



(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 I468663 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：098116305

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 05 月 15 日

(51)Int. Cl. : G01N21/17 (2006.01)

H01S3/082 (2006.01)

(30)優先權：2008/05/15 美國

12/121,012

(71)申請人：洛伊馬汀公司(美國) LOCKHEED MARTIN CORPORATION (US)  
美國

(72)發明人：德瑞克 湯瑪斯 E 二世 DRAKE, THOMAS E., JR. (US)；杜博 馬克 DUBOIS, MARC (CA)；羅瑞恩 彼德 W LORRAINE, PETER W. (US)；迪頓 約翰 B 二世 DEATON, JOHN B., JR. (US)；費爾金斯 羅伯特 FILKINS, ROBERT (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 455686

EP 1228501B1

JP 10-209689A

JP 2001-314990A

US 5982482

審查人員：陳勇志

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：3 共 15 頁

(54)名稱

使用 CO<sub>2</sub> 雷射及諧波產生以產生超音波之改良中紅外線雷射及超音波偵測系統METHOD OF ULTRASONIC TESTING A TARGET OBJECT MADE OF COMPOSITE MATERIALS  
USING A HIGH ENERGY GENERATION LASER BEAM AND ULTRASONIC DETECTION SYSTEM

(57)摘要

本發明揭示一種用於超音波檢測之中紅外線範圍雷射源，其包含一與一或多個諧波產生器件耦合之高能量雷射。該高能量雷射可為一 CO<sub>2</sub> 雷射且經調諧而以一單波長發射雷射光。該等諧波產生器件將該雷射光束轉換至中紅外線範圍中以用於最佳超音波檢測。

A mid infrared range laser source for ultrasound inspection that comprises a high energy laser coupled with one or more harmonic generation devices. The high energy laser may be a CO<sub>2</sub> laser and tuned to emit laser light at a single wavelength. The harmonic generation devices convert the laser beam into the mid infrared range for optimal ultrasound inspection.

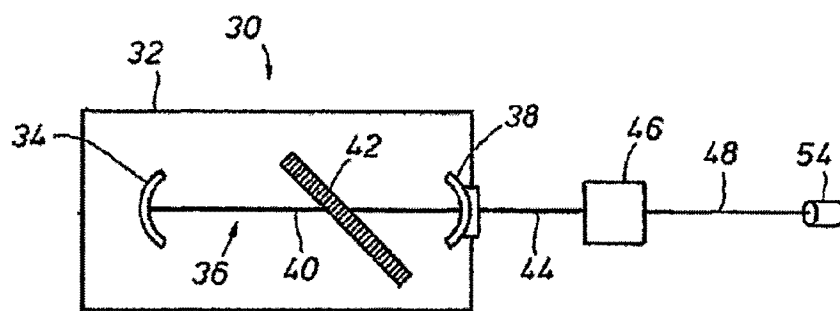


圖2

- 30 . . . 中紅外線雷射系統
- 32 . . . CO<sub>2</sub> 雷射
- 34 . . . 鏡子
- 36 . . . 腔室
- 38 . . . 輸出耦合器
- 40 . . . 單波長光束
- 42 . . . 繞射光柵
- 44 . . . CO<sub>2</sub> 雷射光束
- 46 . . . 諧波產生器
- 48 . . . 諧波光束
- 54 . . . 光纖

# 發明專利說明書

中文說明書替換頁(103年8月)

12日

(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：098116305

G01N 21/17 (2006.01)

※ 申請日：98年5月15日

※IPC 分類：H01S 3/082 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

使用CO<sub>2</sub>雷射及諧波產生以產生超音波之改良中紅外線雷射及超音波偵測系統

METHOD OF ULTRASONIC TESTING A TARGET OBJECT MADE OF COMPOSITE MATERIALS USING A HIGH ENERGY GENERATION LASER BEAM AND ULTRASONIC DETECTION SYSTEM

## 二、中文發明摘要：

本發明揭示一種用於超音波檢測之中紅外線範圍雷射源，其包含一與一或多個諧波產生器件耦合之高能量雷射。該高能量雷射可為一CO<sub>2</sub>雷射且經調諧而以一單波長發射雷射光。該等諧波產生器件將該雷射光束轉換至中紅外線範圍中以用於最佳超音波檢測。

## 三、英文發明摘要：

A mid infrared range laser source for ultrasound inspection that comprises a high energy laser coupled with one or more harmonic generation devices. The high energy laser may be a CO<sub>2</sub> laser and tuned to emit laser light at a single wavelength. The harmonic generation devices convert the laser beam into the mid infrared range for optimal ultrasound inspection.

#### 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：

|    |                      |
|----|----------------------|
| 30 | 中紅外線雷射系統             |
| 32 | CO <sub>2</sub> 雷射   |
| 34 | 鏡子                   |
| 36 | 腔室                   |
| 38 | 輸出耦合器                |
| 40 | 單波長光束                |
| 42 | 繞射光柵                 |
| 44 | CO <sub>2</sub> 雷射光束 |
| 46 | 諧波產生器                |
| 48 | 諧波光束                 |
| 54 | 光纖                   |

#### 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】

本發明大體而言係關於非破壞性測試之領域。更具體言之，本發明係關於一種用以使用二氧化碳(CO<sub>2</sub>)雷射及產生該CO<sub>2</sub>雷射輸出之諧波來形成中範圍紅外線產生雷射光束之系統。

### 【先前技術】

複合材料形成中之最近發展已將複合材料之使用擴展至廣泛多種應用。由於複合材料之與低重量相結合的高強度及耐用性，複合物正替代金屬及金屬合金來作為特定負載承載組件之基底材料。舉例而言，現常常將複合物用作為諸如汽車、船及飛機之載運工具的主體部件及結構之材料。然而，為了確保複合物之機械完整性，需要嚴格的檢測。通常要求在由複合物製成之組件製造後或在組件之使用期間週期性地進行檢測。

雷射超音波為檢測由複合材料製成之物件之方法的一個實例。該方法涉及藉由用一脈衝產生雷射輻照複合物之一部分而在一複合表面上生成超音波振動。將一偵測雷射光束對準該振動表面且由該等表面振動加以散射、反射及相位調變以生成相位調變光。收集光件接收該相位調變雷射光且導引其以用於處理。處理通常藉由一耦接至收集光件之干涉儀來執行。關於複合物之資訊可自相位調變光處理確定，該資訊包括裂紋、分層、孔隙率之偵測及纖維資訊。目前已知的用於分析複合目標物件之雷射超音波偵測

系統具有一有限的能量及重複率(頻率)。在目標表面處，中紅外線產生雷射光束之典型雷射光束能量值為約10毫焦耳(mJ)並具有一約10赫茲(Hz)之對應頻率。

### 【發明內容】

本文中揭示一種使用一高能量產生雷射光束來對一目標物件進行超音波測試之方法，其包含：提供一CO<sub>2</sub>雷射光束；生成該CO<sub>2</sub>雷射光束之一諧波；將該CO<sub>2</sub>雷射光束諧波導引至該目標物件；熱彈性地激發該目標物件之一表面以在該目標物件上生成超音波位移；及量測該等超音波位移。該CO<sub>2</sub>諧波可為二次或三次諧波。一光纖可耦合至該CO<sub>2</sub>雷射光束。該目標物件處之CO<sub>2</sub>雷射光束諧波能量可為至少50毫焦耳、至少75毫焦耳、至少100毫焦耳或至少100 Hz。該目標物件處之CO<sub>2</sub>雷射光束諧波頻率可為至少200 Hz或至少400 Hz。CO<sub>2</sub>雷射光束諧波波長可自約3微米變換至約4微米或可為約3.2微米。

本文中亦揭示一種超音波偵測系統。在一項實施例中，該系統包含：一CO<sub>2</sub>雷射；一諧波光束產生系統；一CO<sub>2</sub>雷射光束，其自該CO<sub>2</sub>雷射發射且導引至該諧波光束產生系統；及該CO<sub>2</sub>雷射光束之一諧波光束，其自該諧波光束產生系統發射且導引至一目標物件。在一實施例中，該諧波光束使該目標物件之一部分熱彈性地膨脹，藉此在該目標表面上生成位移，該偵測系統進一步包含一對準該等位移之偵測光束，其中該偵測光束經相位調變且藉由該等位移來反射。該諧波產生系統可為二次諧波產生器或三次諧

波產生器。自該CO<sub>2</sub>雷射發射之CO<sub>2</sub>雷射光束能量可為至少約4.5焦耳或至少約1焦耳。該目標處之諧波雷射光束能量可為至少約50毫焦耳或至少約100毫焦耳。諧波雷射光束波長可自約3微米變化至約4微米或可為約3.2微米。

### 【實施方式】

已陳述了本發明之特徵及益處中的一些，當結合隨附圖式考慮時，其他特徵及益處將隨著描述進行而變得顯而易見。

現將參看隨附圖式在下文中更充分地描述本發明，在該等隨附圖式中展示本發明之實施例。然而，本發明可以許多不同形式實施，且不應被解釋為限於本文中所闡述的所說明實施例；更確切而言，提供此等實施例使得本揭示案將澈底且完整，且將向熟習此項技術者充分傳達本發明之範疇。相似數字始終指代相似元件。為引用附圖方便起見，方向術語僅用於參考及說明。舉例而言，將諸如「上部」、「下部」、「在……之上」、「在……之下」的方向術語及其類似者用於說明關係位置。

應理解，本發明不限於所展示及描述之構造、操作、精確材料或實施例之精確細節，因為熟習此項技術者將容易理解修改及等效物。已在諸圖式及說明書中揭示了本發明之說明性實施例，且儘管使用了特定術語，但該等術語僅用於一般及描述性意義而不用於限制之目的。因此，本發明因而僅受附加之申請專利範圍之範疇限制。

圖1提供雷射超音波偵測系統10的一項實施例之側面透

視圖。偵測系統10包含一雷射超音波單元12，其形成以發射一產生光束14且該光束導引至一檢測目標15。產生光束14在檢測表面16上接觸檢測目標15。產生光束14使檢測表面16熱彈性地膨脹以在檢測表面16上生成對應波位移18。在一項實施例中，產生光束14為一經組態以在檢測表面16上生成波位移18之脈衝雷射。亦說明一自雷射超音波單元12發出之偵測光束20且將其同軸地展示在產生光束14周圍。儘管偵測光束及產生光束(14、20)自同一雷射超音波單元12發出，但其係由不同源產生。然而，偵測光束20可視情況源自不同單元以及不同位置。如所知，偵測光束20包含一偵測波，其在與波位移18接觸後散射、反射且相位調變以形成相位調變光21。來自偵測光束20之相位調變光21接著為收集光件23所接收且經處理以判定有關檢測目標15之資訊。可穿越目標15掃描產生光束及偵測光束(14、20)以獲得關於整個表面16之資訊。一用以掃描該等光束(14、20)之機構(未圖示)可裝納於雷射超音波單元12內。一用於控制該機構且視情況用於處理由收集光件所記錄之資料的處理器(未圖示)亦可裝納於雷射超音波單元12中。收集光件23經展示為與雷射超音波單元12分離且經由箭頭A與雷射超音波單元12通信，然而，收集光件可包括於雷射超音波單元12內。

現參看圖2，以示意圖說明中紅外線雷射系統30的一個實例。系統30生成一可用作為圖1之產生光束14的中紅外線光束。中紅外線雷射系統30包含一用以形成一CO<sub>2</sub>雷射



光束44之CO<sub>2</sub>雷射32。在CO<sub>2</sub>雷射32中示意地說明一鏡子34及一操作性地安置於雷射32內之輸出耦合器38。一腔室36設置於鏡子34與輸出耦合器38之間。與該鏡子與輸出耦合器38之一反射性表面之操作性耦合相結合，輸入至CO<sub>2</sub>雷射32中之能量在此等兩個反射性表面之間產生一光束。繞射光柵42設置於腔室36內且經組態以准許具有一特定波長之光子通過。腔室36內之繞射光柵42因此在腔室36中形成一單波長光束40。

單波長光束42之一些光子穿過輸出耦合器38而逃離CO<sub>2</sub>雷射32以形成一CO<sub>2</sub>光束44。圖2之實施例說明一安置於CO<sub>2</sub>光束44之路徑中的諧波產生器46。諧波產生器46將CO<sub>2</sub>光束44轉換成一諧波以形成一自諧波產生器46傳遞之諧波光束48。視情況，展示一光纖54，其接收諧波光束48以用於產生光束14之產生及導引。諧波光束48可用作CO<sub>2</sub>光束44之基本波長的二次諧波。視情況，諧波光束48可用作CO<sub>2</sub>光束44之基本波長的三次諧波或某一其他諧波。

圖3提供中紅外線雷射系統30a之一替代實施例，其中CO<sub>2</sub>光束44藉由一個以上諧波產生器來調節。在圖3中，將CO<sub>2</sub>光束44導引至二次諧波產生器47，該二次諧波產生器47將CO<sub>2</sub>光束44變成二次諧波，藉此形成二次諧波光束49。將二次諧波光束49導引至三次諧波產生器50，該三次諧波產生器50發射一具有一大體上等於CO<sub>2</sub>光束44之基本波長的三次諧波之波長的三次諧波光束52。圖3之實施例不限於所展示的兩個諧波產生器，而是可包括安置於雷射

光束之路徑中的額外諧波產生器。亦可將三次諧波光束52用作為圖1之自雷射超音波源12發射的產生光束14。三次諧波產生器50可藉由直接轉換而生成CO<sub>2</sub>雷射光束44之三次諧波，或可轉換基本波長且將其與二次諧波波長混合以形成CO<sub>2</sub>雷射光束基本波長之三次諧波。

在本文中所揭示之偵測或測試系統的一項實施例中，CO<sub>2</sub>雷射光束可經諧波處理以具有一在約3微米與達到約5.5微米之間的波長。視情況，CO<sub>2</sub>雷射光束可具有一在整個中紅外線範圍中之波長。視情況，CO<sub>2</sub>雷射光束可具有一自約3微米至約4微米之波長。視情況，CO<sub>2</sub>雷射光束可具有一約3.2微米之波長。

將CO<sub>2</sub>雷射用於雷射光束之形成的許多優點中之一者為可使用CO<sub>2</sub>雷射獲得高能量，該雷射光束用於目標物件之超音波位移測試。增加的能量對應地生成具較高振幅之位移；此提供較離散之量測及所記錄測試資料之精度。

CO<sub>2</sub>雷射生成一光束，其波長自約9微米延伸至約11微米且具有一約10.6微米之常見波長。此波長下之雷射光束在導引至複合材料時具有一相對淺之光學深度，複合材料將雷射光束能量集中於一複合表面。若將過多能量施加至該表面或允許該光束接觸該表面達一延長的時間段，則複合物可能被CO<sub>2</sub>雷射損壞。然而，中紅外線範圍(亦即，自約3微米至4微米)中之雷射光束具有增加的光學深度，藉此允許更多雷射能量進入至該複合表面中而無表面消融之危險。因此，複合物之使用CO<sub>2</sub>光束諧波的雷射超音波測試

之一額外優點為，可使用具有一對應於測試表面上的較高振幅位移之較高能量位準之雷射光束。

CO<sub>2</sub>雷射30可經設計而以各種能量值發射其對應雷射光束44。針對CO<sub>2</sub>雷射30設計可實現至少一焦耳至達到且超出約4.5焦耳之值。另外，CO<sub>2</sub>雷射30可經組態以使得其對應光束44具有一在1焦耳與4.5焦耳之間的任何數之能量值。因此，視諧波產生器之轉換效率而定，接觸目標表面的產生光束之能量值可為目前可用超音波雷射測試系統之10毫焦耳的當前值的數倍。因此，本文中所揭示之方法及系統可提供一產生雷射光束，其在目標表面接觸處具有一至少約50毫焦耳、至少約75毫焦耳、至少約100毫焦耳及至少約300毫焦耳之值。另外，產生光束14之頻率可高於目前可用之10 Hz。頻率值可為至少約100 Hz、至少約200 Hz、至少約300 Hz、至少約400 Hz、至少約500 Hz及至少達到約1000 Hz。

在一項實施例中，諧波產生器(46、47、50)可為晶體且可為臨界相位匹配或準相位匹配組態。在一個實例中，晶體可由下列化合物製成：AgGaS<sub>2</sub>、AgGaSe<sub>2</sub>、GaAs、GaSe、ZnGeP<sub>2</sub>(ZGP)、AgGa<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>Se<sub>2</sub>、Tl<sub>3</sub>AsSe<sub>3</sub>(TAS)、CdGeAs<sub>2</sub>(CGA)，及其組合。

將藉由CO<sub>2</sub>雷射形成之諧波雷射光束用於雷射超音波測試之一額外優點為，諧波雷射光束較不可能在目標物件之測試期間損壞複合表面。另外，CO<sub>2</sub>雷射之高能量可用以在目標表面內形成較高且可較容易量測之位移。又一優點

為，為了雷射光束之增強透射性而將CO<sub>2</sub>雷射光束與光學纖維耦合之能力。

本文中所描述之本發明因此將十分適合於進行該等物件且獲得所提及之目標及優點，以及其中所固有的其他目標及優點。儘管已出於揭示之目的而給出了本發明之目前較佳實施例，但為了實現所要結果，程序之細節中存在許多改變。此等及其他類似修改將容易地使熟習此項技術者想到，且意欲包涵於本文中所揭示的本發明之精神以及附加之申請專利範圍之範疇內。

### 【圖式簡單說明】

圖1為雷射超音波偵測系統之示意表示。

圖2為根據本揭示案的中範圍紅外線超音波雷射源之示意圖。

圖3為根據本揭示案的中範圍紅外線超音波雷射源之示意圖。

儘管將結合較佳實施例來描述本發明，但將理解，本發明不欲限於彼實施例。正相反，本發明意欲涵蓋如可包括於如附加之申請專利範圍所界定的本發明之精神及範疇內的所有替代物、修改及等效物。

### 【主要元件符號說明】

|    |           |
|----|-----------|
| 10 | 雷射超音波偵測系統 |
| 12 | 雷射超音波單元   |
| 14 | 產生光束      |
| 15 | 檢測目標      |

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| 16  | 檢 測 表 面                 |
| 18  | 對 應 波 位 移               |
| 20  | 偵 測 光 束                 |
| 21  | 相 位 調 變 光               |
| 23  | 收 集 光 件                 |
| 30  | 中 紅 外 線 雷 射 系 統         |
| 30a | 中 紅 外 線 雷 射 系 統         |
| 32  | CO <sub>2</sub> 雷 射     |
| 34  | 鏡 子                     |
| 36  | 腔 室                     |
| 38  | 輸 出 耦 合 器               |
| 40  | 單 波 長 光 束               |
| 42  | 繞 射 光 柵                 |
| 44  | CO <sub>2</sub> 雷 射 光 束 |
| 46  | 諧 波 產 生 器               |
| 47  | 二 次 諧 波 產 生 器           |
| 48  | 諧 波 光 束                 |
| 49  | 二 次 諧 波 光 束             |
| 50  | 三 次 諧 波 產 生 器           |
| 52  | 三 次 諧 波 光 束             |
| 54  | 光 纖                     |
| A   | 箭 頭                     |

## 七、申請專利範圍：

1. 一種使用一高能量產生雷射光束對一由複合材料製成之目標物件進行超音波測試之方法，該方法包含：

提供一 CO<sub>2</sub>雷射光束，其具有約 1 焦耳至約 4.5 焦耳之能量及約 9 微米至約 11 微米之基本波長；

導引該 CO<sub>2</sub>雷射光束之基本波長至由晶體所構成之一諧波產生器；

使用該諧波產生器產生一被選擇之該 CO<sub>2</sub>雷射光束基本波長之諧波波長，該被選擇之諧波波長具有至少約 50 毫焦耳範圍內之能量及約 3 微米至約 4 微米之基本波長；

將該 CO<sub>2</sub>雷射光束之被選擇之諧波波長脈衝導向至目標物件，該脈衝之脈衝頻率在約 100 Hz 至 1000 Hz 之範圍內；

熱彈性地激發該目標物件之一表面以在該目標物件上生成超音波位移；及

量測該等超音波位移。

2. 如請求項 1 之方法，其中該生成被選擇之諧波波長之步驟包含以該諧波產生器生成該 CO<sub>2</sub>雷射光束基本波長之二次諧波波長。
3. 如請求項 2 之方法，其中該生成被選擇之諧波波長之步驟包含以該諧波產生器生成該 CO<sub>2</sub>雷射光束基本波長之三次諧波波長。
4. 如請求項 1 之方法，其進一步包含在將該 CO<sub>2</sub>雷射光束之被選擇之諧波波長導向至目標物件之前，將該 CO<sub>2</sub>雷射

光束之被選擇之諧波波長耦合至一光纖。

5. 如請求項2之方法，其中該生成被選擇之諧波波長之步驟包含使用一額外之諧波產生器將該基本波長轉換至一被轉換之波長及將該被轉換之波長與該第二諧波波長混合以形成該CO<sub>2</sub>雷射光束之被選擇之諧波波長。
6. 如請求項1之方法，其中該CO<sub>2</sub>雷射光束之被選擇之諧波波長具有至少100毫焦耳之能量。
7. 如請求項1之方法，其中該CO<sub>2</sub>雷射光束之被選擇之諧波波長具有至少300毫焦耳之能量。
8. 如請求項1之方法，其中該CO<sub>2</sub>雷射光束脈衝頻率為至少500 Hz。
9. 如請求項1之方法，其中該CO<sub>2</sub>雷射光束脈衝頻率為至少200 Hz。
10. 如請求項1之方法，其中該CO<sub>2</sub>雷射光束脈衝頻率為至少400 Hz。
11. 如請求項3之方法，其中產生該第三諧波波長包括：

將該第二諧波波長導向至該額外之諧波產生器，並使用該額外之諧波產生器將該第二諧波波長轉換至第三諧波波長。

12. 一種超音波偵測系統，其包含：

一CO<sub>2</sub>雷射；

由晶體所構成之一諧波光束產生系統；

一CO<sub>2</sub>雷射光束，其自該CO<sub>2</sub>雷射發射，該CO<sub>2</sub>雷射光束具有約1焦耳至約4.5焦耳之能量及約9微米至約11微米

之基本波長且被導引至該諧波光束產生系統；及

在該CO<sub>2</sub>雷射光束基本波長之諧波波長之一由該諧波光束產生系統發射之一被選擇諧波光束，該被選擇諧波波長光束具有至少約50毫焦耳之能量及約3微米至約5.5微米之間的波長；及

該被選擇之諧波波長光束在約100 Hz至1000 Hz之脈衝頻率被以脈衝方式導向至一目標物體之表面以判定有關該目標物體表面之資訊。

13. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該被選擇之諧波波長光束使該目標物件之一部分熱彈性地膨脹，藉此在目標表面上生成位移，該偵測系統進一步包含一對準該等位移之偵測光束，其中該偵測光束經相位調變且藉由該等位移來反射。
14. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該諧波產生系統包含一諧波產生器以產生該基本波長之二次諧波波長及其他諧波產生器以產生該基本波長之三次諧波波長。
15. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該諧波產生系統包含一諧波產生器以產生該基本波長之二次諧波波長，及一額外之諧波產生器以產生該基本波長之一額外諧波波長，且該被選擇之諧波波長光束包含該額外諧波波長與該二次諧波波長之混合。
16. 如請求項12之超音波偵測系統，其中諧波波長光束之能量至少為約100毫焦耳。
17. 如請求項12之超音波偵測系統，其中諧波波長光束之能



量至少為約300毫焦耳。

18. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該脈衝頻率為至少約400Hz。
19. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該脈衝頻率為至少約500Hz。
20. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該諧波雷射光束波長為自約3微米至約4微米。
21. 如請求項12之超音波偵測系統，其中該諧波雷射光束波長為約3.2微米。
22. 一種使用一高能量產生雷射光束對一由複合材料製成之目標物件進行超音波測試之方法，該方法包含：
  - (a) 提供一 CO<sub>2</sub> 雷射光束，其具有約 1 焦耳至約 4.5 焦耳之能量及約 9 微米至約 11 微米之基本波長；
  - (b) 將該 CO<sub>2</sub> 雷射光束之基本波長導向至一由晶體構成之諧波產生器；
  - (c) 使用該諧波產生器產生該 CO<sub>2</sub> 雷射光束基本波長之二次諧波波長；
  - (d) 使用一由晶體構成之額外諧波產生器產生該 CO<sub>2</sub> 雷射光束基本波長之三次諧波波長，該三次諧波波長具有至少約 50 毫焦耳之範圍內之能量及約 3 微米至約 4 微米之波長；
  - (e) 將該 CO<sub>2</sub> 雷射光束基本波長之三次諧波波長脈衝導向至該目標物件，該脈衝係在範圍為約 100Hz 至

1000 Hz 內之脈衝頻率；

(f) 熱彈性地激發該目標物件之一表面以在該目標物件上生成超音波位移；及

(g) 量測該等超音波位移。

23. 如請求項22之方法，其中步驟(d)包括：

將該二次諧波波長導向至該額外諧波產生器，並使用該額外諧波產生器將該二次諧波波長轉換成該三次諧波波長。

24. 如請求項22之方法，其中步驟(d)包括：

使用該額外諧波產生器將該基本波長轉換成一被轉換之波長，並將該被轉換之波長與該二次諧波波長混合以形成該三次諧波波長。

八、圖式：

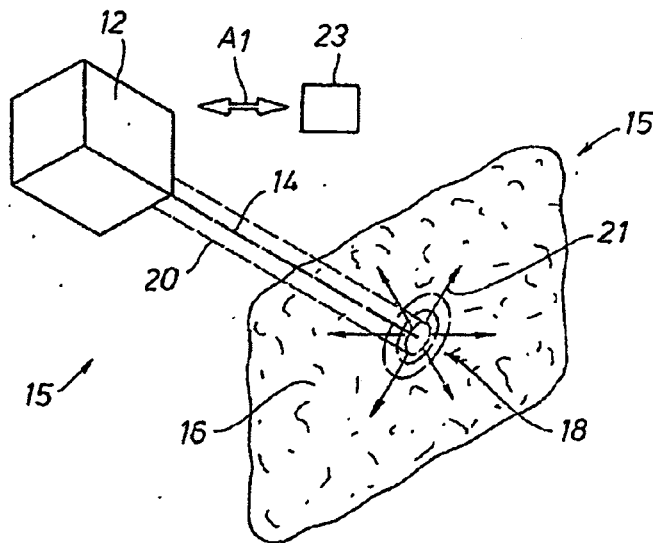


圖 1

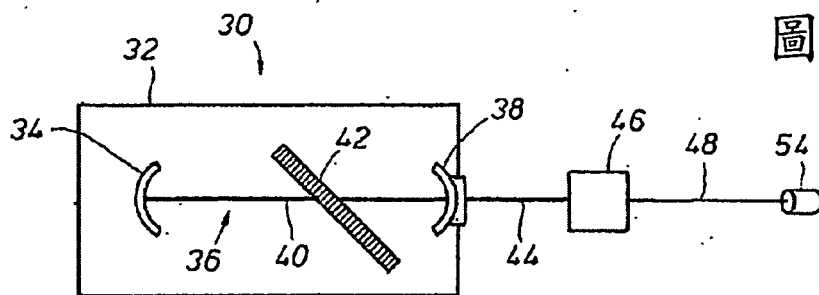


圖 2

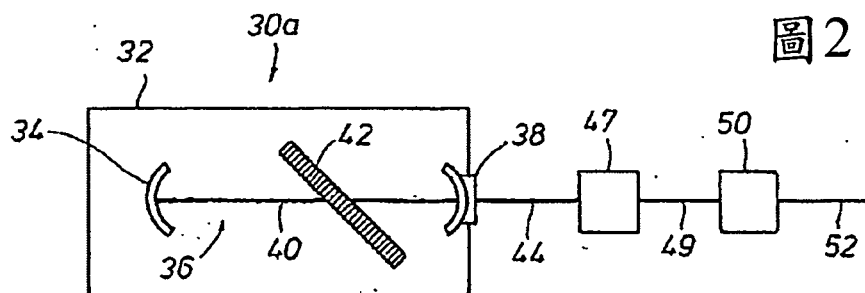


圖 3