

(21)申請案號：099145778

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 12 月 24 日

(51)Int. Cl. : **G01D5/20 (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：吳松岳 WU, SUNG YUEH (TW) ; 徐文祥 HSU, WEN SYANG (TW)

(74)代理人：林火泉

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：16 項 圖式數：9 共 21 頁

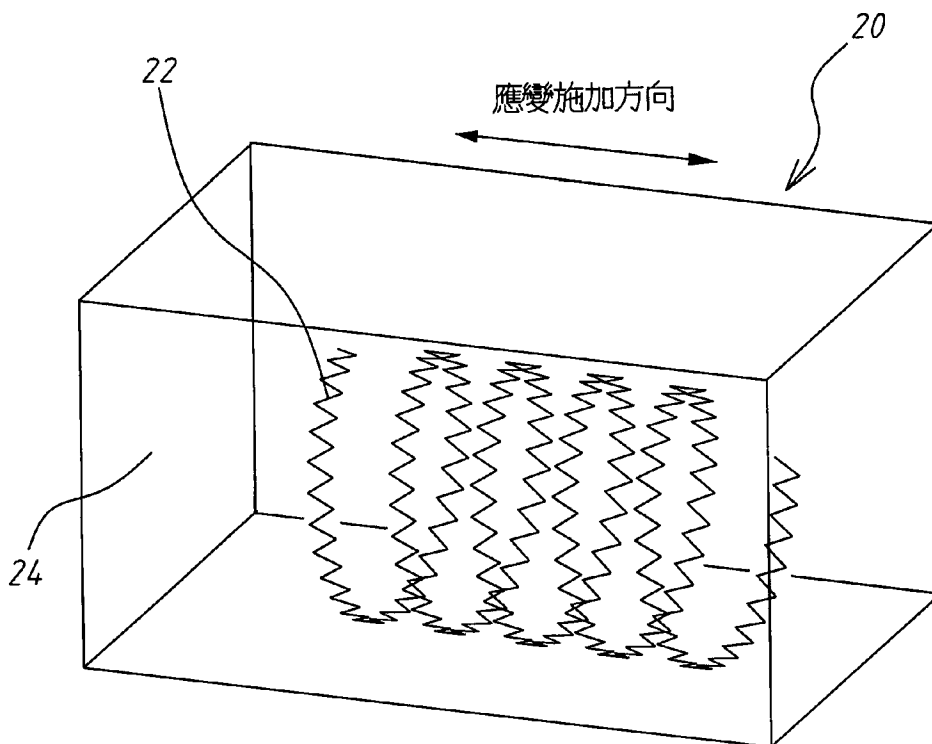
(54)名稱

應變感測裝置

STRAIN SENSOR DEVICE

(57)摘要

本發明係揭露一種應變感測裝置，其特徵在於電感的設計為包覆式蜿蜒狀螺旋電感。此電感是以蜿蜒狀之導線纏繞成螺旋線圈，具有較低的徑向剛性，並外加適當高蒲松比包覆材料，當此包覆式電感受到軸向應變時，不僅可使得螺旋線圈的長度改變，同時可使螺旋線圈有較大的截面積變化，因此本發明可增加電感值或電感電容迴路共振頻率的變化量，提升此應變感測的靈敏度。



20：應變感測裝置

22：螺旋電感線圈

24：包覆材料

# 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： PP145778

※申請日： 99.12.24

※IPC 分類： G01D 5/20 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

應變感測裝置 / STRAIN SENSOR DEVICE

## 二、中文發明摘要：

本發明係揭露一種應變感測裝置，其特徵在於電感的設計為包覆式蜿蜒狀螺旋電感。此電感是以蜿蜒狀之導線纏繞成螺旋線圈，具有較低的徑向剛性，並外加適當高蒲松比包覆材料，當此包覆式電感受到軸向應變時，不僅可使得螺旋線圈的長度改變，同時可使螺旋線圈有較大的截面積變化，因此本發明可增加電感值或電感電容迴路共振頻率的變化量，提升此應變感測的靈敏度。

## 三、英文發明摘要：

The present invention discloses a strain sensor device. The device of the present invention is characterized in that a new strain sensor with an encapsulated serpentine helical inductor. The helical coils of the inductor are formed by serpentine wires to reduce the radial rigidity. Also the inductor is encapsulated by proper material with high Poisson's ratio. When an axial deformation is applied to this encapsulated inductor, the cross-sectional area of the helical coils will have more evident change due to low radial rigidity. Therefore, the change of inductance or LC resonant frequency can be enhanced in the invention to provide better sensitivity of the LC strain sensor.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 2 ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

20 應變感測裝置

22 螺旋電感線圈

24 包覆材料

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種被動式無線應變感測器 (passive and wireless strain sensor) 技術，特別是關於一種高靈敏度之電感電容迴路式或電感式應變感測裝置。

### 【先前技術】

無線技術目前已廣泛的應用於人類的生活中，未來超低功率無線收發器 (Ultra-Low-Power Wireless Transceiver) 更是無線前端電路發展的新趨勢，被動式元件即為其中一種；此外，以大量無線裝置來組成的無線感測器技術 (Wireless Sensor) 也將為人們生活上帶來更多的便利。

被動式感測器因其內部沒有主動電子元件，主要是靠被動元件的共振來操作，因此不會耗電。沒有線材之牽絆，使得感測器之安裝位置更為彈性，且因被動式的無線感測器無須安裝電池來提供電能，僅需在量測時再從外面無線傳輸能量即可作動，這不僅可以節省電池的成本，更可運用於不適合裝設電池的環境中。在被動式感測器中，電感電容迴路式感測器係利用電容或電感受外界物理量或化學量影響而改變後，進而影響到電感電容迴路之共振頻率，以藉此感知感測端所受到的應變。

電感電容迴路式應變感測器的運作原理係利用電感電容迴路受到應變後會改變此迴路之共振頻率，而共振頻率的改變可以有兩個來源，一為電感  $L$ ，一為電容  $C$ 。一般螺旋電感 10 如第 1 圖所示，其電感值會與螺旋電感 10 的分佈長度  $l$ 、螺旋截面積  $A$ 、電感圈數  $N$  有關，其關係如下列方程式(1)所示：

$$L = k \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{l} \quad (1)$$

其中， $k$  為 Nagaoka 係數， $\mu_r$  為周圍空間的相對導磁率， $\mu_0$  為真空中的導磁係數。若沿著軸向對其施加拉伸應變，會使得分佈長度  $l$  增加；同時若在導線長度固定下，螺旋截面積  $A$  亦會縮小，分佈長度  $l$  增加與螺旋截面積  $A$  的縮小皆會使電感值降低。然而，現有電感線圈 10 的截面積變化的程度有限，導致感測靈敏度亦相對受到限制。

在習知技術中，大部分皆是利用電容來感測外界的物理量或化學量變化，利用電感來偵測外界環境變化的設計較少，例如美國專利 US 5,194,806，此專利前案係利用一薄型螺旋電感中心設置一磁性材料，當此磁性材料受外力導致產生應變時，磁性材料之導磁能力會變化，進而影響外圍電感所帶有之電感值；此前案雖利用電感來偵測應變，但電感幾何形狀上並沒有特殊設計，與本案所用手法不同，且此磁性材料卻存在難以製作及取得之缺失。另外，美國專利 US 7,498,802，則提出一種由複數電感迴圈及機械連接電感迴圈之轉軸所組成，其電感隨著周圍感測材料之變形而使其電感間之距離改變，進而影響其電感值，並可據此原理來做為感測器使用；其設計並未利用到電感之徑向變形，在靈敏度提升上受到限制。

有鑑於此，本發明遂提出一種應變感測裝置，以改良前述缺失，並改善傳統電感受到應變時，其變形使電感值變化之靈敏度不高的問題。

### 【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種應變感測裝置，其係利用包覆式螺旋電感的作用，增加電感值或是電感電容迴路共振頻率的變化量，以有效提高應變感測的靈敏度。

本發明之另一目的係在提供一種應變感測裝置，其係使電感可隨環境應變而具有更明顯的變化，對提升共振頻率變化量之效果更佳，更可同時應用於拉應變與壓應變之感測。

為達到上述目的，本發明之應變感測裝置係包括有一螺旋電感線圈，其係以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒，以形成螺旋狀結構，且螺旋電感線圈本身之線圈係為一連續彎折線圈，例如連續螺旋狀、連續鋸齒狀或連續波浪狀的彎折線圈；並有一高蒲松比（Poisson's ratio）之包覆材料係完全或部份包覆螺旋電感線圈。

另外，更可利用一電容元件，電性連接螺旋電感線圈，以作為電感電容迴路式應變感測裝置。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

### 【實施方式】

由於習知之電感電容迴路式應變感測器使用的螺旋電感的截面積變化程度有限，且僅限於感測單一方向應變之場合，例如只有壓縮或拉伸。有鑑於此，本發明即利用包覆式螺旋電感的作用，增加截面積的變化量，進而增加電感值或是電感電容迴路共振頻率的變化量，以有效提高應變感測的靈敏度。

第2圖為本發明之一實施例的結構示意圖，第3圖為第2圖之側視圖，請同時參閱第2圖及第3圖所示，本發明之應變感測裝置20係包含有一螺旋電感線圈22，其係以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒，以形成螺旋狀結構，螺旋之軸向係與感測之應變方向平行，其中此螺旋電感線圈22本身即為一

連續彎折線圈，本圖式實施例乃為如圖所示之連續鋸齒狀彎折線圈；並有一高蒲松比之包覆材料 24 係至少包覆此螺旋電感線圈 22 之周圍，由於包覆材料 24 具有提供螺旋電感線圈 22 截面積變化的變形能力，因此包覆材料 24 只要至少包覆部份螺旋電感線圈 22 便可有其功效在，當然亦可完整包覆住整個螺旋電感線圈 22，圖中所示之包覆材料 24 即包覆整個螺旋電感線圈 22；且包覆材料 24 的蒲松比愈高愈好，例如，聚雙甲基矽氧烷（poly-dimethylsiloxane，PDMS）、矽膠、橡膠、塑膠、黏土、混泥土、壓克力、聚亞醯胺（polyimide）、鐵氟龍、乳膠、聚氯乙炔（PVC）或聚丙烯（PP）等，以有效的將應變施加方向的應變趨勢轉換到徑向上，進而協助螺旋電感線圈 22 截面積變化。

其中，上述之螺旋電感線圈 22 本身係為連續鋸齒狀彎折線圈，然後再以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒形成螺旋狀結構，此部份可同時參酌第 4 圖於製作蜿蜒狀螺旋電感線圈之各步驟的結構示意圖，當更清楚此技術特徵。首先如第 4 圖(a)所示，先提供一直線金屬線 26，然後將此直線金屬 26 先彎折成如第 4 圖(b)所示之連續鋸齒狀彎折線 28，最後如第 4 圖(c)所示，將連續鋸齒狀彎折線 28 以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒成螺旋狀結構以形成本發明之螺旋電感線圈 22。

本發明在包覆材料 24 延著圖中之應變施加方向受一拉伸應變時，不僅僅會影響螺旋電感線圈 22 的分佈長度，更因為包覆材料 24 的高蒲松比之特性，其徑向變形會促進螺旋電感線圈 22 之截面積的縮小，藉此來增加電感值的變化量。再者，螺旋電感線圈 22 的徑向剛性必須愈低愈好，方能在包覆材料 24 受應變後對其延著徑向施力使電感的截面積變化程度較大。如

圖中所示之螺旋電感線圈 22 的連續鋸齒狀彎折線圈來搭配包覆材料 24，連續鋸齒狀彎折線圈之形狀整體上為螺旋型，延著螺旋行進方向更帶有在切面方向上的蜿蜒，藉此增加導線長度來降低螺旋電感線圈的徑向剛性，同時其多處之蜿蜒亦可降低螺旋電感線圈之徑向剛性。

本發明使用之螺旋電感線圈 22 除了如第 2 圖所示之連續鋸齒狀彎折線圈之外，更可有其他不同的連續彎折線圈的彎折形狀。如第 5 圖所示，應變感測裝置 20 係具有一波浪狀螺旋電感線圈 30，其本身係為一連續波浪狀彎折線圈，且此波浪狀螺旋電感線圈 30 亦以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒，以形成螺旋狀結構，並在此波浪狀螺旋電感線圈 30 之內、外側周圍包覆包覆材料 24，除了線圈本身彎折形狀不同之外，其餘結構與作用皆與第 2 圖所示之實施例相同，故於此不再贅述。又再如第 6 圖及第 7 圖所示之雙重螺旋電感線圈 32 來搭配包覆材料 24，雙重螺旋電感線圈 32 之整體形狀不僅僅是螺旋型，其本身亦為一連續螺旋狀彎折線圈，即導線更延著螺旋行進方向帶有螺旋路徑之蜿蜒，藉此可增加其導線長度來降低螺旋電感之徑向剛性，同時其連續之螺旋彎曲亦可降低螺旋電感之徑向剛性。

承前所述，本發明之螺旋電感線圈不管是使用連續鋸齒狀彎折線圈、連續波浪狀彎折線圈或是連續螺旋狀彎折線圈等，皆可同時應用於拉應變與壓應變之感測。詳言之，請同時參考前述之方程式(1)，本發明之螺旋電感線圈沿其應變施加方向施以一拉伸應變，便會造成其分佈長度  $l$  的增加，同時包覆材料的截面積亦會縮小而造成螺旋線圈的截面積  $A$  縮小，分佈長度  $l$  的增加與截面積  $A$  的縮小皆會造成電感值的減小。此外，若本發明之螺旋電感線圈受到一壓縮應變，便會造成其分佈長度  $l$  的減小，同時包覆材料



的截面積亦會增加而造成螺旋線圈的截面積  $A$  的擴大，分佈長度  $l$  的減小與截面積  $A$  的擴大皆會造成電感值的增加。

前述之範例僅是利用電感值的變化來改變共振頻率，而改變共振頻率可以有二個來源，一是電感，另一則是電容；在此，係提出一種同時運用電感和電容組成之電感電容迴路式應變感測裝置。如第 8 圖所示，此應變感測裝置 20 係包含有一螺旋電感線圈 22，在此係使用與第 2 圖相同的線圈為例，亦即此螺旋電感線圈 22 本身即為一連續鋸齒狀彎折線圈，當然除此之外，亦可使用其他形狀之連續彎折線圈。並以一高蒲松比之包覆材料 24 包覆住整個螺旋電感線圈 22 周圍，以提供螺旋電感線圈 22 截面積變化的變形能力；其中，螺旋電感線圈 22 及其周圍之包覆材料 24 係構成一個包覆式螺旋電感。在包覆材料 24 外側面設置一電容元件，其係為梳狀薄膜電容 34，梳狀薄膜電容 34 利用導線 36 電性連接至螺旋電感線圈 22，使梳狀薄膜電容 34 與包覆式螺旋電感組成一個電感電容迴路。

請一併參考前述之方程式(1)，此包覆式螺旋電感沿其應變施加方向施以一拉伸應變，會造成其分佈長度  $l$  的增加，同時包覆材料的截面積亦會縮小而造成螺旋線圈的截面積  $A$  縮小，分佈長度  $l$  的增加與截面積  $A$  的縮小皆會造成電感值的減小；同時拉伸應變會造成梳狀薄膜電容的梳狀結構的每個間距都被拉大，因此會造成電容值的縮小，電感值的減小與電容值的減小都有助於共振頻率的增加。此外，若此包覆式螺旋電感受到一壓縮應變，便會造成其分佈長度  $l$  的減小，同時包覆材料的截面積亦會增加而造成螺旋線圈的截面積  $A$  的擴大，分佈長度  $l$  的減小與截面積  $A$  的擴大皆會造成電感值的增加；同時壓縮應變會造成梳狀薄膜電容的梳狀結構的每個間

距都被壓小，因此會造成電容值的增加，電感值的增加與電容值的增加都有助於共振頻率的減少。

第 9 圖為本發明之包覆式鋸齒狀螺旋電感與未包覆之傳統螺旋電感分別搭配電容元件所形成之迴路進行實驗的結果示意圖。其中搭配的電容元件係使用 15pF，螺旋電感分佈長度  $l$  為 83.0 釐米 (mm)，直徑為 11 mm，線材是線徑 0.1 mm 之漆包線，圈數為 36.5 圈，鋸齒狀之蜿蜒振幅為 0.5 mm，蜿蜒波長為 1 mm，而包覆材料為聚雙甲基矽氧烷 (Poly-dimethylsiloxane, PDMS)，其量測結果如圖所示，鋸齒狀螺旋電感線圈搭配包覆材料之靈敏度 (每單位應變產生的共振頻率變化百分比) 為未包覆之傳統螺旋電感的 1.78 倍。顯示包覆式與蜿蜒狀電感設計確實可以有效增加感測靈敏度。

其中，不管是上述第 2 圖所示之電感應變感測裝置或是第 8 圖所示之應變感測裝置電感電容迴路，本發明更可在螺旋電感線圈的內側中心位置設置有一導磁材料，如鐵、鈷、鎳或此三種元素所組成之材料，以提高螺旋電感線圈之感測效果。

因此，本發明係利用包覆式螺旋電感的作用，使電感可隨環境應變而具有更明顯的變化，增加電感值或是電感電容迴路共振頻率的變化量，以有效提高應變感測的靈敏度，更可同時應用於拉應變與壓應變之感測，應用更為廣泛。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修

飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

**【圖式簡單說明】**

第 1 圖為一般螺旋電感的結構示意圖。

第 2 圖為本發明之一實施例的結構示意圖。

第 3 圖為第 2 圖之側視圖。

第 4 圖為本發明於製作蜿蜒狀螺旋電感線圈的各步驟結構示意圖。

第 5 圖為本發明之另一實施例的結構示意圖。

第 6 圖為本發明之再一實施例的結構示意圖。

第 7 圖為第 6 圖之側視圖。

第 8 圖為本發明為電感電容迴路式應變感測裝置的一實施例結構示意圖。

第 9 圖為本發明之包覆式鋸齒狀螺旋電感與未包覆之傳統螺旋電感分別搭配電容元件所形成之迴路進行實驗的結果示意圖。

**【主要元件符號說明】**

- 10 螺旋電感
- 20 應變感測裝置
- 22 螺旋電感線圈
- 24 包覆材料
- 26 直線金屬線
- 28 連續鋸齒狀彎折線
- 30 波浪狀螺旋電感線圈
- 32 雙重螺旋電感線圈
- 34 梳狀薄膜電容



七、申請專利範圍：

1. 一種應變感測裝置，包括：

一螺旋電感線圈，其係以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒，以形成螺旋狀結構，且該螺旋電感線圈本身為一連續彎折線圈；以及  
一高蒲松比之包覆材料，其係至少包覆該螺旋電感線圈之周圍。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，更包括一導磁材料，係設置於該螺旋電感線圈之內側中心位置。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續螺旋狀彎折線圈。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續鋸齒狀彎折線圈。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續波浪狀彎折線圈。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，其中該包覆材料係為聚雙甲基矽氧烷、矽膠、橡膠、塑膠、黏土、混泥土、壓克力、聚亞醯胺、鐵氟龍、乳膠、聚氣乙烯或聚丙烯。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，其中該包覆材料更可完全包覆該螺旋電感線圈。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之應變感測裝置，更包括一電容元件，電性連接該螺旋電感線圈。

9. 一種電感電容迴路式應變感測裝置，包括：

至少一螺旋電感線圈，其係以螺旋半徑沿螺旋行進方向蜿蜒，以形成螺

旋狀結構，且該螺旋電感線圈本身為一連續彎折線圈；

一高蒲松比之包覆材料，其係至少包覆該螺旋電感線圈之周圍；以及至少一電容元件，電性連接該螺旋電感線圈。

10.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，更包括一導磁材料，係設置於該螺旋電感線圈之內側中心位置。

11.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續螺旋狀彎折線圈。

12.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續鋸齒狀彎折線圈。

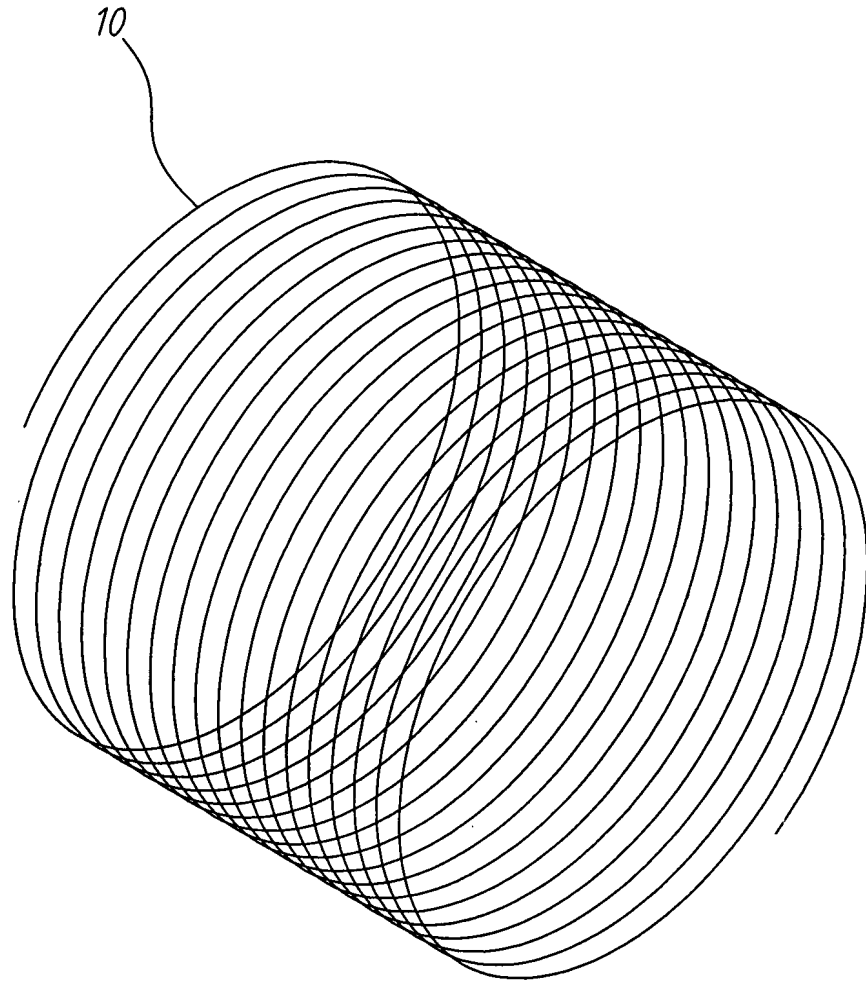
13.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該連續彎折線圈係為一連續波浪狀彎折線圈。

14.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該包覆材料係為聚雙甲基矽氧烷、矽膠、橡膠、塑膠、黏土、混泥土、壓克力、聚亞醯胺、鐵氟龍、乳膠、聚氣乙烯或聚丙烯。

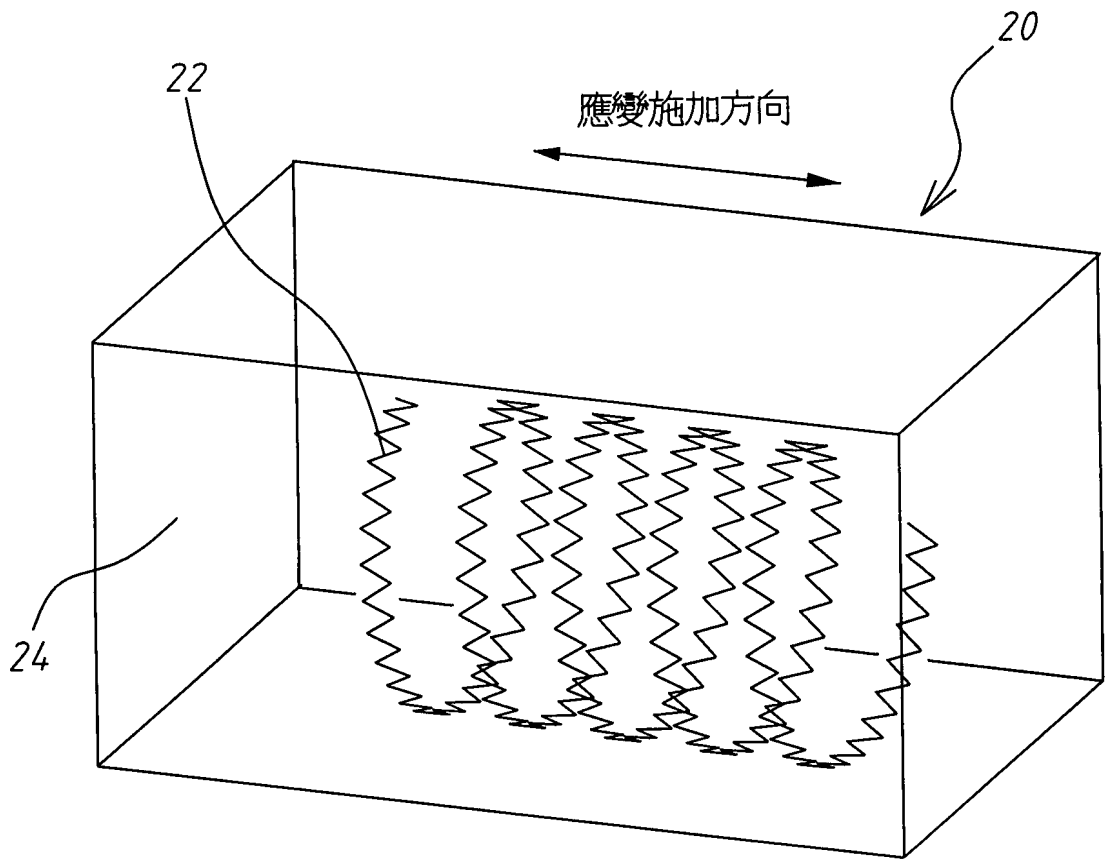
15.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該包覆材料更可完全包覆該螺旋電感線圈。

16.如申請專利範圍第9項所述之電感電容迴路式應變感測裝置，其中該電容元件係為梳狀薄膜電容。

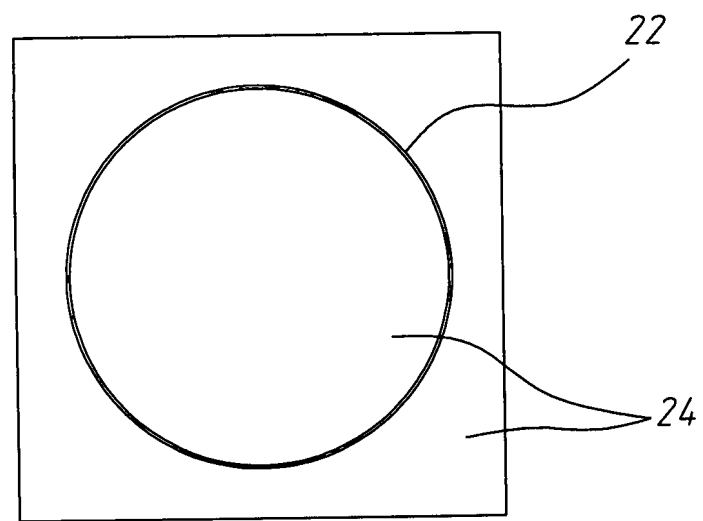
八、圖式：



第 1 圖

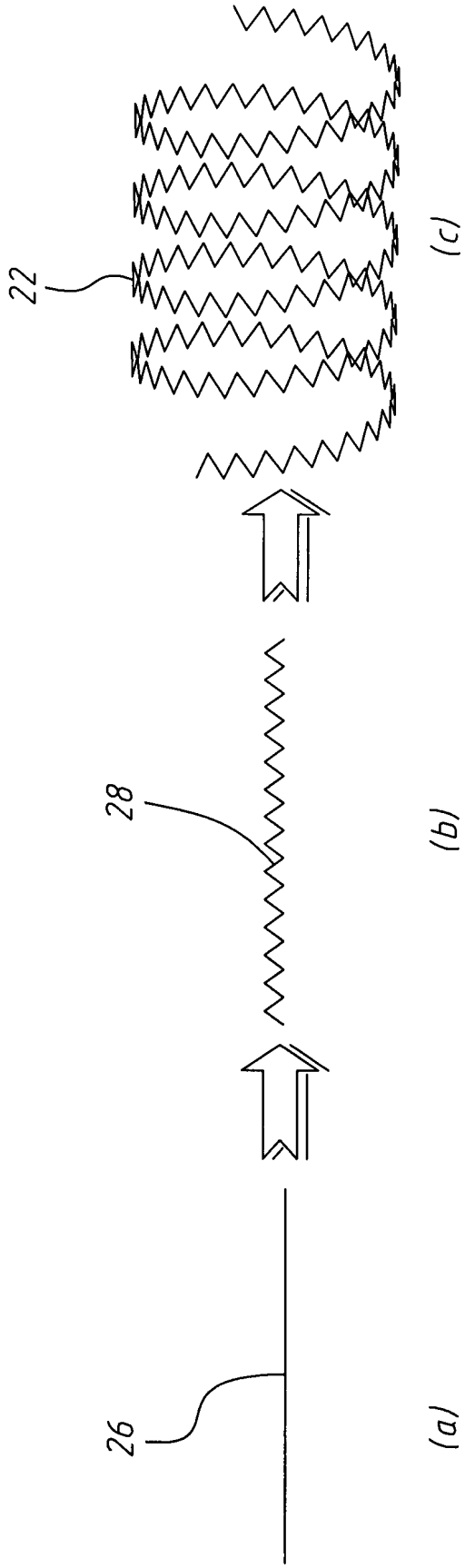


第 2 圖

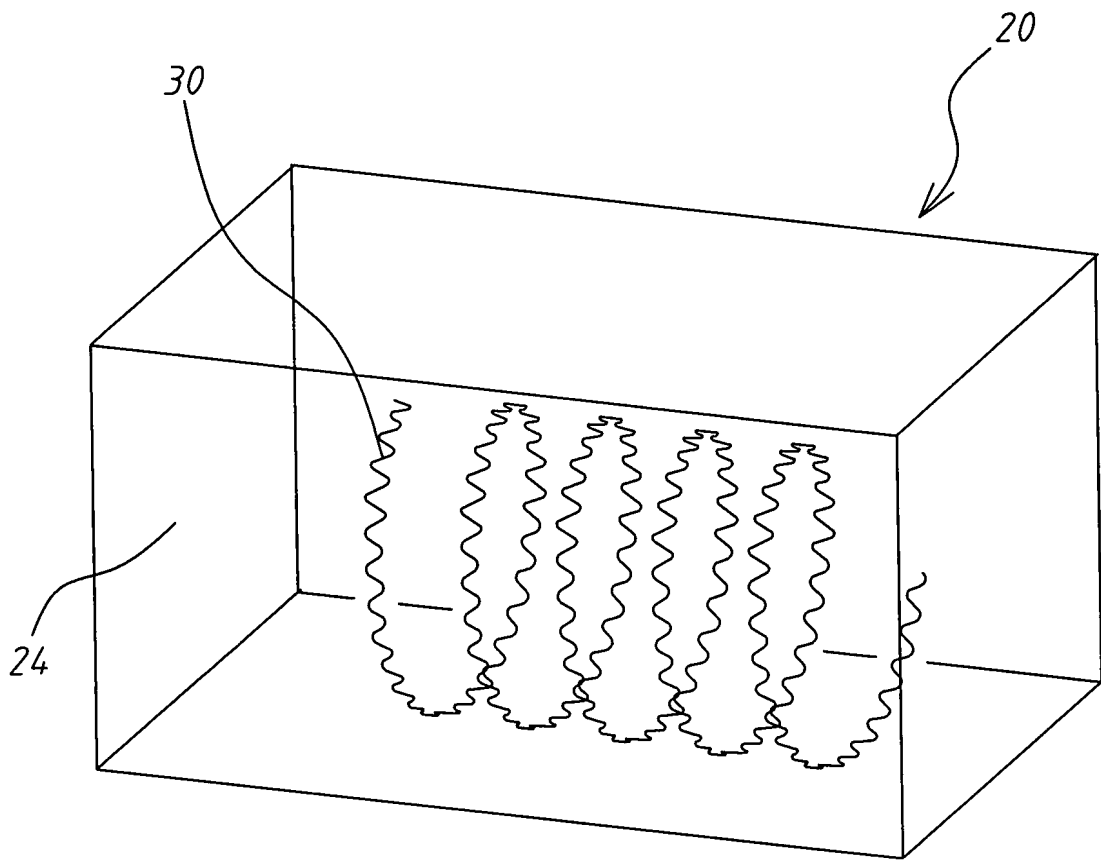


第 3 圖

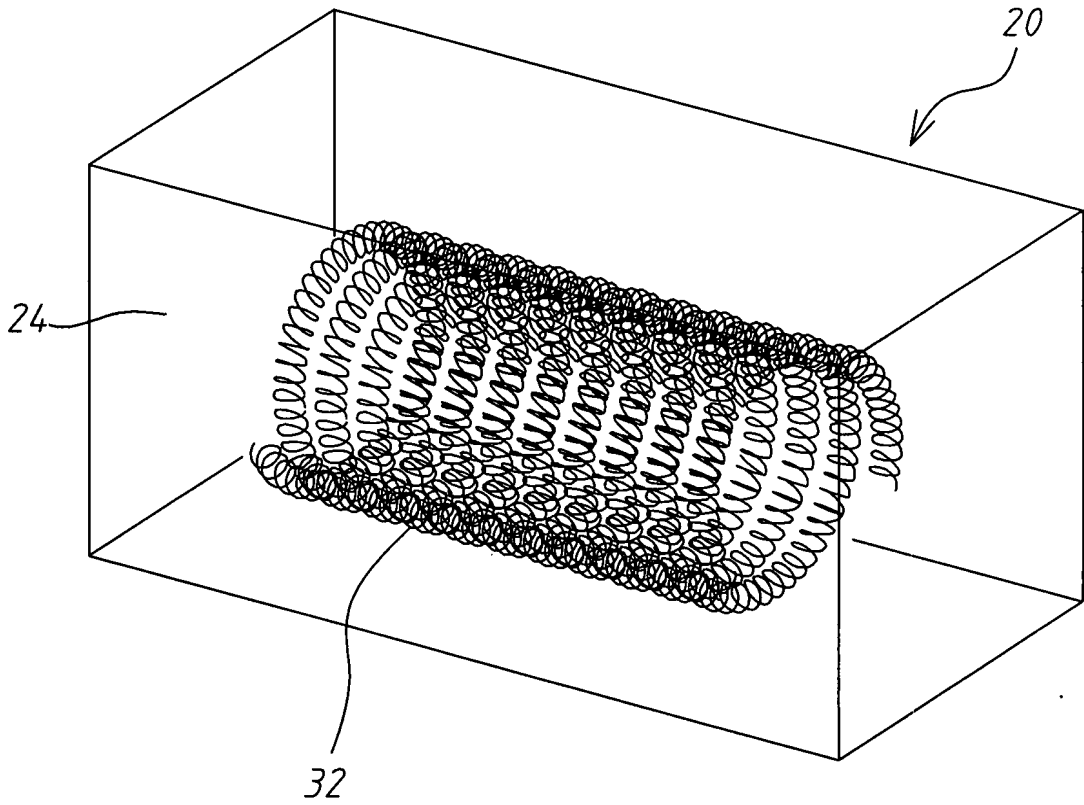




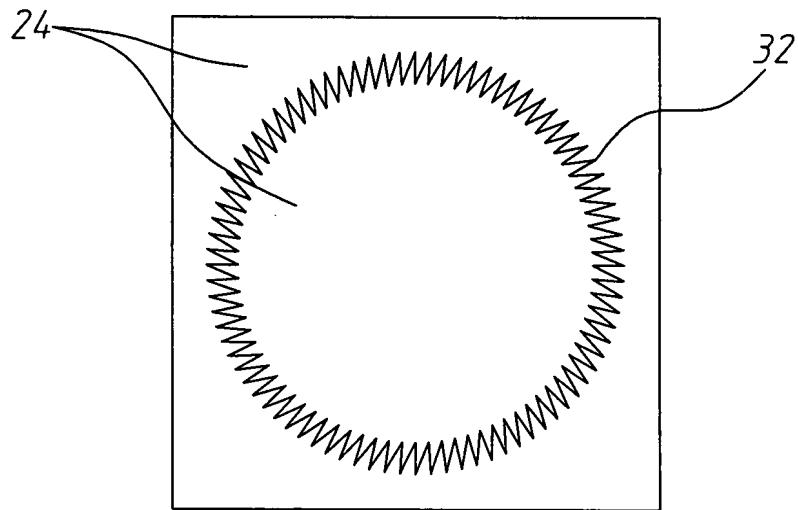
第 4 圖



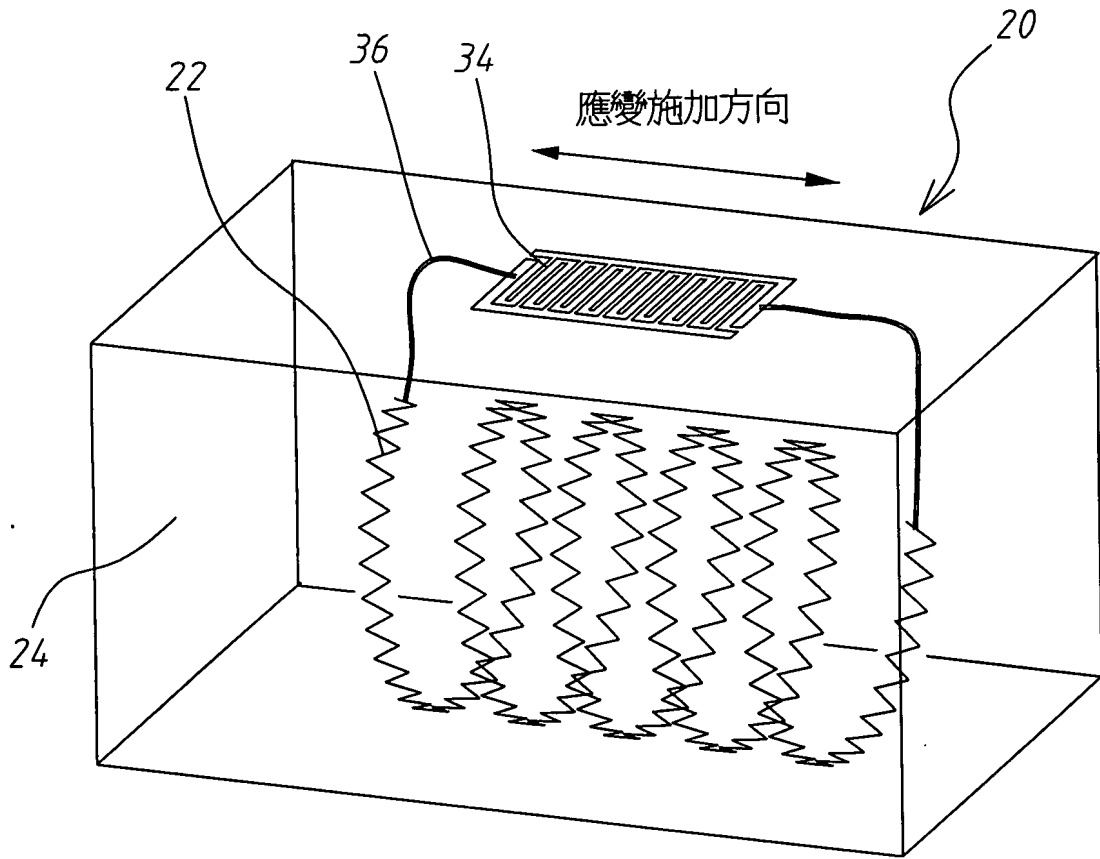
第 5 圖



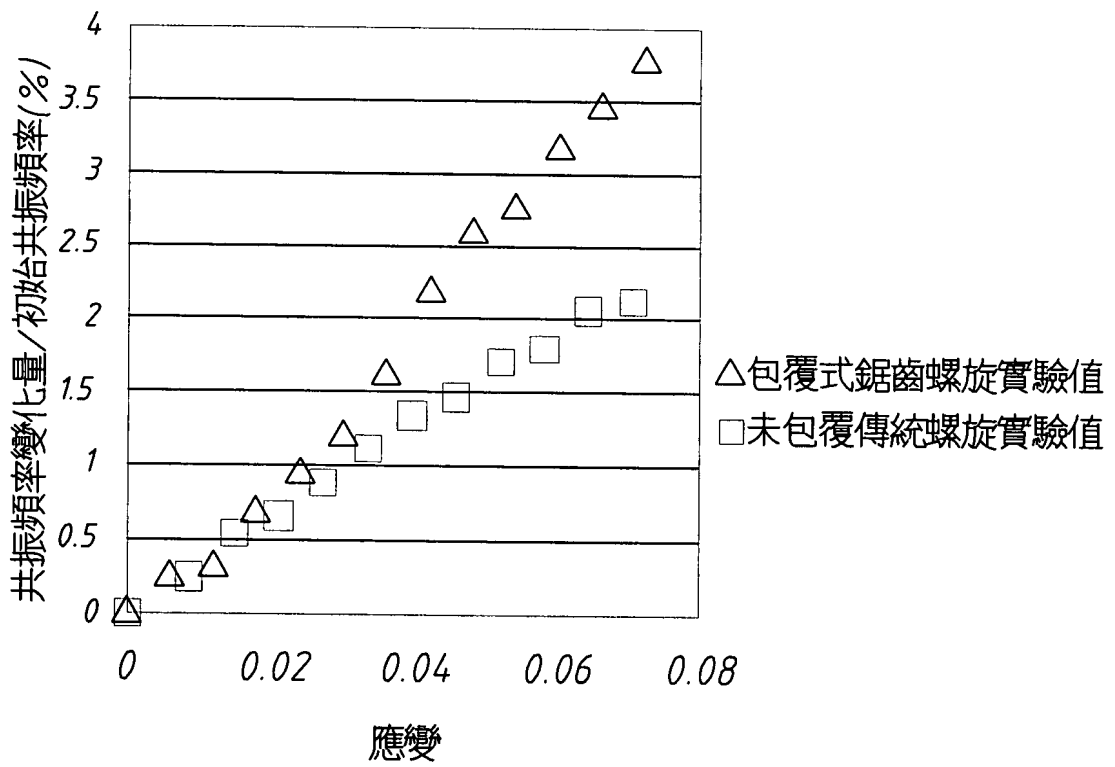
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖