



(21)申請案號：100120735

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 06 月 14 日

(51)Int. Cl. : G06F17/10 (2006.01)

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)  
新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：陳健章 CHEN, CHIENCHANG (TW)；鄭裕庭 CHENG, YUTING (TW)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

TW 200306009A

"Thermal Modeling, Analysis, and Management in VLSI Circuits:  
Principles and Methods " IEEE2006"High-Efficiency Green Function-Based Thermal Simulation  
Algorithms " IEEE 2007

審查人員：林明宗

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：8 共 30 頁

(54)名稱

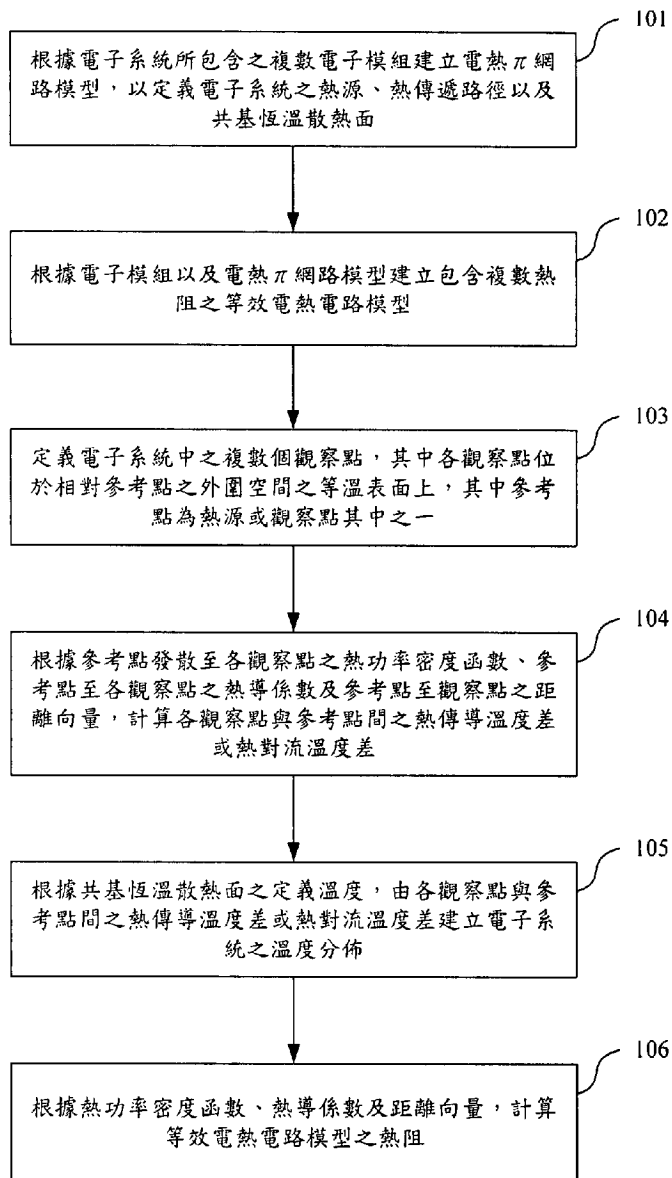
熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體

METHOD AND NON-TRANSITORY COMPUTER READABLE MEDIUM THEREOF FOR  
THERMAL ANALYSIS MODELING

(57)摘要

一種熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體。熱分析模型建立方法包含下列步驟：根據電子系統所包含之電子模組建立電熱 $\pi$ 網路模型，以定義電子系統之熱源、熱傳遞路徑以及共基恆溫散熱面。定義電子系統中之觀察點，各位於相對參考點之外圍空間之等溫表面上，其中參考點為熱源或觀察點其中之一。根據參考點至各觀察點之熱功率密度函數、熱導係數及距離向量，計算熱傳導溫度差或熱對流溫度差。根據共基恆溫散熱面之定義溫度，由熱傳導溫度差或熱對流溫度差建立電子系統之溫度分佈。

A method and a non-transitory computer readable medium thereof for thermal analysis modeling is provided. The method includes the steps as follows. An electrothermal network  $\pi$  model is established according to the electronic modules of an electronic system to define the heat source, propagation paths and the common base of the electronic system. The observation points in the electronic system is defined, wherein each of the observation points is located at an isothermal surface enclosing a volume surrounding a reference point, where the reference point is the heat source or one of the observation points. A heat conduction temperature difference and a heat convection temperature difference are calculated according to the power density function, the thermal conductivity coefficient and the distance vector between the reference point and each of the observation points. The temperature distribution is established according to the heat conduction and the heat convection temperature difference and the defined temperature of the common base.



第1圖

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100120135

※申請日：2006.6.24

※IPC 分類：G06F17/10 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體

METHOD AND NON-TRANSITORY COMPUTER  
READABLE MEDIUM THEREOF FOR THERMAL  
ANALYSIS MODELING

## 二、中文發明摘要：

一種熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體。熱分析模型建立方法包含下列步驟：根據電子系統所包含之電子模組建立電熱  $\pi$  網路模型，以定義電子系統之熱源、熱傳遞路徑以及共基恆溫散熱面。定義電子系統中之觀察點，各位於相對參考點之外圍空間之等溫表面上，其中參考點為熱源或觀察點其中之一。根據參考點至各觀察點之熱功率密度函數、熱導係數及距離向量，計算熱傳導溫度差或熱對流溫度差。根據共基恆溫散熱面之定義溫度，由熱傳導溫度差或熱對流溫度差建立電子系統之溫度分佈。

## 三、英文發明摘要：

A method and a non-transitory computer readable medium thereof for thermal analysis modeling is provided.

The method includes the steps as follows. An electrothermal network  $\pi$  model is established according to the electronic modules of an electronic system to define the heat source, propagation paths and the common base of the electronic system. The observation points in the electronic system is defined, wherein each of the observation points is located at an isothermal surface enclosing a volume surrounding a reference point, where the reference point is the heat source or one of the observation points. A heat conduction temperature difference and a heat convection temperature difference are calculated according to the power density function, the thermal conductivity coefficient and the distance vector between the reference point and each of the observation points. The temperature distribution is established according to the heat conduction and the heat convection temperature difference and the defined temperature of the common base.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 ( 1 ) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

101-106：步驟

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本揭示內容是有關於一種模型建立方法，且特別是有關於一種熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體。

### 【先前技術】

半導體晶片隨著製程的演進，包含愈來愈多電子元件於其中。因此，精確的熱分析模型將是半導體晶片設計中不可或缺的一環，以確保晶片運作時不會由於其空間中的熱能過多無法順利釋出而燒燬或損壞。為了進行分析與模擬，將需要對晶片內溫度的分佈進行計算，而晶片內溫度的分佈是由半導體晶片中各元件及各連接件的溫度來決定。然而，現行的分析及模擬技術常需要以非常大的運算量及複雜度，來對整個晶片中所有的元件及連接件進行計算，既耗時亦耗資源，對講求效率的晶片設計程序中，將是不利的。

因此，如何設計一個新的熱分析模型建立方法及其非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，以對半導體晶片快速而有效地建立熱分析模型，乃為此一業界亟待解決的問題。

### 【發明內容】

因此，本揭示內容之一態樣是在提供一種熱分析模型建立方法，包含下列步驟：根據電子系統所包含之複數電子模組建立電熱（electrothermal） $\pi$ 網路模型，以定義電

子系統之熱源、熱傳遞路徑以及共基恆溫散熱面。定義電子系統中之複數個觀察點，其中各觀察點位於相對參考點之外圍空間之等溫表面上，其中參考點為熱源或觀察點其中之一。根據參考點發散至各觀察點之熱功率密度函數、參考點至各觀察點之熱導係數及參考點至觀察點之距離向量，計算各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度差。根據共基恆溫散熱面之定義溫度，由各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度差建立電子系統之溫度分佈。

依據本揭示內容一實施例，其中當參考點為熱源，係藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量計算熱傳導溫度差。計算熱傳導溫度差更包含藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量對觀察點所位於參考點對應之外圍空間進行體積分以及位於參考點對應之等溫表面進行面積分計算。其中熱功率密度函數包含體積熱功率密度函數  $qv$  以及表面熱功率密度函數  $qs$ ，熱導係數包含體積熱導係數  $kv$  以及表面熱導係數  $ks$ ，觀察點之位置為  $r$ ，熱源之位置為  $r'$ ，外圍空間之該等溫表面之一單位法向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_v (qv/kv|\bar{r} - \bar{r}'|) dv' - (1/4\pi) * \int_s (qs|\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n}/ks|\bar{r} - \bar{r}'|) da'$$

依據本揭示內容另一實施例，其中當參考點為觀察點其中之一，係藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量計算熱對流溫度差。計算熱對流溫度差更包含藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量對觀察點所位於對應參考點之

溫表面進行面積分計算。其中熱功率密度函數包含表面熱功率密度函數  $qs$ ，熱導係數包含表面熱導係數  $ks$ ，觀察點之位置為  $r$ ，熱源之位置為  $r'$ ，外圍空間之等溫表面之單位法向量為  $\hat{n}$ ，表面為  $a$ ，熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \oint_s (qs|\hat{r} - \hat{r}'| \cdot \hat{n} / ks|\bar{r} - \bar{r}'|) da'$$

依據本揭示內容又一實施例，其中參考點至各觀察點係為熱傳遞路徑之一部份，且包含電子模組至少其中之一，熱導係數係與電子模組至少其中之一之材質相關。

依據本揭示內容再一實施例，其中根據熱分析模型建立方法更包含下列步驟：根據電子模組以及電熱  $\pi$  網路模型建立包含複數熱阻之等效電熱電路模型以及根據熱功率密度函數、熱導係數及距離向量，計算等效電熱電路模型之熱阻。

依據本揭示內容更具有之一實施例，其中熱源為電子系統之最高溫處，共基恆溫散熱面為電子系統之最低溫處。

一種非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，用以儲存一應用程式，該應用程式使一電腦裝置執行一種熱分析模型建立方法，包含下列步驟：根據電子系統所包含之複數電子模組建立電熱 (electrothermal)  $\pi$  網路模型，以定義電子系統之熱源、熱傳遞路徑以及共基恆溫散熱面。定義電子系統中之複數個觀察點，其中各觀察點位於相對參考點之外圍空間之等溫表面上，其中參考點為熱源或觀察點其中之一。根據參考點發散至各觀察點之熱功率密度函數、參考點至各觀察點之熱導係數及參考點至觀察點之距離向量，計算各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度



差。根據共基恆溫散熱面之定義溫度，由各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度差建立電子系統之溫度分佈。

依據本揭示內容一實施例，其中當參考點為熱源，係藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量計算熱傳導溫度差。計算熱傳導溫度差更包含藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量對觀察點所位於參考點對應之外圍空間進行體積分以及位於參考點對應之等溫表面進行面積分計算。其中熱功率密度函數包含體積熱功率密度函數  $qv$  以及表面熱功率密度函數  $qs$ ，熱導係數包含體積熱導係數  $kv$  以及表面熱導係數  $ks$ ，觀察點之位置為  $r$ ，熱源之位置為  $r'$ ，外圍空間之該等溫表面之一單位法向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_v (qv/kv|\bar{r} - \bar{r}'|) dv' - (1/4\pi) * \int_s (qs|\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n}/ks|\bar{r} - \bar{r}'|) da'$$

依據本揭示內容另一實施例，其中當參考點為觀察點其中之一，係藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量計算熱對流溫度差。計算熱對流溫度差更包含藉由熱功率密度函數、熱導係數及距離向量對觀察點所位於對應參考點之溫表面進行面積分計算。其中熱功率密度函數包含表面熱功率密度函數  $qs$ ，熱導係數包含表面熱導係數  $ks$ ，觀察點之位置為  $r$ ，熱源之位置為  $r'$ ，外圍空間之等溫表面之單位法向量為  $\hat{n}$ ，表面為  $a$ ，熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_s (qs|\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n}/ks|\bar{r} - \bar{r}'|) da'$$

依據本揭示內容又一實施例，其中參考點至各觀察點

係為熱傳遞路徑之一部份，且包含電子模組至少其中之一，熱導係數係與電子模組至少其中之一之材質相關。

依據本揭示內容再一實施例，其中根據熱分析模型建立方法更包含下列步驟：根據電子模組以及電熱 $\pi$ 網路模型建立包含複數熱阻之等效電熱電路模型以及根據熱功率密度函數、熱導係數及距離向量，計算等效電熱電路模型之熱阻。

依據本揭示內容更具有之一實施例，其中熱源為電子系統之最高溫處，共基恆溫散熱面為電子系統之最低溫處。

應用本揭示內容之優點係在於藉由電熱 $\pi$ 網路模型之建立確定熱源、熱傳遞路徑以及共基恆溫散熱面後，藉由Green Theorem所發展出來的溫度差積分函數計算電子系統中的觀察點溫度差，建立電子系統中的溫度分佈，而輕易地達到上述之目的。

### 【實施方式】

請參照第1圖。第1圖為本揭示內容一實施例中，熱分析模型建立方法之流程圖。請同時參照第2A圖。第2A圖為本揭示內容一實施例之電子系統2之立體圖。第1圖中之熱分析模型建立方法可用以建立第2A圖所繪示之電子系統2之熱分析模型。於一實施例中，熱分析模型建立方法可藉由一非暫時性電腦可讀取紀錄媒體中，如唯讀記憶體(read only memory；ROM)、快閃記憶體(Flash Memory)、軟碟、硬碟、光碟、隨身碟、磁帶、可由網路存取之資料庫或熟悉此技術者可輕易思及具有相同功能之

儲存媒體，所儲存一應用程式來執行。

於本實施例中，第 2A 圖所繪示之電子系統 2 包含垂直共振腔面射型雷射 20 (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser; VCSEL)。於不同實施例中，垂直共振腔面射型雷射 20 所包含之通道數目可依情形調整。於本實施例中，垂直共振腔面射型雷射 20 具有四個通道。隨著電腦的運算速度高達數 GHz 以上，傳統利用銅線傳遞電訊號的頻寬將不敷使用，因此利用光作為高速傳遞媒介之光連結技術將大幅取代電子產品中之各種訊號的連結。垂直共振腔面射型雷射 20 藉由覆晶接合 (flip-chip bonding) 技術形成於矽基光學平台 (Silicon optical bench; SiOB) 22 上，以做為傳輸速度高達 Gbps 的光學訊號傳輸裝置，並透過光纖 24 來進行傳輸。光纖 24 於不同實施例中，可嵌於矽基光學平台 22 上的 V 形槽或是 U 形槽 (未繪示) 中。請參照第 2B 圖，為第 2A 圖的電子系統 2 中，虛框部份沿 D 方向之側視圖。如第 2B 圖所示，垂直共振腔面射型雷射 20 底部具有一介電層 26，介電層 26 上可形成散熱孔 26' (形成於垂直共振腔面射型雷射 20 正下方者由於角度關係未繪示)，並藉由連接墊 28 連接至外部，以達到散熱之功效。

請同時參照第 3 圖。熱分析模型建立方法之步驟 101，是根據電子系統 2 所包含之電子模組建立如第 3 圖所示之電熱  $\pi$  網路模型 3。電子系統 2 之電子模組即包含前述的垂直共振腔面射型雷射 20、矽基光學平台 22、光纖 24、介電層 26、散熱孔 26' 以及連接墊 28 等等。如第 3 圖所示，電熱  $\pi$  網路模型 3 可定義出電子系統 2 之熱源 30、熱傳遞

路徑 32 以及共基恆溫散熱面 34。其中，以虛線框繪示者表示絕熱面。各個阻抗  $Z1$ 、 $Z2$ 、 $Z3$  與  $Z4$  表示熱源 30 內的熱阻、熱對流、熱電感以及其他邊界情形造成的熱阻效應。邊界 A 及邊界 B 可為熱流的共基端、外部邊界或是與其他系統之連接面。一般來說，熱源 30 為電子系統 2 之最高溫處，共基恆溫散熱面 34 為電子系統 2 之最低溫處。於本實施例中，熱源 30 即為垂直共振腔面射型雷射 20，熱傳遞路徑 32 可包含光纖 24、介電層 26、散熱孔 26' 以及連接墊 28 等，而共基恆溫散熱面 34 則為矽基光學平台 22。

藉由電熱  $\pi$  網路模型 3 的建立，電子系統 2 對應的熱模型可以迅速地建立，而降低熱分析之複雜度。因此，熱流行為可以藉由一些數學方法計算溫度分佈而被推導出。需注意的是，於其他的電子系統中，所據以建立的電熱  $\pi$  網路模型可能與第 3 圖所繪示之有所差異，不為第 3 圖所繪示的所限。

請參照第 4 圖。第 1 圖之步驟 102，是根據第 2A 圖之電子系統 2 中的各電子模組以及第 3 圖的電熱  $\pi$  網路模型 3 建立如第 4 圖所示包含複數熱阻之等效電熱電路模型 4 (equivalent electrothermal circuit model; EETCM)。

第 3 圖中的阻抗  $Z1$  及阻抗  $Z2$  為垂直共振腔面射型雷射 20 的熱阻，意即第 4 圖中的熱阻  $R_{VCSEL}$  以及  $R'_{VCSEL}$ 。阻抗  $Z3$  是由於忽略空氣熱對流而為一無限大阻值之熱阻之熱阻。阻抗  $Z4$  為矽基光學平台 22 之熱電感，即第 4 圖之  $C_{SiOB}$ 。第 3 圖之熱傳遞路徑 32 可包含串聯之金層及 BCB 層 ( $R_{GOLD}$  及  $R_{BCB}$ )，並與空氣的熱阻並聯 ( $R_{Air}$ )。第 3

圖之共基恆溫散熱面 34 則包含共基阻抗  $R_{SiOB}$ 。第 4 圖中所繪示的開關則表示各通道的垂直共振腔面射型雷射 20 可經由切換而啟動或關閉。由於熱源 30 之熱行為複雜度高，因此需要以新的方式來計算溫度分佈，以瞭解其行為。

格林定律 (Green's Theorem) 為用以處理特定體積之邊界問題。當此體積內的場源及圍繞此特定體積之表面的淨場通量均已知，則此特定體積內的場以及表面之通量之物理特性可以被決定。由第二格林定律可知：

$$\begin{aligned} & \int_V [\varphi(\bar{r}') \nabla'^2 \psi(\bar{r}') - \psi(\bar{r}') \nabla'^2 \varphi(\bar{r}')] dV' \\ &= \oint_S [\varphi(\bar{r}') \nabla' \psi(\bar{r}') - \psi(\bar{r}') \nabla' \varphi(\bar{r}')] \cdot \hat{n} da' \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $\varphi(\bar{r}')$  以及  $\psi(\bar{r}')$  可為兩個任意的向量場。 $\bar{r}'$ 、 $V'$ 、 $\hat{n}$  以及  $a'$  分別為場源之位置 (參考點)、欲處理的特定體積、圍繞此特定體積之表面之單位法向量以及圍繞此特定體積之表面。為處理熱分佈問題，上述之兩個向量場可分別定義為：

$$\varphi(\bar{r}') = 1/|\bar{r} - \bar{r}'| \quad (2)$$

$$\psi(\bar{r}') = T(\bar{r}') \quad (3)$$

其中  $T$  及  $\bar{r}'$  分別為溫度分佈以及參考點。請參照第 5 圖。第 5 圖為本揭示內容一實施例中，特定體積 5 之示意圖。需注意的是，於本實施例中，此特定體積 5 為球體，並於球體之中央包含有熱源。如第 5 圖所示，O 點為原點，標示為  $T(\bar{r}')$  之處為熱源 (參考點) 之位置，標示為  $T(\bar{r})$  之處則為觀察點之位置。因此，觀察點所觀察到的溫度，是受到熱源經由熱傳導 (conduction) 形式傳達至觀察點之熱的影響。

將式(2)及(3)代入式(1)，並利用下列等式：

$$\nabla'^2 \varphi(\bar{r}') = \nabla'^2 (1/|\bar{r} - \bar{r}'|) = -4\delta(\bar{r} - \bar{r}') \quad (4)$$

溫度之分佈函數可以推導為下式：

$$\begin{aligned} T(\bar{r}) = & -(1/4\pi) \int_v (\nabla'^2 T(\bar{r}')/|\bar{r} - \bar{r}'|) dV' \\ & + (1/4\pi) \int_s [(\nabla'^2 T(\bar{r}')/|\bar{r} - \bar{r}'|) dV' - T(\bar{r}') \nabla'(1/|\bar{r} - \bar{r}'|)] \cdot \hat{n} da' \quad (5) \end{aligned}$$

為簡化邊界條件，此表面，亦即圍繞特定體積  $V$  之表面  $S$  可設為一等溫表面。因此，式(5)中的第三項可成為一常數分佈，式(5)可變為一溫度差之函數：

$$\begin{aligned} T(\bar{r}) - T(\bar{r}') & \equiv \Delta T \\ & = -(1/4\pi) \int_v (\nabla'^2 T(\bar{r}')/|\bar{r} - \bar{r}'|) dV' \\ & \quad + (1/4\pi) \int_s [(\nabla' T(\bar{r}')/|\bar{r} - \bar{r}'|)] \cdot \hat{n} da' \quad (6) \end{aligned}$$

因此，藉由體積分及面積分的處理，此特定體積  $V$  內，參考點與觀察點間的溫度差可由上式推出。

式(6)中的熱源之體積分及面積分可以下列式子表示：

$$\nabla'^2 T(\bar{r}') = -q_v/k_v \quad (7)$$

$$\nabla' T(\bar{r}') = -(q_s/k_s)(\hat{r} - \hat{r}') \quad (8)$$

其中  $q_v$  及  $q_s$  分別為欲處理之特定體積  $V$  內的體積功率密度 ( $W/m^3$ ) 以及等溫表面之表面功率密度 ( $W/m^2$ )。  $k_v$  及  $k_s$  則為體積熱導係數以及表面熱導係數 (均為  $W/m \cdot K$ )。就物理意義上來說，於式(7)及式(8)中的功率密度為一特定觀察點上所觀察到的熱源的體積功率密度以及

表面功率密度。將式(7)及式(8)代入式(6)後，成為：

$$\Delta T = (1/4\pi) \int_v (qv/kv |\bar{r} - \bar{r}'|) dV' - (1/4\pi) \int_s [(qs/ks |\bar{r} - \bar{r}'|) \cdot \hat{n} da'] \quad (9)$$

如熱源之功率密度為常數且熱之傳導為等向 (isotropic)，式(9)可進一步簡化為：

$$\Delta T = (qv/3Kv) |\bar{r} - \bar{r}'|^2 - (qs/Ks) |\bar{r} - \bar{r}'| (\hat{r} - \hat{r}') \cdot \hat{n} \quad (10)$$

式(10)可再藉由假設  $3kv=ks=k$  而進一步簡化為一維的問題，而上述之觀察點與參考點間的距離向量差  $|\bar{r} - \bar{r}'|$  即為熱傳導路徑  $\Delta L$ 。因此式(10)可變為：

$$\Delta T = (qv/K) \Delta L^2 - (qs/K) \Delta L (\hat{r} - \hat{r}') \cdot \hat{n} \quad (11)$$

或是

$$k\Delta T/\Delta L = (qv/K) \Delta L - qs(\hat{r} - \hat{r}') \cdot \hat{n} \equiv q\Delta L - q_n \quad (12)$$

式(11)暗示了自等溫表面  $S_0$  散發出的功率密度減去特定體積  $V$  所產生的功率密度，將等於溫度梯度含數以及一維熱傳導係數的乘積。而在一個沒有熱源的特定體積中，式(12)將等同於熱傳導之傅立葉定律。

同時，如第 4 圖所繪示之等效電熱電路模型 4 中的各熱阻  $R$ ，可藉由上述之計算推導出：

$$R = [3q \int_v (dV'/|\bar{r} - \bar{r}'|) - q_n \int_s (da'/|\bar{r} - \bar{r}'|)] / [4\pi k q_n \int_s (\hat{r} - \hat{r}') \cdot \hat{n} da'] \quad (13)$$

請參照第 6 圖。第 6 圖為本揭示內容一實施例中，特

定體積  $\Omega$  之示意圖。需注意的是，於本實施例中，此特定體積  $\Omega$  為球體，球體內並無熱源。如第 6 圖所示，O 點為原點，標示為  $T(\bar{r}')$  之處為參考點之位置，標示為  $T_\infty$  之處則為觀察點之位置。因此，觀察點所觀察到的溫度，是受到參考點經由熱對流 (convection) 形式傳達至觀察點之熱的影響。

如式(6)中並未有造成熱傳導之熱源的存在，將變為：

$$\Delta T = (1/4\pi) \oint_s [(\nabla' T(\bar{r}') / |\bar{r} - \bar{r}'|) \cdot \hat{n}' da \quad (14)$$

熱對流機制對表面  $\Omega$  的影響可以延伸至其周圍的空間，其中等溫表面之溫度  $T_\infty$  相當於一個常數，且不會受到內部熱系統之影響。因此，觀察點之溫度分佈亦可由溫度差所表示出：

$$\Delta T = -(qs/Ks)\Delta L |\bar{r} - \bar{r}'| \cdot \hat{n}' = qn/h \quad (15)$$

或是

$$qn = h\Delta T = h[T(\bar{r}') - T_\infty] \quad (16)$$

其中  $h$  相當於  $k/\Delta L$ ，並被定義為熱對流常數 ( $W/m^2 \cdot K$ )。

而熱的第三個傳導機制，即熱幅射，由於僅在非常高溫的情形下才有較大的影響力，因此在此忽略不計。

請再次參考第 1 圖。因此，第 1 圖之步驟 103 中，定義電子系統 2 中之複數個觀察點，其中各觀察點位於相對參考點之外圍空間之等溫表面上，其中參考點為熱源或觀



察點其中之一。接著於步驟 104，根據參考點發散至各觀察點之熱功率密度函數、參考點至各觀察點之熱導係數及參考點至觀察點之距離向量，計算各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度差。其中熱傳導溫度差可藉由式(9)計算，而熱對流溫度差可藉由式(10)計算。其中，觀察點與參考點間即為熱傳遞路徑之一部份，其介質即為觀察點與參考點間的電子模組如第 2 圖中的光纖 24、介電層 26、散熱孔 26'以及連接墊 28 等等，且其熱導係數將與此電子模組的材質相關。

於步驟 105，根據第 3 圖中的共基恆溫散熱面 34 之定義溫度，亦即電子系統 2 之最低溫度，可由各觀察點與參考點間之熱傳導溫度差或熱對流溫度差建立電子系統 2 之溫度分佈。於一實施例中，共基恆溫散熱面 34 即為電子系統 2 中的散熱模組，可控制在此表面上的溫度為一個電子系統 2 之最低溫度的定值。由於熱源（於本實施例中為垂直共振腔面射型雷射 20）之溫度較難直接決定，因此可藉由共基恆溫散熱面 34 的溫度以及熱傳導溫度差或熱對流溫度差反推整個電子系統 2 的溫度。

於步驟 106，根據熱功率密度函數、熱導係數及距離向量，可進一步根據式(13)計算第 4 圖中，等效電熱電路模型 4 之熱阻。因此，如將電子系統 2 的空間切割為較大的數個單位體積，整體電子系統 2 的溫度分佈將可藉由上述步驟快速地計算出。如欲進行更精密的溫度分佈計算，可將電子系統 2 以更小的單位體積進行切割。愈小的單位體積意謂需要愈複雜的計算，第 4 圖之等效電熱電路模型

4 可能將不足以表達其精確度，因此可另設計其他演算法輔助計算，然而其核心仍為上述之電熱  $\pi$  網路模型的建立以及熱對流、熱傳導溫度差之計算，任何熟習此技藝者，在不脫離本揭示內容之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾。需注意的是，單位體積之形狀亦不限於上述實施例所揭露之球體，亦可以立方體、梯形體等形狀進行電子系統 2 空間的切割。

於一實施例中，四個垂直共振腔面射型雷射形成於 625 微米厚的矽基光學平台上，並運作於一般的空氣中而未有其他形式的熱對流。矽基光學平台底部為等溫表面，其溫度為攝氏溫度 75 度。其他表面均為絕熱面，因此均無熱流於其上。由於空氣之熱阻過大，且矽基光學平台之熱阻過小，因此在第 4 圖中的等效電熱電路模型 4 中可忽略不計。因此，關於其材質的運算均可忽略而降低整體運算的時間。

垂直共振腔面射型雷射的體積功率密度可藉由垂直共振腔面射型雷射每單位體積的輸入功率以及其運作效能之乘積而得，亦即：

$$qv = (I^2 R_h / V_h) \eta \quad (17)$$

其中  $I$ 、 $R_h$ 、 $V_h$  及  $\eta$  分別為熱源之輸入電流、電阻、體積以及電熱能轉換效能常數。請參照第 7 圖，第 7 圖為一實施例中，單一垂直共振腔面射型雷射啟動時，電子系統 2 之等溫表面之示意圖。如第 7 圖所示，當僅有一個垂直共振腔面射型雷射啟動時，等溫表面之結構顯示了電子系統中的最高溫之處為 A 點。其中，熱源區域是由「+」記

號繪示。於本實施例中，輸入電流約為 8 微安培，電熱能轉換效能常數為 85.7%。此最高溫處的溫度約為攝氏溫度 78.4 度。

在決定最高溫點後，溫度分佈即可由式(9)及(14)決定。而各元件之熱阻亦可由式(13)決定。請參照第 8A 圖。第 8A 圖為本揭示內容一實施例中，忽略空氣及矽基光學平台之熱阻的情形下，僅啟動單一垂直共振腔面射型雷射時的等效電熱電路模型 8。由於垂直共振腔面射型雷射的熱傳導性弱於散熱孔，且運作中的垂直共振腔面射型雷射與其鄰接的垂直共振腔面射型雷射間的厚度，相較於散熱孔有兩個數量級的差距，因此主要的熱傳導路徑即為散熱孔。

第 8B 圖為本揭示內容一實施例中的電子系統模擬結果示意圖。模擬結果顯示電子系統在單一垂直共振腔面射型雷射以 8 微安培輸入電流以及 2 伏特偏壓之情形下運作，於 P1 點、P2 點及 P3 點之溫度分別為攝氏溫度 78.9 度、76.8 度以及 75 度。最高溫的 P1 點接近如第 7 圖所示，由等效電熱電路模型所計算之結果。最高溫之點將位於 P1 點，而主要的熱流方向將由 P1 點傳至 P3 點。因此，根據電熱  $\pi$  網路模型建立的等效電熱電路模型，可提供快速而正確的熱分析及模型之建立。

雖然本揭示內容已以實施方式揭露如上，然其並非用以限定本揭示內容，任何熟習此技藝者，在不脫離本揭示內容之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾，因此本揭示內容之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為

準。

### 【圖式簡單說明】

為讓本揭示內容之上述和其他目的、特徵、優點與實施例能更明顯易懂，所附圖式之說明如下：

第 1 圖為本揭示內容一實施例中，熱分析模型建立方法之流程圖；

第 2A 圖為本揭示內容一實施例之電子系統之立體圖；

第 2B 圖為第 2A 圖的電子系統中，虛框部份沿 D 方向之側視圖；

第 3 圖為本揭示內容一實施例中，根據第 2A 圖之電子系統所包含之電子模組建立之電熱  $\pi$  網路模型；

第 4 圖為本揭示內容一實施例中，根據第 2 圖之電子系統中的各電子模組以及第 3 圖之電熱  $\pi$  網路模型建立之等效電熱電路模型；

第 5 圖為本揭示內容一實施例中，特定體積之示意圖；

第 6 圖為本揭示內容一實施例中，特定體積之示意圖；

第 7 圖為一實施例中，單一垂直共振腔面射型雷射啟動時，電子系統之等溫表面之示意圖；

第 8A 圖為本揭示內容一實施例中，忽略空氣及矽基光學平台之熱阻的情形下，僅啟動單一垂直共振腔面射型雷射時的等效電熱電路模型；以及

第 8B 圖為本揭示內容一實施例中的模擬結果示意圖。

## 【主要元件符號說明】

101-106：步驟	2：電子系統
20：垂直共振腔面射型雷射	22：矽基光學平台
24：光纖	26：介電層
26'：散熱孔	28：連接墊
3：電熱 $\pi$ 網路模型	30：熱源
32：熱傳遞路徑	34：共基恆溫散熱面
4、8：等效電熱電路模型	5、6：特定體積
50、60：表面	

## 七、申請專利範圍：

1. 一種熱分析模型建立方法，包含下列步驟：

根據一電子系統所包含之複數電子模組建立一電熱 (electrothermal)  $\pi$  網路模型，以定義該電子系統之一熱源、一熱傳遞路徑以及一共基恆溫散熱面；

定義該電子系統中之複數個觀察點，其中各該等觀察點位於相對一參考點之一外圍空間之一等溫表面上，其中該參考點為該熱源或該等觀察點其中之一；

根據該參考點發散至各該等觀察點之一熱功率密度函數、該參考點至各該等觀察點之一熱導係數及該參考點至該觀察點之一距離向量，計算各該等觀察點與該參考點間之一熱傳導溫度差或一熱對流溫度差；以及

根據該共基恆溫散熱面之一定義溫度，由各該等觀察點與該參考點間之該熱傳導溫度差或該熱對流溫度差建立該電子系統之一溫度分佈，

其中當該參考點為該熱源，係藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量計算該熱傳導溫度差，

其中計算該熱傳導溫度差更包含藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量對該觀察點所位於該參考點對應之該外圍空間進行一體積分以及位於該參考點對應之該等溫表面進行一面積分計算，

其中該熱功率密度函數包含一體積熱功率密度函數  $q_v$  以及一表面熱功率密度函數  $q_s$ ，該熱導係數包含一體積熱導係數  $k_v$  以及一表面熱導係數  $k_s$ ，該觀察點之位置為  $r$ ，該熱源之位置為  $r'$ ，該外圍空間之該等溫表面之一單位法

向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_v (qv/kv|\bar{r} - \bar{r}'|)dv' - (1/4\pi) * \int_s (qs|\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n}/ks|\bar{r} - \bar{r}'|)da'。$$

2. 如請求項 1 所述之熱分析模型建立方法，其中當該參考點為該等觀察點其中之一，係藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量計算該熱對流溫度差。

3. 如請求項 2 所述之熱分析模型建立方法，其中計算該熱對流溫度差更包含藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量對該觀察點所位於對應該參考點之該等溫表面進行一面積分計算。

4. 如請求項 3 所述之熱分析模型建立方法，其中該熱功率密度函數包含一表面熱功率密度函數  $qs$ ，該熱導係數包含一表面熱導係數  $ks$ ，該觀察點之位置為  $r$ ，該熱源之位置為  $r'$ ，該外圍空間之該等溫表面之一單位法向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_s (qs|\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n}/ks|\bar{r} - \bar{r}'|)da'。$$

5. 如請求項 1 所述之熱分析模型建立方法，其中該參考點至各該等觀察點係為該熱傳遞路徑之一部份，且包含該等電子模組至少其中之一，該熱導係數係與該等電子模組至少其中之一之材質相關。

6. 如請求項 1 所述之熱分析模型建立方法，更包含下列步驟：

根據該等電子模組以及該電熱  $\pi$  網路模型建立一等效電熱電路模型，該等效電熱電路模型包含複數熱阻；以及

根據該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量，計算該等效電熱電路模型之該等熱阻。

7. 如請求項 1 所述之熱分析模型建立方法，其中該熱源為該電子系統之最高溫處，該共基恆溫散熱面為該電子系統之最低溫處。

8. 一種非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，用以儲存一應用程式，該應用程式使一電腦裝置執行一種熱分析模型建立方法，包含下列步驟：

根據一電子系統所包含之複數電子模組建立一電熱 (electrothermal)  $\pi$  網路模型，以定義該電子系統之一熱源、一熱傳遞路徑以及一共基恆溫散熱面；

定義該電子系統中之複數個觀察點，其中各該等觀察點位於相對一參考點之一外圍空間之一等溫表面上，其中該參考點為該熱源或該等觀察點其中之一；

根據該參考點發散至各該等觀察點一熱功率密度函數、該參考點至各該等觀察點之一熱導係數及該參考點至該觀察點之一距離向量，計算各該等觀察點與該參考點間之一熱傳導溫度差或一熱對流溫度差；以及



根據該共基恆溫散熱面之一定義溫度，由各該等觀察點與該參考點間之該熱傳導溫度差或該熱對流溫度差建立該電子系統之一溫度分佈，

其中當該參考點為該熱源，係藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量計算該熱傳導溫度差，

其中計算該熱傳導溫度差更包含藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量對該觀察點所位於該參考點對應之該外圍空間進行一體積分以及位於該參考點對應之該等溫表面進行一面積分計算，

其中該熱功率密度函數包含一體積熱功率密度函數  $q_v$  以及一表面熱功率密度函數  $q_s$ ，該熱導係數包含一體積熱導係數  $k_v$  以及一表面熱導係數  $k_s$ ，該觀察點之位置為  $r$ ，該熱源之位置為  $r'$ ，該外圍空間之該等溫表面之一單位法向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_v (q_v/k_v |\vec{r} - \vec{r}'|) dv' - (1/4\pi) * \int_s (q_s |\hat{r} - \hat{r}' \cdot \hat{n} / k_s |\vec{r} - \vec{r}'|) da'。$$

9. 如請求項 8 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，其中當該參考點為該等觀察點其中之一，係藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量計算該熱對流溫度差。

10. 如請求項 9 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，其中計算該熱對流溫度差更包含藉由該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量對該觀察點所位於對應該參

考點之該等溫表面進行一面積分計算。

11. 如請求項 10 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，其中該熱功率密度函數包含一表面熱功率密度函數  $q_s$ ，該熱導係數包含一表面熱導係數  $k_s$ ，該觀察點之位置為  $r$ ，該熱源之位置為  $r'$ ，該外圍空間之該等溫表面之一單位法向量為  $\hat{n}$ ，該表面為  $a$ ，該熱傳導溫度差係表示為：

$$\Delta T = (1/4\pi) * \int_s (q_s |\hat{r} - \hat{r}'| \cdot \hat{n} / k_s |\bar{r} - \bar{r}'|) da'$$

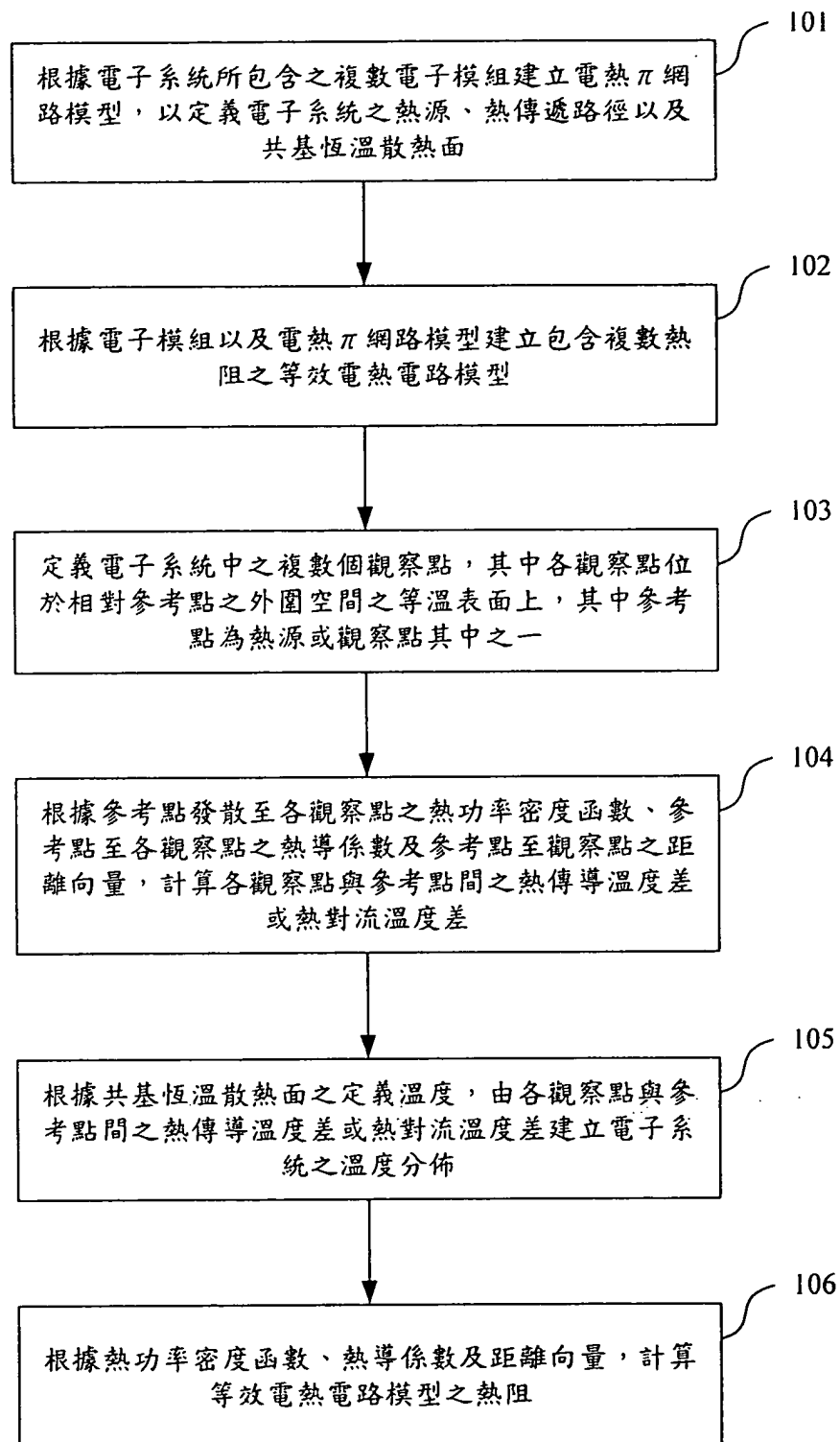
12. 如請求項 8 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，其中該參考點至各該等觀察點係為該熱傳遞路徑之一部份，且包含該等電子模組至少其中之一，該熱導係數係與該等電子模組至少其中之一之材質相關。

13. 如請求項 8 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，該熱分析模型建立方法更包含下列步驟：

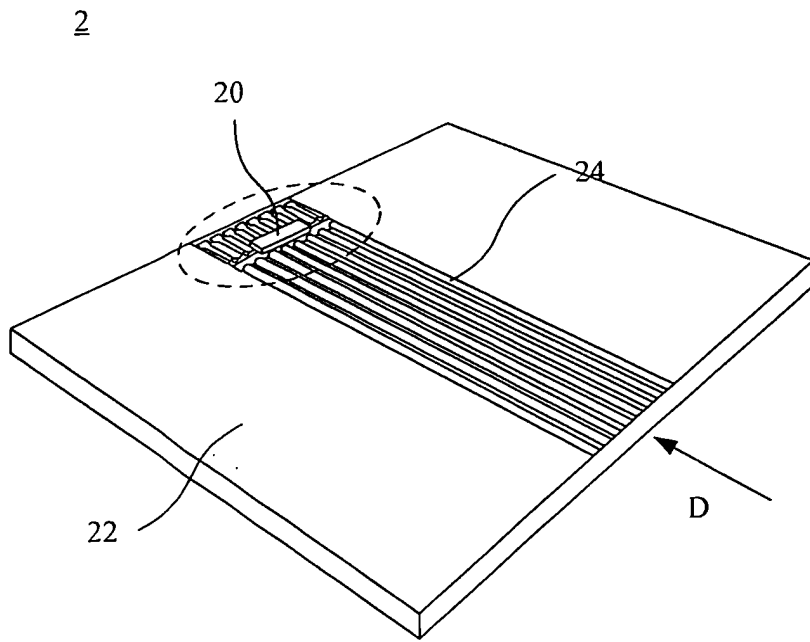
根據該等電子模組以及該電熱  $\pi$  網路模型建立一等效電熱電路模型，該等效電熱電路模型包含複數熱阻；以及

根據該熱功率密度函數、該熱導係數及該距離向量，計算該等效電熱電路模型之該等熱阻。

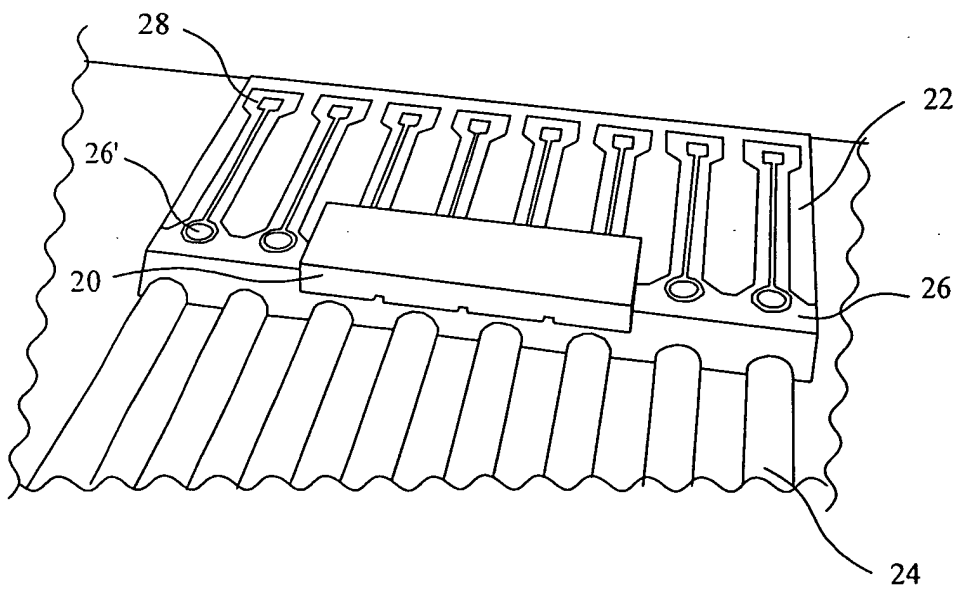
14. 如請求項 8 所述之非暫時性電腦可讀取紀錄媒體，其中該熱源為該電子系統之最高溫處，該共基恆溫散熱面為該電子系統之最低溫處。



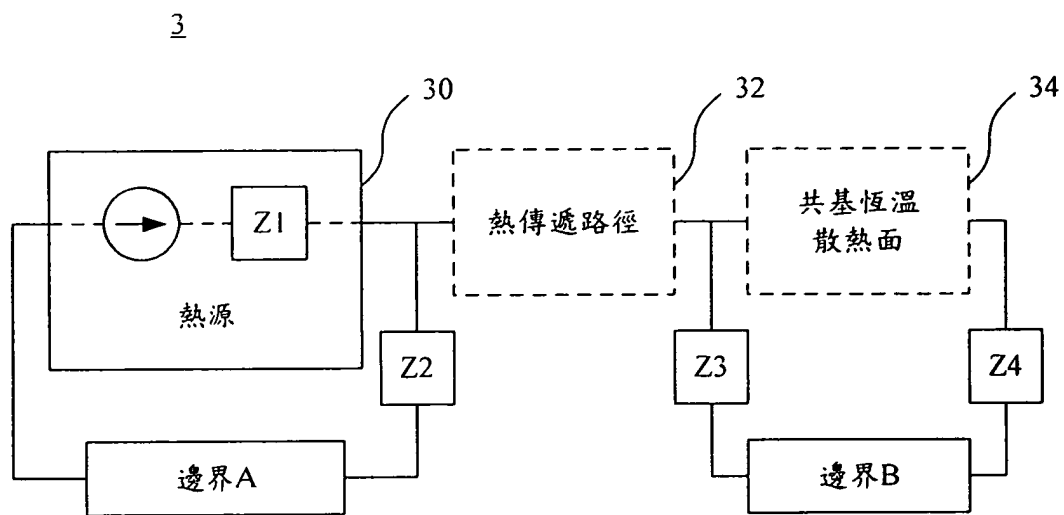
第1圖



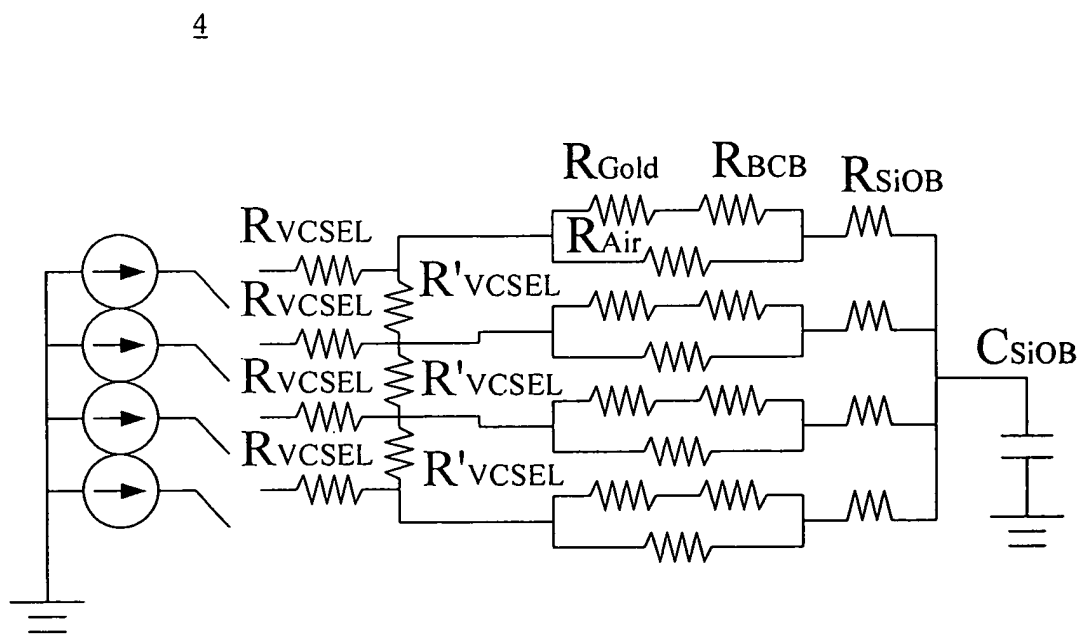
第2A圖



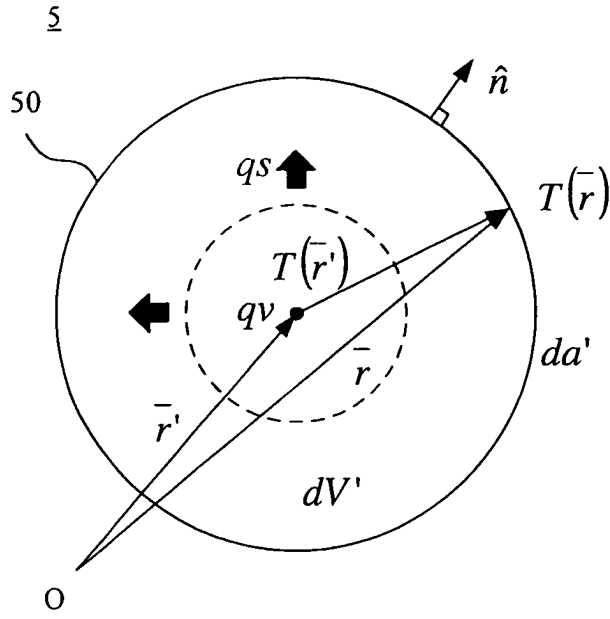
第2B圖



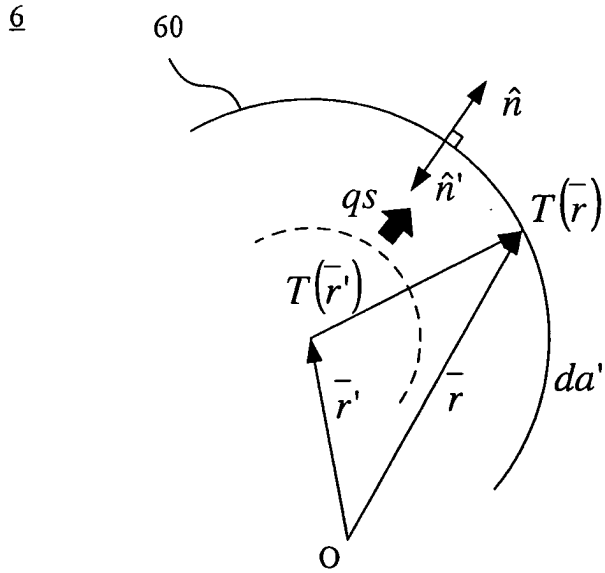
第3圖



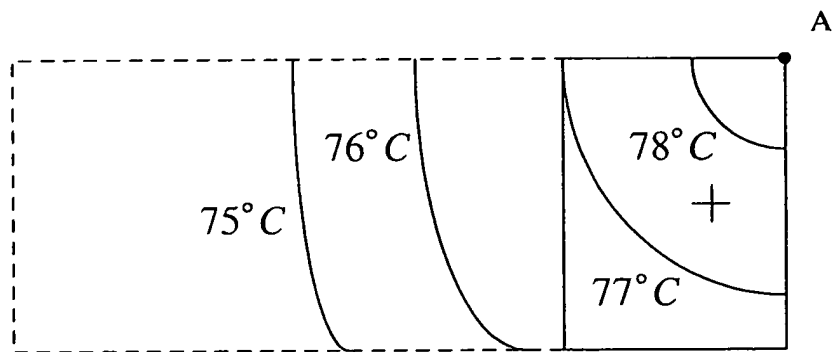
第4圖



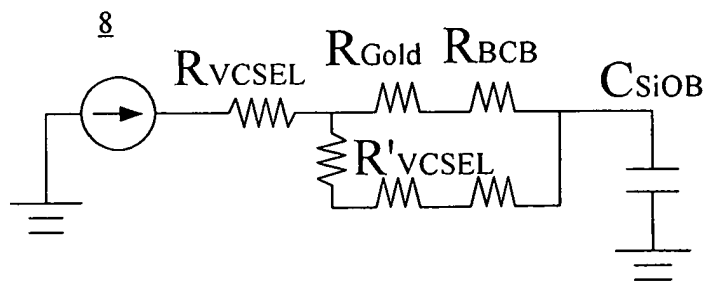
第5圖



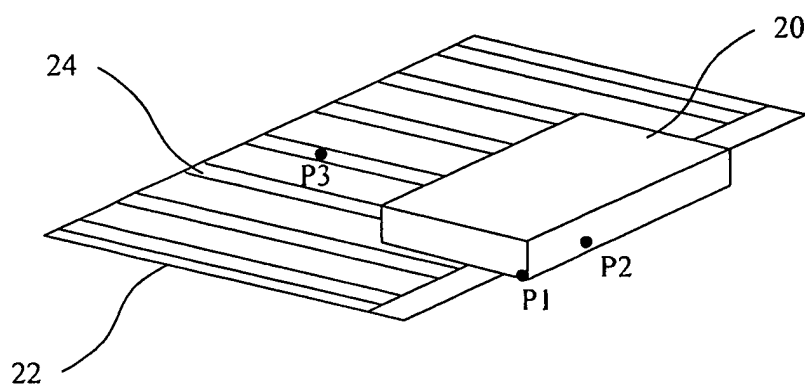
第6圖



第7圖



第8A圖



第8B圖