

申請日期: 90.11.30

案號: 90129693

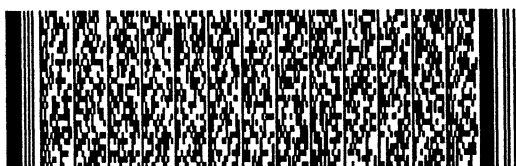
類別: G01L/00

(以上各欄由本局填註)

# 發明專利說明書

500912

一、發明名稱	中文	可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法
	英文	
二、發明人	姓名(中文)	1. 祁姓 2. 李健仲 3. 蔣博文
	姓名(英文)	1. 2. 3.
	國籍	1. 中華民國 2. 中華民國 3. 中華民國
	住、居所	1. 新竹市東區豐功里25鄰建中一路25號9樓之1 2. 花蓮市裕祥路40號 3. 高雄縣林園鄉林園南路54號
三、申請人	姓名(名稱)(中文)	1. 國立交通大學
	姓名(名稱)(英文)	1.
	國籍	1. 中華民國
	住、居所(事務所)	1. 新竹市大學路1001號
	代表人姓名(中文)	1. 張俊彥
代表人姓名(英文)	1.	



本案已向

國(地區)申請專利

申請日期

案號

主張優先權

無

有關微生物已寄存於

寄存日期

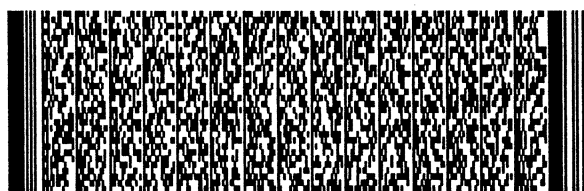
寄存號碼

無

## 四、中文發明摘要 (發明之名稱：可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法)

本發明係提供一種可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，其係利用纖核中含有不同溫度係數成份的光纖結合布里淵頻率漂移，達到應變與溫度分佈的同時量測。該方法係先提供一核心中係含有不同溫度係數成份之感測光纖，再取得該感測光纖之布里淵頻譜的主要兩個峰值頻率值，並利用布里淵頻率漂移值的變化量與應變及溫度之關係，求得一溫度變化量，進而推導得知應變變化量。本發明為利用感測光纖本身固有特性達到分離的方法，使得整個感測系統更加簡單、實用性更高，並可得到高解析度及良好之分離效果。

## 英文發明摘要 (發明之名稱：)



## 五、發明說明 (1)

## 發明領域：

本發明係有關一種利用自發性布里淵散射 (Spontaneous Brillouin Scattering) 技術之分佈型光纖感測，特別是關於一種利用纖核含有不同溫度係數成分的光纖結合布里淵頻率漂移 (shift) 達到同時感測應變及溫度分佈的方法。

## 發明背景：

按，分佈型光纖感測係利用光纖線狀和光學的特性達到分佈式感測的目的者，可應用於諸多場合，如監測隧道中、橋樑上、飛機上、水壩及各種建築物中的溫度及應變等，以保障人們安全。

要達到分佈感測的方法有兩種：一種是在整條路線上每幾公尺放置一個單點感測器，此種方式將使得系統變得很複雜；另一種則是利用分佈型感測器來得到分佈資料，較佳者為使用一條光纖，並沿著此光纖去量測與待測物理量有關的光訊號特性，此時光纖不但為主動、靈敏的元件，亦是被動、傳送資訊的媒介，且由於光纖擁有不受電磁干擾 (EMI) 影響、體積小、損耗小等優點，使得光纖成為分佈型感測技術中不可或缺的角色。

由於布里淵頻率漂移值 ( $\nu_B$ ) 的變化量與加在光纖上的應變與溫度有關，故可從量測到的  $\nu_B$  改變量中得到此兩物理量個別對應於  $\nu_B$  的改變量，並加以分離即可得知加在光纖上應變與溫度的大小。習知達到應變與溫度分



## 五、發明說明 (2)

離之方法係先將感測光纖與參考光纖放入同一溫箱中，再將感測光纖施以拉力並將溫箱加熱，此時只要比較感測光纖與參考光纖兩者 $\nu_B$ 改變量之差值，即可得知感測光纖所受到的應變大小。另一種分離方法則是將感測光纖與光纖光柵放入同一溫箱，並施以兩者相同拉力再加熱溫箱，此時僅需量測感光纖的 $\nu_B$ 及光纖光柵波長( $\lambda_B$ )改變量，再經由事先量測到的應變與溫度對 $\nu_B$ 與 $\lambda_B$ 的個別係數，就可以解出感測光纖與光纖光柵受到的應變與溫度大小。

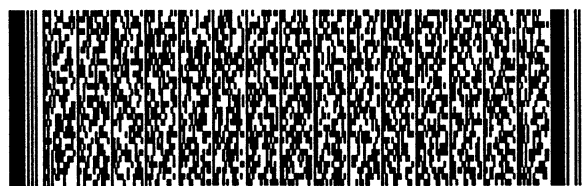
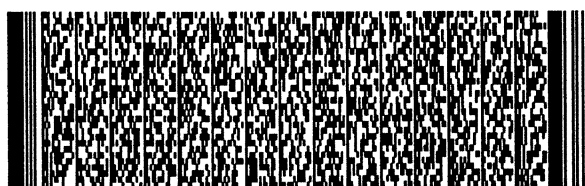
上述兩種量測應變及溫度之方法雖具有不錯的分離效果，但此種方法應用於實際長距離分佈感測時，將導致整個感測系統非常龐大且複雜，所以不適用於應變與溫度分布的量測。

因此，本發明即在提出一種可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，以有效克服上述之缺失。

## 發明目的與概述：

本發明之主要目的係在提出一種利用纖核含有不同溫度係數成分的光纖結合布里淵頻率(Brillouin Frequency,  $\nu_B$ )漂移達到同時感測應變及溫度分佈的方法，其係使用單一感測光纖，不但可達到應變與溫度的分離，亦可達到兩者的同時分佈感測，且不需要額外光纖輔助，系統較簡單，更能符合實用狀況。

本發明之另一目的係在提出一種利用光纖核心含有不



## 五、發明說明 (3)

同溫度係數成分的分離方法將應變與溫度分離，以達到同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，且其分離原理簡單，不需要複雜的量測與計算。

本發明之再一目的係在提出一種可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，其係使得整個測試系統更加簡單、實用性更高、解析度更高且分離效果更好。

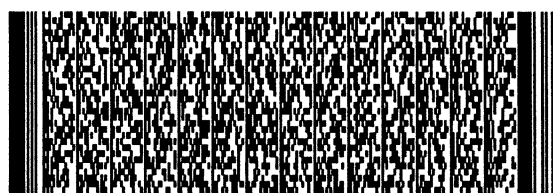
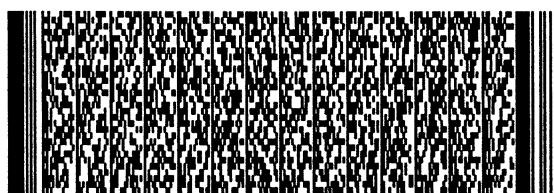
為達到上述之目的，本發明所提出之可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法係包含下列步驟：先提供一感測光纖，其核心中係含有不同溫度係數成份；再決定該感測光纖之布里淵頻譜的主要兩個峰值頻率值，第一峰值及第二峰值，且布里淵頻率漂移值的變化量係與應變及溫度有關；接著量測該感測光纖第一峰值及第二峰值之布里淵頻率漂移值變化量 ( $\Delta \nu_B$ )，當第一峰值的應變係數與第二峰值的相同，且該第一峰值的溫度係數係不同於第二峰值，即可利用頻率漂移值變化量與溫度係數之關係，求得一溫度變化量；最後再透過該溫度變化量、該溫度係數、該應變係數與其所推導出的轉換公式，即可得知一應變變化量。

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。

圖號說明：

10 感測光纖

12 光纖盤



## 五、發明說明 (4)

## 14 溫箱

詳細說明：

本發明係提出一種新的量測方法，其係利用纖核含有不同溫度係數成份的光纖結合布里淵頻率漂移 (Brillouin Frequency shift)，以達到同時感測應變及溫度分佈之目的者。

用以同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法係包含下列步驟：首先，準備一感測光纖，其核心中係含有不同溫度係數成份。接著，量測並決定該感測光纖之布里淵頻譜的主要兩個峰值頻率值 (Peak，簡稱Pk)，第一峰值Pk1及第二峰值Pk2，該感測光纖在該第一峰值Pk1有應變係數 $C_{\epsilon_1}$ 及溫度係數 $C_{T_1}$ ，在該第二峰值Pk2則有應變係數 $C_{\epsilon_2}$ 及溫度係數 $C_{T_2}$ ；由於一般單波模光纖 (Single-Mode Fiber, SMF) 的布里淵頻率漂移值 ( $\nu_B$ ) 與應變 ( $\epsilon$ ) 及溫度 (T) 兩物理量有關，而對於本發明所使用之核心中含有不同成份的光纖而言，其主要兩個峰值的布里淵頻率漂移值的變化量  $\Delta \nu$  係與應變  $\epsilon$  及溫度 T 有關，其關係如下列公式所示：

$$\text{第一峰值Pk1：} \Delta \nu_{B1} = C_{\epsilon_1} \times \Delta \epsilon + C_{T_1} \times \Delta T \quad (1)$$

$$\text{第二峰值Pk2：} \Delta \nu_{B2} = C_{\epsilon_2} \times \Delta \epsilon + C_{T_2} \times \Delta T \quad (2)$$

其中，當第一峰值的應變係數與第二峰值的應變係數相同 ( $C_{\epsilon_1} = C_{\epsilon_2}$ )，且該第一峰值的溫度係數係不同於該第二峰值的溫度係數 ( $C_{T_1} \neq C_{T_2}$ )，則溫度變化量可予以表



## 五、發明說明 (5)

示為：

$$\Delta T = (\Delta \nu_{B1} - \Delta \nu_{B2}) / (C_{T1} - C_{T2}) \quad (3)$$

再量測該感測光纖第一峰值Pk1及第二峰值Pk2之布里淵頻率漂移值變化量 $\Delta \nu_{B1}$ 與 $\Delta \nu_{B2}$ ，套入上述公式(3)，將該兩峰值頻率漂移值變化量之差值除以該兩峰值溫度係數之差值，即可求得一溫度變化量 $\Delta T$ 。

透過該溫度變化量、該溫度係數、該應變係數之關係，並利用簡單的代數運算，將公式(3)代入公式(1)或公式(2)中，推導出一轉換公式，即可得到應變變化量 $\Delta \varepsilon$ ：

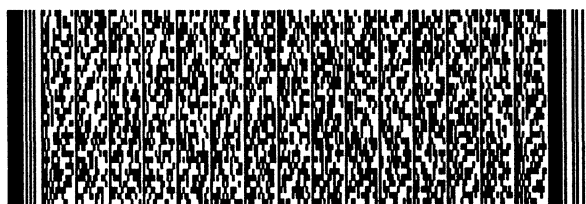
$$\Delta \varepsilon = (\Delta \nu_{B1} - C_{T1} \Delta T) / C_{\varepsilon 1} \quad (4)$$

$$\text{或 } \Delta \varepsilon = (\Delta \nu_{B2} - C_{T2} \Delta T) / C_{\varepsilon 2} \quad (5)$$

因此，藉由事先量測得知之布里淵頻譜的兩個主要峰值頻率值，再加上量測到該感測光纖之布里淵頻率漂移值變化量，並利用公式(3)及公式(4)或(5)，即可同時量測沿著光纖的應變與溫度，進而得知整段光纖的應變與溫度分佈。

至此，本發明之精神已說明完畢，以下特以一具體範例來驗證說明上述之原理，並使熟習此項技術者將可參酌此範例之描述而獲得足夠的知識而據以實施。

本發明所揭露之方法係可應用於實際長距離之應變與溫度分佈感測。第一圖係為一個用以驗證本發明之可行性的實驗架構，如圖所示，在此驗證之實施例中，係採用Pirelli公司的LEAF (Large-Effective-Area Non-Zero-Dispersion-Shifted Fiber) 光纖作為感測光





## 五、發明說明 (6)

纖，其各項特性參數：損耗係數 $0.21 \text{ dB/km}$ ，有效面積為 $70 \text{ 平方微米} (\mu\text{m}^2)$ ，在 $1.55 \text{ 微米}$ 時之色散值為 $4 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ ，並利用布里淵光纖時域反射計 (Brillouin optical-time-domain reflectometer，簡稱BOTDR) 來量測整段光纖的 $\nu_B$ 值分佈，即可得知光纖上何處受到應變或溫度並解出其應變或溫度大小。

在溫度量測中，其實驗架構請參閱第一(a)圖所示，先將感測光纖10分為三個部份，前面最開始的 $3.6575 \text{ 公里}$ 的感測光纖10放置在一光纖盤12上，接下來將放鬆的 $50 \text{ 公尺}$ 感測光纖10作為參考光纖，最後的 $50 \text{ m}$ 感測光纖10則放置於溫箱14中。此時BOTDR的各項參數設定依序為：波長為 $1554 \text{ nm}$ 、輸出功率為 $23 \text{ dBm}$ 、脈波寬度 (plusewidth) 為 $100 \text{ ns}$ 、平均次數為 $2^{15}$ 、取樣頻率 (sweep frequency) 為 $5 \text{ MHz}$ 及空間解析度 (spatial resolution) 為 $2 \text{ m}$ 。接著再量測最後 $50 \text{ m}$ 感測光纖10在溫度為 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 及 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 的布里淵頻譜，量測到的結果如第二圖所示，從圖中可以看出四個峰值頻率都會隨著溫度的升高而增加，當溫度為 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 時，四個峰值頻率分別為 $10.626$ 、 $10.820$ 、 $10.99$ 及 $11.12 \text{ Hz}$ ，當溫度升高到 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 後，四個峰值頻率則分別增加到 $10.644$ 、 $10.84$ 、 $11.00$ 及 $11.14 \text{ Hz}$ ，選擇兩個主要的峰值頻率Pk1及Pk2。續如第三圖所示為量測 $50 \text{ m}$ 感測光纖的第一峰值Pk1及第二峰值Pk2在不同溫度下頻率改變的結果，由圖中得知兩個峰值的溫度係數分別為 $0.918 \text{ MHz/}^\circ\text{C}$ 及 $0.98 \text{ MHz/}^\circ\text{C}$ ，故可確認兩個峰值的溫度係數顯然是不同



## 五、發明說明 (7)

的，此外，亦可同時得知此時的溫度解析度大約為 $2^{\circ}\text{C}$ 。

在應變量測中，其實驗架構如第一(b)圖所示，先將感測光纖10分為四個部份，前面最開始的3.6575公里的感測光纖10放置在一光纖盤12上，接下來將放鬆的20m感測光纖10作為參考光纖，5m的感測光纖10放置於溫箱14中而不予以加溫，只施以拉力，最後是放鬆的50m感測光纖10。此時BOTDR的各項參數設定除了脈波寬度改為20ns之外，其餘皆與上述參數相同保持不變。量測結果如第四圖所示，其係為量測5m感測光纖的第一峰值與第二峰值在不同拉力下的頻率改變結果，從圖中可以得知兩個峰值的應變係數相同，皆為 $0.05\text{MHz}/\mu\epsilon$ 。

由上述溫度及應變量測中可以驗證第一峰值與第二峰值的應變係數係為相同者( $C_{\epsilon_1} = C_{\epsilon_2}$ )，而該第一峰值的溫度係數係不同於該第二峰值的溫度係數( $C_{T_1} \neq C_{T_2}$ )，進而證明推算溫度變化量 $\Delta T$ 之計算公式(3)及應變變化量 $\Delta\epsilon$ 之計算公式(4)或(5)確實成立。

為了確定此種方法可同時量測光纖的應變及溫度分佈的可行性，本發明在第一(b)圖的5m感測光纖中，進行兩種同時加入溫度與應變情形的實驗，第一種情形(case i)為溫度 $50.1^{\circ}\text{C}$ /應變 $165\mu\epsilon$ ，第二種情形(case ii)為溫度 $55.1^{\circ}\text{C}$ /應變 $104\mu\epsilon$ ，而此時作為參考溫度的室溫為 $28.5^{\circ}\text{C}$ 。量測結果如第五圖所示，圖中所示分別為第一峰值及第二峰值在該兩種情形下所量測出頻率改變量對距離分佈的結果，將此量測結果代入公式(3)及公式(4)後，



## 五、發明說明 (8)

便可得知在此兩種情形下的溫度分佈與應變分佈，如第六圖所示。由量測結果可得到，在第一種情形中，在3680m處所計算出來的溫度及應變分別為 $50.21^{\circ}\text{C}$ 及 $170.3\mu\epsilon$ ，在3682處則分別為 $50.42^{\circ}\text{C}$ 及 $153.2\mu\epsilon$ ；在第二種情形中，在3680m處所計算出來的溫度及應變係分別為 $54.3^{\circ}\text{C}$ 及 $110.7\mu\epsilon$ ，在3682處則分別為 $54.2^{\circ}\text{C}$ 及 $113.1\mu\epsilon$ 。

因此，由上述之實驗結果可知，在3682m的大有效面積非零色散光纖感測長度內，可同時達到 $5^{\circ}\text{C}$ 的溫度解析度， $60\mu\epsilon$ 的應變解析度及2m的空間解析度。

由於本發明係利用光纖核心含有不同溫度係數成份的分離方法，達到同時感測應變與溫度之功效者，故本方法係具有下列幾項優點：

(1)本發明使用單一感測光纖，不但可有效分離應變與溫度，亦可達到應變與溫度兩者的同時分佈感測，不需額外的的光纖輔助，整個感測系統較簡單，亦較符合實用狀況。

(2)本發明所使用之分離原理簡單，不需要複雜的量測與計算。

(3)本發明所需之兩個主要峰值頻率的量測係互相獨立者，沒有(cross-sensitivity)的問題，故可以達到很好的分離效果。

(4)本發明係使用纖核中含有不同溫度係數成分的光纖，在製造此種光纖時，將感測光纖鍍上或加入對此待測量較敏感的物質，即可達到感測溫度、應變等物理量的極

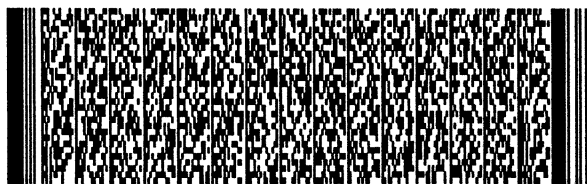


## 五、發明說明 (9)

佳量測效果。

職是，本發明為一種可以量測隨距離分佈的溫度及應變，以達到即時監控之目的，使其應用在各種建築物及其他的監控應用時，提供保障人們安全最佳之助益。

以上所述之實施例及實驗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技術內容並據以實施，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

圖式說明：

第一圖為用以驗證本發明之可行性的實驗架構示意圖，其中(a)圖為溫度量測之實驗架構示意圖，(b)圖為應變量測之實驗架構示意圖。

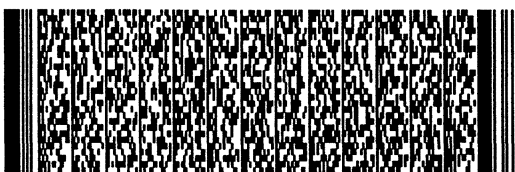
第二圖為本發明感測光纖在溫度為 $30^{\circ}\text{C}$ 及 $50^{\circ}\text{C}$ 時之布里淵頻譜。

第三圖為本發明感測光纖之第一峰值與第二峰值的溫度係數圖。

第四圖為本發明感測光纖之第一峰值與第二峰值的應變係數圖。

第五圖為本發明於兩種情況下，第一峰值與第二峰值頻率感變量的分佈示意圖。

第六圖為本發明於兩種情況下，應變與溫度分佈分離之結果示意圖。



## 六、申請專利範圍

1. 一種可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，包含下列步驟：

提供一感測光纖，其核心中係含有不同溫度係數成份；  
決定該感測光纖之布里淵頻譜的主要兩個峰值頻率值，第一峰值 $P_{k1}$ 及第二峰值 $P_{k2}$ ，在該第一峰值 $P_{k1}$ 有應變係數 $C_{\varepsilon 1}$ 及溫度係數 $C_{T1}$ ，該第二峰值 $P_{k2}$ 則有應變係數 $C_{\varepsilon 2}$ 及溫度係數 $C_{T2}$ ，且布里淵頻率漂移值（ $\nu_B$ ）的變化量與應變 $\varepsilon$ 及溫度 $T$ 有關；

量測該感測光纖第一峰值 $P_{k1}$ 及第二峰值 $P_{k2}$ 之布里淵頻率漂移值變化量（ $\Delta \nu_B$ ），並將該兩峰值頻率漂移值變化量之差值除以該兩峰值溫度係數之差值，而求得一溫度變化量；以及

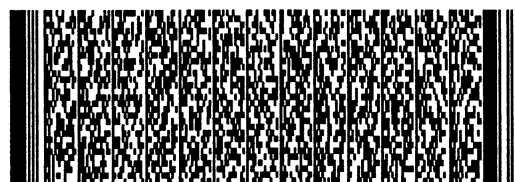
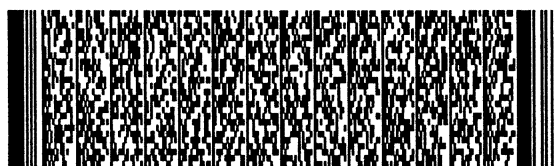
透過該溫度變化量、該溫度係數、該應變係數與其所推導出的轉換公式，即可得知應變變化量。

2. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該第一峰值的應變係數係與該第二峰值的應變係數相同，且該第一峰值的溫度係數係不同於該第二峰值的溫度係數。

3. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該第一峰值 $P_{k1}$ 之布里淵頻率漂移值（ $\nu_{B1}$ ）的變化量與應變、溫度的關係為： $\Delta \nu_{B1} = C_{\varepsilon 1} \times \Delta \varepsilon + C_{T1} \times \Delta T$ 。

4. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該第二峰值 $P_{k2}$ 之布里淵頻率漂移值（ $\nu_{B2}$ ）的變化量與應變、溫度的關係為： $\Delta \nu_{B2} = C_{\varepsilon 2} \times \Delta \varepsilon + C_{T2} \times \Delta T$ 。

5. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該溫度變化量



## 六、申請專利範圍

與頻率漂移值變化量及溫度係數之關係為：

$$\Delta T = (\Delta \nu_{B1} - \Delta \nu_{B2}) / (C_{T1} - C_{T2})。$$

6. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該轉換公式係為： $\Delta \varepsilon = (\Delta \nu_{B1} - C_{T1} \Delta T) / C_{\varepsilon 1}$ 。

7. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該轉換公式係為： $\Delta \varepsilon = (\Delta \nu_{B2} - C_{T2} \Delta T) / C_{\varepsilon 2}$ 。

8. 一種可同時感測光纖之應變與溫度分佈的方法，包含下列步驟：

提供一感測光纖，其核心中係含有不同溫度係數成份；

決定該感測光纖之布里淵頻譜的主要兩個峰值頻率值，第一峰值Pk1及第二峰值Pk2，在該第一峰值Pk1有應變係數 $C_{\varepsilon 1}$ 及溫度係數 $C_{T1}$ ，該第二峰值Pk則有應變係數 $C_{\varepsilon 2}$ 及溫度係數 $C_{T2}$ ，且布里淵頻率漂移值（ $\nu_B$ ）的變化量與應變 $\varepsilon$ 及溫度T有關；

量測該感測光纖第一峰值Pk1及第二峰值Pk2之布里淵頻率漂移值變化量（ $\Delta \nu_B$ ），當該第一峰值的應變係數與該第二峰值的應變係數相同，且該第一峰值的溫度係數係不同於該第二峰值的溫度係數，利用頻率漂移值變化量與溫度係數之關係，求得一溫度變化量；以及

透過該溫度變化量、該溫度係數、該應變係數與其所推導出的轉換公式，即可得知應變變化量。

9. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中該第一峰值Pk1之布里淵頻率漂移值（ $\nu_{B1}$ ）的變化量與應變、溫度的關係為： $\Delta \nu_{B1} = C_{\varepsilon 1} \times \Delta \varepsilon + C_{T1} \times \Delta T$ 。



## 六、申請專利範圍

10. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中該第二峰值 Pk2 之布里淵頻率漂移值 ( $\nu_{B2}$ ) 的變化量與應變、溫度的關係為：
$$\Delta \nu_{B2} = C_{\epsilon 2} \times \Delta \epsilon + C_{T2} \times \Delta T。$$

11. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中該溫度變化量與頻率漂移值變化量及溫度係數之關係為：

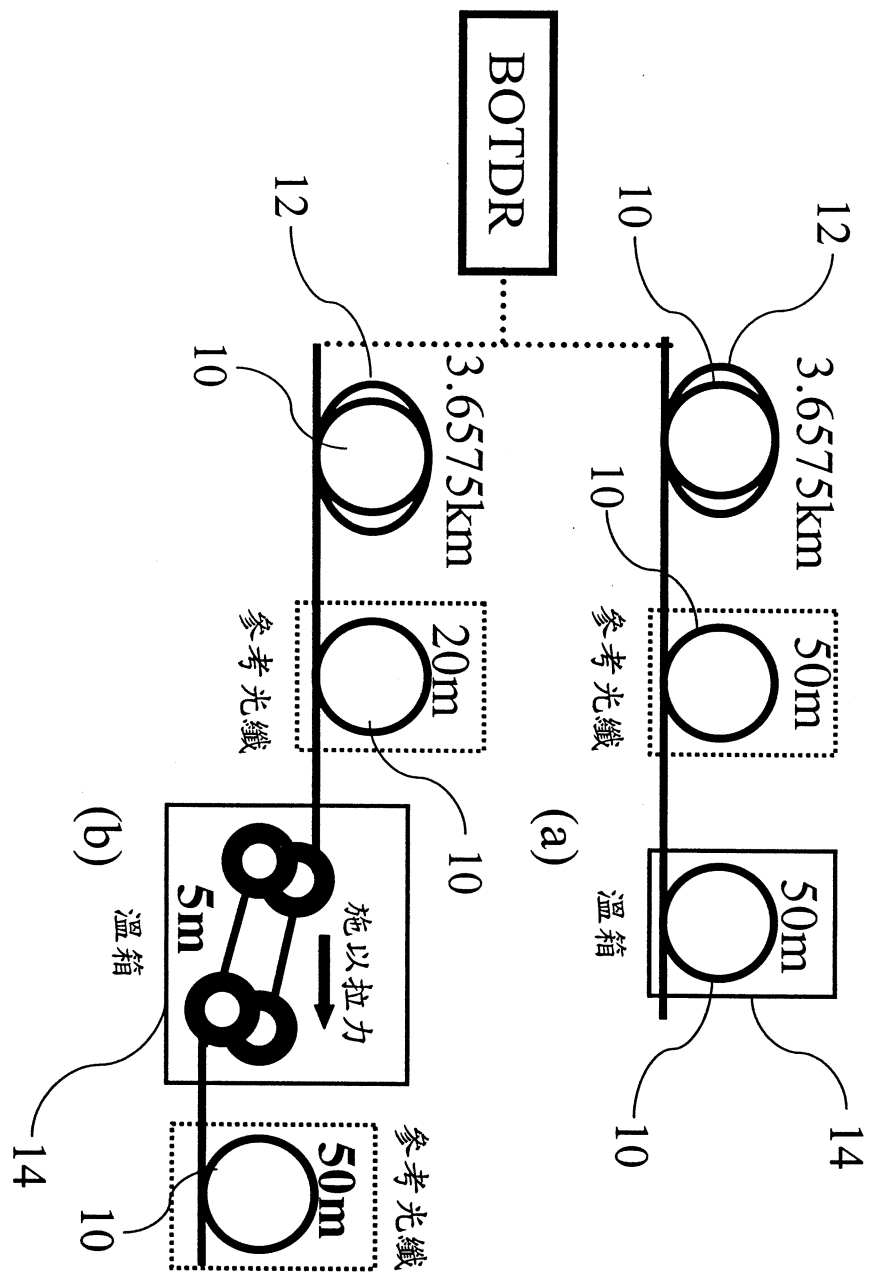
$$\Delta T = (\Delta \nu_{B1} - \Delta \nu_{B2}) / (C_{T1} - C_{T2})。$$

12. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中該轉換公式係為：
$$\Delta \epsilon = (\Delta \nu_{B1} - C_{T1} \Delta T) / C_{\epsilon 1}。$$

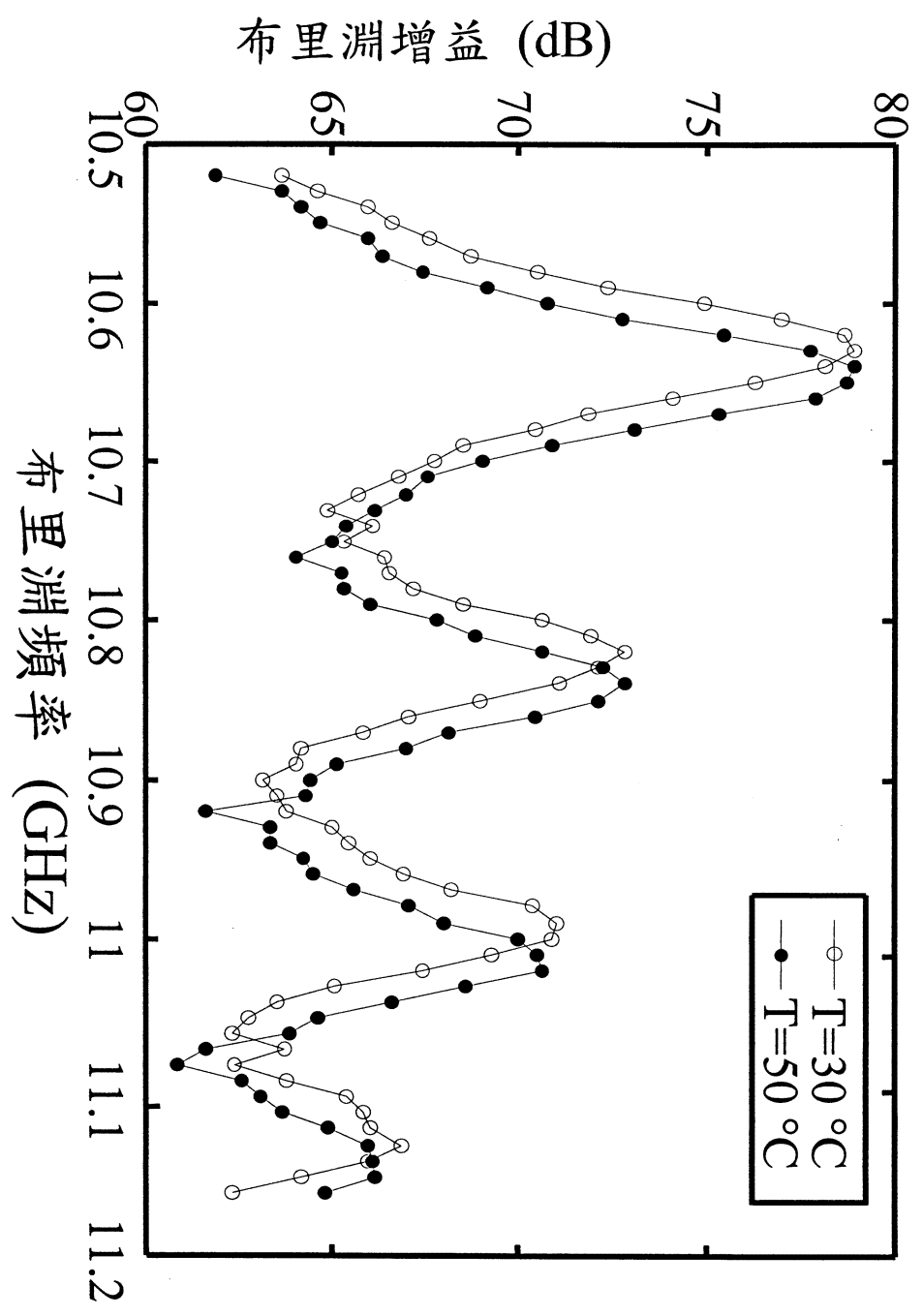
13. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中該轉換公式係為：
$$\Delta \epsilon = (\Delta \nu_{B2} - C_{T2} \Delta T) / C_{\epsilon 2}。$$



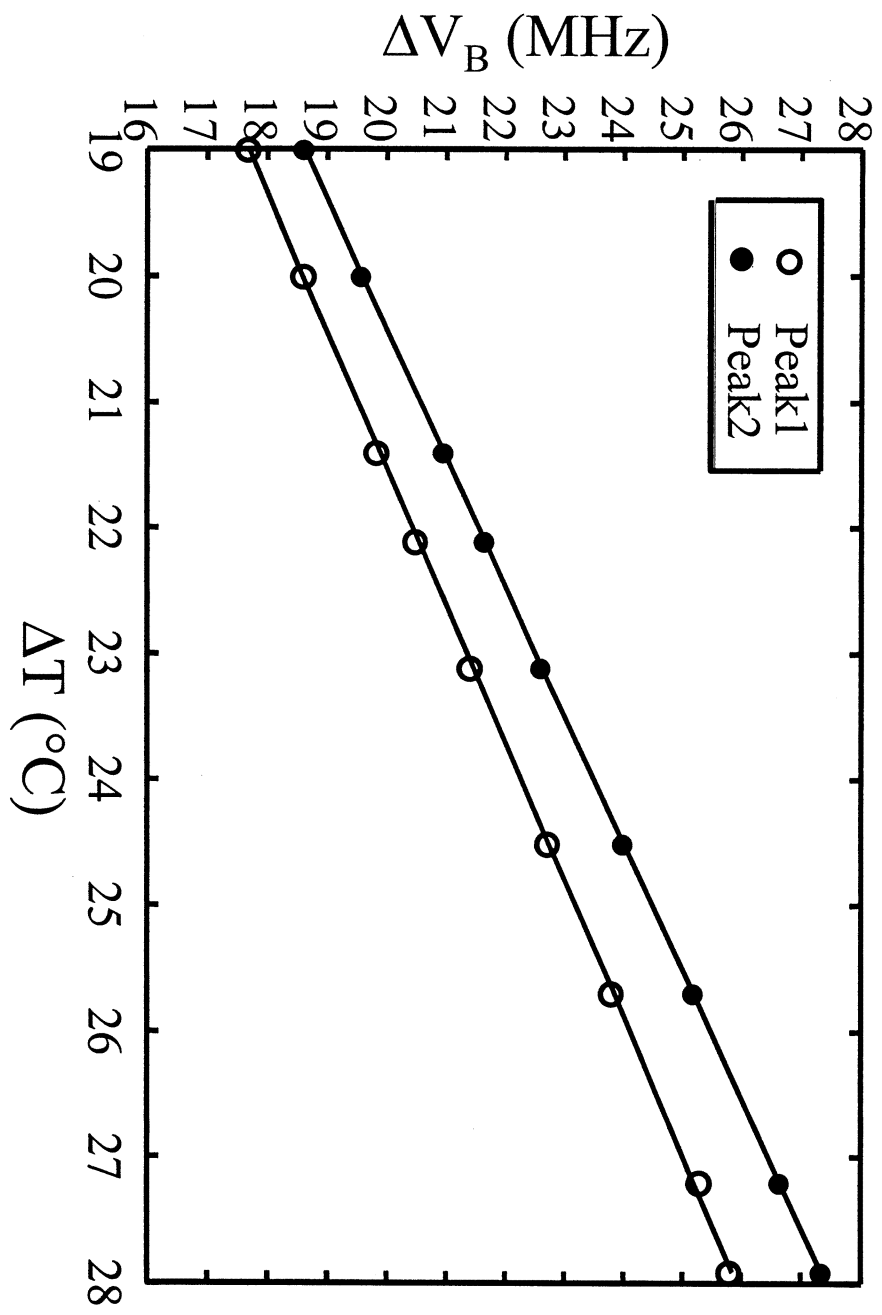




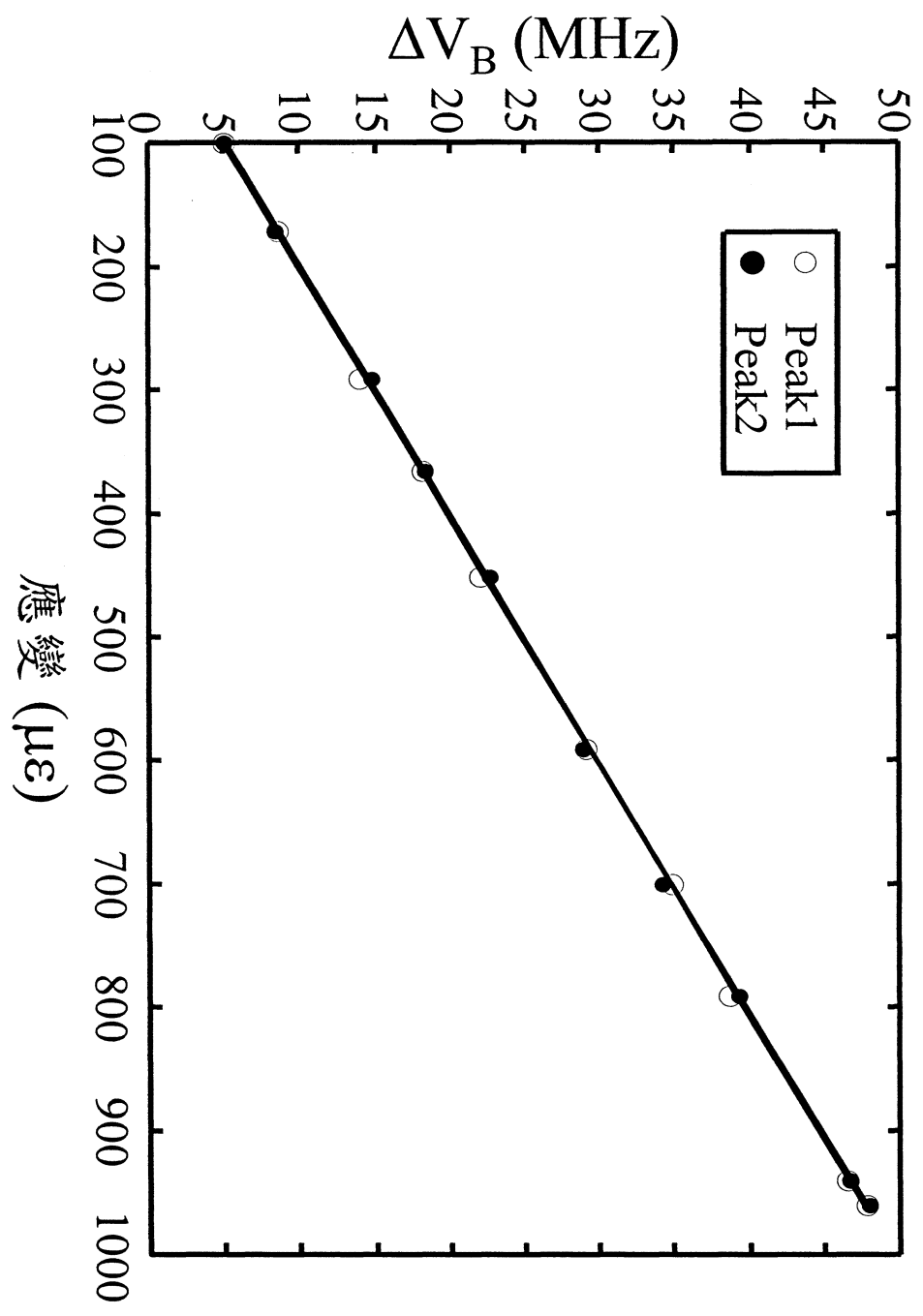
第一圖



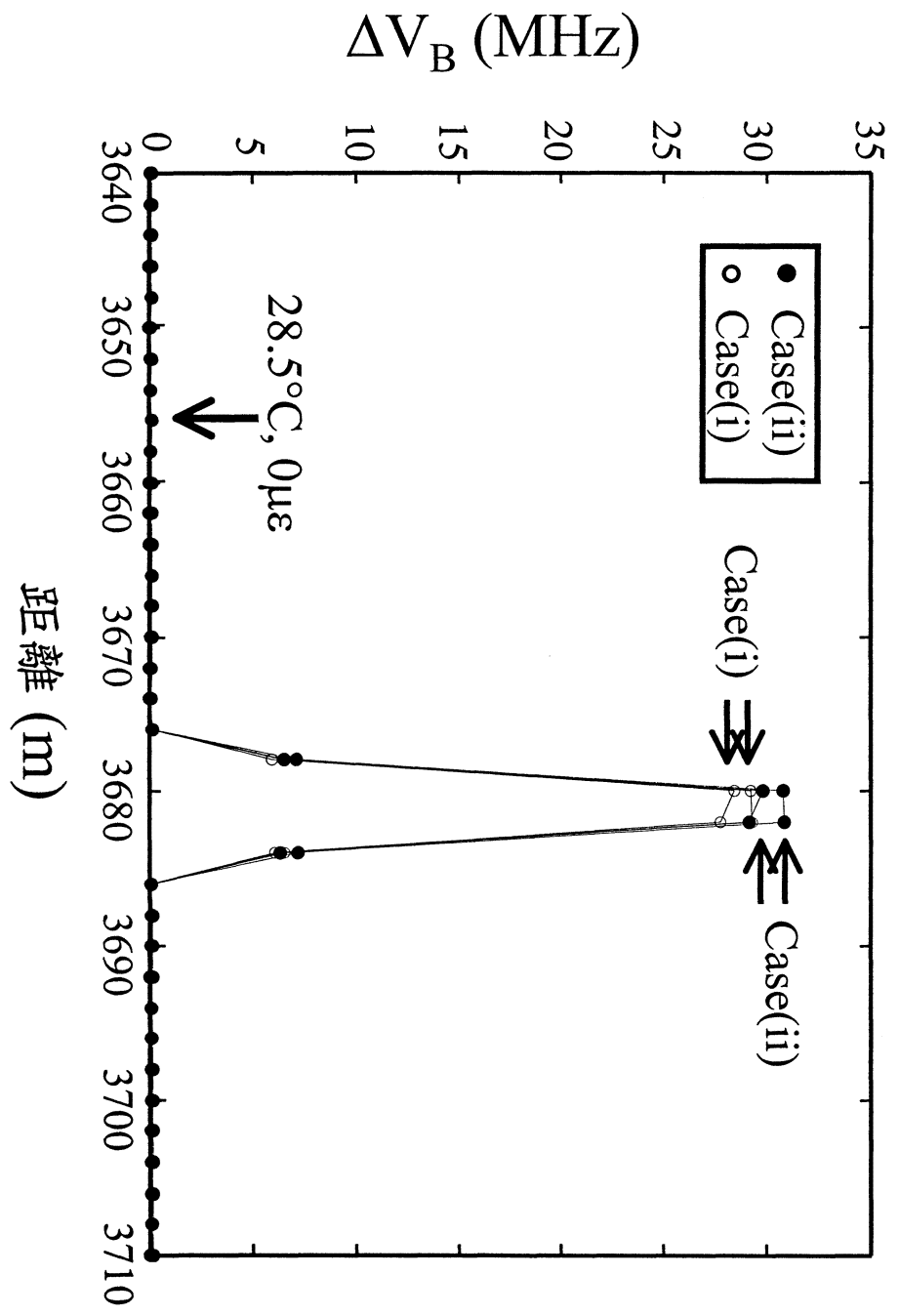
第二圖



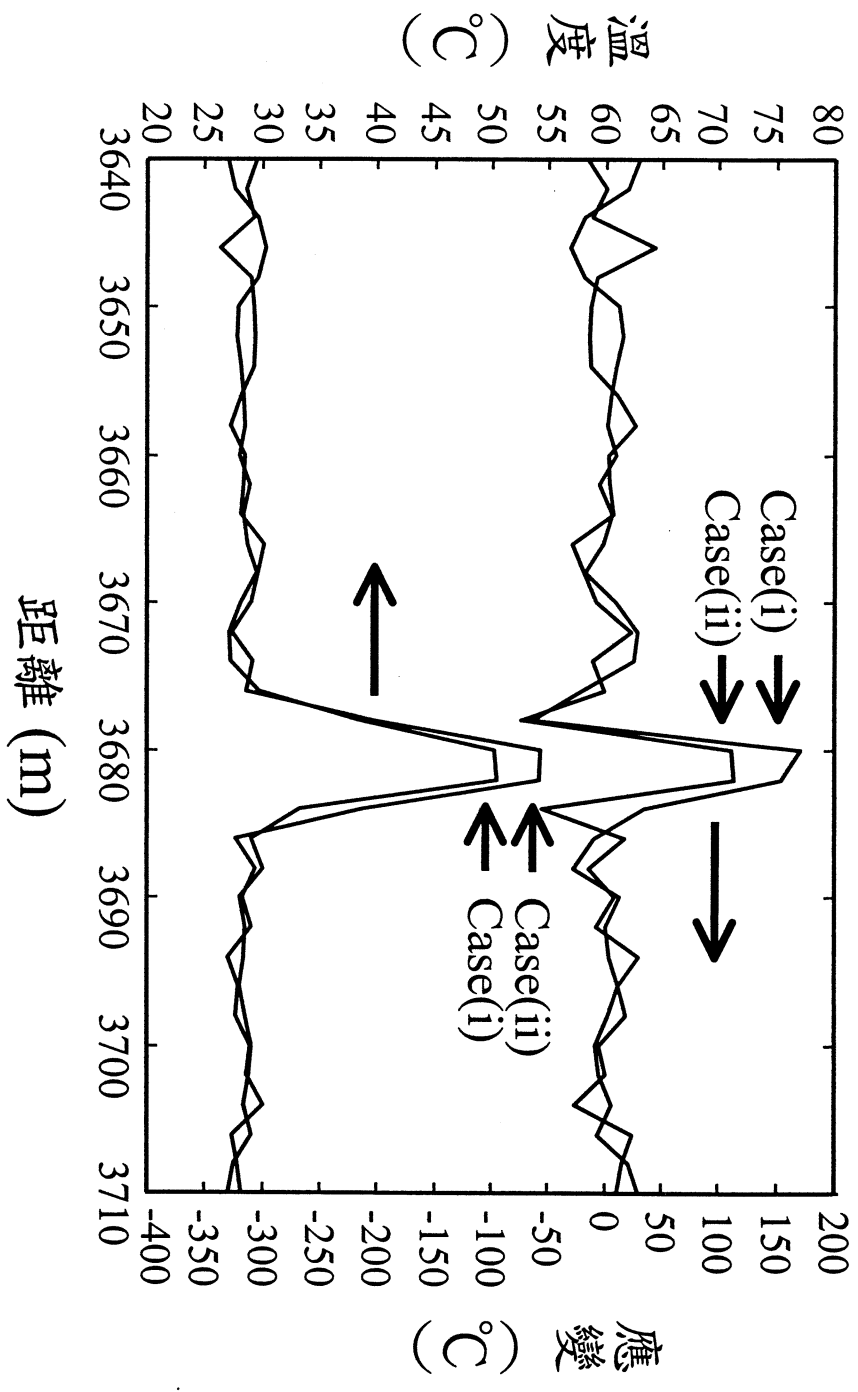
第三圖



第四圖



第五圖



第六圖