



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I588479 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：101140594

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 11 月 01 日

(51)Int. Cl. : G01N25/72 (2006.01)

(30)優先權：2011/11/07 日本

2011-243891

(71)申請人：濱松赫德尼古斯股份有限公司 (日本) HAMAMATSU PHOTONICS K.K. (JP)
日本

(72)發明人：中村共則 NAKAMURA, TOMONORI (JP)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 200801487A

CN 102159940A

JP 6-207914A

US 2006/0109630A1

審查人員：楊謹瑋

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：14 共 45 頁

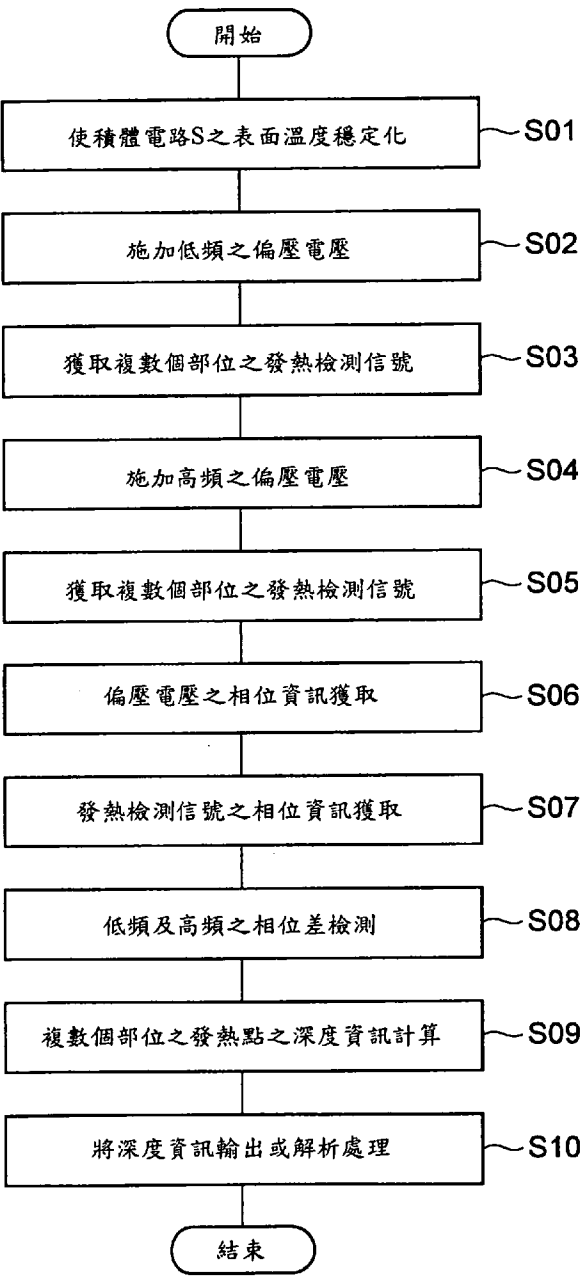
(54)名稱

發熱點檢測方法及發熱點檢測裝置

(57)摘要

本發明之發熱點檢測方法包含以下步驟：步驟 S01，使積體電路 S 表面之平均溫度穩定化；步驟 S02、S03，對積體電路 S 施加低頻之偏壓電壓，因應於此而獲取自積體電路 S 檢測之發熱檢測信號；步驟 S04、S05，對積體電路 S 供給高頻之偏壓電壓，因應於此而獲取自積體電路 S 檢測之發熱檢測信號；步驟 S06~S08，檢測低頻之偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位差、及高頻之偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位差；及步驟 S09，基於該等之相位差，計算相位差相對於偏壓電壓之頻率之平方根之變化率，並由變化率獲得發熱點之深度資訊。

指定代表圖：



符號簡單說明：

- S01 . . . 使積體電路S之表面溫度穩定化
- S02 . . . 施加低頻之偏壓電壓
- S03 . . . 獲取複數個部位之發熱檢測信號
- S04 . . . 施加高頻之偏壓電壓
- S05 . . . 獲取複數個部位之發熱檢測信號
- S06 . . . 偏壓電壓之相位資訊獲取
- S07 . . . 發熱檢測信號之相位資訊獲取
- S08 . . . 低頻及高頻之相位差檢測
- S09 . . . 複數個部位之發熱點之深度資訊計算
- S10 . . . 將深度資訊輸出或解析處理

圖 4

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：101140594

※ 申請日：101.11.01

※IPC 分類：G01N 25/72 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

發熱點檢測方法及發熱點檢測裝置

二、中文發明摘要：

本發明之發熱點檢測方法包含以下步驟：步驟S01，使積體電路S表面之平均溫度穩定化；步驟S02、S03，對積體電路S施加低頻之偏壓電壓，因應於此而獲取自積體電路S檢測之發熱檢測信號；步驟S04、S05，對積體電路S供給高頻之偏壓電壓，因應於此而獲取自積體電路S檢測之發熱檢測信號；步驟S06~S08，檢測低頻之偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位差、及高頻之偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位差；及步驟S09，基於該等之相位差，計算相位差相對於偏壓電壓之頻率之平方根之變化率，並由變化率獲得發熱點之深度資訊。

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(4)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|-----|------------------|
| S01 | 使積體電路S之表面溫度穩定化 |
| S02 | 施加低頻之偏壓電壓 |
| S03 | 獲取複數個部位之發熱檢測信號 |
| S04 | 施加高頻之偏壓電壓 |
| S05 | 獲取複數個部位之發熱檢測信號 |
| S06 | 偏壓電壓之相位資訊獲取 |
| S07 | 發熱檢測信號之相位資訊獲取 |
| S08 | 低頻及高頻之相位差檢測 |
| S09 | 複數個部位之發熱點之深度資訊計算 |
| S10 | 將深度資訊輸出或解析處理 |

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】

本發明係關於用於檢測積體電路之發熱點之深度之發熱點檢測方法及發熱點檢測裝置。

【先前技術】

先前，作為LSI封裝等之積體電路之不良解析方法，已知有對積體電路施加週期性脈衝電壓，檢測熱響應之方法。例如，下述非專利文獻1中記載有檢測電性激勵與局部熱響應之間之相位差 $\Delta\Phi$ ，從而由該相位差 $\Delta\Phi$ 決定缺陷之深度。

先行技術文獻

非專利文獻

非專利文獻1：C. Schmidt et al., 「Lock-in-Thermography for 3-dimensional localization of electrical defects inside complex packaged devices」, ISTFA2008: Proceedings from the 34th International Symposium for Testing and Failure Analysis, 美國2008年11月、p.102-107

【發明內容】

發明所欲解決之問題

然而，上述先前之解析方法中，由於根據激勵信號之大小或缺陷點之狀態而發熱量不同，或根據缺陷點之位置而缺陷點與積體電路表面之間之熱容量不同，故相位差 $\Delta\Phi$ 除缺陷點之深度以外，亦依存於發熱量、積體電路之構造或缺陷點之位置。該相位差之偏移量之位置依存性係藉由

根據表面之溫度或在表面之對流狀態，決定自作為樣品之積體電路表面對空氣之傳熱率而產生。

又，作為相位差之偏移量之誤差之因素有樣品之溫度上升。即獲取熱響應時，樣品之溫度持續上升，伴隨著溫度上升之傾斜亦作為其他波檢測，結果趨向於無法檢測到正確之相位差。

因此，本發明係鑑於上述問題而完成者，其目的在於提供一種無需依存於其位置即可高精度且穩定地檢測積體電路中之發熱點之深度之發熱點檢測方法及發熱點檢測裝置。

解決問題之技術手段

為解決上述問題，本發明之一態樣之發熱點檢測方法係檢測積體電路之發熱點之深度者，且具備以下步驟：第1步驟，使積體電路表面之平均溫度穩定化；第2步驟，對積體電路供給以第1頻率增減之週期性電氣信號，因應於此而獲取自積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第1檢測信號；第3步驟，對積體電路供給以與第1頻率不同之第2頻率增減之週期性電氣信號，因應於此而獲取自積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第2檢測信號；及第4步驟，基於第1及第2檢測信號獲得發熱點之深度資訊。

或者，本發明之另一態樣之發熱點檢測裝置，其係檢測積體電路之發熱點之深度者，且具備：電氣信號供給部，其對積體電路供給電氣信號；控制部，其以對積體電路供給以第1頻率增減之週期性電氣信號、及以與第1頻率不同

之第2頻率增減之週期性電氣信號的方式，控制電氣信號供給部；檢測部，其因應於第1頻率之週期性電氣信號之供給，獲取自積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第1檢測信號，且因應於第2頻率之週期性電氣信號之供給，獲取自積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第2檢測信號；運算部，其基於第1及第2檢測信號獲得發熱點之深度資訊；及溫度穩定化部，其使積體電路表面之平均溫度穩定化。

根據此種發熱點檢測方法、或發熱點檢測裝置，在使積體電路表面之平均溫度穩定化之狀態下，自積體電路檢測與第1頻率之週期性電氣信號之供給對應之顯示發熱量之變化之第1檢測信號，並檢測與第2頻率之週期性電氣信號之供給對應之顯示發熱量之變化之第2檢測信號。且，基於第1及第2檢測信號獲得發熱點之深度資訊。藉此，由於係基於在將積體電路表面之平均溫度穩定於一定(大致一定)後檢測到之對於2個頻率之電氣信號之熱響應，計算深度資訊，故可不依存於發熱點之位置，而穩定獲得高精度之深度資訊。

發明之效果

根據本發明，可不依存於其位置地高精度地穩定檢測積體電路中之發熱點之深度。

【實施方式】

以下，一面參照圖式一面詳細地說明本發明之發熱點檢測裝置及利用其之發熱點檢測方法之較佳實施形態。再

者，圖式之說明中對相同或相當之部分附註相同之符號，省略重複之說明。

圖1係顯示本發明之較佳之一實施形態之發熱點檢測裝置，即積體電路故障解析裝置之概略構成之方塊圖。如圖所示之積體電路故障解析裝置1係檢測LSI或IC等積體電路S之發熱點之位置，進行故障解析之故障解析裝置。該積體電路故障解析裝置1係具備試料載台10、驅動試料載台10之載台驅動部12、電壓施加部(電氣信號供給部)14、攝像裝置18、控制部20、圖像處理部30、及溫度穩定化部40而構成。

作為解析對象之積體電路S載置於使用在X軸向、Y軸向(水平方向)、及Z軸向(垂直方向)分別可驅動之XYZ載台之試料載台10上。該試料載台10藉由載台驅動部12可驅動於X、Y、Z方向地構成，藉此，對積體電路S進行攝像之聚焦、攝像位置之對位等。於試料載台10之上方設置有獲取積體電路S之二維圖像之攝像機構即攝像裝置18。作為攝像裝置18，為獲取積體電路S表面之發熱圖像產生之圖像，適宜使用特定之波長區域具有感度之攝像裝置，例如紅外光之波長區域具有感度之紅外攝像裝置。再者，所謂積體電路S表面是指藉由攝像裝置18獲取圖像之觀察面。

於試料載台10與攝像裝置18之間之光軸上，設置有將積體電路S表面之圖像引導至攝像裝置18之物鏡等之導光光學系統16。另，亦可於導光光學系統16設置XYZ載台等之驅動機構，藉由該驅動機構對積體電路S進行攝像之聚

焦、攝像位置之對位等。

又，設置有對試料載台10上之積體電路S供給電壓信號之電壓施加部14。電壓施加部14係在利用發熱點檢測進行故障解析時，對積體電路S內之電子電路施加所需之偏壓電壓之電壓施加機構，且包含電壓施加用之電壓而構成。詳細而言，電壓施加部14係施加週期性增減之方波即電壓信號(週期性電氣信號)，作為偏壓電壓。藉此，對積體電路S週期性施加高電壓與低電壓。又，電壓施加部14之構成為藉由控制部20之控制可變更施加之偏壓電壓之頻率(重複週期)。又，電壓施加部14之構成為藉由控制部20之控制可變更施加之偏壓電壓之高電壓值與低電壓值。

攝像裝置18按時間序列獲取複數個藉由電壓施加部14對積體電路S施加了偏壓電壓之狀態下之解析圖像。如此獲取之解析圖像為包含積體電路S表面之發熱圖像之圖像。再者，攝像裝置18之攝像頻率(幀率)亦可基於藉由電壓施加部14施加給積體電路S之偏壓電壓之頻率而設定。例如，攝像裝置18之攝像頻率可與對積體電路S施加之偏壓電壓之頻率同週期，亦可以與偏壓電壓之頻率成比例的方式設定。藉此，即便偏壓電壓之頻率不同，仍可獲取相對相同發熱狀態之發熱圖像。

進而，於積體電路故障解析裝置1設置有對該等之試料載台10、載台驅動部12、電壓施加部14、導光光學系統16、及攝像裝置18，控制其等之動作之控制部20。該控制部20係具有攝像控制部21、載台控制部22、及同步控制部

23而構成。

攝像控制部21係藉由控制電壓施加部14之偏壓電壓之施加動作，及攝像裝置18之圖像獲取動作，而控制積體電路S之解析圖像之獲取。又，載台控制部22係控制試料載台10及載台驅動部12之動作(試料載台10上之積體電路S之移動動作)。又，同步控制部23係進行用於獲得攝像控制部21及載台控制部22，與相對於攝像裝置18設置之圖像處理部30之間所需之同步的控制。即，同步控制部23係對載台控制部22以使其移動至用於進行積體電路S之故障解析之特定位置的方式進行控制後，以隔以特定間隔依序變更偏壓電壓之頻率的方式控制攝像控制部21。又，同步控制部23係控制週期性施加之偏壓電壓之高電壓值與低電壓值。又，同步控制部23係以配合偏壓電壓之頻率之變更時序，區分獲取積體電路S之解析圖像的方式，控制攝像控制部21。

圖像處理部30係對藉由攝像裝置18獲取之圖像，進行積體電路S之故障解析所需之圖像處理之圖像處理機構。本實施形態中之圖像處理部30係具有圖像記憶部31、發熱信號獲取部(檢測部)32、電壓相位獲取部33、相位延遲獲取部(檢測部、相位差檢測部)34、深度資訊運算部35而構成。由攝像裝置18獲取之積體電路S之圖像被輸入至圖像處理部30，因應所需記憶、存儲於圖像記憶部31。

發熱信號獲取部32係基於以時間序列獲得之複數個解析圖像，獲取在積體電路S表面之複數個點上檢測之顯示發

熱量的時間變化之發熱檢測信號。

電壓相位獲取部33自同步控制部23接收由電壓施加部14施加之偏壓電壓之波形，獲取偏壓電壓之相位資訊。再者，偏壓電壓之相位資訊亦可由電壓施加部14或控制部20獲取，而供給至電壓相位獲取部33。

相位延遲獲取部34係基於由發熱信號獲取部32獲取之顯示發熱量之時間變化之發熱檢測信號，及由電壓相位獲取部33獲取之相位資訊，獲取以由電壓施加部14施加之偏壓電壓之相位資訊為基準的發熱檢測信號之相位資訊。該發熱檢測信號之相位資訊相當於偏壓電壓與施加該偏壓電壓時所檢測到之發熱檢測信號之相位差，具體而言，相位延遲獲取部34係計算由發熱信號獲取部32獲取之發熱檢測信號之相位、與由電壓相位獲取部33獲取之相位資訊之差。此處，相位延遲獲取部34係對變更為複數個頻率之偏壓電壓，檢測各自之偏壓電壓與發熱檢測信號之相位差。再者，相位延遲獲取部34亦可以發熱檢測信號之波形與偏壓電壓之波形為對象，藉由鎖定處理而直接獲得相位差。該情形，可藉由對鎖定檢測器分別輸入發熱檢測信號與偏壓電壓信號，而獲得與相位差相關之輸出信號。

深度資訊運算部35係基於由相位延遲獲取部34檢測到之與複數個頻率之偏壓電壓對應之複數個相位差，運算積體電路S之發熱點之深度資訊。即，深度資訊運算部35係計算由偏壓電壓之頻率計算之變量即相位差相對於頻率之平方根之變化率，將該變化率或變化率乘以特定常數之值作

為深度資訊計算。該特定常數係作為依存於積體電路S之材料之物性之傳熱相關的係數預先設定之。如此計算出之深度資訊表示遍及積體電路S之複數個點檢測之發熱點之深度，用於積體電路S之故障解析。

此種圖像處理部30係使用例如電腦構成。又，相對於該圖像處理部30連接有輸入裝置36及顯示裝置37。輸入裝置36係包含例如鍵盤或滑鼠等，用於積體電路故障解析裝置1之圖像獲取動作、故障解析動作之執行所需之資訊或動作指示之輸入等。又，顯示裝置37係包含例如CRT(Cathode ray tube陰極射線管)顯示器或液晶顯示器等，用於積體電路故障解析裝置1之圖像及故障解析相關之深度資訊等各種資訊之顯示等。

溫度穩定化部40具有使積體電路S表面之平均溫度穩定化之功能。圖2係顯示溫度穩定化部之構成之一例之側視圖。如圖所示，作為介質供給部之溫度穩定化部40之構成為包含：空氣槽41，收納空氣等之氣體(介質)；調節器(壓力調整閥)42，調整自空氣槽41釋放之氣體之壓力；空氣管43，以使自空氣槽41經由調節器42釋放出之氣體G沿著積體電路S表面流動的方式引導；及溫度控制部44，檢測積體電路S表面之溫度，以使其溫度為一定的方式控制調節器42。該空氣管43其釋放口配置於積體電路S表面之端部，係以沿著其表面朝向中央部的方式配置，且以使相對於試料載台10上之積體電路S之相對位置不改變的方式，相對於試料載台10固定。又，溫度控制部44包含配置於積

體電路S附近之熱敏電阻等溫度檢測元件(未圖示)，且以由溫度檢測元件檢測到之溫度值為一定的方式控制調節器42，藉此使自空氣管43供給之氣體G之壓力增減。

圖3係顯示溫度穩定化部40對積體電路S釋放氣體之狀態之俯視圖。如圖所示，溫度穩定化部40之空氣管43具有可以較積體電路S表面上之一端部 S_1 之寬度大之範圍，向另一端部 S_2 釋放氣體G之大小及形狀。藉此，溫度穩定化部40可以穩定之壓力產生在覆蓋積體電路S之故障部位F之表面整體中氣體G之沿著一方向之流動。其結果，溫度穩定化部40可使積體電路S表面整體之溫度在期望之溫度下穩定化。

再者，該圖像處理部30亦可採用與控制部20一起藉由單一之控制裝置(例如，單一之電腦)而實現之構成。又，連接於圖像處理部30之輸入裝置36及顯示裝置37亦同樣地，不僅作為圖像處理部30，亦可作為連接於控制部20之輸入裝置及顯示裝置發揮功能。

其次，說明積體電路故障解析裝置1對積體電路S相關之故障解析動作之順序，且就本實施形態之發熱點檢測方法進行詳細敘述。圖4係顯示積體電路故障解析裝置1對積體電路S相關之故障解析動作之順序之流程圖。圖5~圖9係顯示藉由積體電路故障解析裝置1進行故障解析動作時所處理之信號波形之時間變化之圖。

首先，使溫度穩定化部40動作，藉此使載置於試料載台10上之積體電路S表面之平均溫度穩定化(步驟S01)。藉由

溫度穩定化部40檢測出藉由該溫度穩定化處理使積體電路S表面之平均溫度穩定化後，藉由同步控制部23，以自電壓施加部14對積體電路S施加以低頻(例如1 Hz)增減之偏壓電壓的方式予以控制(步驟S02)。藉此，對積體電路S週期性施加高電壓與低電壓。相對於此，藉由攝像控制部21以區分獲取與低頻之偏壓電壓之施加時序對應之圖像的方式，控制攝像裝置18。例如，攝像控制部21以與施加給積體電路S之低頻相同之頻率，或與低頻成比例之攝像頻率(幀率)進行攝像的方式，控制攝像裝置18。如此獲取之積體電路S之圖像暫時記憶於圖像記憶部31後，藉由發熱信號獲取部32進行處理，藉此而獲取顯示複數個點中之發熱量之時間變化之發熱檢測信號(步驟S03)。

接著，藉由同步控制部23，以自電壓施加部14對積體電路S施加以高頻(例如2 Hz)增減之偏壓電壓的方式予以控制(步驟S04)。藉此，對積體電路S週期性施加高電壓與低電壓。相對於此，藉由攝像控制部21，以區分獲取與高頻之偏壓電壓之施加時序對應之圖像的方式，控制攝像裝置18。例如，攝像控制部21以與施加給積體電路S之高頻相同之頻率，或與高頻成比例之攝像頻率(幀率)進行攝像的方式，控制攝像裝置18。如此獲取之積體電路S之圖像暫時記憶於圖像記憶部31後，藉由發熱信號獲取部32進行處理，藉此而獲取複數個點之發熱檢測信號(步驟S05)。再者，步驟S02、S04中施加之偏壓電壓之頻率雖可適當予以變更，但由於若頻率過高，則會導致產生傳熱性或發熱量

之位置依存性，故宜設定為10 Hz以下。又，變更之偏壓電壓之頻率並不限定於2種，亦可變更為3種以上，因應於此而獲取發熱檢測信號。

圖5顯示有步驟S02、S04中所施加之偏壓電壓之時間變化。如圖所示，以於低頻率期間P1連續接著高頻率期間P2的方式由同步控制部23控制，在該期間P1與期間P2之各者中獲取發熱檢測信號之期間係以各期間P1、P2之偏壓電壓之開始施加至經過某程度之時間的方式設定，以使該等期間之間積體電路S之溫度為一定、發熱量不改變。再者，亦可於期間P1與期間P2之間設置不施加電壓之期間。又，方波即偏壓電壓之最大電壓 V_1 及最小電壓 V_2 於複數個頻率間設定為相同之值，以使積體電路S之發熱時之條件同等，偏壓電壓之占空比亦於複數個頻率間設定為相同之值(例如，50 %、75 %、...)，以使積體電路S中之發熱量同等。其係為了使積體電路S之發熱量一定，樣品之平均溫度一定。該情形，亦可使該期間P1與期間P2之各者中獲取發熱檢測信號之期間連續。

返回至圖4，其後，以步驟S02、S04中施加給積體電路S之低頻及高頻之偏壓電壓之波形為對象，藉由電壓相位獲取部33獲取其等之相位資訊(步驟S06)。

接著，以步驟S03、S05中獲取之與低頻及高頻之偏壓電壓之施加對應之發熱檢測信號作為處理對象，藉由相位延遲獲取部34，獲取以步驟S06中獲取之偏壓電壓之相位資訊為基準之其等相位資訊，並檢測各個發熱檢測信號之相

S

位差(步驟S07、S08)。具體而言，係藉由相位延遲獲取部34，基於步驟S03、S05中獲取之與低頻及高頻偏壓電壓之施加對應之發熱檢測信號，及步驟S02、S04中施加給積體電路S之低頻及高頻偏壓電壓之波形之相位資訊，與低頻及高頻偏壓電壓之各者相關，檢測與發熱檢測信號之相位差。接著，藉由深度資訊運算部35，基於對應於2個頻率之相位差，計算相位差相對於頻率之平方根之變化率，並對該變化率乘以特定常數，從而計算深度資訊(步驟S09)。再者，該深度資訊係遍及積體電路S表面之複數個點而計算。最後，所計算出之深度資訊作為故障解析資訊進行處理，顯示於顯示裝置37(步驟S10)。

此處，就積體電路故障解析裝置1對發熱點之深度資訊之檢測機制進行說明。

圖6中，(a)係顯示以某頻率施加之偏壓電壓之時間變化，(b)係顯示因應於此，於包含低熱容量/低傳熱率之材料之積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化，(c)係顯示因應於此，於包含高熱容量/高傳熱率之材料之積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化。藉由積體電路故障解析裝置1之相位延遲獲取部34計算之相位差為D1，該相位差D1包含由積體電路S內之發熱點之深度決定之相位之位移量D2，與發熱之延遲與熱容量、傳熱速度之不同引起之相位之位移量D3。相位差D1中位移量D3會受到積體電路S之傳熱路徑之材料大幅影響。又，由於積體電路S對空氣之傳熱率係由表面之溫度或基於其之對流而

決定，故位移量D3亦會受到積體電路S表面之溫度大幅影響。

該相位差D1之材料產生之差別可如以下方式說明。自積體電路S內部一維傳遞之熱量Q藉由下述公式(1)

[公式1]

$$Q = 1 + \exp\{-ax + i(\omega t - bx)\} \quad \dots (1)$$

表示。此處，x係表示自發熱源至觀測點(表面)之距離(=發熱點之深度)，Q係表示通向觀測點之熱量，w係表示角頻率($1/2\pi\text{Hz}$)，b係表示每單位長度之相位延遲，a係表示每單位長度之衰減率。若將比熱設為q，密度設為 ρ ，則相對於該熱量Q之溫度T作為變化量由下述公式(2)

[公式2]

$$dT = \frac{dQ}{\rho q} \quad \dots (2)$$

表示。

進而，根據熱之擴散之方程式，若將傳熱係數設為k，則導出下述公式(3)；

[公式3]

$$\frac{dQ}{dt} = i\omega(Q-1) = \kappa \frac{d^2T}{dx^2} \quad \dots (3)$$

此處，根據公式(1)，作為x之二次微分之公式，導出下述公式(4)。

[公式4]

$$\frac{d^2Q}{dx^2} = (a+ib)^2(Q-1) \quad \dots (4)$$

根據公式(2)、(3)，進而導出下述公式(5)；

[公式 5]

$$Q-1 = -i\left(\frac{\kappa}{w\rho q}\right) \frac{d^2 Q}{dx^2} \quad \dots (5)$$

根據公式(4)、(5)，以下述公式(6)；

[公式 6]

$$(a+ib)^2 = -i\left(\frac{w\rho q}{\kappa}\right) \quad \dots (6)$$

表示。計算虛數i之平方根，表示為下述公式(7)；

[公式 7]

$$a+ib = \pm \frac{1+i}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\rho q w}{\kappa}} \quad \dots (7)$$

根據上述公式(7)，由於虛數與實數獨立，故a及b表示為下述公式(8)。

[公式 8]

$$a = b = \sqrt{\frac{\rho q w}{2\kappa}} = \sqrt{f} \sqrt{\frac{\rho q \pi}{\kappa}} \quad \dots (8)$$

相位延遲b採用下述公式(9)計算。

[公式 9]

$$b = \sqrt{\frac{\rho q w}{2\kappa}} - ia = \sqrt{f} \sqrt{\frac{\rho q \pi}{\kappa}} - ia \quad \dots (9)$$

公式(8)、(9)中，a、b不具有虛數成份，但在實際之觀測中，相位延遲b發生了本來不應觀察到之偏移。其在實際測量時，若存在來自複數個路徑之熱之傳遞，例如來自樣

品端之反射，或較之樣品內部自表面對大氣之傳熱較慢等之非線性因素，則波形會產生畸變等，相位延遲量有可能產生偏移。

先前，認為觀測點(表面)所觀測之發熱之相位延遲 b_x 與深度成比例，單純基於其計算發熱源之深度。然而，實際之延遲量中可能會產生偏移。其依存於積體電路 S 之內部之熱容量、發熱量、形狀、施加偏壓之頻率等。因此，先前之方法中，根據於積體電路 S 之哪個位置進行觀測，會導致相位偏移產生變化，通常難以計算正確之發熱源之深度。相對於此，本實施形態之發熱點檢測方法中，利用的是來自積體電路 S 之封裝內部之發熱檢測信號之相位偏移在數 Hz 以下之低施加偏壓之頻率中，相對於頻率之平方根大致沒有變化。此時，可適用之頻率之上限值雖是依存於積體電路 S 變化，但較佳為 4 Hz 以下左右。

即，以本實施形態之發熱點檢測方法檢測之深度資訊為相位延遲 b_x 相對於頻率之平方根之斜率，為以下述公式 (10)；

[公式 10]

$$\frac{db_x}{d\sqrt{f}} = x \sqrt{\frac{\rho q \pi}{\kappa}} \quad \dots (10)$$

表示之值。該值僅依存於由物性決定之常數 ρ 、 q 、 κ ，常數 π ，可消除相位偏移之影響。

此處，衰減率 a 亦會產生伴隨著積體電路 S 表面上之傳熱

率之變化之變化。且，自積體電路S對空氣之傳熱率係根據表面之溫度或基於其之對流而產生變化。因此，為提高上述公式(10)計算之深度資訊之精度，具備溫度穩定化部40，以使積體電路S表面上之溫度穩定化。

又，作為使深度資訊產生誤差之因素，亦舉例有積體電路S之溫度之時間變化。圖像處理部30之資料獲取時，積體電路S之溫度繼續上升之情形，測量相位時，除檢測本來之相位以外，亦檢測伴隨著溫度上升之波形之傾斜作為其他波。於圖7顯示該情況。如圖所示，表面產生溫度上升之情形之積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化(圖7(a))係表面溫度處於穩定狀態之情形之積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化(圖7(b))，加上具有與溫度上升對應之傾斜之發熱檢測信號之時間變化(圖7(c))者。以產生此種溫度上升時之發熱檢測信號為對象，獲取相位資訊之情形時，由於計算結合了複數個波之其他波之相位，故深度資訊會產生誤差。因此，為能夠在使積體電路S表面之溫度穩定化，表面溫度之時間變化較少之狀態下獲取發熱檢測信號，亦具備溫度穩定化部40。

圖8(a)係顯示在未進行藉由溫度穩定化部40之溫度穩定化處理之情形下由積體電路故障解析裝置1獲取之發熱檢測信號之時間變化，而圖8(b)係顯示在進行了藉由溫度穩定化部40之溫度穩定化處理之情形下由積體電路故障解析裝置1獲取之發熱檢測信號之時間變化。如此，只要進行溫度穩定化處理，則藉由於經過某程度之時間後開始檢測

不含溫度變化引起之傾斜之發熱檢測信號，可減少所獲取之相位差之變動而計算高精度且穩定之深度資訊。

圖9中，(a)係顯示以1 Hz之低頻施加之偏壓電壓之時間變化，(b)係顯示因應於此，於積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化，(c)係顯示以2 Hz之高頻施加之偏壓電壓之時間變化，(d)係顯示因應於此，於積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化。積體電路故障解析裝置1中，與相位延遲 b_x 對應之延遲於各頻率中作為延遲量D1予以觀測。該延遲量D1包含由發熱點之深度決定之相位之位移量D2，與由樣品內部形狀或表面狀態等決定之相位之位移量D3。

圖10係顯示積體電路故障解析裝置1中，施加於積體電路S之偏壓電壓之角頻率 w 之平方根，與所觀測之相位延遲 b_x 之關係。如圖所示，以低角頻率 w_1 及高角頻率 w_2 觀測之相位延遲D1分別包含位移量D2與位移量D3。對此，可藉由計算相位延遲 b_x 相對於角頻率 w 之平方根之斜率，除去相位偏移量D3，從而估算根據由發熱點之深度決定之位移量D2所決定、且不依存於積體電路S內部之熱容量、發熱量、位置之深度資訊。

根據以上說明之積體電路故障解析裝置1及使用其之發熱點檢測方法，自積體電路S檢測與低頻之偏壓電壓之施加對應之發熱檢測信號，並檢測與高頻之偏壓電壓之施加對應之發熱檢測信號。且，檢測低頻之偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位差，及高頻之偏壓電壓與發熱檢測信號

之間之相位差，根據相位差相對於頻率之平方根之變化率，獲得發熱點之深度資訊。藉此，由於抵銷根據發熱點之位置而變化之發熱量之時間變化之偏移量後，而計算深度資訊，故可不依存於發熱點之位置而獲得高精度之深度資訊。又，藉由獲得相位差相對於由偏壓電壓之頻率計算出之變量之變化率，亦可獲得不依存於發熱點之發熱量、積體電路之內部構造、及偏壓電壓之頻率之深度資訊。

即，偏壓電壓與發熱檢測信號之間之相位延遲 b_x 由於會產生依存於來自發熱源之熱量、積體電路 S 內之發熱點之位置、積體電路之內部構造或熱容量等之發熱檢測波形之變形，故包含伴隨其之變動。因此，若直接評估相位延遲 b_x 無法計算正確之發熱點之深度。例如，若為積體電路 S 之中央，即便為可計算正確之深度之參數，但若將其直接使用於樣品邊緣，仍會產生較大之誤差。此種誤差因熱之傳遞速度之不同、熱之傳遞範圍之熱容量之合計值之不同、及積體電路 S 表面上之傳熱率之非線性導致產生。具體而言，隨著熱容量之增大、熱之傳遞速度變快，會如圖6所示產生變化。相位延遲 b_x 除與來自發熱源之相位延遲對應之位移量 D_2 以外，亦產生自最小0度至最大90度之伴隨著響應波形之變形之位移量 D_3 。其為多餘之偏移，從而難以進行正確之深度之計算。根據本實施形態，可除去此種多餘之偏移，獲得正確之深度資訊。

又，由於施加給積體電路 S 之複數個頻率之偏壓電壓之振幅及占空比係設定為相互相等，故可使發熱點處之發熱

量更均一，從而可進而減少深度資訊之對偏壓電壓之頻率之依存性。其結果，可獲取更正確之深度資訊。

進而，基於對使積體電路S整體表面之平均溫度穩定於一定溫度後檢測到之複數個頻率之電氣信號的熱響應，計算深度資訊。藉此，由於可減少伴隨著傳熱率之變化之偏移之變動、及伴隨著積體電路S之溫度之時間變化之相位差之誤差，故可不依存於發熱點之位置而穩定獲得高精度之深度資訊。尤其是因為積體電路S溫度越高、紅外線之輻射強度越大，故攝像裝置18在不飽和之範圍內，使積體電路S表面之平均溫度在更高溫度下穩定化，藉此即便積體電路S之溫度振幅為一定，仍可增大檢測信號之振幅，使S/N提高。

再者，本發明並不限定於上述之實施形態。例如，施加給積體電路S之偏壓電壓之波形並不限定於方波，亦可變更為正弦波或三角波等電壓週期性增減之其他波形。

又，偏壓電壓之最大值 V_1 及最小值 V_2 亦可根據種類對積體電路S進行適當變更。但，較佳的是將對1個積體電路S變更為複數個頻率時之最大值 V_1 及最小值 V_2 設定為一定。

又，若使偏壓電壓之頻率增減，則發熱檢測信號之振幅會產生變化，故必須使測量之最低頻率之振幅不超過可測量之範圍。因此，亦可在積體電路故障解析裝置1設置發熱檢測信號之振幅超過可測量之範圍之情形時會自動檢測進行錯誤輸出之功能。

又，使積體電路S表面之平均溫度穩定化之溫度穩定化

部 40 亦可為如下所述之構成。

例如，如圖 11 及圖 12 所示，亦可採用如下構成：除釋放氣體之空氣管 43 以外，追加具有面向空氣管 43 之釋放口之吸入口、用以吸入氣體之空氣管 45，且可使氣體沿著積體電路 S 表面循環。該情形，空氣管 43 與空氣管 45 係以夾住確實覆蓋故障部位 F 之表面上之區域 A_1 而相對向的方式配置(圖 12)。根據此種構成之溫度穩定化部 40，可使積體電路 S 表面上之區域 A_1 之氣流穩定，使積體電路 S 表面整體之溫度均一，從而實現穩定之深度資訊之檢測。又，自溫度穩定化部 40 供給的未必限定於經冷卻之介質(冷卻用熱媒)之情形，只要可使積體電路 S 表面之溫度穩定化，亦可供給經加熱之介質(加熱用熱媒)。

又，如圖 13 顯示之本發明之變化例之溫度穩定化部 40A 所示，其構成亦可為將平板狀之高傳熱板(基板)46 介隔油等高傳熱率之塗布劑 47 接合於積體電路 S 表面上，且於該高傳熱板 46 表面上之兩端部搭載 2 個冷卻元件(溫度調整構件)48、49。如此接近於積體電路 S 配置之高傳熱板 46 係由具有覆蓋積體電路 S 表面整體般之大小及形狀，具有金剛石、Si、SiC 等之高傳熱率，且相對於紅外區域具有透射性之材料構成。2 個冷卻元件 48、49 為帕爾貼(Peltier)元件等冷卻元件，包含配置於積體電路 S 表面附近之熱敏電阻等之溫度檢測元件(未圖示)，且以使由溫度檢測元件檢測到之溫度值成為一定的方式調整溫度。該冷卻元件 48、49 可置換成加熱器元件等之加熱元件，亦可置換成使熱媒沿

著積體電路S表面循環般之管路。根據此種將冷卻元件48、49接近於高傳熱板46配置之溫度穩定化部40A，可使積體電路S表面整體之溫度進一步穩定化。

又，如圖14顯示之本發明之變化例之溫度穩定化部40B所示，其構成可為於積體電路S表面上隔以特定之空隙，配置平板狀之高傳熱板46，並於試料載台10與高傳熱板46之間之兩端部，設置朝一方向對積體電路S表面上之空隙供給油等熱媒之一對介質釋放部50及介質吸入部51。藉由此種將介質釋放部50及介質吸入部51接近於高傳熱板46配置之溫度穩定化部40B，亦可使積體電路S表面整體之溫度進一步穩定化。

此處，上述之發熱點檢測方法中，進而具備第5步驟：檢測第1頻率之週期性電氣信號與第1檢測信號之間之第1相位差，及第2頻率之週期性電氣信號與第2檢測信號之間之第2相位差，第4步驟中，較佳為基於第1及第2相位差，獲得發熱點之深度資訊。又，上述之發熱點檢測裝置中，進而具備相位差檢測部，其係檢測第1頻率之週期性電氣信號與第1檢測信號之間之第1相位差，及第2頻率之週期性電氣信號與第2檢測信號之間之第2相位差，運算部較佳為基於第1及第2相位差，獲得發熱點之深度資訊。藉此，由於抵銷根據發熱點之位置而改變之發熱量之時間變化之位移量，而計算深度資訊，故可不依存於發熱點之位置，獲得更高精度之深度資訊。

再者，上述之發熱點檢測方法中，第4步驟中亦較佳為

基於第1及第2相位差，計算週期性電氣信號與檢測信號之間之相位差相對於由週期性電氣信號之頻率計算之變量的變化率，並由變化率獲得發熱點之深度資訊。再者，上述發熱點檢測裝置中，運算部亦較佳為基於第1及第2相位差，計算週期性電氣信號與檢測信號之間之相位差相對於由週期性電氣信號之頻率計算之變量的變化率，由變化率獲得發熱點之深度資訊。該情形，藉由獲得相位差相對於由週期性電氣信號之頻率計算之變量之變化率，亦可獲得不依存於發熱點之發熱量、積體電路之內部構造、及週期性電氣信號之頻率之深度資訊。

又，進而，溫度穩定化部較佳為包含介質供給部，其係以使上述積體電路表面之平均溫度為一定的方式供給介質。若具備上述之溫度穩定化部，則可以簡易之構成部，使積體電路表面之平均溫度有效地穩定化。

進而，又，溫度穩定化部亦較佳為包含相對於紅外區域具有透射性且接近於積體電路配置之基板，與接近於基板配置之溫度調整構件。若具備上述之構成，則可使積體電路整體表面之平均溫度進一步穩定化。

產業上之可利用性

本發明係將用於檢測積體電路之發熱點之深度之發熱點檢測方法及發熱點檢測裝置作為使用用途，無需依存於發熱點之位置，即可高精度地穩定檢測積體電路之發熱點之深度者。

【圖式簡單說明】

圖 1 係顯示本發明之較佳之一實施形態之積體電路故障解析裝置的概略構成之方塊圖。

圖 2 係顯示圖 1 之溫度穩定化部之構成之一例的側視圖。

圖 3 係顯示圖 2 之溫度穩定化部對積體電路釋放氣體之狀態之俯視圖。

圖 4 係顯示圖 1 之積體電路故障解析裝置 1 對積體電路 S 相關之故障解析動作的順序之流程圖。

圖 5 係顯示藉由圖 1 之電壓施加部 14 施加之偏壓電壓之時間變化的圖。

圖 6(a) 係顯示偏壓電壓之時間變化之圖，(b) 係顯示包含低熱容量/低傳熱率之材料之積體電路 S 中所檢測之發熱檢測信號的時間變化之圖，(c) 係顯示包含高熱容量/高傳熱率之材料之積體電路 S 中所檢測之發熱檢測信號的時間變化之圖。

圖 7(a) 係顯示積體電路 S 表面上產生溫度上升之情形所檢測之發熱檢測信號的時間變化之圖，(b) 係表面溫度處於穩定狀態之情形所檢測之發熱檢測信號之時間變化的圖，(c) 係顯示具有對應於溫度上升之傾斜之發熱檢測信號之時間變化的圖。

圖 8(a)、(b) 係顯示以積體電路 S 為對象而檢測之發熱檢測信號之時間變化之圖。

圖 9(a) 係顯示以低頻施加之偏壓電壓之時間變化之圖，(b) 係顯示積體電路 S 中所檢測之發熱檢測信號之時間變化之圖，(c) 係顯示以高頻施加之偏壓電壓之時間變化之圖，

(d)係顯示積體電路S中所檢測之發熱檢測信號之時間變化之圖。

圖10係顯示圖1之積體電路故障解析裝置中對積體電路S施加之偏壓電壓之角頻率的平方根，與所觀測之相位延遲 b_x 之關係之圖。

圖11係顯示本發明之變化例之溫度穩定化部之構成的一例之側視圖。

圖12係顯示圖11之溫度穩定化部對積體電路釋放氣體之狀態之俯視圖。

圖13係顯示本發明之其他變化例之溫度穩定化部之構成的一例之側視圖。

圖14係顯示本發明之其他變化例之溫度穩定化部之構成的一例之側視圖。

【主要元件符號說明】

1	積體電路故障解析裝置
12	載台驅動部
14	電壓施加部(電氣信號供給部)
16	導光光學系統
18	攝像裝置
20	控制部
21	攝像控制部
22	載台控制部
23	同步控制部
30	圖像處理部

31	圖像記憶部
32	發熱信號獲取部(檢測部)
33	電壓相位獲取部
34	相位延遲獲取部(檢測部、相位差檢測部)
35	深度資訊運算部
36	輸入裝置
37	顯示裝置
40	溫度穩定化部
40A	溫度穩定化部
40B	溫度穩定化部
41	空氣槽
42	調節器(介質供給部)
43	空氣管(介質供給部)
44	溫度控制部(介質供給部)
45	空氣管
46	高傳熱板(基板)
48	冷卻元件(溫度調整構件)
49	冷卻元件(溫度調整構件)
50	介質釋放部(介質供給部、溫度調整構件)
51	介質吸入部(溫度調整構件)
F	故障部位
G	氣體
S	積體電路
S01	使積體電路S之表面溫度穩定化

- S02 施加低頻之偏壓電壓
- S03 獲取複數個部位之發熱檢測信號
- S04 施加高頻之偏壓電壓
- S05 獲取複數個部位之發熱檢測信號
- S06 偏壓電壓之相位資訊獲取
- S07 發熱檢測信號之相位資訊獲取
- S08 低頻及高頻之相位差檢測
- S09 複數個部位之發熱點之深度資訊計算
- S10 將深度資訊輸出或解析處理

七、申請專利範圍：

1. 一種發熱點檢測方法，其特徵為其係檢測積體電路之發熱點之深度者，且包含以下步驟：

第1步驟，使上述積體電路表面之平均溫度穩定化；

第2步驟，對上述積體電路供給以第1頻率增減之週期性電氣信號，因應於此而獲取自上述積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第1檢測信號；

第3步驟，對上述積體電路供給以與上述第1頻率不同之第2頻率增減之週期性電氣信號，因應於此而獲取自上述積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第2檢測信號；及

第4步驟，基於上述第1及第2檢測信號，獲得上述發熱點之深度資訊。

2. 如請求項1之發熱點檢測方法，其中進而包含第5步驟，其係檢測上述第1頻率之週期性電氣信號與上述第1檢測信號之間之第1相位差，及上述第2頻率之週期性電氣信號與上述第2檢測信號之間之第2相位差，且

在上述第4步驟中，基於上述第1及第2相位差，獲得上述發熱點之深度資訊。

3. 如請求項2之發熱點檢測方法，其中在上述第4步驟中，基於上述第1及第2相位差，計算上述週期性電氣信號與上述檢測信號之間之相位差相對於由上述週期性電氣信號之頻率計算之變量的變化率，並由上述變化率獲得上述發熱點之深度資訊。

4. 一種發熱點檢測裝置，其特徵為其係檢測積體電路之發熱點之深度者，且包含：

電氣信號供給部，其對上述積體電路供給電氣信號；

控制部，其以對上述積體電路供給以第1頻率增減之週期性電氣信號、及以與上述第1頻率不同之第2頻率增減之週期性電氣信號的方式，控制上述電氣信號供給部；

檢測部，其因應於上述第1頻率之週期性電氣信號之供給，獲取自上述積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第1檢測信號，且因應於上述第2頻率之週期性電氣信號之供給，獲取自上述積體電路檢測之顯示發熱量之變化之第2檢測信號；

運算部，其基於上述第1及第2檢測信號獲得上述發熱點之深度資訊；及

溫度穩定化部，其使上述積體電路表面之平均溫度穩定化。

5. 如請求項4之發熱點檢測裝置，其進而包含相位差檢測部，其係檢測上述第1頻率之週期性電氣信號與上述第1檢測信號之間之第1相位差，及上述第2頻率之週期性電氣信號與上述第2檢測信號之間之第2相位差；

上述運算部係基於上述第1及第2相位差，獲得上述發熱點之深度資訊。

6. 如請求項5之發熱點檢測裝置，其中上述運算部係基於上述第1及第2相位差，計算上述週期性電氣信號與上述

檢測信號之間之相位差相對於由上述週期性電氣信號之頻率計算之變量的變化率，而由上述變化率獲得上述發熱點之深度資訊。

7. 如請求項4至6中任一項之發熱點檢測裝置，其中上述溫度穩定化部包含介質供給部，其係以使上述積體電路表面之平均溫度成為一定的方式供給介質。
8. 如請求項4至6中任一項之發熱點檢測裝置，其中上述溫度穩定化部包含：

對於紅外區域具有透射性，且接近於上述積體電路而配置之基板；及

接近於上述基板而配置之溫度調整構件。

9. 如請求項7之發熱點檢測裝置，其中上述溫度穩定化部包含：

對於紅外區域具有透射性，且接近於上述積體電路而配置之基板；及

接近於上述基板而配置之溫度調整構件。

八、圖式：

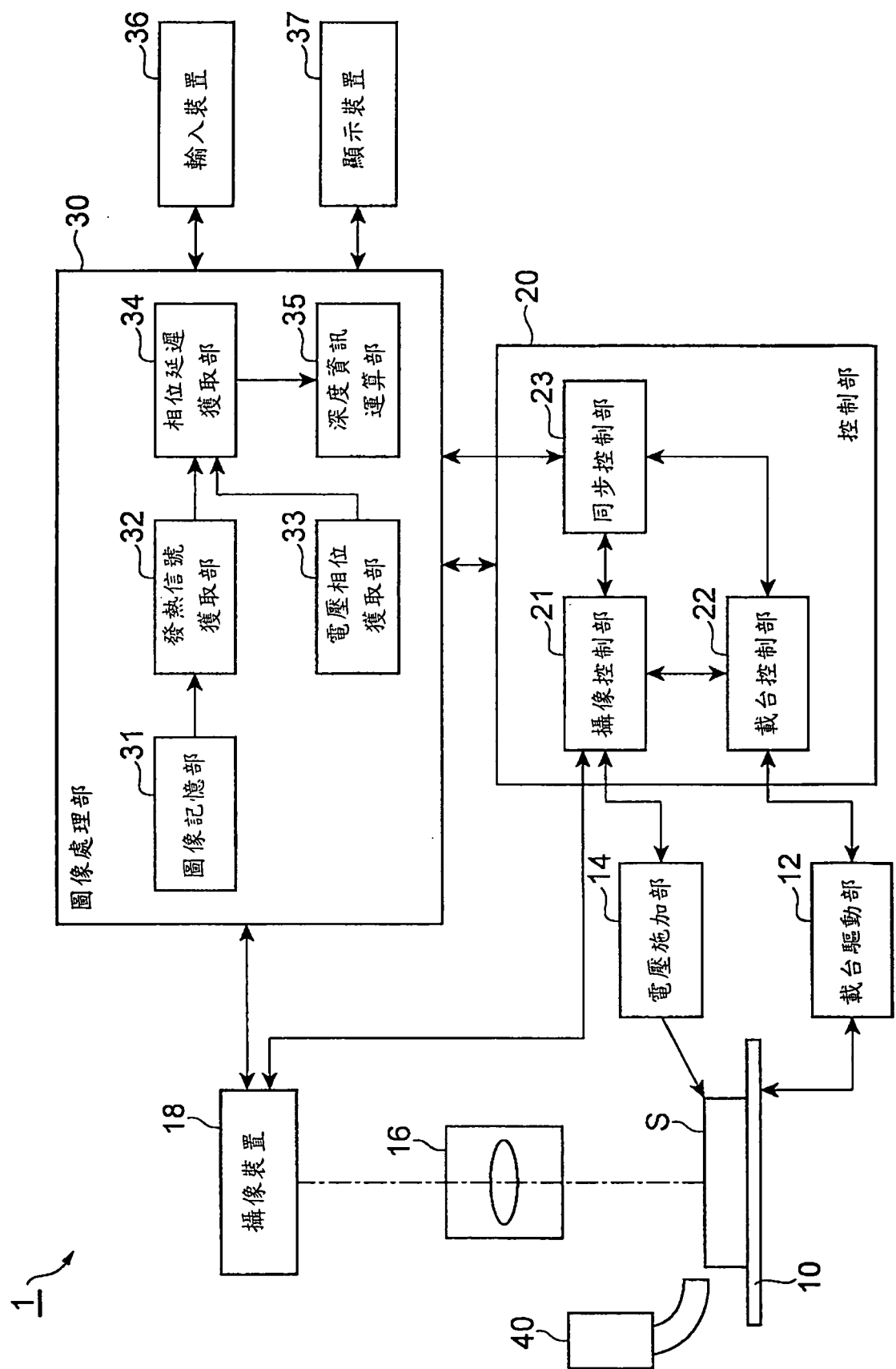


圖 1

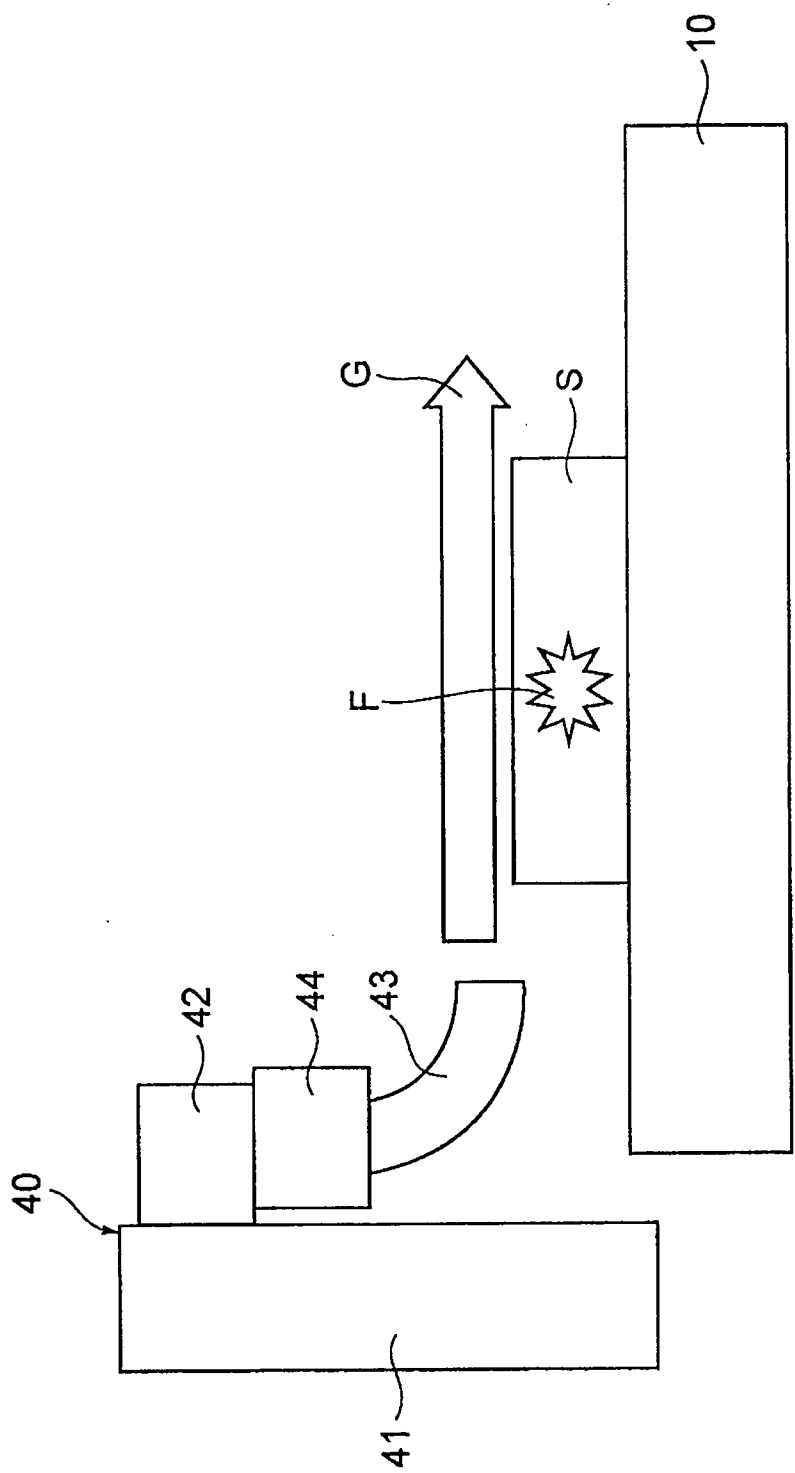


圖 2

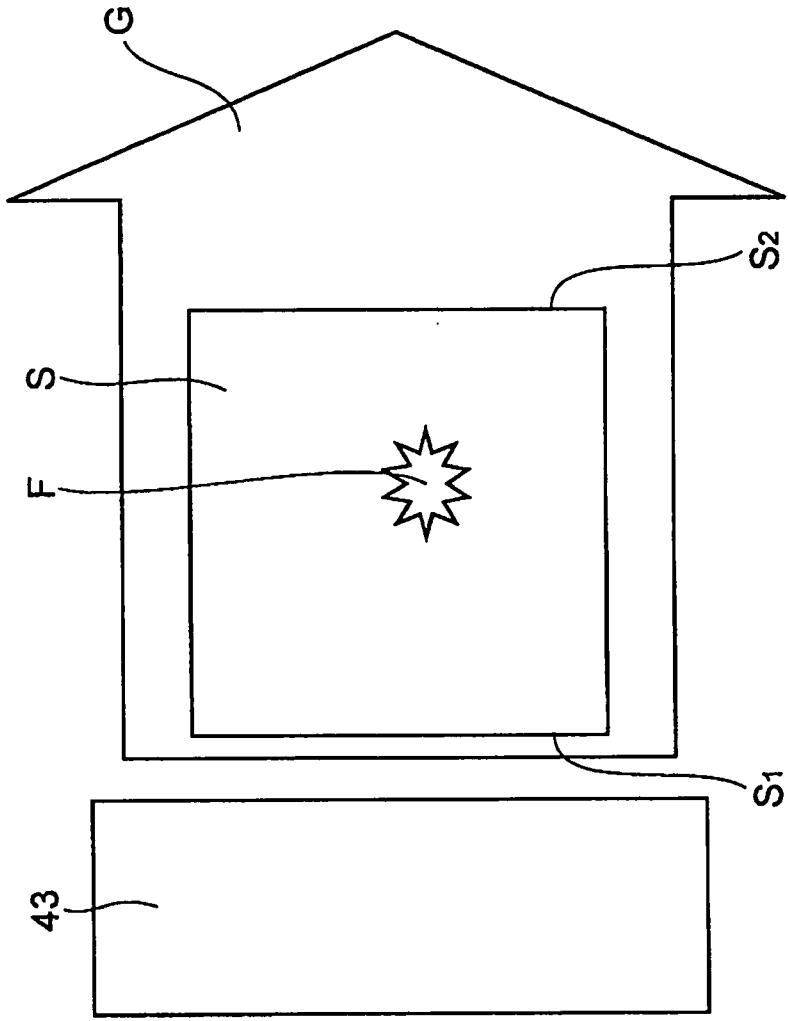


圖 3

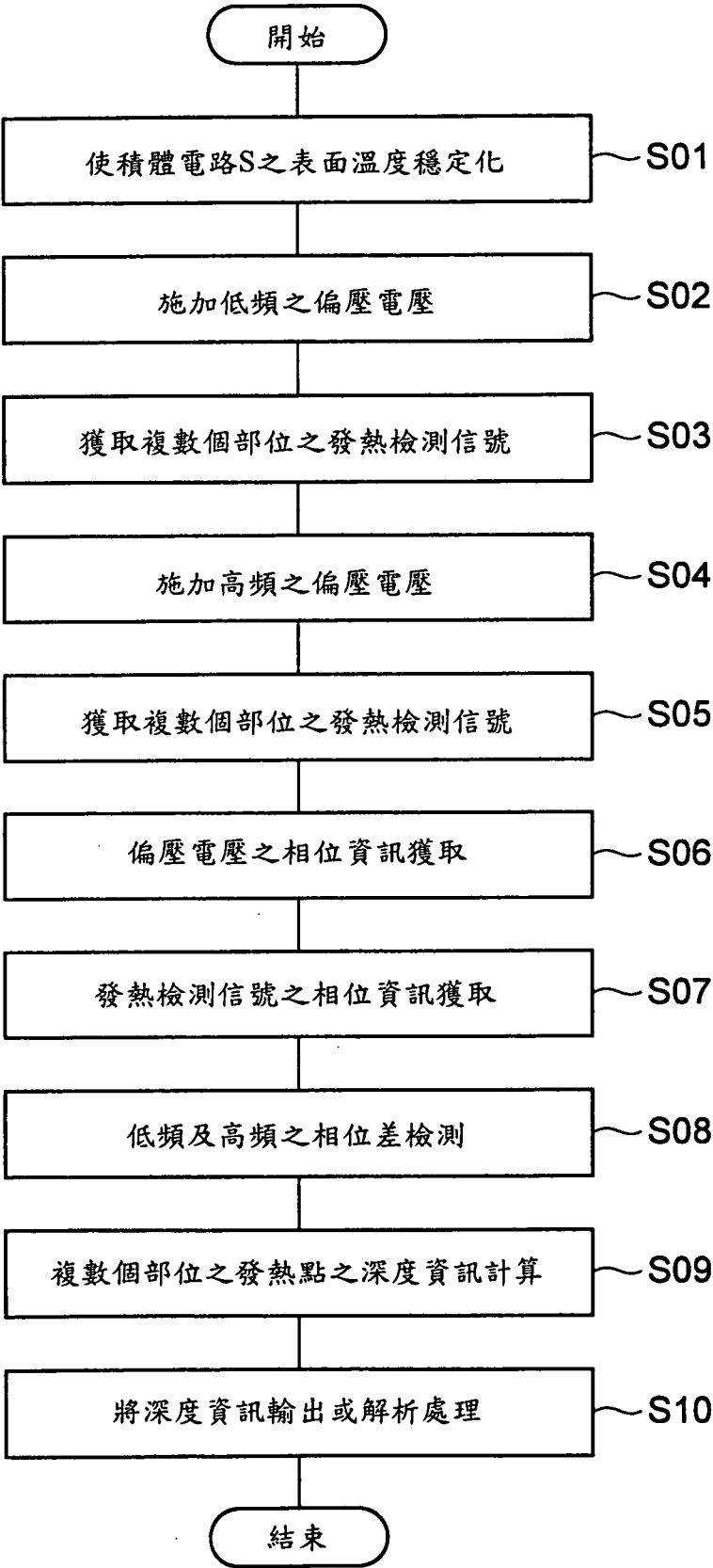
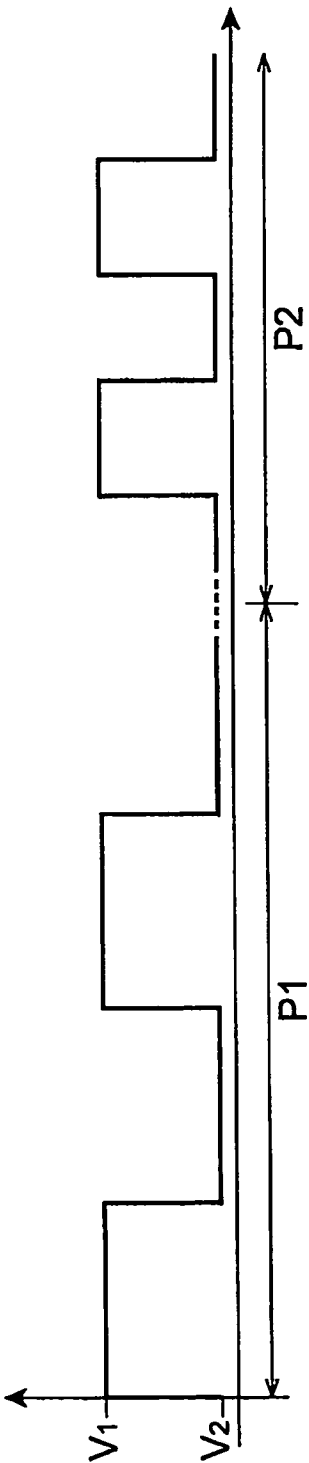
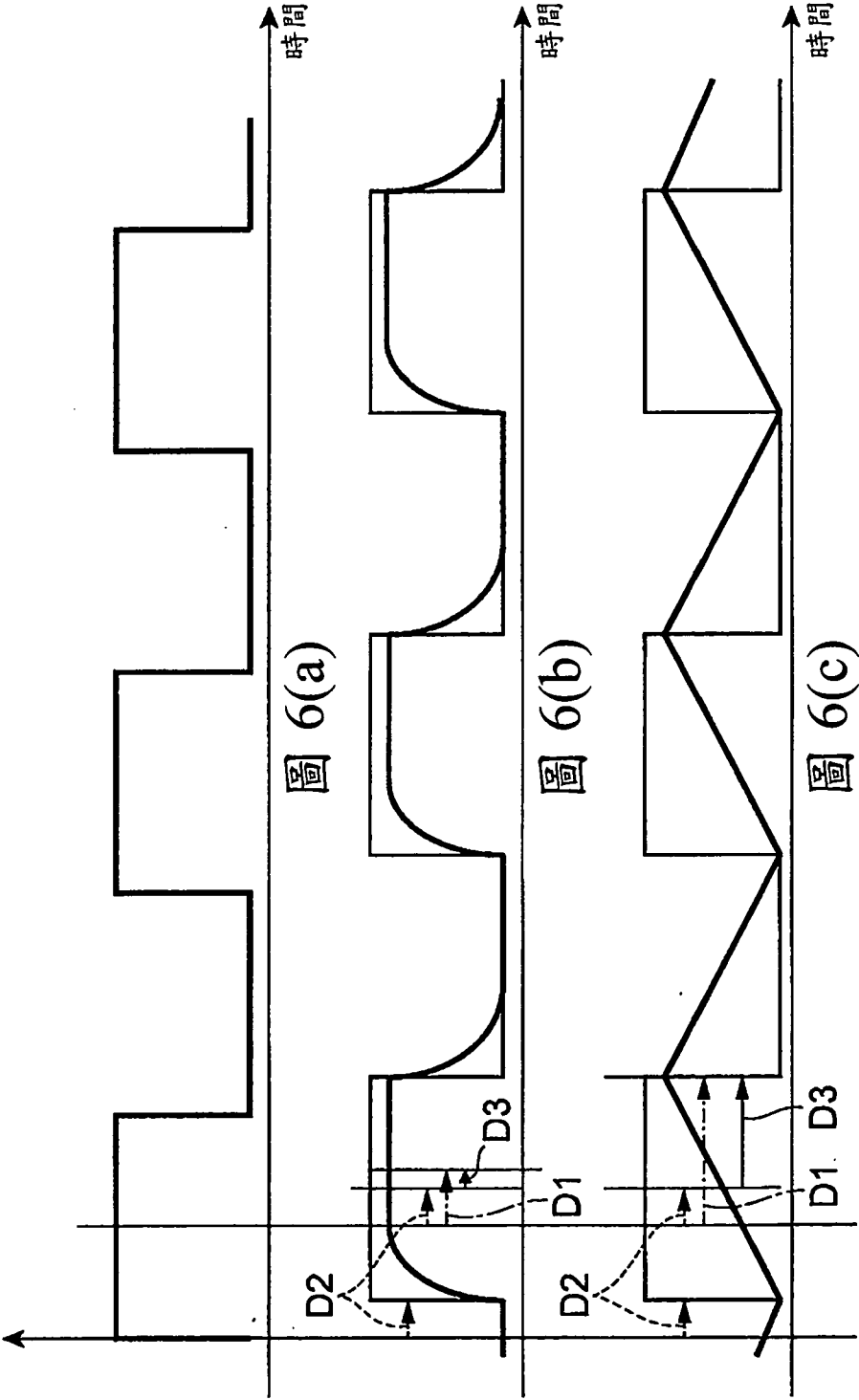


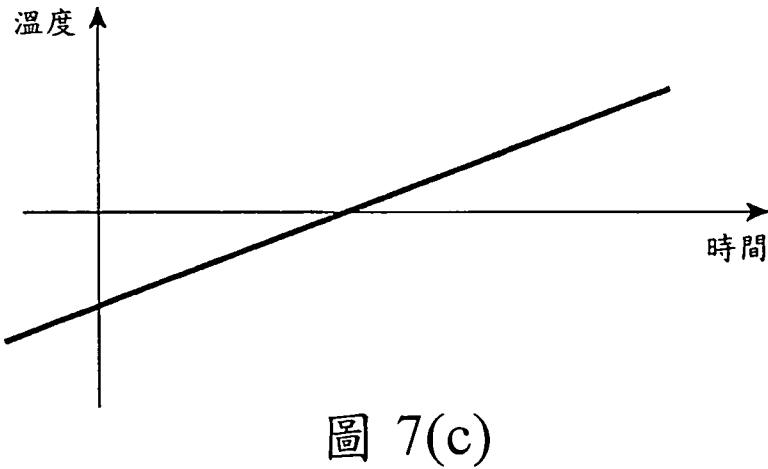
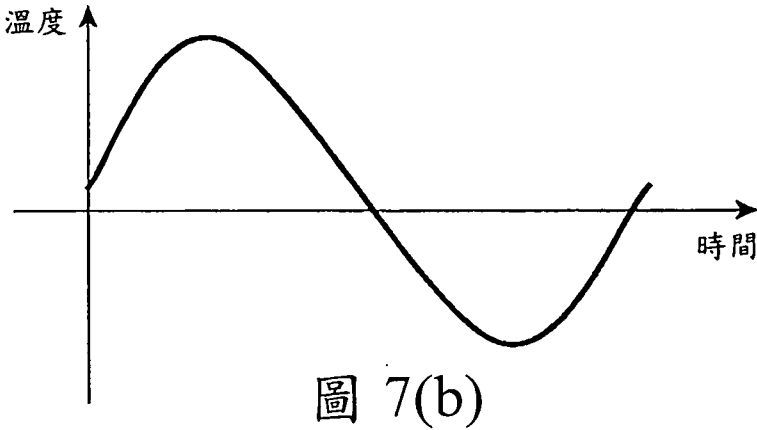
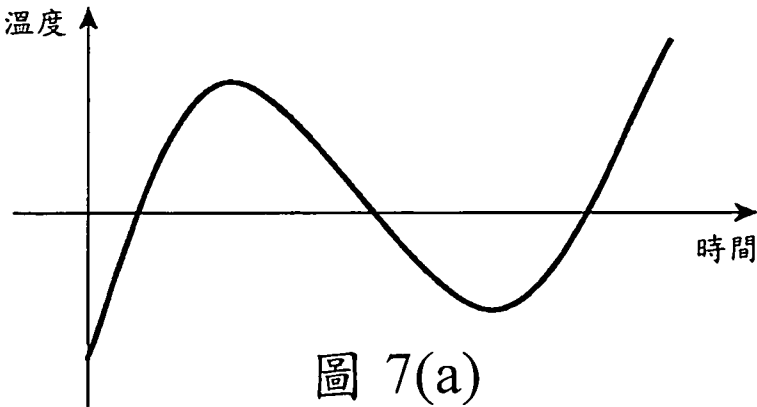
圖 4



時間

圖 5





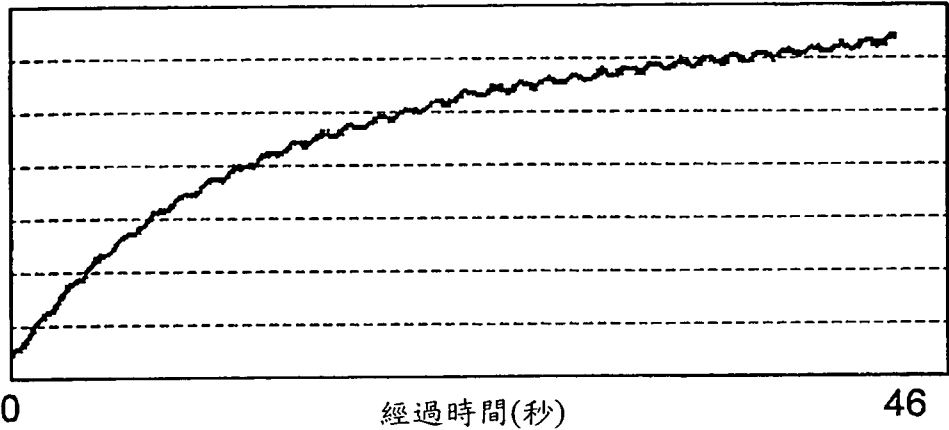


圖 8(a)

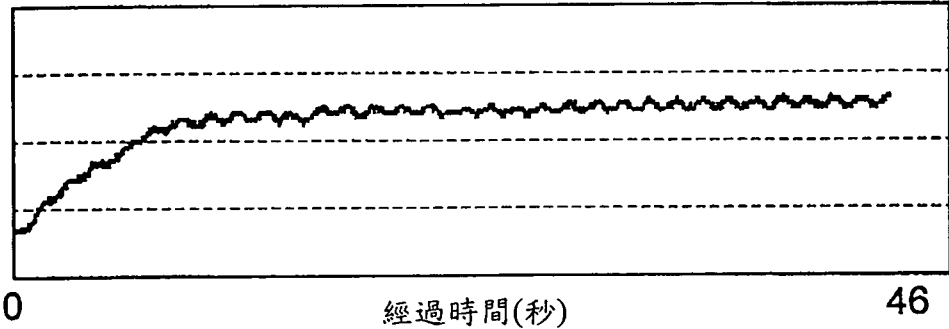
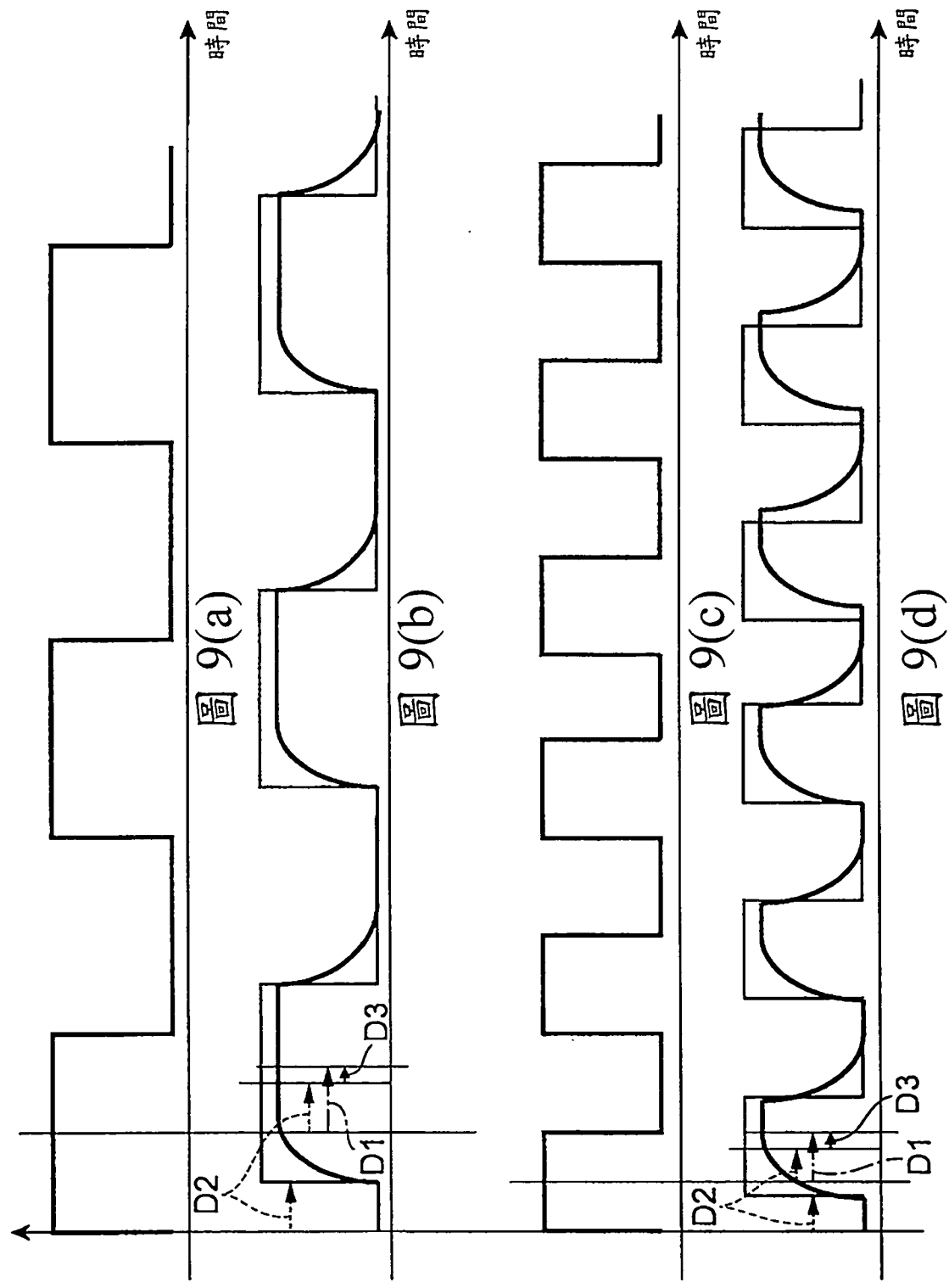


圖 8(b)



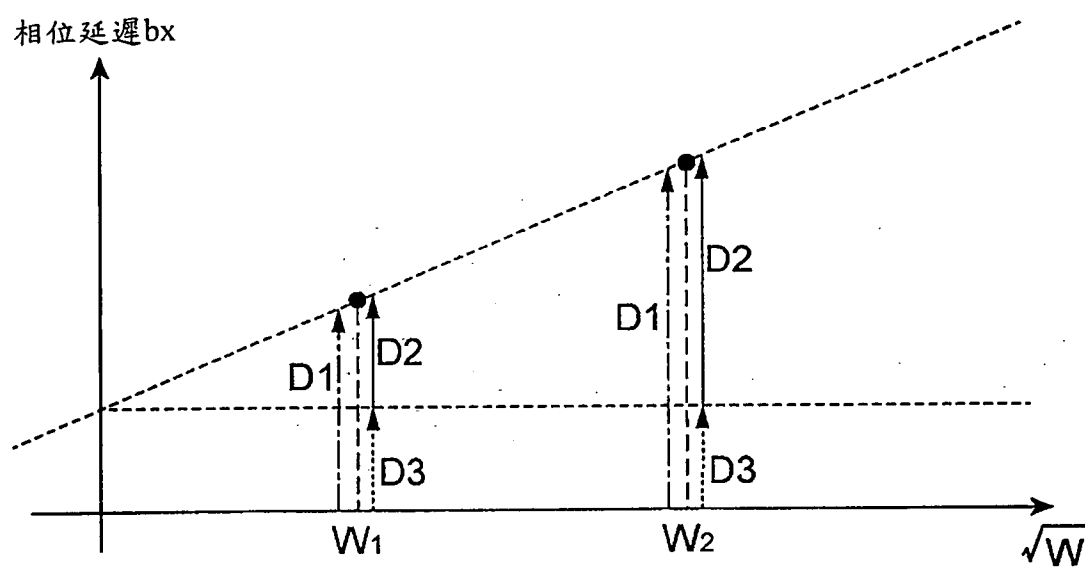


圖 10

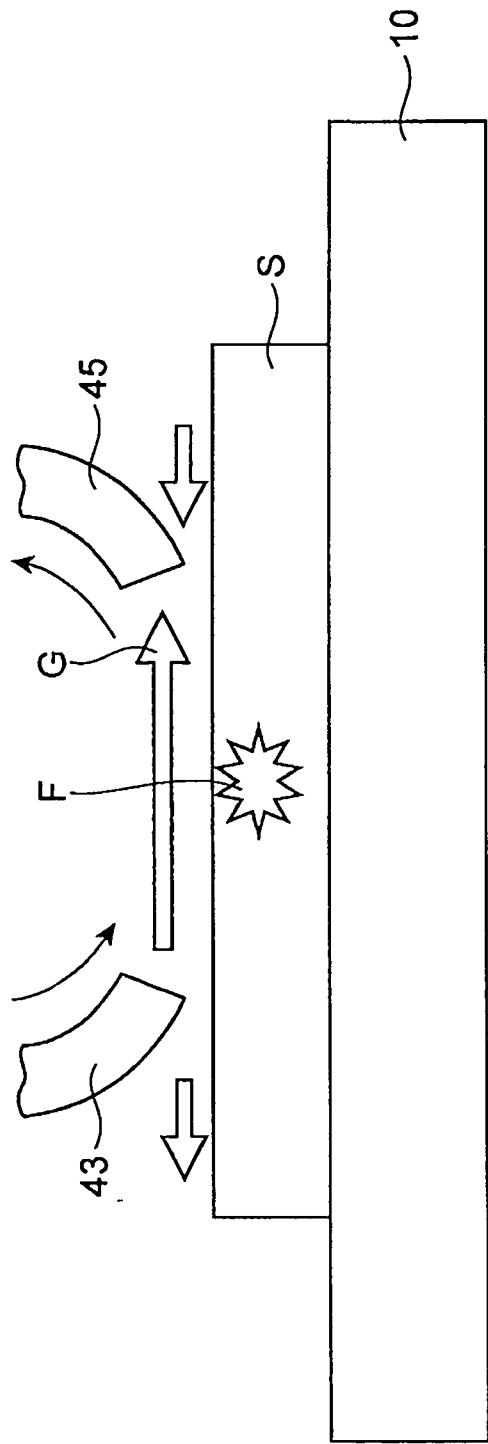


圖 11

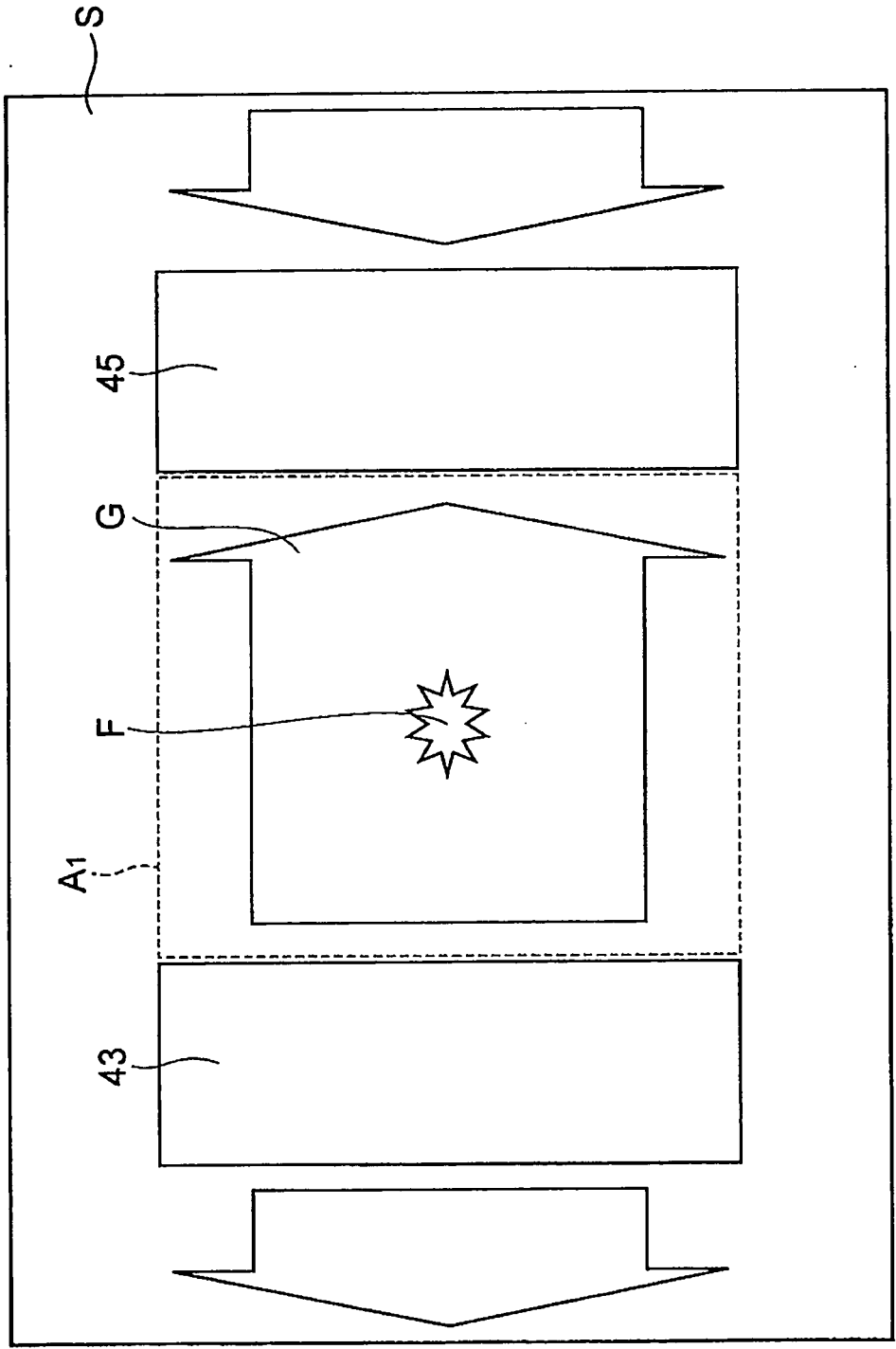


圖 12

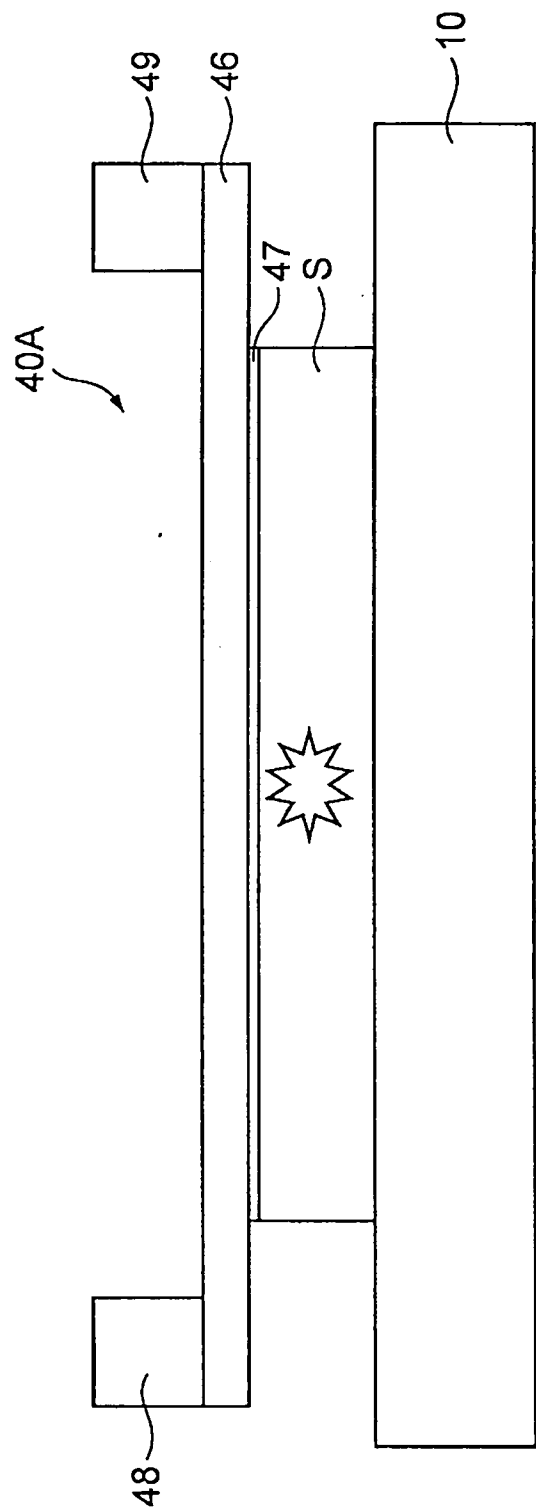


圖 13

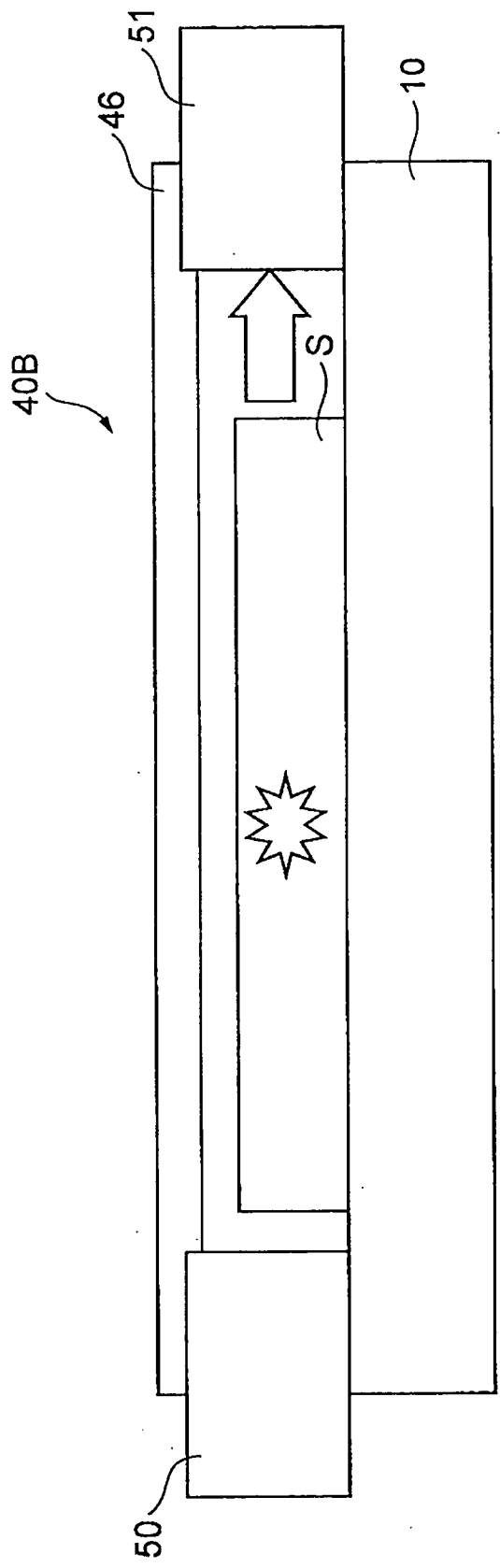


圖 14