



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201732226 A

(43) 公開日：中華民國 106 (2017) 年 09 月 16 日

(21) 申請案號：105117257 (22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 06 月 01 日  
 (51) Int. Cl. : G01B15/02 (2006.01) G01M17/02 (2006.01)  
 (30) 優先權：2016/03/07 美國 15/062,377  
 (71) 申請人：公爵大學(美國) DUKE UNIVERSITY (US)  
 美國  
 (72) 發明人：安德魯斯 喬瑟夫 巴頓 ANDREWS, JOSEPH BATTON (US)；布魯克 馬汀  
 安東尼 BROOKE, MARTIN ANTHONY (US)；法蘭克林 艾朗 FRANKLIN,  
 AARON (US)  
 (74) 代理人：陳長文  
 申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：8 共 26 頁

(54) 名稱

使用共振頻率偏移之非侵入式厚度測量

NON-INVASIVE THICKNESS MEASUREMENT USING RESONANT FREQUENCY SHIFT

(57) 摘要

一種測量一材料之厚度之方法大體上包含：自一第一墊傳輸一振盪信號使其通過該材料而至一第二墊；及測量反射回至該第一墊之該信號。該材料可為均質的或非均質的且具有介電性質。該信號之頻率隨時間變化使得可分析系統(該第一墊、該材料及該第二墊)之頻率回應。判定該系統之共振頻率。基於由該材料之厚度之一改變引起之共振頻率偏移而判定該材料之該厚度。可有利地採用本發明以測量一車輛輪胎或其他材料之厚度。本發明亦揭示相關設備。

A method of measuring thickness of a material generally includes transmitting an oscillating signal from a first pad, through the material, to a second pad, and measuring the signal reflected back to the first pad. The material may be homogenous or heterogeneous, and has dielectric properties. The signal has its frequency varied over time so that the frequency response of the system (the first pad, the material, and the second pad) may be analyzed. The resonant frequency of the system is determined. The thickness of the material is determined based on the resonant frequency shift caused by a change in thickness of the material. The present invention may be advantageously employed to measure the thickness of a vehicle tire or other material. Related apparatuses are also disclosed.

指定代表圖：

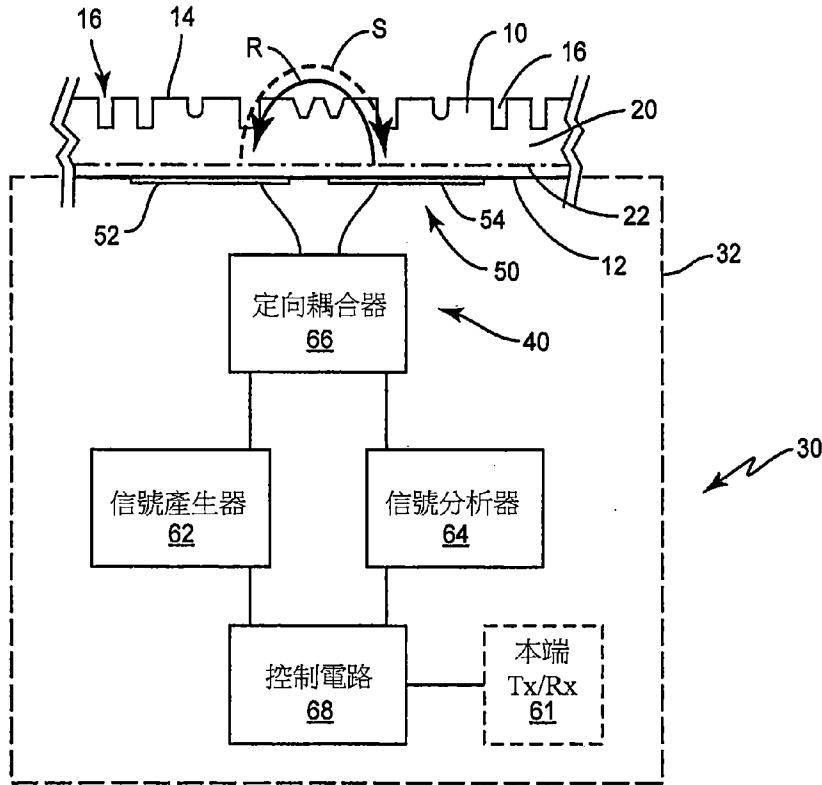


圖 1

符號簡單說明：

- 10 . . . 材料/輪胎
- 12 . . . 輪胎之內表面
- 14 . . . 材料之外表面/輪胎之外表面
- 16 . . . 凹部
- 20 . . . 橡膠基質/橡膠
- 22 . . . 鋼帶
- 30 . . . 測量裝置
- 32 . . . 外殼
- 40 . . . 測量電路
- 50 . . . 感測器總成
- 52 . . . 第一墊/信號墊
- 54 . . . 第二墊/反射墊
- 61 . . . 傳輸器/接收器
- 62 . . . 信號產生器
- 64 . . . 信號分析器
- 66 . . . 定向耦合器
- 68 . . . 控制電路
- R . . . 信號
- S . . . 信號

## 發明摘要

※ 申請案號：105117257

※ 申請日：105/06/01

G01B 15/02 (2006.01)

※IPC 分類：G01M 17/02 (2006.01)

## 【發明名稱】

使用共振頻率偏移之非侵入式厚度測量

NON-INVASIVE THICKNESS MEASUREMENT USING  
RESONANT FREQUENCY SHIFT

## 【中文】

一種測量一材料之厚度之方法大體上包含：自一第一墊傳輸一振盪信號使其通過該材料而至一第二墊；及測量反射回至該第一墊之該信號。該材料可為均質的或非均質的且具有介電性質。該信號之頻率隨時間變化使得可分析系統(該第一墊、該材料及該第二墊)之頻率回應。判定該系統之共振頻率。基於由該材料之厚度之一改變引起之共振頻率偏移而判定該材料之該厚度。可有利地採用本發明以測量一車輛輪胎或其他材料之厚度。本發明亦揭示相關設備。

## 【英文】

A method of measuring thickness of a material generally includes transmitting an oscillating signal from a first pad, through the material, to a second pad, and measuring the signal reflected back to the first pad. The material may be homogenous or heterogeneous, and has dielectric properties. The signal has its frequency varied over time so that the frequency response of the system (the first pad, the material, and the second pad) may be analyzed. The resonant frequency of the system is determined. The thickness of the material is determined based on the resonant frequency shift caused by a change in thickness of the material. The present invention may be advantageously employed to measure the thickness of a vehicle tire or other material. Related apparatuses are also disclosed.

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】：**第（1）圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】：**

|    |               |
|----|---------------|
| 10 | 材料/輪胎         |
| 12 | 輪胎之內表面        |
| 14 | 材料之外表面/輪胎之外表面 |
| 16 | 凹部            |
| 20 | 橡膠基質/橡膠       |
| 22 | 鋼帶            |
| 30 | 測量裝置          |
| 32 | 外殼            |
| 40 | 測量電路          |
| 50 | 感測器總成         |
| 52 | 第一墊/信號墊       |
| 54 | 第二墊/反射墊       |
| 61 | 傳輸器/接收器       |
| 62 | 信號產生器         |
| 64 | 信號分析器         |
| 66 | 定向耦合器         |
| 68 | 控制電路          |
| R  | 信號            |
| S  | 信號            |

**【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：**

無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】

使用共振頻率偏移之非侵入式厚度測量

NON-INVASIVE THICKNESS MEASUREMENT USING  
RESONANT FREQUENCY SHIFT

## 相關申請案

本申請案主張於2016年3月7日申請之美國實用申請案序號15/062377之優先權，該案之全文以引用的方式併入本文中。

## 【技術領域】

本發明係關於厚度測量，且特定言之係關於使用電磁波之非侵入式厚度測量，其在一些實施例中可具有測量一車輛輪胎之厚度之特定適用性。

可依多種方式完成測量一材料之厚度。例如，可自材料切割一材料樣本且接著實體地或光學地測量該材料樣本。或者，可藉由一適合裝置穿刺材料且藉此測量厚度。然而，對於一些材料，可不期望損害材料以便測量材料之厚度。因此，已發展出一些實體上非侵入式厚度測量技術。例如，美國專利第7,135,869號描述一種利用一空腔共振器之方法，該空腔共振器藉由抵靠一經塗佈金屬表面放置而封閉(close off)，其中基於空腔共振器之所得共振頻率而判定塗層之厚度。然而，此一方法要求存在一金屬基板、一均質塗層、對塗層之暴露表面之實體接取且要求空腔共振器實體上抵靠塗層放置，一些或全部此等要求可不適於除測試一飛機機翼上之塗層厚度外之其他情形。

因此，雖然用於厚度測量之先前技術方法可適用於一些情形，但其等可並非對於全部情形皆為理想的。因此，仍需要測量一材料之

一厚度之替代方法(特定言之實體上非侵入之方法)及對應設備。

### 【發明內容】

下文描述測量一材料之厚度之方法及/或相關設備之一或多項實施例。該方法大體上包含：自一第一墊傳輸一振盪信號使其通過該材料而至一第二墊；及測量反射回至該第一墊之該信號。該材料可為均質的或非均質的且具有介電性質。該信號之頻率隨時間變化使得可分析系統(該第一墊、該材料及該第二墊)之頻率回應。理想上，判定該系統之共振頻率。因為該材料充當一介電質，所以該系統之該共振頻率隨該材料之該厚度之改變而改變。因此，可基於由該材料之厚度之一改變引起之共振頻率偏移而判定該材料之該厚度。可有利地採用本發明以測量一車輛輪胎之厚度，但本發明在全部實施例中不限於車輛輪胎應用。

在一或多項實施例中，本發明提供一種判定一材料之一厚度之方法。該方法包括：a)自一第一墊傳輸一振盪信號；其中依隨時間變化之一頻率傳輸該信號使得在對應時間間隔內依複數個頻率傳輸該信號；b)使該信號通過該材料，其中該材料係一非均質材料(即，包括彼此相異之至少兩種不同物質之一複合材料)；c)在該信號已通過該材料之後在一第二墊處反射該信號，該第二墊經佈置成與第一墊成隔開關係且與其電隔離；d)在該第一墊處接收該經反射信號；e)基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該材料；及f)基於該共振頻率判定該材料之該厚度。該第一墊及該第二墊可經佈置成彼此接近且相對於該材料在相同側上，且有利地可經佈置成彼此大致平行。該第一墊及該第二墊可皆經佈置成與該材料成隔開關係或與該材料直接接觸，或其等之任何組合。該複數個頻率有利地可皆為次微波(sub-microwave)頻率。該傳輸如所需可包括或不包括用該信號掃掠一頻帶。該材料可包括嵌入於一介電材料(諸如

一車輛輪胎之一部分)中之金屬。該金屬可包括用於該車輛輪胎之一鋼筋網(steel reinforcing mesh)。該材料在其經佈置成與該第一墊及該第二墊相對之一表面上可具有複數個凹部。

在一些實施例中，本發明提供一種判定一材料在大體上相對佈置之第一表面與第二表面之間的一厚度之方法。該方法包括：a)自一第一墊傳輸一振盪信號；其中依隨時間變化之一頻率傳輸該信號使得在對應時間間隔內依複數個頻率傳輸該信號；b)使該信號通過該材料，其中該材料之該第二表面中包括複數個凹部；c)在該信號已通過該材料之後在一第二墊處反射該信號，該第二墊經佈置成與該第一墊成隔開關係且與其電隔離；d)在該第一墊處接收該經反射信號；e)基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該材料；及f)基於該共振頻率判定該材料之該厚度。該第一墊及該第二墊可經佈置成彼此接近且相對於該材料在相同側上，且有利地可經佈置成彼此大致平行。該第一墊及該第二墊可皆經佈置成與該材料成隔開關係或與該材料直接接觸，或其等之任何組合。該複數個頻率有利地可皆為次微波頻率。該傳輸如所需可包括或不包括用該信號掃掠一頻帶。該材料可包括嵌入於一介電材料(諸如一車輛輪胎之一部分)中之金屬。該金屬可包括用於該車輛輪胎之一鋼筋網。該材料在其經佈置成與該第一墊及該第二墊相對之一表面上可具有複數個凹部。

在一些實施例中，本發明提供一種輪胎總成，其包括一輪胎、一第一導電墊、一第二導電墊及一處理電路。該輪胎包括一介電材料及嵌入於該介電材料中之一金屬材料。該輪胎具有一內表面及經佈置而大體上與該內表面相對之一外表面。該第一墊經組態以在對應時間間隔期間依複數個頻率傳輸一振盪信號。該第二墊經組態以在該信號已通過該輪胎之後反射該信號。該第二墊經佈置成與該第一墊成隔開

關係且與其電隔離。該第一墊進一步經組態以接收該經反射信號。該處理電路通信地連接至該第一墊且經組態以：a)基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該輪胎；及b)基於該共振頻率判定該輪胎之一局部厚度。該輪胎之該外表面可包括複數個凹部。該第一墊及該第二墊可經佈置成與該輪胎之該外表面相比更靠近該內表面。該第一墊及該第二墊可經佈置成彼此大致平行。該第一墊可經佈置成與該輪胎成隔開關係。該處理電路可經組態以藉由查閱參考值之一查詢表而基於該共振頻率判定該局部厚度。該處理電路可安裝至該輪胎。在一些實施例中，該第一墊及該第二墊包括一第一感測器總成，且該輪胎總成進一步包括經佈置成與第一感測器總成成隔開關係之至少一第二感測器總成；該第二感測器總成經組態以在與該第一感測器總成隔開之一位置處判定該輪胎之一局部厚度。

本文中論述之裝置及方法之各種態樣可單獨或以任何組合使用。此外，本發明不限於上述特徵及優點。實際上，在閱讀以下實施方式且檢視隨附圖式之後，熟習此項技術者將認知額外特徵及優點。

### 【圖式簡單說明】

圖1展示根據一項實施例之具有一厚度測量裝置之一輪胎之一部分，其中一材料中具有複數個凹部。

圖2展示傳輸頻率與對應時間間隔之間的一種可能關係。

圖3展示一經接收信號之信號強度對頻率之一曲線圖。

圖4展示共振頻率對材料厚度之一曲線圖。

圖5展示一或多項實施例之簡化程序流程圖。

圖6展示其之一內表面安裝有多個測量電路之一輪胎之一橫截面。

圖7展示圖6中所示之類型的一雙感測器總成測量電路。

圖8展示根據另一實施例之一厚度測量裝置，其中信號墊及一反射墊與材料隔開，且其中材料具有一平滑外表面。

### 【實施方式】

在一或多項實施例中，本申請案係關於測量一材料之厚度之方法及/或相關設備。方法大體上包含：自一第一墊傳輸一振盪信號使其通過材料而至一第二墊；及測量反射回至第一墊之信號。材料可為均質的或非均質的且具有介電性質。信號之頻率隨時間變化使得可分析系統(第一墊、材料及第二墊)之頻率回應。理想上，判定系統之共振頻率。因為材料充當一介電質，所以系統之電容及因此其共振頻率隨材料之厚度之改變而改變。因此，可基於由材料之厚度之一改變引起之共振頻率偏移而判定材料之厚度。可有利地採用本發明以測量一車輛輪胎之厚度，但本發明在全部實施例中不限於車輛輪胎應用。

在圖1中所示之一項例示性實施例中，一測量電路(整體以40指示)形成一測量裝置30之一部分。圖1之簡化測量電路40包含一感測器總成50、一信號產生器62、一信號分析器64、一定向耦合器66及一控制電路68。僅作為一實例，圖1將測量電路40展示為容置於一外殼32中以製成一可攜式測量裝置30。然而，應注意，測量電路40不必裝納於一可攜式外殼32中。實際上，在各項實施例中，測量電路40之一些或全部部分可附裝至材料10及/或以其他方式不佈置在一單一外殼32中。因此，圖1中以虛線展示外殼32以指示其係選用的。

感測器總成50定位於一材料10附近以有利於測量材料之厚度。感測器總成50包含經佈置成彼此接近但隔開之一第一墊52及一第二墊54。第一墊52及第二墊54係導電的且彼此電隔離。在此實施例中，第一墊52及第二墊54皆為大體上平面的且佈置於材料10之相同側上、經佈置而實體上彼此平行且佈置於相同平面中，但不要求此等特徵之任一者。因此，墊52、54可替代地佈置於材料10之相對側上、及/或佈

置成非平行定向、及/或佈置於不同平面中、及/或可並非平面的(即，明顯彎曲，然而據信大致平面係有利的)。對於圖1之實施例，第一墊52連接至信號產生器62及信號分析器64 (皆經由定向耦合器66)且因此可稱為信號墊52。對於圖1之實施例，第二墊54接地且用以反射由信號墊52傳輸之信號，且因此可稱為反射墊。

信號產生器62依一頻率產生一振盪信號(AC信號)。信號之頻率隨時間變化使得信號在不同測量時間間隔內可具有一不同頻率。例如，圖2展示信號之頻率(F1、F2、...)與對應時間間隔(T1、T2、...)之間的一種可能關係。頻率之變動可藉由以一連續方式掃掠一測量頻帶、以一逐步方式掃掠、藉由使測量頻帶內之頻率隨機變化或以任何其他適合方式完成。信號之頻率有利地皆為次微波頻率，諸如在75 MHz至150 MHz之範圍內。在一些實施例中，信號產生器62可採取一電壓控制振盪器之形式。

信號產生器62經由定向耦合器66連接至信號墊52。定向耦合器66亦將信號墊52連接至信號分析器64。定向耦合器66以一習知方式作用以分離傳輸信號與接收信號，使得將傳輸信號自信號產生器62路由至信號墊52且將經接收信號路由至信號分析器64。亦可有利地放大經接收信號。應注意，可並非在全部實施例中皆需要定向耦合器66，且若需要則替代實施例可使用其他信號消除配置。

信號分析器64以一習知方式作用以將經接收信號R轉換為適於輸入至控制電路68之一形式，以提供關於經接收信號之一或多個參數之資訊。例如，信號分析器64可經組態以基於接收信號之信號強度改變其輸出電壓。

控制電路68隨時間追蹤經接收信號之信號強度。另外，控制電路68控制信號產生器62使得控制電路68知道信號S藉由信號墊52傳輸之頻率。因此，控制電路68能夠追蹤衰減對由信號墊52、材料10及反

射墊54形成之系統之頻率回應。基於經監測之衰減對頻率回應，控制電路68能夠判定系統之一共振頻率，其中共振頻率係測量頻帶內經接收信號之衰減最大(經接收信號之信號強度之一局部極小值)之頻率。例如，圖3展示經接收信號強度對頻率之一圖，其在約125 MHz處展示一明顯共振頻率。可使用任何適合計算技術(諸如連續小波變換)來從不同頻率處之信號強度測量值判定共振頻率。例如，控制電路可比較各個傳輸頻率處之經接收信號之功率，且藉由簡單識別對應頻率或若需要進一步頻率粒度則藉由採用適合插值法而將記錄經接收信號之一最小功率之頻率識別為共振頻率。接著，基於經判定共振頻率，控制電路68能夠判定材料之厚度及/或厚度改變。如此一來，控制電路68可比較經測量共振頻率與關於共振頻率對厚度之預儲存參考資訊。例如，控制電路68可存取實驗測量之共振頻率及對應厚度之一內部及/或外部查詢表。此一查詢表可表示共振頻率對材料厚度之關係，諸如圖4中所示。如可明白，可使用此圖之曲線以使用任何適合計算技術來從經判定共振頻率判定厚度。控制電路68可採取任何適合形式，諸如一經適合程式化之通用處理器、一ASIC、離散硬體組件或其等之任何組合。

應注意，控制電路68有利地經組態以諸如藉由可操作地連接至一適合短程(例如，BLUETOOTH、ZIGBEE、射頻識別(RFID)等)傳輸器/接收器61或藉由其他適合通信技術而將經判定材料厚度傳遞至(多個)其他裝置(例如，一車輛中央控制系統)。

進一步應注意，測量電路40之各個組件係由如所需可為集中式定位或分散式之一或多個電源(未展示)(諸如電池及/或電容器)及/或自由測量電路40之部分接收之射頻(RF)信號獲得之能量供電。

對於如上文論述之全部測量電路實施例，材料10可為均質的或非均質的且具有介電性質。因此，材料10可為均質的且視情況可具有

一外表面14，該外表面14中包括複數個凹部16，諸如界定一輪胎之花紋之凹部16。因而，在所測量之區域中，材料10之厚度可並非一單一均勻厚度，而是可為一複合值，諸如一平均厚度。材料10替代地可為非均質的，諸如具有完全或部分嵌入於一天然或合成「橡膠」基質20中之一鋼筋網或「帶」22之一習知「鋼帶」子午線輪胎10。非均質材料之組分之一或多者可為導電金屬材料(例如，鋼帶22)，而該等組分之至少另一組分係介電質(例如，橡膠20)。

參考圖5，測量厚度之一方法可藉由設定將藉由信號墊52傳輸信號S之一第一頻率(步驟210)而開始。第一頻率之此設定可經由控制電路68將適當指令/輸入發送至信號產生器62。接著，信號S由信號墊52傳輸(步驟220)，且在通過材料之後由反射墊54反射(步驟230)，且接著再次通過材料而在信號墊52處被接收為經反射信號R。應注意，雖然圖5中將步驟220及230展示為循序的，但此等步驟實際上係同時的(忽略可忽略的傳播延遲)。在步驟240，檢查當前時間間隔是否為最後間隔(或替代地當前傳輸頻率是否為最後頻率)。若為否，則程序藉由將信號供應至信號墊52之頻率調整為下一頻率(步驟250)而繼續，且返回至步驟220。若時間間隔/頻率係最後的，則程序繼續至其中判定共振頻率之步驟260。接著，基於經判定共振頻率判定材料之厚度(步驟270)。接著，程序可進行至選用步驟280，其中若適當則將經判定厚度供應至其他電子器件以進行後續處理及/或顯示。

使用一經安裝車輛輪胎(安裝在一車輪上之輪胎10)作為一例示性環境，測量電路40可安裝至輪胎10之內表面12，其中信號墊52及反射墊54鄰接輪胎10之內表面12。若將採用僅一單一測量電路40，則可有利地將(若干)適合平衡器(未展示)加至相關聯車輪及/或輪胎10，以使測量電路40之質量偏移而維持旋轉平衡。雖然可使用僅一單一測量電路40，但據信若採用多個測量電路40則係有利的，其中將對應感測器

總成50分散至輪胎10周圍的適合隔開位置。在一些實施例中，各感測器總成50可具有一對應專用控制電路68；在其他實施例中，感測器總成50可共用一或多個控制電路68及/或信號產生器62及/或信號分析器64，且可為時間多工的。例如，如圖6至圖7中所示，一種方法係利用連接至複數個感測器總成50、50'之一共同主電路60，有利地將複數個此等多感測器總成測量電路佈置於輪胎10周圍使其等彼此成隔開關係。主電路60包含控制電路68、信號產生器62、信號分析器64、定向耦合器66、本端傳輸器/接收器61及一A/B切換器69。感測器總成50及感測器總成50'經由A/B切換器69連接至主電路60，其等各自具有其等自身之信號墊52及反射墊54。A/B切換器69可用以在感測器總成50、50'之間切換使得可使用相同主電路60來判定兩個不同位置處之厚度而無需移動。當然，如所需，A/B切換器69代之可為一適合多工器/解多工器。此外，此多感測器總成測量電路方法可經擴展使得一單一主電路60連接至三個、四個或更多個感測器總成50且使用該等感測器總成50，而非僅圖6至圖7中所繪示之兩個感測器總成50、50'。

繼續將經安裝車輛輪胎10作為一例示性環境，在一些實施例中，測量電路40之部分可佈置於輪胎10外部，而非整個測量電路40佈置於輪胎10內部。在一項此實例中，感測器總成50可安裝至輪胎10之內表面，且一適合短程傳輸器/接收器裝置對(例如，一BLUETOOTH傳輸器/接收器對、一ZIGBEE傳輸器/接收器對、一RFID傳輸器/接收器對等)(未展示)插入於控制電路68與測量電路40之其餘部分之間，使得控制電路68安裝在一固定位置中(例如，在對應車輛輪胎上)，且經由中介無線鏈路與感測器總成50及測量電路40之其他部分通信。

或者，如圖8中所示，感測器總成50可額外地包含一第三墊56，該第三墊56安裝至輪胎10之內表面12且經佈置以與信號墊52及反射墊54重疊。在此一配置中，信號S由信號墊52傳輸、通過材料10、概念

上由第三墊56反射、往回通過材料10且由反射墊54反射，且反轉路徑而回至信號墊52。對於此一配置，測量電路40之主動組件佈置於輪胎10外部且因此可相對於輪胎10之旋轉軸11佈置於一角度固定位置中。或者，主動組件可放置於抵靠輪胎10之外表面14放置成與第三墊56相對之一手持式外殼32中以測量輪胎10之厚度。因此，測量裝置30可包含具有控制電路68、信號產生器62、信號分析器64、定向耦合器66以及信號墊52及反射墊54之外殼32；而第三墊56可附接至材料10之一相對表面(例如，輪胎10之內表面12)。在此一配置中，當外殼32鄰接材料10時，無需(但可有利地)藉由外殼32將信號墊52及反射墊54與材料10隔開。此係在判定材料之厚度時將信號墊52及反射墊54與材料10隔開之一實施例之一項實例。且如可明白，可存在定位於材料10上之適合位置處之多個第三墊56，使得可取得若干位置處之厚度測量值。

如上文提及，在一些實施例中，測量電路40可完全裝納於一適合外殼32中以製成一自含型可攜式測量裝置30。或者，測量電路40之部分可裝納於一外殼32中而將其他部分佈置於外殼32外部之材料10上或附近。在其他實施例中，測量電路40之部分可佈置於材料10上或附近之各個位置中，且安裝至材料10以隨其移動或實體上與材料10解耦合以容許一或多個自由度的相對移動(在無任何外殼32之情況下)。

上文論述大體上係在信號墊52及反射墊54或第三墊56之至少一者與厚度待判定之材料10之一表面接觸之內容背景中。雖然據信此一組態係有利的，但並不要求此一組態。實際上，在無第三墊56之一些實施例中，信號墊52及反射墊54兩者(及整個測量電路40)經佈置成與材料10成隔開關係。假定能夠可靠地重複信號墊52及反射墊54相對於材料表面之此間距以能夠比較一當前讀數與先前收集之資料，則來自反射墊54之信號強度應為材料厚度之一可靠指示符。對於運用永久附裝至材料10之「遠」表面之一第三墊56之實施例，信號墊52及反射墊

54可藉由觸碰材料之表面之一適合支座(諸如一手持式單元之一外殼32)或使信號墊52及反射墊54與相關聯於材料10之一參考點(諸如輪胎10之旋轉軸)保持一可重複距離之某一其他裝置(例如，一夾具)成與材料10之近表面隔開。

雖然上文論述大體上係在一輪胎10之內容背景中或至少使用一輪胎10作為一例示性材料10，但並不要求此。測量電路40可以測量多種材料(並非僅輪胎)之厚度。例如，在各項實施例中，測量電路40可用以測量具有至少一導電組分及至少一介電組分之任何非均質材料之厚度。類似地，在各項實施例中，測量電路40可用以測量至少部分介電且具有其中包括複數個凹部(諸如，凹槽、通道、突出部之間的區域及類似者)之一外表面之任何材料之厚度。

測量電路40可由習知離散組件形成。或者，測量電路40之一或多個部分可依類似於一RFID標籤之一方式由薄膜材料形成。此外，如所需，組件之一或多者可藉由採用奈米顆粒之一印刷程序而直接形成至材料之一表面上及/或至黏附至材料之表面之一適合基板上。

上文論述大體上係在測量在信號墊處接收之一經反射信號且基於經反射信號判定共振頻率之內容背景中。然而，在一些實施例中，可基於本身未反射之一經接收信號判定共振頻率。實際上，在一些實施例中，可視情況省略定向耦合器66，其中藉由直達線或以其他方式將第一墊52可操作地連接至信號產生器62且將第二墊54可操作地連接至信號分析器64。接著，信號分析器64將對在第二墊54處接收之信號進行操作，該信號由第一墊52傳輸且在於第二墊54處被接收之前通過材料10時衰減。接著，將基於此經接收信號而非由第二墊54反射且在第一墊52處接收之一信號判定共振頻率。如可明白，有利地採用適合預防措施(例如，消除混合器配置)來針對此等實施例消除誘發經傳輸信號與經接收信號之間的串擾之誤差。

當然，在不脫離本發明之本質特性之情況下，可依除本文中明確陳述之方式外之其他方式實行本發明。本發明實施例在全部方面應視為闡釋性的及非限制性的，且在隨附申請專利範圍之意義及等效範圍內之全部改變意欲包含於本文中。

**【符號說明】**

- 10 材料/輪胎
- 11 旋轉軸
- 12 輪胎之內表面
- 14 材料之外表面/輪胎之外表面
- 16 凹部
- 20 橡膠基質/橡膠
- 22 鋼帶
- 30 測量裝置
- 32 外殼
- 40 測量電路
- 50 感測器總成
- 50' 感測器總成
- 52 第一墊/信號墊
- 54 第二墊/反射墊
- 56 第三墊
- 60 主電路
- 61 傳輸器/接收器
- 62 信號產生器
- 64 信號分析器
- 66 定向耦合器
- 68 控制電路
- 69 A/B切換器

210 步驟

220 步驟

230 步驟

240 步驟

250 步驟

260 步驟

270 步驟

280 步驟

R 信號

S 信號

## 申請專利範圍

1. 一種判定一材料之一厚度之方法，該方法包括：
  - 自一第一墊傳輸一振盪信號；其中依隨時間變化之一頻率傳輸該信號使得在對應時間間隔內依複數個頻率傳輸該信號；
  - 使該信號通過該材料，其中該材料係一非均質材料；
  - 在該信號已通過該材料之後在一第二墊處反射該信號，該第二墊經佈置成與該第一墊成隔開關係且與其電隔離；
  - 在該第一墊處接收該經反射信號；
  - 基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該材料；
  - 基於該共振頻率判定該材料之該厚度。
2. 如請求項1之方法，其中該第一墊及該第二墊經佈置成彼此接近且相對於該材料在一相同側上。
3. 如請求項1之方法，其中該複數個頻率皆為次微波頻率。
4. 如請求項1之方法，其中該傳輸包括用該信號掃掠一頻帶。
5. 如請求項1之方法，其中該材料包括嵌入於一介電材料中之金屬。
6. 如請求項5之方法，其中該材料包括一車輛輪胎之一部分，且其中該金屬包括用於該車輛輪胎之一鋼筋網。
7. 如請求項1之方法，其中該材料在其經佈置成與該第一墊及該第二墊相對之一表面上具有複數個凹部。
8. 一種判定一材料在大體上相對佈置之第一表面與第二表面之間的一厚度之方法，該方法包括：
  - 自一第一墊傳輸一振盪信號；其中依隨時間變化之一頻率傳輸該信號使得在對應時間間隔內依複數個頻率傳輸該信號；

使該信號通過該材料，其中該材料之該第二表面中包括複數個凹部；

在該信號已通過該材料之後在一第二墊處反射該信號，該第二墊經佈置成與該第一墊成隔開關係且與其電隔離；

在該第一墊處接收該經反射信號；

基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該材料；

基於該共振頻率判定該材料之該厚度。

9. 如請求項8之方法，其中該第一墊及該第二墊經佈置成彼此接近且相對於該材料在一相同側上。

10. 如請求項8之方法，其中該複數個頻率皆為次微波頻率。

11. 如請求項8之方法，其中該傳輸包括用該信號掃掠一頻帶。

12. 如請求項8之方法，其中該材料包括嵌入於一介電材料中之金屬。

13. 如請求項12之方法，其中該材料包括一車輛輪胎之一部分，且其中該金屬包括用於該車輛輪胎之一鋼筋網。

14. 一種輪胎總成，其包括：

一輪胎，其包括一介電材料及嵌入於該介電材料中之一金屬材料；該輪胎具有一內表面及經佈置而大體上與該內表面相對之一外表面；

一第一導電墊，其經組態以在對應時間間隔期間依複數個頻率傳輸一振盪信號；

一第二導電墊，其經組態以在該信號已通過該輪胎之後反射該信號；該第二墊經佈置成與該第一墊成隔開關係且與其電隔離；

其中該第一墊進一步經組態以接收該經反射信號；

一處理電路，其通信地連接至該第一墊且經組態以：

基於該經接收信號判定一系統之一共振頻率；該系統包括該第一墊、該第二墊及該輪胎；

基於該共振頻率判定該輪胎之一局部厚度。

15. 如請求項14之輪胎總成，其中該輪胎之該外表面包括複數個凹部。
16. 如請求項14至15中任一項之輪胎總成，其中該第一墊及該第二墊經佈置成與該輪胎之該外表面相比更靠近該內表面。
17. 如請求項14至15中任一項之輪胎總成，其中該第一墊及該第二墊經佈置成彼此大致平行。
18. 如請求項14至15中任一項之輪胎總成，其中該處理電路經組態以藉由查閱參考值之一查詢表而基於該共振頻率判定該局部厚度。
19. 如請求項14至15中任一項之輪胎總成，其中該處理電路安裝至該輪胎。
20. 如請求項14至15中任一項之輪胎總成：

其中該第一墊及該第二墊包括一第一感測器總成；

其進一步包括經佈置成與該第一感測器總成成隔開關係之一第二感測器總成；該第二感測器總成經組態以在與該第一感測器總成隔開之一位置處判定該輪胎之一局部厚度。

圖式

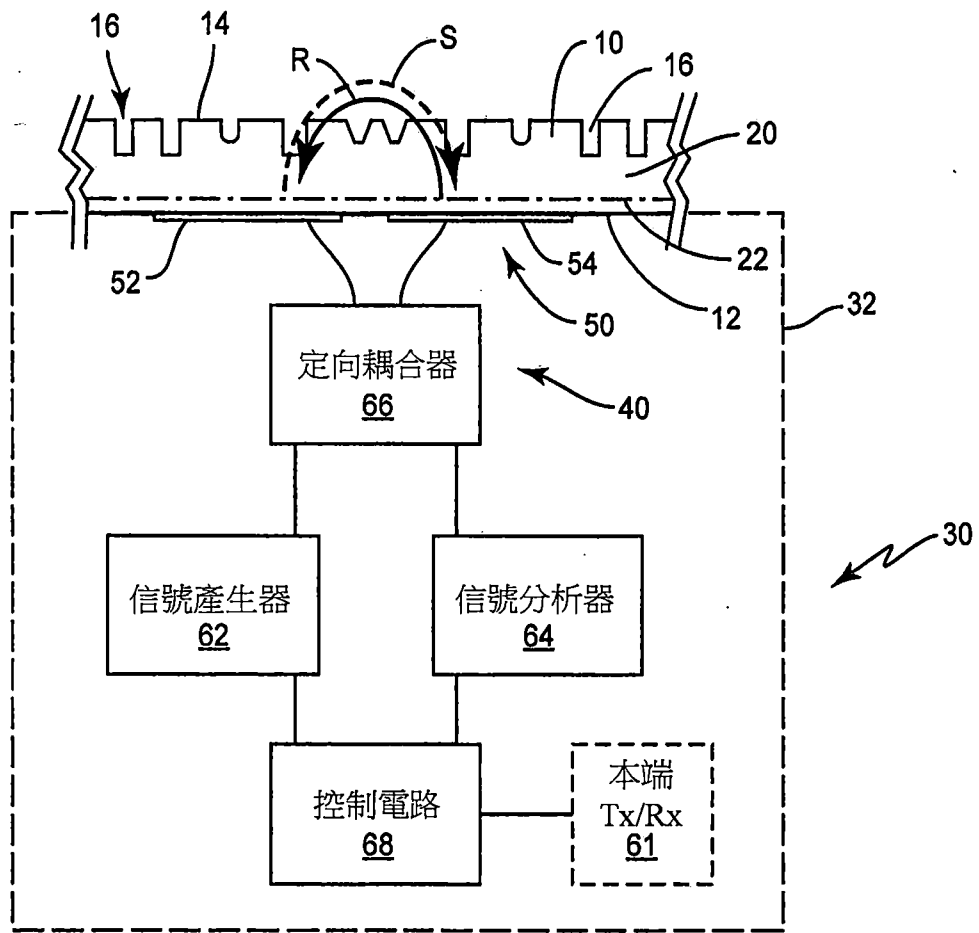


圖 1

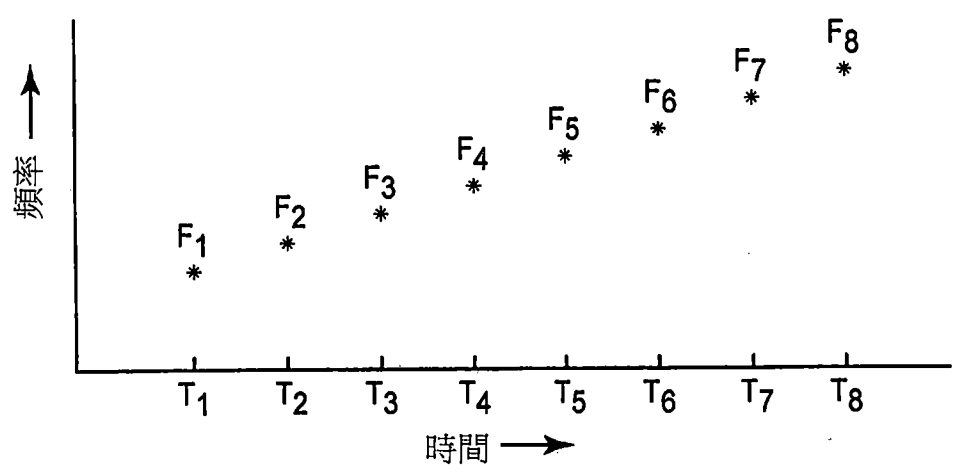


圖 2

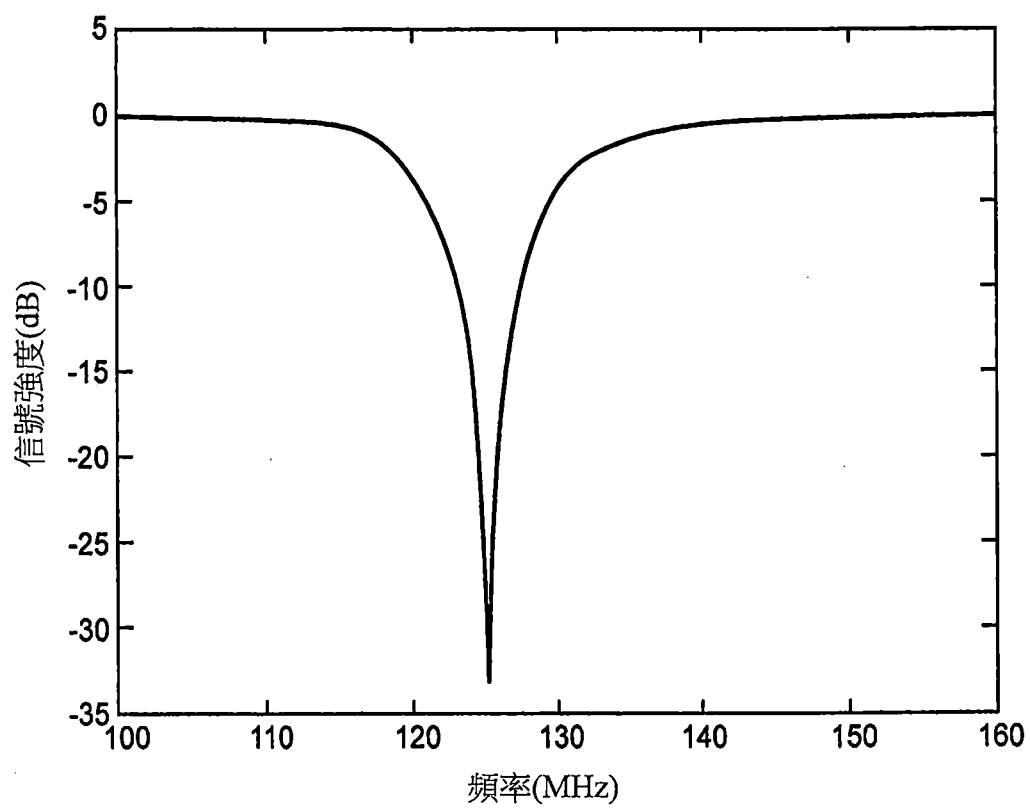


圖 3

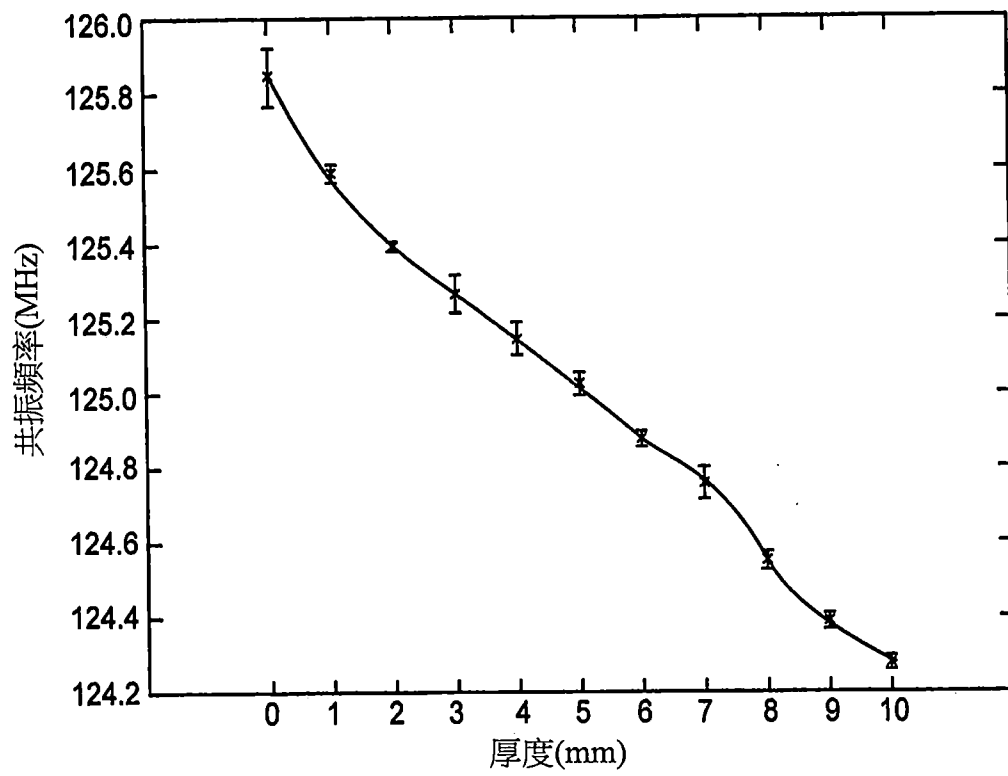


圖 4

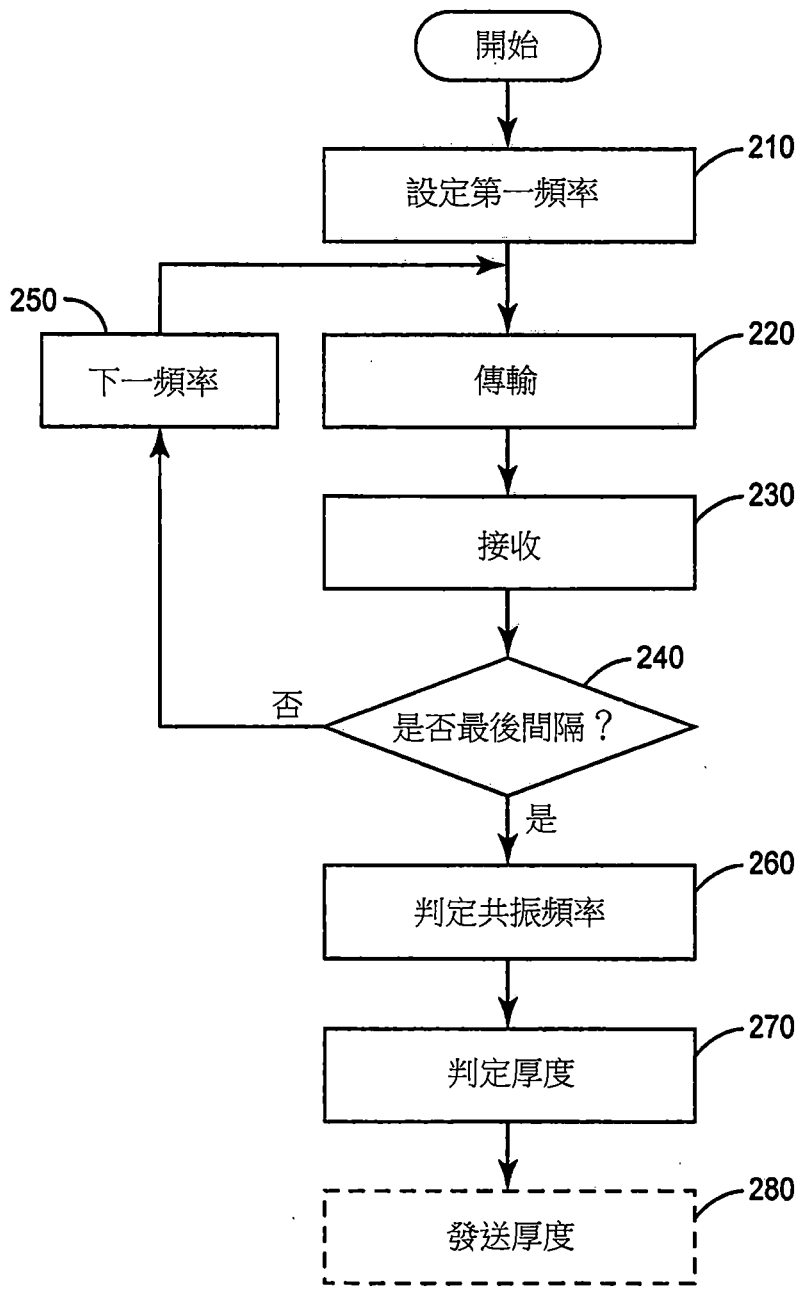


圖 5

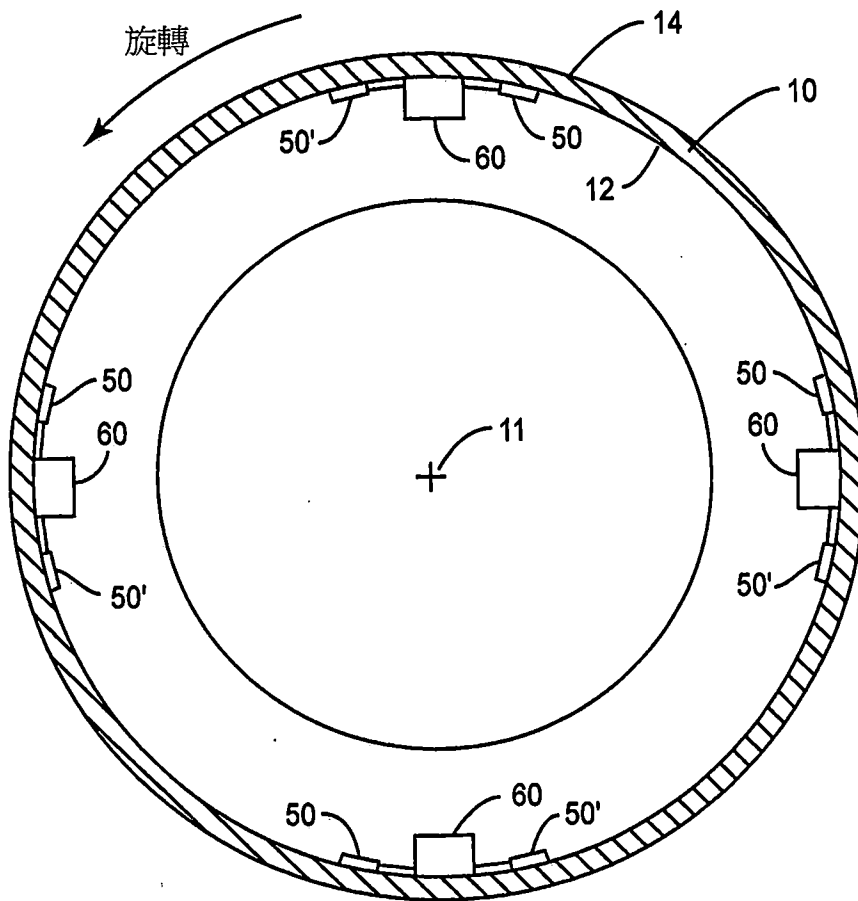


圖 6

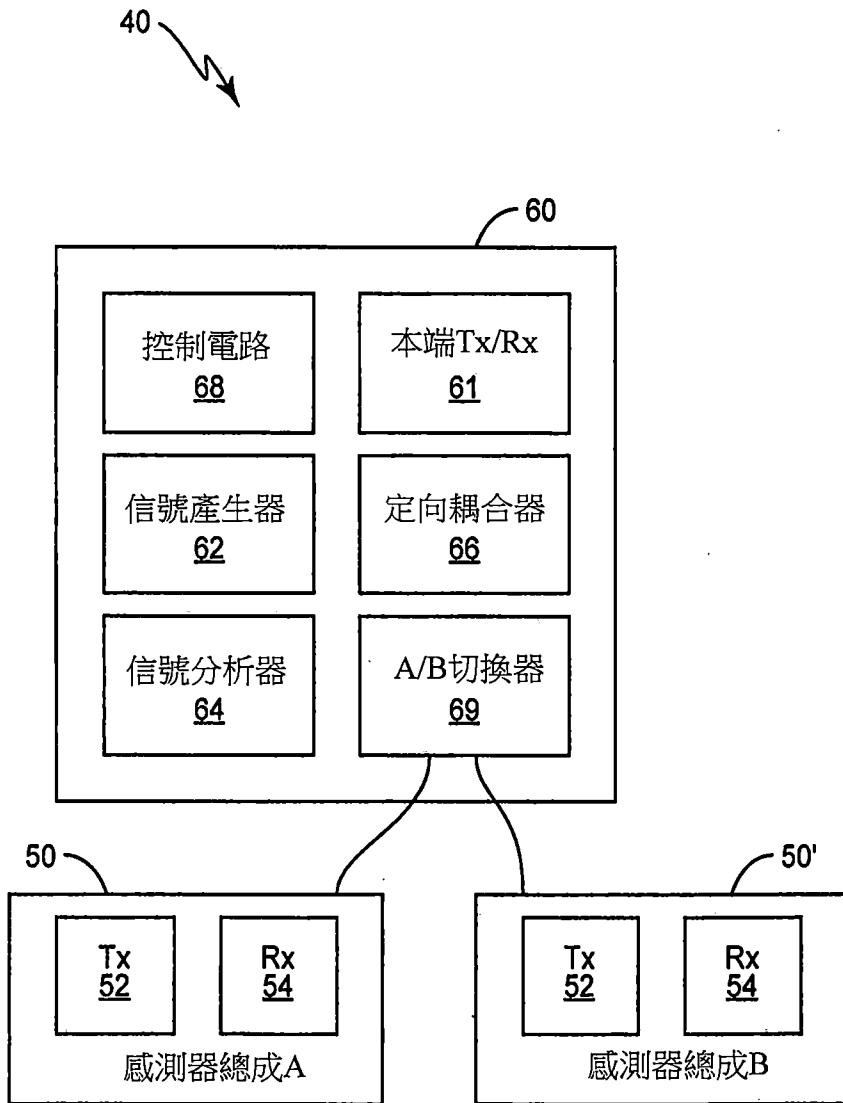


圖 7

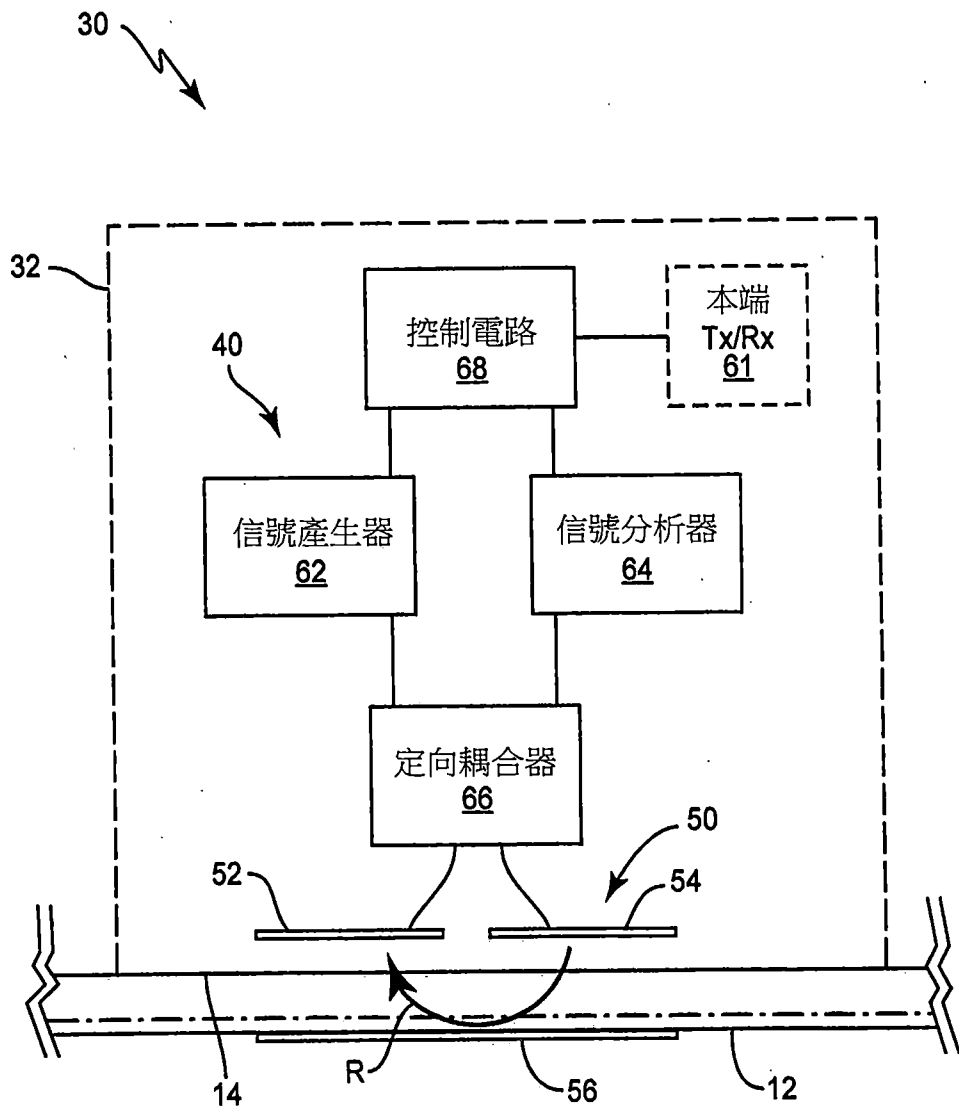


圖 8