



(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 I858261 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 10 月 11 日

(21)申請案號：110120285

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 06 月 03 日

(51)Int. Cl. : G01K11/32 (2021.01)

G01B9/02 (2022.01)

(30)優先權：2020/06/03 美國

63/034,063

(71)申請人：美商富克有限公司 (美國) FLUKE CORPORATION (US)
美國(72)發明人：塔達永 穆罕默德 TADAYON, MOHAMMAD AMIN (IR) ; 威廉森 凱文
WILLIAMSON, KEVIN R. (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201202675A

TW 201304032A

CN 101218492A

CN 101825480A

US 2003/0118075A1

US 2006/0233216A1

US 2019/0111483A1

審查人員：曾錦豐

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：7 共 47 頁

(54)名稱

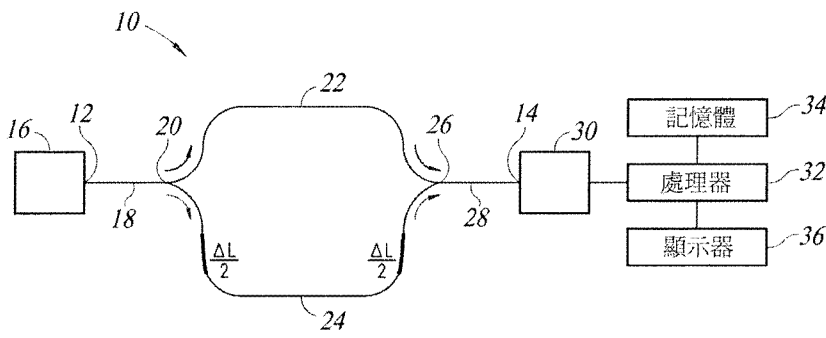
使用通過光學干涉儀的光學信號傳輸之溫度測量系統及方法

(57)摘要

一種溫度測量技術包括使用一光學信號產生器產生一波長的一輸入光學信號，將該輸入光學信號分成一第一光束及一第二光束，通過一干涉儀的該第一臂來光學傳輸該第一光束，通過該干涉儀的一第二臂來光學傳輸該第二光束，該第二臂在第二光束中引入相對於該第一光束之一相移，組合該經傳輸之第一光束之至少一部分及該經傳輸相移第二光束，以產生一輸出光學信號，測量該輸出光學信號之一光學信號強度，及使該測定光學信號強度與一溫度相關聯，以產生一測定之溫度。替代地，可通過二或更多個干涉儀來傳輸該輸入光學信號。

A temperature measurement technology includes generating an input optical signal at a wavelength using an optical signal generator, splitting the input optical signal into a first beam and a second beam, optically transmitting the first beam through the first arm of an interferometer, transmitting the second beam through a second arm of the interferometer that introduces a phase shift in the second beam relative to the first beam, combining at least a portion of the transmitted first beam and the transmitted phase-shifted second beam to produce an output optical signal, measuring an optical signal intensity of the output optical signal, and correlating the measured optical signal intensity with a temperature to produce a measured temperature. Alternatively, the input optical signal may be transmitted through two or more interferometers.

指定代表圖：



【圖 1A】

- 符號簡單說明：
- 10:Mach-Zehnder 干涉儀(MZI)
 - 12:光學信號輸入
 - 14:光學信號輸出
 - 16:光學信號產生器
 - 18:波導
 - 20:分光器
 - 22:第一臂
 - 24:第二臂
 - 26:光束組合器
 - 28:波導
 - 30:光學信號偵測器
 - 32:處理器
 - 34:記憶體
 - 36:顯示器



I858261

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

使用通過光學干涉儀的光學信號傳輸之溫度測量系統及方法

【英文發明名稱】

TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM AND METHOD USING
OPTICAL SIGNAL TRANSMISSION THROUGH AN OPTICAL
INTERFEROMETER

【中文】

一種溫度測量技術包括使用一光學信號產生器產生一波長的一輸入光學信號，將該輸入光學信號分成一第一光束及一第二光束，通過一干涉儀的該第一臂來光學傳輸該第一光束，通過該干涉儀的一第二臂來光學傳輸該第二光束，該第二臂在第二光束中引入相對於該第一光束之一相移，組合該經傳輸之第一光束之至少一部分及該經傳輸相移第二光束，以產生一輸出光學信號，測量該輸出光學信號之一光學信號強度，及使該測定光學信號強度與一溫度相關聯，以產生一測定之溫度。替代地，可通過二或更多個干涉儀來傳輸該輸入光學信號。

【 英文 】

A temperature measurement technology includes generating an input optical signal at a wavelength using an optical signal generator, splitting the input optical signal into a first beam and a second beam, optically transmitting the first beam through the first arm of an interferometer, transmitting the second beam through a second arm of the interferometer that introduces a phase shift in the second beam relative to the first beam, combining at least a portion of the transmitted first beam and the transmitted phase-shifted second beam to produce an output optical signal, measuring an optical signal intensity of the output optical signal, and correlating the measured optical signal intensity with a temperature to produce a measured temperature. Alternatively, the input optical signal may be transmitted through two or more interferometers.

【指定代表圖】第(1A)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

10:Mach-Zehnder干涉儀(MZI)

12:光學信號輸入

14:光學信號輸出

16:光學信號產生器

18:波導

20:分光器

22:第一臂

24:第二臂

26:光束組合器

28:波導

30:光學信號偵測器

32:處理器

34:記憶體

36:顯示器

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

使用通過光學干涉儀的光學信號傳輸之溫度測量系統及方法

【英文發明名稱】

TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM AND METHOD USING
OPTICAL SIGNAL TRANSMISSION THROUGH AN OPTICAL
INTERFEROMETER

【技術領域】

【0001】本揭露係關於溫度測量，且更具體地係關於使用通過干涉儀的光學信號傳輸來進行溫度測量。

【先前技術】

【0002】用於溫度測量的光學系統在所屬技術領域中係已知的。此類系統需要昂貴的輸入雷射，其具有大的可調範圍(例如，70奈米(nm))的輸出信號波長。此類系統藉由在一廣波長範圍內改變輸入光學信號之波長並且識別在該系統中具有較大共振的輸入信號波長，來偵測溫度。所識別之輸入信號波長與溫度相關聯。所需要的是比現行已知的光學溫度計更實際且可更便宜製造、可更小型實施、及可更強健操作之方法及系統。

【發明內容】

【0003】 本文所揭示者係一晶片上的溫度測量系統及用於基於一或多個干涉儀測量溫度的相關方法。所揭示的系統通過光學干涉儀(諸如，Mach-Zehnder干涉儀(MZI)或Michelson干涉儀(MI))傳輸一光學信號，以偵測、測量、或報告溫度。當干涉儀的溫度改變，通過干涉儀傳輸的光學信號的強度會發生對應的改變。光學信號強度之測定變化係用於判定溫度。

【0004】 用於測量溫度的揭示方法包括：提供一單一波長的一輸入光學信號至一干涉儀；測量該干涉儀之一輸出光學信號的一光學信號強度；及基於一特性曲線判定一溫度，該特性曲線使一範圍的輸出光學信號強度相關於一範圍的溫度。該方法亦可包括：將該輸入光學信號分為一第一光束及一第二光束；在該第二光束中導致相對於該第一光束之一溫度相依相移，以產生一經相移第二光束；及將該第一光束之至少一部分及該經相移第二光束組合以產生該輸出光學信號。該特性曲線可由一查找表或一數學函數表示。因此，可使用該光學信號強度作為一查找表的一索引或一數學函數的一參數，來判定溫度。

【圖式簡單說明】**【0005】**

[圖 1A]係根據本揭露原理之溫度測量系統的示意圖，其使用Mach-Zehnder干涉儀(MZI)以判定溫度。

[圖 1B]係顯示 MZI 之溫度與由 MZI 輸出之光學信號的正規化測量強度之間的相關性之圖表。

[圖 2]係根據本揭露原理之另一溫度測量系統的示意圖，其包括偵測溫度之 Mach-Zehnder 干涉儀 (MZI)。

[圖 3]係顯示如本文所述之來自 MZI 之光學信號輸出的溫度相依性之另一圖表。

[圖 4]係溫度測量系統的示意圖，該溫度測量系統藉由包括參考臂而對 MZI 提供對輸入功率波動較大的靈敏度。

[圖 5]係顯示可用於在本揭露之實施例中分離或組合光學信號的各種光學接面或定向耦合器的圖表。

[圖 6]係根據本揭露原理之溫度測量系統的示意圖，其使用 Michelson 干涉儀 (MI) 以判定溫度。

[圖 7]係根據本揭露之溫度測量方法之流程圖。

【實施方式】

【0006】本文所揭示的方法及系統使用通過光學干涉儀 (諸如，Mach-Zehnder 干涉儀 (MZI) 或 Michelson 干涉儀 (MI)) 傳輸一光學信號，以偵測、測量、或報告溫度。當干涉儀的溫度改變，通過干涉儀傳輸的光學信號的強度會發生對應的改變。光學信號強度之測定變化係用於判定溫度。

【0007】圖 1A 係示意圖，其繪示包括可用以偵測溫度的 Mach-Zehnder 干涉儀 (MZI) 10 之系統之一實例。MZI 10

具有一光學信號輸入12及一光學信號輸出14。光學信號輸入12耦接至一光學信號產生器16，該光學信號產生器產生一預定波長的一光學信號。將所產生的光學信號輸入至MZI 10。在各種實施例中，光學信號產生器16可係例如窄帶雷射，其產生窄波長範圍中的雷射束。在許多情況下，窄帶雷射可稱為單一波長雷射。

【0008】光學信號產生器16可在其光學信號輸出之波長附近具有低可調性。在使用窄帶雷射的各種實施例中，雷射可具有例如以輸出波長附近為中心的0.001至4 nm或1至4 nm之可調性範圍。如將從本文說明所理解的，實施本發明之系統的至少一優點在於，系統對於光學信號產生器16所產生且輸入至MZI 10的光學信號只需要極少甚至不需要波長調整。

【0009】在圖1A中，光學信號產生器16產生的光學信號係在光學信號輸入12處由MZI 10接收。其後，輸入光學信號沿一波導18傳播，該波導提供從光學信號輸入12至一分光器20的光學傳輸路徑。圖1A所描繪之分光器20係一Y接面分光器，其將該輸入光學信號分成兩道光束。兩道光束中的一第一光束沿構成MZI 10之一第一臂22的一波導傳播，且兩道光束中的一第二光束沿構成MZI 10之一第二臂24的一波導傳輸。第一臂22提供具有長度L之長度的一光學傳輸路徑，而第二臂24提供較長且具有長度 $L+\Delta L$ 之長度的一光學傳輸路徑。

【0010】MZI 10之第一臂22及第二臂24提供從分光器

20至一光束組合器26之不同的光學傳輸路徑。圖1A中之光束組合器26描繪為一Y接面組合器，其接收沿第一及第二臂22、24傳輸之第一及第二光束，並將光束組合成一經組合光學信號。光束組合器26輸出經組合光學信號，其沿一波導28傳播至光學信號輸出14。波導18、28可係針對特定實施方案所需的任何長度，或甚至省略(其中光學信號產生器16直接輸入光學信號至分光器20中，且光束組合器26直接輸出經組合輸出光學信號至一光學信號偵測器30)。雖然在圖1A所示之實例中，分光器20及光束組合器26描繪為Y接面耦合器，但可使用其他類型的耦合器，包括但不限於定向耦合器及多模干涉耦合器，例如圖5所示。

【0011】耦接至光學信號輸出14的是一光學信號偵測器30，其接收並偵測輸出光學信號的強度。在各種實施例中，光學信號偵測器30可係一光偵測器，其經組態以偵測輸出光學信號的強度。光學信號偵測器30可藉由測量例如輸出光學信號之光功率(例如，光偵測器之每單位面積的功率(W/cm^2))來偵測輸出光學信號的強度。

【0012】如圖1A所示，第二臂24的傳輸路徑比第一臂22的傳輸路徑較長長度 ΔL 。第一及第二臂22、24之傳輸路徑之長度的此差異在光束組合器26所接收之光束中引入一相對相位差。取決於通過第一及第二臂22、24所傳輸之兩光束的相位差，該等光束可以相長干涉組合(其中經組合光束之光學強度係相加)，或該等光束可以相消干涉組合(其中在經組合之光學信號中，一光束的光學強度減去

或減少另一光束的光學強度)。

【0013】通過 MZI 10 之第一及第二臂 22、24 所傳輸之光束之間的相位差根據 MZI 10 之溫度而變化。此溫度相依相位差大部分係歸因於構成第一及第二臂 22、24 之波導的材料之折射率的溫度相依變化。材料之折射率係一無尺度 (dimensionless) 值，其描述光傳播通過該材料有多快。當 MZI 10 的溫度增加或減少，材料中的光學路徑改變，導致橫越第一及第二臂 22、24 的光束的可變相對相位差。在一更低程度上，由於製造第一及第二臂 22、24 之波導的材料的熱膨脹係數，光束之間的相位差根據 MZI 10 的溫度而變化。MZI 10 之溫度的變化可導致第一及第二臂 22、24 之傳輸路徑之長度的輕微變化。MZI 10 輸出具有可測量強度之一經組合的輸出光學信號，該可測量強度取決於 MZI 10 之溫度。

【0014】輸出光學信號的測定強度(其可係測定光功率)經提供至一處理器 32，該處理器 32 回應於儲存在一記憶體 34 中的可執行指令而操作。當執行時，該等指令導致處理器 32 使該測定光學信號強度與該系統的溫度相關聯，以產生一測定溫度。測定溫度可儲存在記憶體 34 中或報告輸出，例如，顯示於耦接至處理器 32 的一顯示器 36 中。替代地或額外地，該測定溫度可由處理器 32 傳送至其他設備。在一些實施例中，處理器 32 可藉由將測定光學信號強度除以光學信號產生器 16 產生之輸入光學信號的強度，來正規化輸出光學信號之測定光學信號強度。光學信號強度

之正規化測量與系統的溫度相關聯，並用於產生所儲存或報告的測定溫度。

【0015】圖 1B 繪示圖表 38，其顯示特性曲線之一個實例，該特性曲線使 MZI 10 輸出之光學信號的正規化測定強度相關於系統的溫度。在圖 1B 中，經正規化之測定強度在 1 與 0 之間變化。在 1 之正規化值，通過 MZI 10 之第一及第二臂 22、24 傳輸之光束的相對相位在光束組合器 26 中以完全相長干涉組合。在 0 之正規化值，通過第一及第二臂 22、24 傳輸之光束的相對相位以完全相消干涉組合。在圖 1B 所繪示的實例中，建構 MZI 10，使得當 MZI 10 的溫度處於第一(例如，低)溫度 T_1 時，光學信號強度之正規化測量係 1(或接近 1)，且當 MZI 10 的溫度處於第二(例如，高)溫度 T_2 時，光學信號強度之正規化測量係 0(或接近 0)。當光學信號強度之正規化測量係 1 與 0 之間的分數時，該正規化測量根據所示的特性曲線 39 指示介於 T_1 與 T_2 之間的系統溫度。特性曲線 39 可藉由系統之校準產生，其中 MZI 10 的溫度係設定在已知溫度，且在已知溫度下由 MZI 10 輸出的光學信號強度係經測量、正規化，並且與已知溫度相關聯地記錄。

【0016】圖 2 係示意圖，其繪示系統之另一實例，該系統包括可用以根據本揭露之原理偵測溫度的一 Mach-Zehnder 干涉儀 (MZI) 40。圖 1A 之 MZI 10 包括一分光器 20 及一包含光學 Y 接面耦合器之光束組合器 26，而圖 2 之 MZI 40 則使用定向耦合器來分離及組合傳播通過 MZI 之臂的光

束。

【0017】在圖2中，MZI 40具有一第一光學信號輸入42及一第二光學信號輸入44。取決於MZI 40之具體組態，第一光學信號輸入42可耦接至一第一光學信號產生器46，或第二光學信號輸入44可耦接至一第二光學信號產生器48。在第一或第二光學信號輸入42、44處輸入至MZI 40的光學信號沿各別波導50、52傳播，各別波導提供從光學信號輸入42、44至一第一定向耦合器54之光學傳輸路徑。如下文將理解的，圖2繪示包括第一及第二光學信號產生器46、48的一般情況。在一些實施例中，第一或第二光學信號產生器46、48中僅一者可耦接至第一或第二光學信號輸入42、44中之一者，而第一或第二光學信號輸入之另一者未耦接至一光學信號產生器。

【0018】第一定向耦合器54包括若干傳輸路徑，該等傳輸路徑互相緊密近接，使得該等傳輸路徑之一者中之一光學信號之信號功率的一部分經光學耦合至該等傳輸路徑之另一者中，且反之亦然。依此方式，第一定向耦合器54使用近場耦合，以導致自各別波導50、52接收之光學信號之混合。連接波導50至MZI 40之第一臂56的傳輸路徑具有一近場耦合係數 k_1 ，且連接波導52至MZI 40之第二臂58的傳輸路徑具有一近場耦合係數 $1 - k_1$ 。若耦合係數 k_1 等於0.5，則第一定向耦合器54係一50:50耦合器，使得在傳輸路徑之各者中之光學信號之光學信號功率的一半與傳輸路徑之其他者中之光學信號功率的另一半混合。

【0019】舉例來說，圖2可視為繪示一特定實施例，其中第一光學信號輸入42未接收到光學信號(亦即，輸入係零或具有零強度或功率)，而第二光學信號輸入44接收具有強度(光功率) E_0 的光學信號。若耦合係數 k_1 等於0.5，則第一定向耦合器54作用為一分光器，其中輸入光學信號之信號功率 E_0 之一半經耦合至形成MZI 40的第一臂56之波導中，且信號功率 E_0 之另一半維持在形成第二臂58之波導中。

【0020】其後，在MZI 40之第一及第二臂56、58中的兩光束沿著各別波導傳播至一第二定向耦合器60。類似於圖1A中的MZI 10，第一臂56提供具有長度 L 之長度的一光學傳輸路徑，而第二臂58提供較長且具有長度 $L+\Delta L$ 之長度的一光學傳輸路徑。

【0021】類似於第一定向耦合器54，第二定向耦合器60包括若干傳輸路徑，該等傳輸路徑互相緊密近接，使得該等傳輸路徑之一者中之光束之信號功率經耦合至該等傳輸路徑之另一者中，且反之亦然。在第二定向耦合器60中之近場耦合因而導致接收自MZI 40之第一及第二臂56、58的光束之混合。

【0022】在第二定向耦合器60中，連接MZI 40之第一臂56至輸出波導62的傳輸路徑具有一近場耦合係數 k_2 ，且連接MZI 40之第二臂58至輸出波導66的傳輸路徑具有一近場耦合係數 $1-k_2$ 。類似於第一定向耦合器54，若第二定向耦合器60之耦合係數 k_2 等於0.5，則第二定向耦合器60係一

50:50耦合器，其中接收自兩個臂56、58之光束均等地混合並產生各別光學輸出信號，其等沿波導62、66傳播至各別的第一及第二光學信號輸出64、68。依此方式，第二定向耦合器60作用為橫越MZI 40之第一及第二臂56、58之光束之一組合器。

【0023】第二定向耦合器60(或替代地，例如，一多模干涉耦合器)接收通過第一及第二臂56、58傳輸之光束，該等光束由於第一及第二臂56、58之不同傳輸路徑而以不同相位抵達耦合器60。藉由使用一定向耦合器(與一Y接面相比較)，MZI 40可分別在第一及第二光學信號輸出64、68產生輸出光學信號，其等具有不同相位之餘弦形或正弦形特性曲線(亦即，例如，在耦合器60中產生且非由第一及第二臂56、58之傳輸路徑產生的信號輸出之間有 $\pi/2$ 的相位差)。此至少在兩方面可以是有利的：(1)最受到臂56或58的影響而對溫度變化具有最大靈敏度(亦即，信號強度對溫度變化之最大導數)的信號輸出64、68可經選擇以用於溫度測量；及(2)兩個臂56、58之光束輸出可相除，以達成正切/餘切形式函數，其可增加對溫度的靈敏度。這些優點亦可透過應用二或更多個MZI來實現，如下文所述。

【0024】波導50、52、62、66可係需要的任何長度，或甚至省略，使得光學信號直接輸入至第一定向耦合器54，且第二定向耦合器60直接輸出經組合之光學信號至一或多個光學信號偵測器。

【0025】第一光學信號輸出64可耦接至一第一光學信號偵測器70，該第一光學信號偵測器經由波導62自第二定向耦合器60接收光學信號輸出。替代地，或額外地，一第二光學信號偵測器72可耦接至第二光學信號輸出68，並經由波導66自第二定向耦合器60接收光學信號輸出。第一或第二光學信號偵測器70、72偵測分別在波導62、66上傳播之輸出光學信號的強度。在各種實施例中，光學信號偵測器70、72可係光偵測器，其等經組態以偵測各別輸出光學信號的強度。輸出光學信號的強度可藉由例如測量各別光學信號偵測器70、72之每單位面積的輸出光學信號之光功率(例如，以 W/cm^2 為單位)來測量。

【0026】如圖1A中的MZI 10所示，圖2中之MZI 40的第二臂58的傳輸路徑比第一臂56的傳輸路徑較長長度 ΔL 。傳輸路徑之長度的此差異在第二定向耦合器60接收自第一及第二臂56、58的光束中產生相對相位差。取決於兩光束之相對相位差，該等光束在第二定向耦合器60中以相長干涉或相消干涉、或以中間量的干涉組合。

【0027】運用本揭露，不必將光學信號偵測器70、72兩者耦接至第一及第二光學信號輸出64、68。使用耦接至第一光學信號輸出64或第二光學信號輸出68中的一者之僅一個光學信號偵測器70或72所測定的光學信號強度，可偵測MZI 40之溫度。經由第一及第二光學信號輸出64、68輸出之兩光學信號之強度根據MZI 40之溫度而變化，且使用諸如圖1B所示的曲線39之特性曲線可使任一光學信號輸出

之測量值相關於(例如，藉由一處理器(未圖示)，類似於圖 1A所示的處理器 32)MZI 40之溫度。如先前所述，特性曲線 39可藉由在已知溫度下使用通過干涉儀(此處，MZI 40)之一輸入光學信號的傳輸並記錄在該等已知溫度下的輸出光學信號的光學信號強度的對應測量值來校準溫度測量系統而產生。在一些實施例中，可藉由將光學信號偵測器 70、72兩者耦接至各別第一及第二光學信號輸出 64、68，並使用輸出光學信號兩者的測量值來判定MZI 40之溫度，而改善所偵測及報告之溫度的準確度。

【0028】在各種實施例中，對於改善的溫度測量靈敏度，溫度測量系統可包括一或多個額外的相移元件，該一或多個額外的相移元件位移第一或第二光學信號輸出 64、68處的光學信號之至少一者的相位(相對於另一光學信號輸出)。相移元件可併入第一和第二定向耦合器 54、60之一者(或兩者)中或在光學傳輸路徑的一者中的其他位置處，以產生一光學信號輸出，該光學信號輸出具有一特性曲線，該特性曲線不同於另一光學信號輸出的特性曲線。具有具有不同特性曲線之輸出使該溫度測量系統能夠在一給定溫度下產生具有不同溫度靈敏度之輸出光學信號。

【0029】圖 3係另一圖表 80，針對一實例實施例繪示來自 Mach-Zehnder干涉儀(諸如，上述之 Mach-Zehnder干涉儀 10、40)的光學信號輸出的溫度相依性。此外，圖表 80顯示正規化輸出光學強度(輸出功率對輸入功率的比率)如何相依於輸入光學信號的波長。在圖 3中，特性曲線 82

繪示在第一(例如，低)溫度 T_1 下之 **MZI** 的正規化傳輸功率輸出，而特性曲線 84 繪示在第二(例如，高)溫度 T_2 下之 **MZI** 的正規化傳輸功率輸出。如可見，在兩個溫度之各者下，**MZI** 輸出的正規化傳輸功率取決於輸入光學信號的波長而變化。圖表 80 所示之使用窄帶(例如，單一波長)雷射(其例如，在波長 λ 下輸入一光學信號至 **MZI** 中)的正規化傳輸功率輸出對應於圖 1B 之圖表 38 中所繪示的實例。在 T_2 的 **MZI** 溫度下，正規化傳輸功率輸出大約為 0，而在 T_1 的 **MZI** 溫度下，正規化傳輸功率輸出大約為 1。

【0030】在理論層面上，如本文所述之 **MZI** 之輸出光功率對輸入光功率的比率可根據方程式 1 計算如下：

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\alpha_1 k_1 k_2 + \alpha_2 (1 - k_1)(1 - k_2) + 2\sqrt{\alpha_1 \alpha_2 k_1 k_2 (1 - k_1)(1 - k_2)} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} n_{eff}(T) \Delta L\right) \right)$$

【0031】在方程式 1 中， P_0 係輸入光功率， P_1 係輸出光功率， n_{eff} 係 **MZI** 中之波導的有效折射率，且 ΔL 係 **MZI** 之兩個臂的長度差。定向耦合器之傳輸路徑的耦合係數係 k_1 及 k_2 。**MZI** 臂的傳輸係數係 α_1 及 α_2 。假設 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ (亦即，在傳輸線中沒有吸收)且假設 $k_1 = k_2 = 0.5$ (亦即，一 50:50 定向耦合器)，方程式 1 簡化為：

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2\pi n_{eff}(T)}{\lambda} \Delta L\right)$$

【0032】本文所述之溫度測量系統中之組件的可變特性可導致測量溫度的一定量的溫度不確定性。

【0033】為了改善溫度判定，在一些實施例中添加額外的干涉儀及對應的光偵測器。不同的干涉儀可不同地經組態或經組態成彼此不同(例如，藉由相位延遲)，使得其等可具有不同的特性曲線，並可提供不同位準的溫度靈敏度或解析度。多個干涉儀可為多個MZI，其等各係根據圖1A及圖2所示之MZI 10、40所建構。此類多個MZI可建構於相同晶片上並幫助提高MZI溫度計之解析度、靈敏度(回應性)、及準確度。

【0034】在一些實施例中，這些額外的干涉儀將經建構成具有不同的相位關係，使得其相對最大值或最小值發生在不同溫度下。舉例而言，兩個干涉儀可經組態為90度異相。在一些實施例中，當特性曲線係餘弦形或正弦形形式時，此相移導致特性曲線平移向左或右。

【0035】在一些實施例中，各干涉儀具有不同的自由光譜範圍。例如，在至少一實施例中，溫度測量系統可包括三個MZI，其中具有大自由光譜範圍(具有較寬範圍之輸入-輸出特性曲線)的一個MZI係用於大略評估溫度，且具有較小自由光譜範圍(具有較窄範圍的輸入-輸出特性曲線)的兩個MZI係用於第一MZI所評估的溫度範圍內之較高精確溫度測量。具有較窄範圍的輸入-輸出特性曲線的兩個MZI係配置成在兩個MZI之間具有一相對相位差(例如，90度相位差)。在此實例中，三個MZI一起提供較高的溫度測量準確度。在一些實施例中，多個干涉儀可包括一或多個MZI、MI、或任何其他干涉儀。

【0036】在以下實施例中，第一干涉儀經組態以用作為粗略感測器來涵蓋粗略的溫度範圍，其可被理解為提供溫度測量的第一位準或第一位數資訊。第二干涉儀經組態以用作為較精細的感測器，以區別在粗略溫度範圍內的不同溫度範圍。第二干涉儀的正弦曲線的週期經組態成比第一干涉儀的正弦曲線的週期更窄，例如，僅十分之一。以此方式，使用所揭示的技術，可獲得溫度量測的第二位準或第二位數資訊。

【0037】在另一實施例中，較寬範圍干涉儀的強度資訊與較窄範圍干涉儀的波長資訊一起用來達到較高解析度溫度測量。例如，一粗略溫度範圍可基於一較寬範圍干涉儀之一輸出光學信號的光學信號強度以及其對應的特性曲線來評估，如先前所揭示。接著，在該粗略溫度範圍內之一較精細溫度範圍可基於較窄範圍干涉儀之高峰或低谷的頻率/波長來判定。以此方式，可獲得具有多個位準的溫度測量之較高溫度解析度。

【0038】在一實施例中，較高解析度溫度係基於第二干涉儀的讀數(例如，週期計數或週期)以及兩干涉儀的各別特性曲線來判定。此外，其他實施例可藉由增加更多干涉儀來獲得甚至更高的精確度資訊或更高的溫度測量解析度。如此，所揭示的技術會增加此類溫度偵測晶片的靈敏度、精確度、或解析度。

【0039】在採用二或更多個干涉儀的系統中，干涉儀較佳地係建構於相同晶片上並且並行操作。該二個更多個

干涉儀可接收相同之輸入光學信號(例如，來自單一光學信號產生器之一光學信號，該光學信號由分光器分離)，並且測量各別輸出光學信號之強度，該等輸出光學信號分別與系統之溫度相關聯。例如，下面參照圖4所示及描述的一參考臂可與多個干涉儀中之一或多者相關聯，以正規化來自該多個干涉儀之所測定輸出光學信號。多個干涉儀之各者可類似於本文參照MZI 10、40或MI 100所述地操作或以相同方式操作。

【0040】如圖3中可見，當使用波長 λ 之一輸入光學信號時，特性曲線82、84之斜率實質上分別在溫度 T_1 及 T_2 附近減小。若一系統採用至少兩個MZI，其中在一給定溫度下，一MZI之相對最大光學信號可傳性(transmissivity)相對於另一MZI位移(例如，90度)，則可達成在一較寬溫度範圍內之溫度差異的較大靈敏度。例如，在一給定溫度 T 及輸入光學信號波長 λ 下，一個MZI之特性曲線的斜率可實質上大於另一MZI。在該給定溫度 T 及輸入信號波長 λ 下，具有具較高斜率之特性曲線的MZI對溫度的較小差異較敏感。在不同給定溫度(及相同輸入信號波長)下，相同MZI可具有較小斜率的特性曲線，而另一MZI具有較高斜率的特性曲線。在一些實施例中，較高斜率係關於特性曲線的較短週期。反之，較小斜率係關於特性曲線的較長週期。可使用二或更多個干涉儀來達成跨廣溫度範圍之溫差的更高的靈敏度或更高的解析度。

【0041】輸入光學信號中的功率波動可影響上述系統

中之溫度的判定。在上述實施例中對功率波動的靈敏度可藉由下述來最小化：添加一參考臂(諸如圖4所繪示)，並且評估在由參考臂輸出之光學信號的測定強度的情況下之干涉儀輸出信號的測定強度。在參考臂上的輸出信號強度的測量可用以正規化來自系統的干涉儀(或多個干涉儀)的輸出信號強度。以此方式，該系統的溫度可在對於輸入信號功率的波動極少至無靈敏度的情況下判定。

【0042】在圖4所示的實例中，系統採用與圖2所示MZI 40相似或相同的MZI 90。除了測量在光學信號輸出64、68之一或兩者上輸出的光學信號之光學信號強度之外，系統可進一步包括一波導，該波導形成與MZI 90並行操作的一參考臂92。較佳地，參考臂92係在與MZI 90相同的晶片上建構之一波導，並且耦接至一光學信號偵測器94，該光學信號偵測器測量通過參考臂92傳播之光學信號的強度。參考臂92接收與輸入至MZI 90相同的輸入光學信號。參考臂92可耦接至波導52(例如，藉由提供近場耦合的一定向耦合器96)及接收由光學信號產生器48產生之光學信號之光學信號功率的一部分。替代地，可使用其他形式的光束分離(晶片上或晶片外)以將所產生光學信號的部分導引至MZI 90的輸入及參考臂92的輸入兩者，而不將參考臂92耦接至波導52。在此類替代配置中，參考臂92不會通過耦合器96中的波導52附近，如圖4所示，而是從MZI 90從晶片上或晶片外之別處接收輸入光學信號的一部分。

【0043】參考臂92不需要任何溫度或其他環境控制，

因為參考臂92之輸出信號強度測量係用於正規化MZI 90之輸出信號強度測量。正規化輸出信號測量可藉由將MZI 90的輸出信號測量除以參考臂92的輸出信號測量來計算。例如，藉由一處理器(未圖示)，類似於圖1A所示之處理器32，藉由根據特性曲線(例如，如圖1B所示的曲線39所繪示)使正規化輸出信號測量與溫度相關聯，來判定溫度。該特性曲線可由一數學函數、一查找表或儲存於記憶體(例如，圖1A中之記憶體34)中之類似者來表示，其使輸出信號測量值相關於溫度。

【0044】例如，該特性曲線可由一查找表表示，且該處理器經組態以藉由使用該測定光學信號強度作為該查找表的一索引來判定該溫度，而使該干涉儀的該測定光學信號強度與該溫度相關聯。在該特性曲線係由一數學函數表示的實施例中，該處理器可經組態以藉由使用該測定光學信號強度根據該數學函數來計算該溫度，而使該干涉儀的該測定光學信號強度與該溫度相關聯。

【0045】圖5係一圖表，繪示非限制性各種光學接面或定向耦合器，其可用於本揭露之實施例中，以分離或組合入射在接面或耦合器上的光學信號。例如，在圖5中，示意圖(a)、(e)、及(f)繪示具有用於分離或組合光學信號的合適特性之Y接面形式，而示意圖(b)、(c)、及(d)繪示提供合適的近場耦合以分離或組合光學信號之耦合器，取決於待分離或組合之光學信號的傳播方向。本揭露的實施例亦可使用一或多個多模干涉耦合器，其例如具有兩輸入

及兩輸出，如示意圖(g)所示，以分離或組合光學信號。

【0046】圖6係示意圖，繪示使用用於測量溫度的光學干涉儀之系統的又另一實例。圖6中的系統包括一Michelson干涉儀(MI) 100，其使用在形成MI 100的第一及第二臂102、104之不同長度波導中傳播之光學信號的反射。MI 100具有第一光學信號輸入與輸出106以及第二光學信號輸入與輸出108。取決於MI 100之具體組態，第一光學信號輸入/輸出106可耦接至一第一光學信號產生器110，或第二光學信號輸入/輸出108可耦接至一第二光學信號產生器112。

【0047】在第一或第二輸入106、108處輸入至MI 100的光學信號沿各別波導114、116傳播，各別波導提供從光學信號輸入/輸出106、108至一定向耦合器118之傳輸路徑。在一些實施例中，第一或第二光學信號產生器110、112中僅一者可耦接至第一或第二光學信號輸入/輸出106、108，而第一或第二光學信號輸入/輸出106、108之另一者未耦接至一光學信號產生器。

【0048】定向耦合器118包括傳輸路徑，該等傳輸路徑提供在傳輸路徑中傳播之光學信號之信號功率的近場耦合，產生定向耦合器118中的光學信號的混合。定向耦合器118具有一近場耦合係數 k_1 ，且若 k_1 等於0.5，則定向耦合器118係類似於關於圖2所討論之第一和第二定向耦合器54、60的一50:50耦合器。在此類情況中，對於一輸入光學信號，定向耦合器118作用為一分光器，該分光器耦合

該輸入光學信號之該信號功率的一半至在該 MI 100 之該第一臂 102 中傳播之一光束，且該信號功率之另一半傳播於在該第二臂 104 中傳播的光束中。類似於圖 1A 中的 MZI 10，MI 100 的第一臂 102 提供具有長度 L 之長度的光學傳輸路徑，而第二臂 104 提供較長且具有長度 $L + \Delta L$ 之長度的光學傳輸路徑。

【0049】MI 100 的第一臂 102 係耦接至一第一反射器 120，該第一反射器反射傳播通過第一臂 102 的傳入光束。MI 100 的第二臂 104 係耦接至一第二反射器 122，該第二反射器反射傳播通過第二臂 104 的傳入光束。經反射之光束經由第一及第二臂 102、104 回到定向耦合器 118，雖然由於第一及第二臂 102、104 之不同路徑長度而具有相位差。定向耦合器 118 使用近場耦合以混合返回的反射光束以產生經組合輸出信號，該等經組合輸出信號傳播至第一及第二輸入/輸出 106、108。

【0050】第一光學信號輸入/輸出 106 可耦接至一第一光學信號偵測器 124，該第一光學信號偵測器經由波導 114 自定向耦合器 118 接收光學信號輸出。替代地，或額外地，一第二光學信號偵測器 126 可耦接至第二光學信號輸入/輸出 108，並經由波導 116 自定向耦合器 118 接收光學信號輸出。第一及/或第二光學信號偵測器 124、126 (其可係光偵測器) 可藉由例如測量各別光學信號偵測器的每單位面積的輸出光學信號的光功率 (例如，以 W/cm^2 為單位)，來偵測輸出光學信號的強度。

【0051】如 MZI 10(圖 1A)及 MZI 40(圖 2)所示，圖 6 中之 MI 100 的第二臂 104 的傳輸路徑比第一臂 102 的傳輸路徑較長長度 ΔL 。MI 的操作原理類似於先前所述的 MZI。第一及第二臂 102、104 之長度的此差異在定向耦合器 118 經由第一及第二臂 102、104 自第一及第二反射器 120、122 接收的光束中產生一相對相位差。取決於該兩個返回光束之相對相位差，該等光束在定向耦合器 118 中以相長或相消干涉混合。

【0052】不必將光學信號偵測器 124、126 兩者耦接至第一及第二光學信號輸入/輸出 106、108。使用耦接至第一或第二光學信號輸入/輸出 106、108 中的一者之僅一個光學信號偵測器 124 或 126 所獲得的光學信號強度的測量，可偵測 MI 100 之溫度。輸出光學信號之強度根據 MI 100 之溫度而變化，且可使用例如類似於圖 1B 所示的特性曲線 39 之 MI 100 的特性曲線而使任一光學信號輸出之測量值相關於(例如，藉由一處理器(未圖示)，類似於圖 1A 所示的處理器 32)MI 100 之溫度。在其他實施例中，可藉由將光學信號偵測器 124、126 兩者耦接至各別第一及第二光學信號輸入/輸出 106、108，以及使用兩個輸出光學信號的測量值來判定 MI 100 之溫度，而改善溫度判定。

【0053】如上述實施例可見，本揭露提供用於使用光學干涉儀測量溫度的方法。圖 7 係流程圖，繪示本揭露之溫度測量方法 130 之至少一實施例。

【0054】方塊 132 係使用一光學信號產生器(例如，光

學信號產生器 16、46、48、110、或 112)以產生一預定波長的一輸入光學信號。在一實施例中，方塊 132 包括產生該單一波長的該輸入光學信號，該單一波長不具有可調性或具有 1 奈米至 4 奈米之一可調性範圍。

【0055】使用光學干涉儀(諸如如本文所述之 Mach-Zehnder 干涉儀或 Michelson 干涉儀)的溫度偵測系統與方法具有優於目前已知的系統之顯著的成本優點。一般光學溫度測量系統需要昂貴的輸入雷射，其具有大的、可調的波長範圍。此類系統藉由在一廣波長範圍內改變輸入光學信號並且識別在該系統中具有較大共振的輸入信號波長，來判定溫度。經識別之該輸入波長之後與該系統之溫度相關聯。然而，使用本揭露，溫度測量系統可捨棄使用大型靈敏雷射(具有例如 70 nm 的可調性範圍)，轉而使用較便宜、小型、更強健的窄帶雷射(具有例如 1 至 4 nm 之可調性範圍)，其成本僅係大型可調整範圍雷射的價格的一小部分。使用單一波長雷射之本揭露的實施例藉由評估輸出光學信號強度相對於雷射所產生之輸入信號波長下之干涉儀的特性曲線來判定溫度。

【0056】據此，如同圖 1A 之光學信號產生器 16 或圖 2 之光學信號產生器 46、48，圖 6 中之光學信號產生器 110、112 不需要具有寬波長可調性範圍。在一些實施例中，光學信號產生器產生窄帶雷射，其具有例如以輸出波長附近為中心的 0.001 至 4 nm 或 1 至 4 nm 之可調性範圍。

【0057】在方塊 134，該方法涉及將輸入光學信號分

為一第一光束及一第二光束，且之後分別在方塊 136、138 通過干涉儀的第一臂光學傳輸第一光束並通過干涉儀的第二臂光學傳輸第二光束。如上所述，干涉儀的第二臂在第二光束中引入相對於第一光束之一相移。在方塊 140 中，該方法涉及將所傳輸的該第一光束之至少一部分與所傳輸的該經相移第二光束組合以產生一輸出光學信號。

【0058】在方塊 142，測量該輸出光學信號之光學信號強度。在一些實施例中，此方塊進一步包括藉由參考臂的參考光學信號強度來將干涉儀的輸出光學信號強度正規化。針對此正規化，執行額外步驟，包括通過一參考臂傳輸該輸入光學信號之至少一部分以產生一參考輸出光學信號，並測量該參考臂之該參考輸出光學信號的一參考光學信號強度。

【0059】在方塊 144，使該測定光學信號強度與一溫度相關聯，例如，使用一特性曲線以產生一測定溫度。如先前所述，可藉由在已知溫度下通過干涉儀傳輸一輸入光學信號，並記錄在該等已知溫度下的輸出光學信號的光學信號強度的對應測量值來獲得一特性曲線。在一些實施例中，一種用於建構此類特性曲線的方法包括在複數個已知溫度下通過干涉儀傳輸一校準光學信號；記錄該干涉儀的對應輸出光學信號的光學信號強度；以及基於該複數個已知溫度及該等對應輸出光學信號來產生該特性曲線。

【0060】在一多干涉儀組態系統中，方塊 142 進一步包括測量接收該輸入光學信號的一第二干涉儀之一第二輸

出光學信號之一第二光學信號強度；以及基於一第二特性曲線判定一第二溫度範圍，該第二特性曲線使一第二範圍的輸出光學信號強度相關於一第二範圍的溫度。同時，方塊 144 進一步包括基於經由第一干涉儀所判定的該第一溫度範圍及經由第二干涉儀所判定的該第二溫度範圍而判定一較高的解析度溫度。如稍早所討論的，該第二溫度範圍指示該第一溫度範圍中之一相對位置，例如，基於該等週期計數或週期。

【0061】此外，在本文所述之光學干涉儀中使用的波導(諸如 MZI 10、40 及 MI 100)可由提供光傳播之傳輸路徑的各種材料的任何材料構成。此類材料可包括但不限於：矽、氮化矽、二氧化矽(也就是矽石、氧化物、石英、熔融矽石)、砷化鎵、藍寶石(鋁氧、氧化鋁)、鍺、氟化物材料、溴化物材料、及氯化物材料、或其任何組合。

【0062】此外，可使用已知用於建構晶片上的光學干涉儀的組件之任何種類的製造方法，諸如但不限於微影蝕刻、電子束微影、壓紋、直接圖案寫入、3D 列印、膜沉積、膜生長、及膜蝕刻。

【0063】亦應理解，本揭露涵蓋在二或更多個干涉儀臂傳播之光束中產生一相對相位差之方法與系統。此包括使用不同尺寸光路徑、光路徑及其設計的幾何變化、不同尺寸波導、不同干涉儀臂或其周圍環境之不同材料、不同的薄膜、干涉儀臂周圍的單一原子層或多個原子層(2D 或 1D)材料、干涉儀臂周圍的不同機械應力或壓力、藉由任

何被動晶片設計或主動(例如，微加熱器)加熱機構施加不同的溫度在各臂上、以及形成干涉儀組件的材料中的任何主動或被動折射率變化(例如，摻雜劑的不同)之方法及系統。

【0064】本揭露的實施例進一步涵蓋具有實施 Mach-Zehnder 干涉儀或 Michelson 干涉儀用於溫度測定法的概念之各種晶片設計變化之方法及系統。此類變化可包括但不限於干涉儀設計變化、波導尺寸或波導路徑的變化、光學信號的傳播中之不同類型的耦合器(例如，定向耦合器、多模干涉耦合器、或 Y 接面耦合器)、或至晶片之任何類型的輸入或輸出(例如，光柵耦合器、邊緣耦合、迴路光纖耦合、或錐形光纖)。

【0065】雖然本文中詳細說明及討論的例示性實施例係指使用用於光學干涉儀溫度測定法的窄帶雷射，但是眾所周知的是，電磁輻射跨越巨大的光譜。本發明之其他合適實施例可採用光學信號產生器，其產生在例如可見光譜、近紅外光、中紅外光、及遠紅外波長範圍中之光學信號。產生射頻信號的信號產生器可耦接至共振器，並且用作本文所述之光學干涉儀溫度測定法的「光學信號來源」。在一些情況下，X 射線及紫外線信號產生器可耦接至一 MZI，且用於本文所述之光學干涉儀溫度測定法。亦可使用用於光學信號產生器的不同操作模式。在許多實施例中，光學信號產生器係一連續波窄帶雷射。可使用其他形式之信號產生器來產生輸入光學信號，諸如頻率梳源、

寬頻源、脈衝源、同調、非同調(類似於光學同調斷層掃描)、或任何其他類型的光源。此類替代輻射源與操作模式(適於與本文所述之光學干涉儀溫度測定法一起使用)並不背離本揭露的原理。

【0066】 以上討論的實施例可採用多個光學信號偵測器，諸如圖2及圖4中之偵測器72、72、及94、或圖6中的偵測器124、126，用於測量輸出光學信號。光學信號偵測器的數目可進一步在使用二或更多個干涉儀的實施例中成倍增加，如上文所論述。在一些實施例中，可使用較少的光學信號偵測器，並且藉由一或多個多工開關來連接至干涉儀或參考臂之各種光學信號輸出，如在此類實施例中可用的。(多個)多工開關及(多個)光學信號偵測器可與(多個)干涉儀及(多個)參考臂建構在晶片上，或與干涉儀及參考臂分離建構在晶片外。實際上，在各種實施例中，(多個)光學信號產生器、(多個)干涉儀、及(多個)光學信號偵測器的一些或全部可經建構在相同晶片上。

【0067】 本揭露的實施例可進一步經調適以測量干涉儀輸出的光學信號強度(功率)，並且亦測量在該特定波長及輸出信號的測定強度下之干涉儀的特性曲線的斜率。評估所測定輸出光學信號強度與曲線斜率兩者可增加該溫度偵測的整體靈敏度。利用輸入光學信號的波長之輕微調變，有可能判定在所偵測到的強度下干涉儀特性曲線的斜率。所測定斜率提供一額外參數，該額外參數幫助更精確地使所測定信號強度與溫度相關聯，並且降低溫度測量之

不確定性。例如，藉由從計算中(例如，上述方程式1中)的餘弦項移至正切項，所判定斜率對所測定強度的比率可增加測量靈敏度。此外，這些技術可與鎖定放大技術組合，以更準確地測量並評估輸出光學信號，以判定系統的溫度。

【0068】如將理解的，上述各種實施例可經組合以提供又進一步的實施例。若有需要，可修改實施例之態樣，以採用本文所揭示之本發明的概念。參酌上文實施方式，可對實施例進行此等及其他變化。一般而言，在下文申請專利範圍中，說明書中所用術語不應被解釋為將申請專利範圍受限於本說明書中揭露的具體實施例，而是應理解為包括所有可能的實施例連同此申請專利範圍享有的均等物之全部範疇。因此，申請專利範圍不受限於本揭露。

【0069】因此，鑒於前述揭露，所揭示之系統或方法的各種實例可包括下列特徵之任一者或組合。

【0070】這些特徵包括光學信號產生器、干涉儀、光學信號偵測器、以及處理器。光學信號產生器產生一預定波長的一輸入光學信號。

【0071】干涉儀可經組態為 Mach-Zehnder 干涉儀或 Michelson 干涉儀。干涉儀包括耦接至光學信號產生器的分光器。該分光器接收來自該光學信號產生器之該輸入光學信號，且將該輸入光學信號分成一第一光束及一第二光束。該干涉儀進一步包括一第一臂，該第一臂耦接至該分光器以接收且光學傳輸該第一光束；及一第二臂，該第二

臂耦接至該分光器以接收且光學傳輸該第二光束，其中該第二臂在該第二光束中引入相對於該第一光束之一相移。干涉儀亦進一步包括經耦接至第一臂及第二臂的一光束組合器。該光束組合器接收該第一光束及該經相移第二光束，且組合該第一光束之至少一部分及該經相移第二光束以產生一輸出光學信號。

【0072】該光學信號偵測器耦接至該光束組合器並測量該輸出光學信號之該光學信號強度。該處理器耦接至該光學信號偵測器並且接收該測定光學信號強度。該處理器使該光學信號強度與一溫度相關聯，以產生一測定溫度。

【0073】干涉儀包括形成第一臂的一第一波導以及形成第二臂的一第二波導。該第二臂在其所承載的該光束中引入相對於該第一臂所承載的該光束之一相移。該第二波導為該第二光束提供一光學傳輸路徑，該光學傳輸路徑比該第一波導為該第一光束所提供的一光學傳輸路徑更長。用於建構第一臂及第二臂的材料之差異可在第一及第二臂承載之光束中產生相對相移。第二臂與第一臂之間的應力、應變、或摻雜差異可引入相對相移。

【0074】該處理器根據一特性曲線使該測定光學信號強度與溫度相關聯，該特性曲線係使該測定光學信號強度相關於該溫度。該特性曲線可藉由校準溫度測量系統而產生，例如，藉由在已知溫度下通過干涉儀傳輸一輸入光學信號並記錄在該等已知溫度下的輸出光學信號的光學信號強度的對應測量值。

【0075】該特性曲線可由一查找表表示，且該處理器藉由使用該測定光學信號強度作為該查找表的一索引來判定該溫度，而使該干涉儀的該測定光學信號強度與該溫度相關聯。該特性曲線係由一數學函數表示，且該處理器藉由使用該測定光學信號強度根據該數學函數來計算該溫度，而使該干涉儀的該測定光學信號強度與該溫度相關聯。

【0076】可產生至少兩個輸出光學信號。可使用一或多個相移元件來相對於其他輸出光學信號位移至少一輸出光學信號之相位，使得輸出光學信號之各別特性曲線相對於彼此相移。因此，在任何給定的溫度下，輸出光學信號之不同特性曲線反映不同的溫度靈敏度(亦即，每溫度變化之輸出信號強度變化)。

【0077】該系統可併入二或更多個干涉儀。在此類實施例中，一第一干涉儀以所測定第一光學信號強度產生一輸出光學信號，而一第二干涉儀以所測定第二光學信號強度產生一輸出光學信號。該第二干涉儀包括一第一臂，該第一臂接收並光學傳輸該輸入光學信號的一部分作為一第一光束；以及一第二臂，該第二臂接收並光學傳輸該輸入光學信號的一部分作為一第二光束。如同第一干涉儀，第二干涉儀的第二臂在第二光束中引入相對於第一光束之一相移，且經傳輸的第一光束及經相移第二光束組合以產生一輸出光學信號。一光學信號偵測器測量該第二干涉儀之該輸出光學信號的該光學信號強度，並產生一測定第二光

學信號強度。

【0078】該處理器接收該第一干涉儀的該測定第一光學信號強度及該第二干涉儀的該測定第二光學信號強度，且使該等第一及第二光學信號強度兩者相關聯於一溫度，以產生測定溫度。

【0079】該第一及第二干涉儀可各具有一各別特性曲線，其使所測定之第一及第二光學信號強度相關於該溫度。在此一情況下，該處理器根據各別的特性曲線，使該第一干涉儀的該第一光學信號強度及該第二干涉儀的該第二光學信號強度兩者相關聯於該溫度。在任何給定的溫度下，第一干涉儀的特性曲線可具有反映溫度靈敏度(亦即，每溫度變化的輸出信號強度改變)之一斜率，該溫度靈敏度不同於第二干涉儀的溫度靈敏度。該第二干涉儀的該特性曲線可相對於該第一干涉儀的該特性曲線相移，使得對於任何給定溫度，通過該等第一及第二干涉儀所傳輸的該輸入光學信號產生具有不同測定光學信號強度的各別輸出光學信號。

【0080】該溫度測量系統可進一步包括一參考臂，該輸入光學信號之至少一部分係通過該參考臂傳輸，以產生一輸出光學信號。耦接至該參考臂的一光學信號偵測器接收該輸出光學信號並測量該輸出光學信號之一光學信號強度。該干涉儀或該等干涉儀的該測定光學信號強度係藉由該參考臂的該測定光學信號強度正規化。

【0081】其他特徵包括使用一光學信號產生器產生一

預定波長的一輸入光學信號；將該輸入光學信號分為一第一光束及一第二光束；通過一干涉儀的一第一臂光學傳輸該第一光束；通過該干涉儀的一第二臂光學傳輸該第二光束，其中該干涉儀的該第二臂在該第二光束中引入相對於該第一光束之一相移；將該第一光束之至少一部分及該經相移第二光束組合以產生一輸出光學信號；測量該輸出光學信號之一光學信號強度；以及使該測定之光學信號強度與一溫度相關聯，以產生一測定溫度。在各種實施例中，該干涉儀的該第二臂提供一光學傳輸路徑用於傳輸該第二光束，該光學傳輸路徑比該第一臂用於傳輸該第一光束所提供的一光學傳輸路徑更長。

【0082】 其他特徵包括根據一特性曲線使該測定之光學信號強度與一溫度相關聯，該特性曲線使一範圍之輸出光學信號強度相關於一範圍之溫度。可藉由在已知溫度下通過該干涉儀傳輸該輸入光學信號，並記錄在該等已知溫度下的該輸出光學信號的該等光學信號強度的對應測量值來產生該特性曲線。

【0083】 其他特徵包括使用二或更多個干涉儀來測量溫度，其中例如，一第一干涉儀以所測定的一第一光學信號強度產生一輸出光學信號，而一第二干涉儀以所測定的一第二光學信號強度產生一輸出光學信號；使該測定之第一光學信號強度及該第二光學信號強度兩者相關聯於一溫度，以產生該測定溫度。可根據分別使該等第一及第二光學信號強度相關於該溫度之該等第一及第二干涉儀的各別

特性曲線，使該第一光學信號強度及該第二光學信號強度相關聯於該溫度。在各種實施例中，該第二干涉儀的該特性曲線相對於該第一干涉儀的該特性曲線相移，使得通過該等第一及第二干涉儀所傳輸的該輸入光學信號產生具有不同測定光學信號強度的各別輸出光學信號。

【0084】其他特徵包括通過一參考臂傳輸該輸入光學信號之至少一部分，以產生一輸出光學信號；測量該參考臂之該輸出光學信號之一光學信號強度；以及藉由該參考臂的該測定光學信號強度正規化該干涉儀的該測定輸出光學信號強度。

【符號說明】

【0085】

10:Mach-Zehnder干涉儀(MZI)

12:光學信號輸入

14:光學信號輸出

16:光學信號產生器

18:波導

20:分光器

22:第一臂

24:第二臂

26:光束組合器

28:波導

30:光學信號偵測器

32:處理器
34:記憶體
36:顯示器
38:圖表
39:特性曲線
40:Mach-Zehnder干涉儀(MZI)
42:第一光學信號輸入
44:第二光學信號輸入
46:第一光學信號產生器
48:第二光學信號產生器
50,52:波導
54:第一定向耦合器
56:第一臂
58:第二臂
60:第二定向耦合器
62,66:輸出波導
64:第一光學信號輸出
68:第二光學信號輸出
70:第一光學信號偵測器
72:第二光學信號偵測器
80:圖表
82:特性曲線
84:特性曲線
90:MZI

92:參考臂

94:光學信號偵測器

96:定向耦合器

100:Michelson干涉儀(MI)

102:第一臂

104:第二臂

106:第一光學信號輸入與輸出

108:第二光學信號輸入與輸出

110:第一光學信號產生器

112:第二光學信號產生器

114,116:波導

118:定向耦合器

120:第一反射器

122:第二反射器

124:第一光學信號偵測器

126:第二光學信號偵測器

130:溫度測量方法

132,134,136,138,140,142,144:方塊

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】一種一晶片上的溫度測量系統，其包含：

一光學信號產生器，其經組態以產生一預定波長的一輸入光學信號；

一干涉儀，其包括：

一分光器，其經組態以將該輸入光學信號分成一第一光束及一第二光束；

一第一臂，其耦接至該分光器，以接收且光學傳輸該第一光束；

一第二臂，其耦接至該分光器，以接收且光學傳輸該第二光束，其中該第二臂在該第二光束中引入相對於該第一光束之一相移，以產生一經相移第二光束；及

一光束組合器，其耦接至該第一臂及該第二臂，其中該光束組合器經組態以接收該第一光束及該經相移第二光束，且組合該第一光束之至少一部分及該經相移第二光束以產生一輸出光學信號；

一光學信號偵測器，其耦接至該光束組合器，其中該光學信號偵測器經組態以測量該輸出光學信號的一光學信號強度並產生該干涉儀的一測定光學信號強度；

一參考臂，透過該參考臂傳輸該輸入光學信號的至少一部分以產生一參考輸出光學信號；

一光學信號偵測器，其耦接至該參考臂以接收該參考輸出光學信號並測量該參考輸出光學信號的一光學信號強

度以產生該參考臂的一測定光學信號強度，

其中透過該參考臂的該測定光學信號強度對該干涉儀的該測定光學信號強度進行正規化，以產生該干涉儀的一正規化測定光學信號強度；及

一處理器，其經組態以使該干涉儀的該正規化測定光學信號強度與一溫度相關聯。

【請求項2】如請求項1之溫度測量系統，其中該干涉儀包括形成該第一臂的一第一波導及形成該第二臂的一第二波導，且其中該第二波導為該第二光束提供一光學傳輸路徑，該光學傳輸路徑比該第一波導為該第一光束所提供的一光學傳輸路徑更長。

【請求項3】如請求項1之溫度測量系統，其中該處理器經組態以根據一特性曲線使該干涉儀的該測定光學信號強度與該溫度相關聯，該特性曲線使該干涉儀的該測定光學信號強度相關於該溫度。

【請求項4】如請求項1至3中任一項之溫度測量系統，其中該干涉儀係一第一干涉儀，該第一干涉儀以該第一干涉儀的一測定第一光學信號強度產生一輸出光學信號，

該溫度測量系統進一步包含一第二干涉儀，該第二干涉儀包括一第一臂及一第二臂，該第一臂經組態以接收並光學傳輸該輸入光學信號的一部分作為一第一光束，該第二臂經組態以接收並光學傳輸該輸入光學信號的一部分作為一第二光束，其中該第二臂在該第二光束中引入相對於

該第一光束之一相移，以產生該第二干涉儀的一經相移第二光束，且其中該第二干涉儀的該第一光束及經相移第二光束組合以產生一輸出光學信號；

其中一光學信號偵測器經組態以測量該第二干涉儀的該輸出光學信號的一光學信號強度，並產生該第二干涉儀的一測定第二光學信號強度；及

其中該處理器經組態以接收該第一干涉儀的該測定第一光學信號強度及該第二干涉儀的該測定第二光學信號強度，且使該等各別的第一及第二干涉儀的該等測定第一及第二光學信號強度兩者相關聯於該溫度。

【請求項5】如請求項4之溫度測量系統，其中該第一及第二干涉儀具有各別的特性曲線，該等特性曲線使該等測定第一及第二光學信號強度相關聯於該溫度，且其中該處理器經組態以根據該等各別的特性曲線使該等各別的第一及第二干涉儀的該等測定第一及第二光學信號強度兩者相關聯於該溫度。

【請求項6】如請求項5之溫度測量系統，其中該第二干涉儀的該特性曲線相對於該第一干涉儀的該特性曲線相移，使得對於任何給定溫度，透過該等第一及第二干涉儀所傳輸的該輸入光學信號產生具有不同測定光學信號強度的各別輸出光學信號。

【請求項7】如請求項5之溫度測量系統，其中在一給定溫度下，該等第一及第二干涉儀的該等各別的特性曲線具有不同的斜率，從而在該給定溫度下提供不同的溫度靈

敏度。

【請求項8】如請求項3之溫度測量系統，其中該光束組合器產生具有各別特性曲線的至少兩個輸出光學信號，該溫度測量系統進一步包含一相移元件，該相移元件在該至少兩個輸出光學信號之間引入一相位差，使得在一給定溫度下，該至少兩個輸出光學信號之該等各別特性曲線提供不同的溫度測量靈敏度。

【請求項9】如請求項1至3中任一項之溫度測量系統，其中該參考臂經耦接以接收與該輸入光學信號至該干涉儀的一耦接分開之該輸入光學信號的該部分。

【請求項10】一種用於測量溫度之方法，其包含：
提供一單一波長的一輸入光學信號至一干涉儀；
測量該干涉儀之一輸出光學信號的一光學信號強度；
透過一參考臂傳輸該輸入光學信號之至少一部分，以產生一參考輸出光學信號；

測量該參考臂之該參考輸出光學信號之一參考光學信號強度；

基於該參考臂的該參考光學信號強度，將該干涉儀之該輸出光學信號的該光學信號強度正規化；及

基於該輸出光學訊號的正規化光學信號強度和一特性曲線判定一溫度，該特性曲線使一範圍的輸出光學信號強度相對於一範圍的溫度。

【請求項11】如請求項10之用於測量溫度之方法，其進一步包含：

將該輸入光學信號分為一第一光束及一第二光束；

在該第二光束中導致相對於該第一光束的一溫度相依相移，以產生一經相移第二光束；及

將該第一光束之至少一部分及該經相移第二光束組合以產生該輸出光學信號。

【請求項 12】如請求項 10 或 11 之用於測量溫度之方法，其中該干涉儀係一第一干涉儀，該光學信號強度係一第一光學信號強度，該特性曲線係一第一特性曲線，且該溫度係一第一溫度範圍，該方法進一步包含：

測量接收該輸入光學信號的一第二干涉儀之一第二輸出光學信號之一第二光學信號強度；及

基於一第二特性曲線判定一第二溫度範圍，該第二特性曲線使一第二範圍的輸出光學信號強度相對於一第二範圍的溫度。

【請求項 13】如請求項 12 之用於測量溫度之方法，其進一步包含：

將該第一干涉儀與該第二干涉儀組態以使該第二溫度範圍比該第一溫度範圍具有一較精細位準的準確度；及

基於該第一溫度範圍及該第二溫度範圍判定一較高解析度溫度，其中該第二溫度範圍指示該第一溫度範圍中的一相對位置。

【請求項 14】如請求項 10 或 11 之用於測量溫度之方法，其中該干涉儀係一第一干涉儀，且該溫度係一第一溫度範圍，該方法進一步包含：

基於一第二干涉儀的一高峰或一低谷的波長資訊，獲得該第一溫度範圍內的一第二溫度範圍；及

基於該第一溫度範圍及該第二溫度範圍判定一較高解析度溫度。

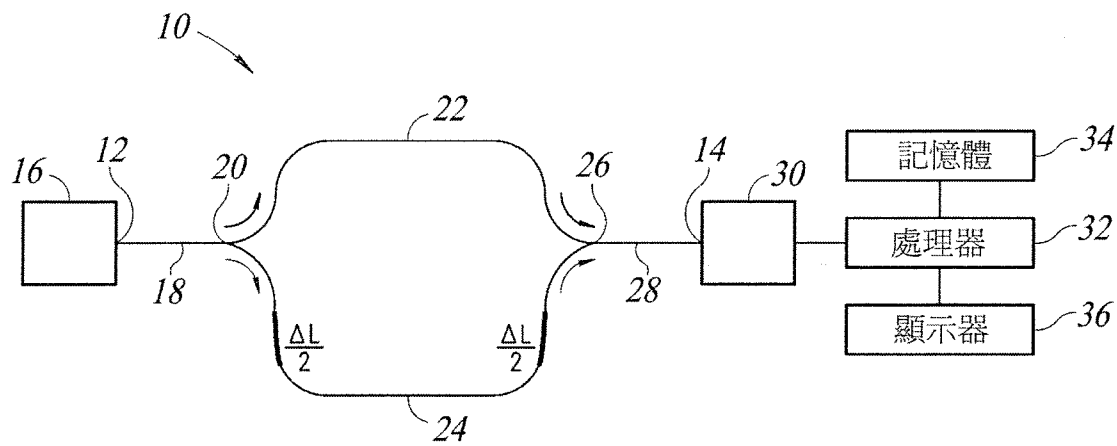
【請求項 15】如請求項 10 或 11 之用於測量溫度之方法，其進一步包含：

在複數個已知溫度下透過該干涉儀傳輸一校準光學信號；

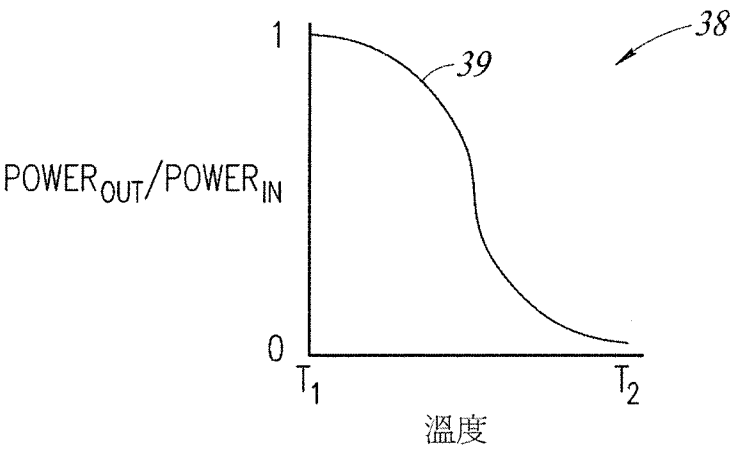
記錄該干涉儀的對應輸出光學信號的光學信號強度；及

基於該複數個已知溫度及該等對應的輸出光學信號產生該特性曲線。

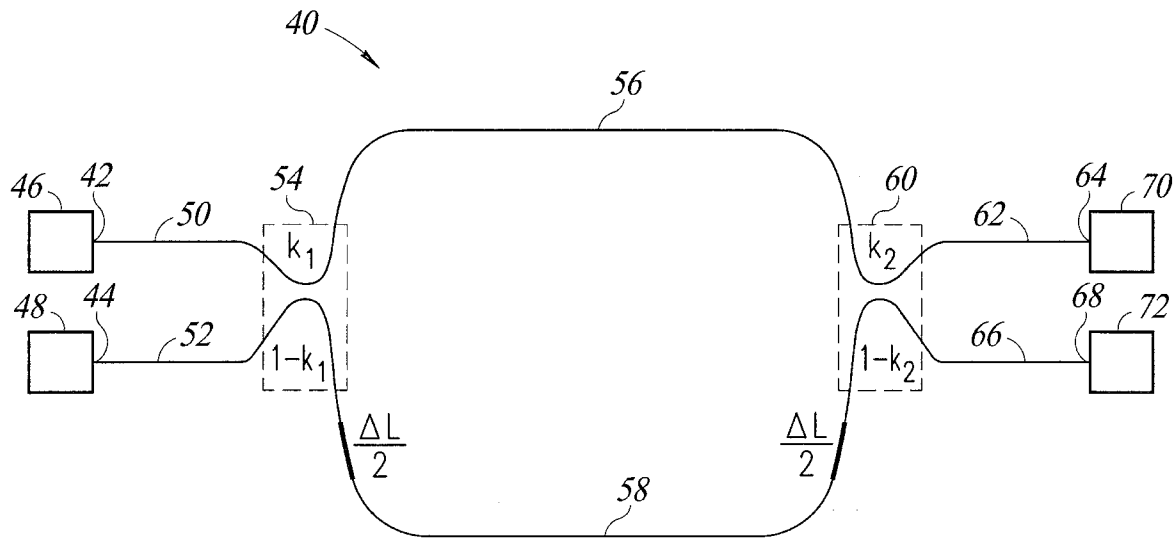
【發明圖式】



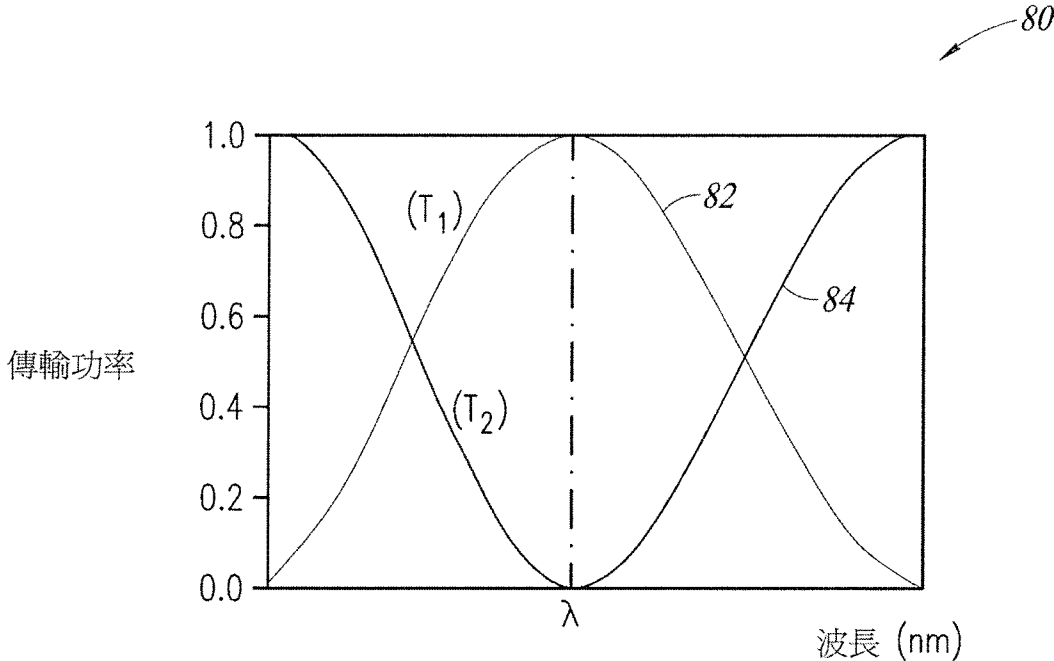
【圖 1A】



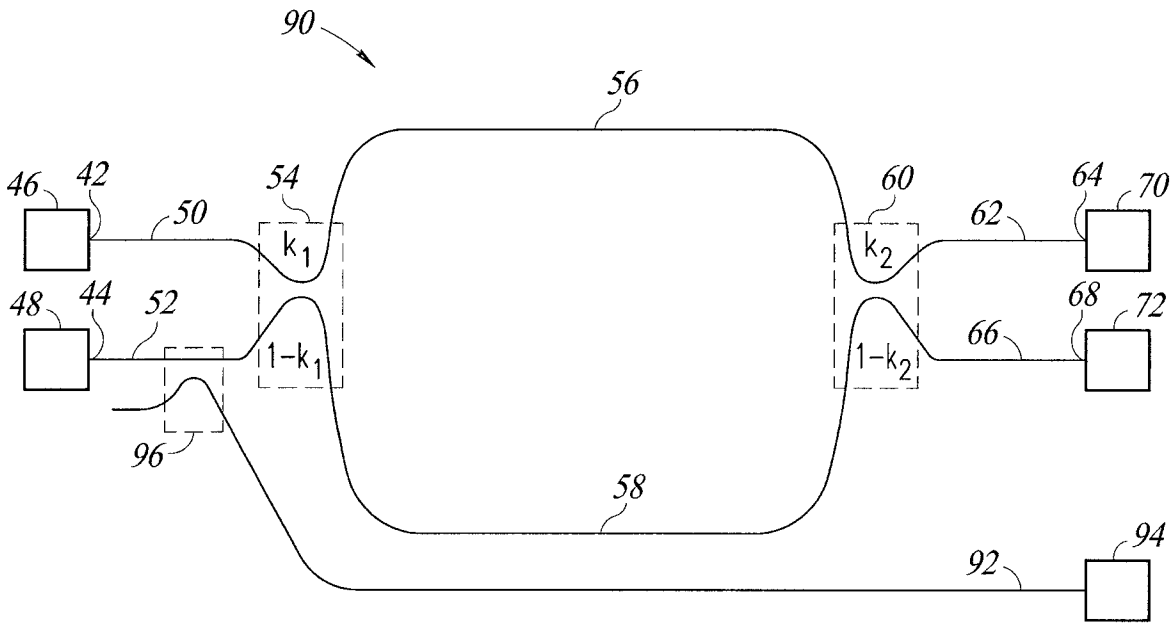
【圖 1B】



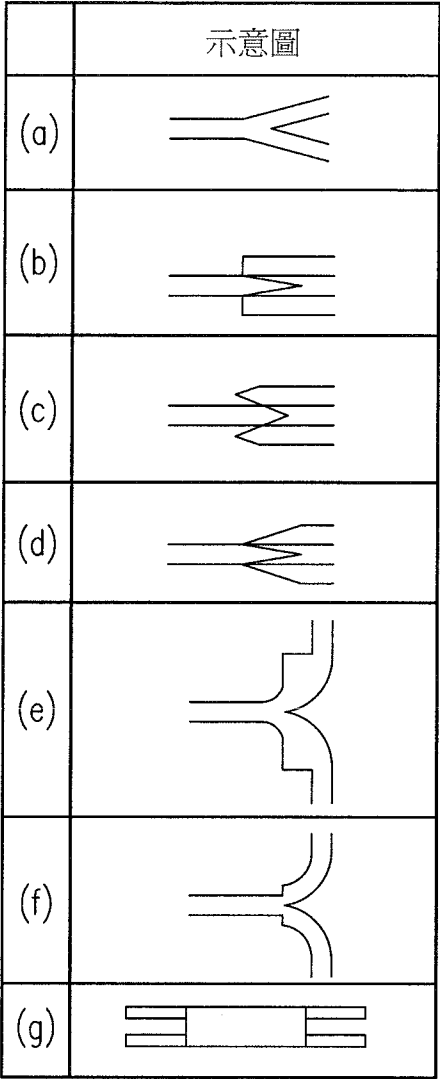
【圖 2】



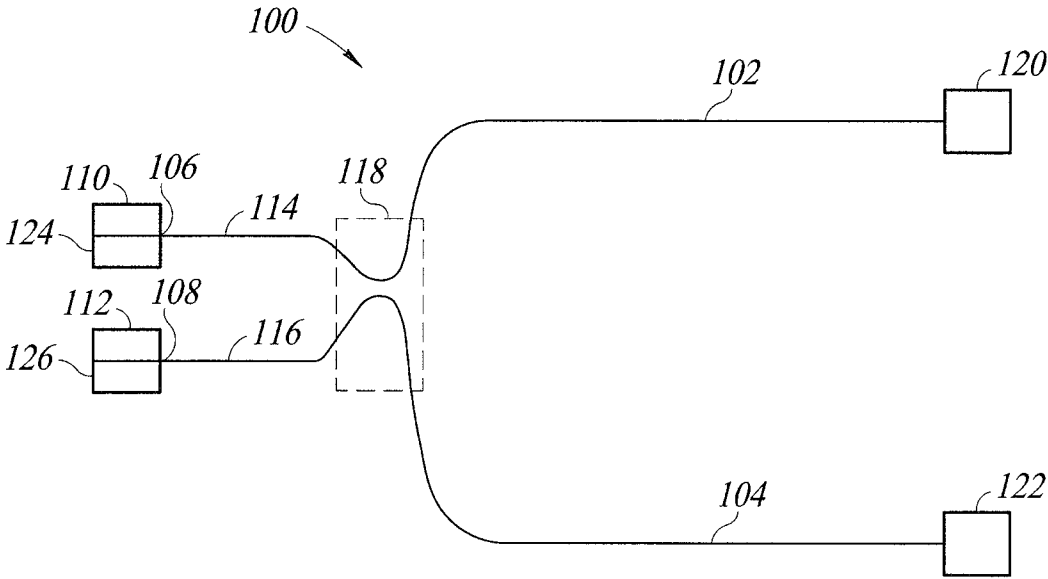
【圖 3】



【圖 4】

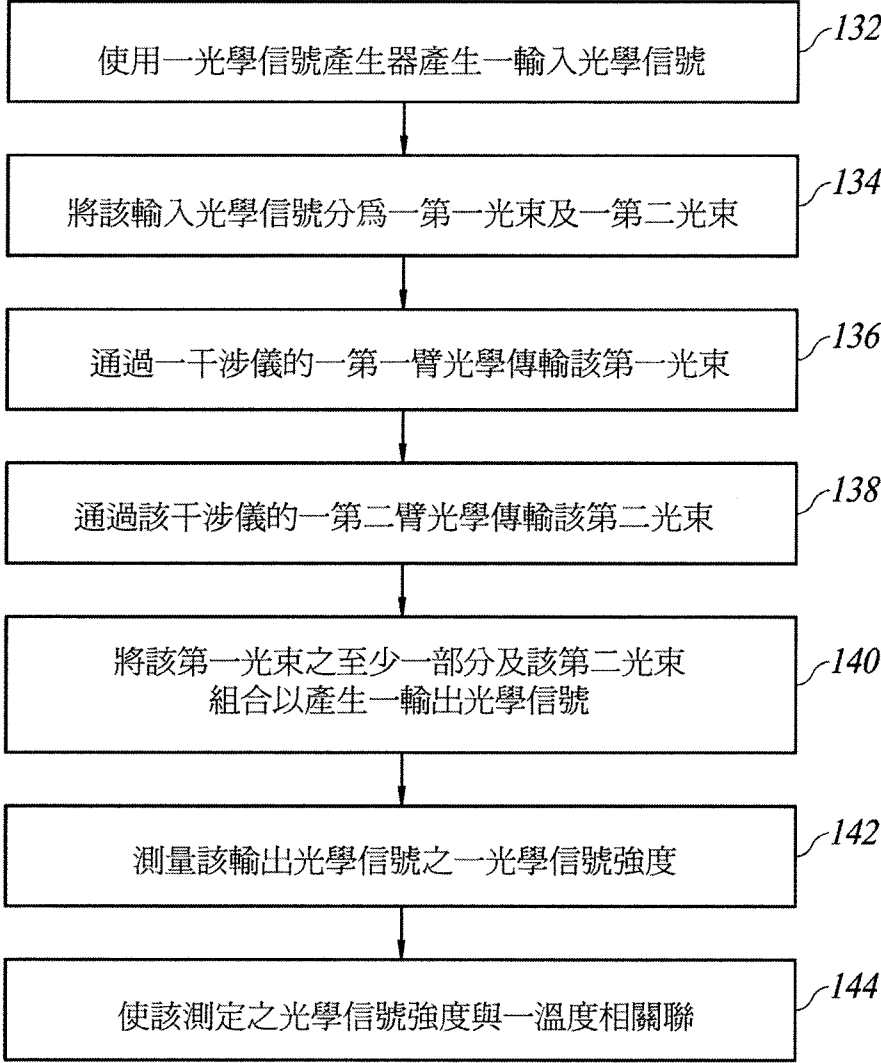


【圖 5】



【圖 6】

130



【圖 7】