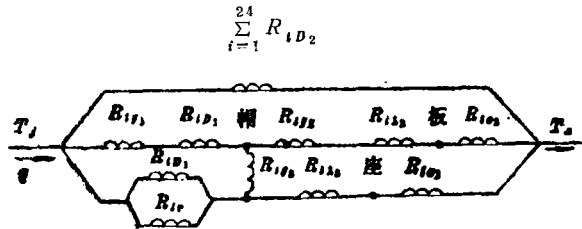


图 7 组件水平反装后的等效热路

下, 两种安装方式的等效热路中, 其 R_{iD_2} 、 $R_{i\sigma_1}$ 、 $R_{i\lambda_1}$ 、 $R_{i\lambda_2}$ 、 $R_{i\sigma_2}$ 、 R_{iD_1} 、 $R_{i\tau}$ 、 $R_{i\lambda_3}$ 、 $R_{i\sigma_3}$ 是不变的。唯有 $R_{i\sigma_2}$ 及 $R_{i\sigma_1}$ 随安装方式变化而改变。

$R_{i\sigma_2}$ 为外壳与印制板的接触热阻。当组件反装后, 由原来底座与印制板的接触变成了帽盖与印制板的接触。底座与帽盖的材料是不同的。通常, 底座材料的导热系数比帽盖好, 所以, 正装时的 $R_{i\sigma_2}$ 比反装时的值要大。如果组件与印制板贴得不紧 (夹有气隙或有对流空气), 因其气流量比上表面小得多正适应帽盖的热流密度远低于底座的情况。因此, 反装对提高效果是有利的。

$R_{i\sigma_1}$ 为外壳的对流换热热阻。由 (14) 式可见, 在两种安装方式下, 其 d_1 、 F_1 及 P , 是基本相同的。影响 $R_{i\sigma_1}$ 变化的主要是下述诸因素。

芯片与底座是直接接触导热, 其接触面作了良好的导热性处理, 且底座材料的导热性比帽盖要好得多。因此, 反装后底座表面温度及接近该表面的空气过渡层温度比正装时要高, 从而使膜温 $T_{m1} = (T_a + T_{w1})$ 也提高 (T_{w1} 已变成底座表面温度而不是帽盖表面

温度)。这使下列参数值发生变化：(1) 空气过渡层的导热系数 λ_1 增大；(2) 湿空气的运动粘度 ν_1 减小，从而使掠过外壳表面气流的雷诺数 $Re_1 = \frac{d_1 v_1}{\nu_1}$ 增大；(3) 由于 Re_1 增大，使(14)式中的系数 c 减小而指数 n 增大。在 Re_1 远大于1的情况下， c 虽使 Re_1 成倍数地减小，但 c 却使 Re_1 成指数地增大。所以，组件反装后，不但 Re_1 本身增大，而且由于 n 值的增大使努谢尔数 $N_u = c Re_1^n$ 增大。

综上所述，组件反装后，其对流换热会大有改善。这已为实验测试所证实。

从组件外壳的对流换热量 $Q_{o1} = F_1 \alpha_1 (T_{w1} - T_a)$ 看出：组件反装后不但对流换热系数 α_1 增大，而且由于 T_{w1} 提高，使温差 $\Delta T_1 = T_{w1} - T_a$ 提高，从而使对流换热量 Q_{o1} 增大。

此外，如果考虑外壳的辐射换热，反装后由于辐射面温度提高，使辐射换热量也会相应增大。

综上所述，组件水平反装改善了散热，提高了固体电路的可靠性，在电子设备的组装中，将该组件水平反装是可取的。

参 考 文 献

- [1] SEMICONDUCTOR DATA BOOK ECL
- [2] Allan D. Kraus. Thermal Analysis and Control of Electronic. Hemisphere Publishing Corporation 1983
- [3] J.P. 霍尔曼. 传热学. 人民教育出版社, 1981
- [4] 钱滨江. 简明传热学手册. 高等教育出版社, 1983

Heat-transfer Model for FECL100K under the Circumstance of Forced Air Cooling

Teng Mingsheng
(Department of Computer)

Abstract

With the application of heat-transfer theory an equivalent thermal network (electrothermal analog circuit) is set up by electrothermal analogy which is for FECL100K under the circumstance of forced air cooling. The mathematic model of heat-transfer for the network is also given. It provides a foundation for computer aided thermal design.

By applying the equivalent thermal network and its model the reasonableness of placement form of this package in electronic equipment is expounded.

Key Words, heat-transfer, thermal network, ceramic flat package, electrothermal analogy