

【發明說明書】

【中文發明名稱】使用一系列雷射脈衝用於鑽孔之方法與裝置

【英文發明名稱】METHOD AND APPARATUS FOR DRILLING USING A SERIES OF LASER PULSES

【技術領域】

【0001】 大致而言，本發明係關於材料之雷射處理。更特定而言，本發明係關於使用一系列雷射脈衝之方法及裝置，該系列雷射脈衝之屬性已經具體決定，以在雷射處理應用中提供改良的處理品質及較高生產量。本發明亦係關於使用一系列雷射脈衝在各種材料中鑽孔。然而，本發明具有較廣泛的適用性且可用於其他應用及材料。

【先前技術】

【0002】 已將諸如Nd:YAG雷射之脈衝雷射源用於執行基於雷射的材料處理，用於諸如標記、雕刻、微加工、切割及鑽孔之應用。通常使用雷射的一個此製程係用於在材料中鑽鑿小孔。有時將此等小孔稱為「通孔」。此等孔可為完全穿過該材料之貫穿孔，或此等孔可為開始於一側但結束於材料內某點之盲孔。雷射可用於在各種材料中鑽孔，該等材料包括（例如）半導體（諸如，矽）、金屬（諸如，銅）、陶瓷（諸如，矽石）、玻璃及多種其他材料。雷射亦用於在由多層不同材料組成的

樣品（諸如，由介電質與銅之交替層組成的電路板）中鑽孔。

【0003】 使用雷射在樣品中鑽孔之一種技術為衝擊鑽。在衝擊鑽時，使來自雷射的光之一或更多脈衝在材料上期望鑽孔之位置處聚焦、成像或定向。在材料上聚焦、成像或定向之光形成一光點，本文稱為雷射光點。各脈衝均移除一些材料，直至該孔達到期望的深度為止或直至該孔完全穿過該材料為止。用於衝擊鑽之雷射通常傳遞相等能量及重複率之一系列雷射脈衝（該系列內之各脈衝與先前及隨後的脈衝在時間上等距）。當使用衝擊鑽來鑽鑿一個以上孔時，名義上存在三種方案，使用該三種方案可將雷射脈衝傳遞至材料。此等方案包含：(i) 將第一系列脈衝定向於第一孔處直至完成該孔為止，接著將第二系列脈衝定向於第二孔處直至完成該孔為止，依此類推直至完成所有孔為止；或(ii) 將第一脈衝定向於第一孔處，接著將第二脈衝定向於第二孔處，隨後將第三脈衝定向於第三孔處，依此類推直至使一個脈衝已定向於各孔處為止，接著重複該系列直至完成所有孔為止；或(iii) 將第一系列脈衝定向於第一孔處，接著第二系列脈衝定向於第二孔處，依此類推直至使一系列脈衝已定向於各孔處為止，接著重複該系列直至完成所有孔為止。方案(i)稱為單程鑽孔製程，而方案(ii)及方案(iii)稱為多程製程。儘管在某些情況下，有可能僅使用一個來自雷射之脈衝來穿過極薄的材料鑽孔，但

通常雷射鑽孔需要一系列的兩個或兩個以上之雷射脈衝。

【0004】雷射具有用於鑽孔之若干優點。可將雷射光束聚焦至極小光點以鑽鑿小孔且極快地鑽鑿各孔。雷射鑽孔為非接觸式製程，其中可使用包括透鏡、鏡組及其他定向構件之光學系統來使該雷射光束遠距離定向，或另一選擇為可移動該樣品自身。此類定向構件可受電腦控制，使得該光束可完成每秒多次之重定位。因而，在短時間內使用雷射可鑽鑿許多孔。通常將雷射之參數（諸如，脈衝能量、脈衝長度、暫時脈衝形狀、峰值功率、平均功率、重複率）選擇為最佳值，以獲得用於期望應用之最需要的孔屬性。此舉通常意謂為每個應用選擇不同的雷射，因為對於許多雷射而言，雷射的參數通常不可在相當寬的範圍內進行調整，亦不可相互獨立。

【0005】雷射參數包括其脈衝重複率，其決定介於脈衝之間的時間間隔。對於許多雷射而言，重複率之改變亦導致脈衝能量之改變。脈衝能量之此改變可影響所鑽孔之品質、生產量或其他特性。然而，脈衝間間隔自身存在於比脈衝能量之伴隨改變次要的許多環境中，該等伴隨改變意謂該脈衝間間隔是否應改變。因而，鑽鑿複數個孔時通常存在某些可用之可撓性，以使得若需要一系列脈衝來鑽孔，則實際上無論在各別脈衝之間提供何種時間間隔，雷射脈衝之其他參數皆可取決於期望的多個參數。熟習此項技術者應認識到，存在大量的排列，

在該等排列內可將N個系列的X脈衝傳遞至N個孔，且介於定向於任何一個特定孔的該等系列中之各別脈衝之間的時間間隔在某些該等排列之中可為高度不規則。

【0006】 使用脈衝雷射來鑽孔之一個實例為在矽晶圓中鑽鑿貫穿孔。雷射在此特定應用中為有利的，由於矽晶圓中通孔之所需直徑可能小至5微米，且在某些情況下（諸如，太陽能電池）需要每秒鑽鑿數百個貫穿孔。在大多數情況下，在製造電子器件之製程中，在矽晶圓中雷射鑽鑿通孔為一個步驟。該製程中之其他步驟將通常在通孔上強加品質要求：通孔具有諸如桶形或錐形之某一形狀、側壁將為平滑的、孔入口處之刻幅將具有最大高度、將最小化接近進入孔之碎片及殘餘物及其他特定要求。為達成此等品質要求，視特定應用情況，需要能夠預定且選擇雷射脈衝之最佳特徵，包括最佳脈衝能量、脈衝寬度、脈衝重複率、峰值功率或能量及暫時脈衝形狀。

【0007】 特徵為脈衝能量大於0.1兆焦/脈衝之許多現有高功率脈衝雷射依賴諸如Q切換及模式鎖定之技術來產生光學脈衝。此類雷射產生具有經由空腔幾何形狀、鏡面反射性等預定特徵之光學脈衝。使用此類雷射，通常難以為立即之應用達成最佳脈衝長度或脈衝形狀。同樣，改變雷射脈衝之一或更多特徵（諸如，一系列脈衝之半系列中之脈衝能量或重複率）可導致該系列中若干脈衝之不良擾動，諸如，稱作超脈衝或間歇脈衝能量

波動之突然的脈衝能量增加。因而，在很多情況下，孔之雷射鑽鑿具有缺陷。

【發明內容】

【0008】 本發明係關於一種使用一系列雷射脈衝在一材料中鑽鑿一孔之方法，其中在該系列中改變一或更多雷射脈衝之一或更多特徵，以便最佳化用於該孔之鑽孔製程。在示意性地圖示於第1圖中之一個實施例中，提供一系列S1雷射脈衝以在一材料中鑽鑿一孔，其中該系列S1包括：具有脈衝間時間間隔T1的能量E1之若干脈衝、隨後為一脈衝間時間間隔L1、然後為具有脈衝間時間間隔T2的能量E2之另一若干脈衝。可預定對值E1、值E2、值L1、值T1及值T2之選擇，以最佳化該孔之某些重要特性以及鑽鑿該孔之速度。在本發明之其他實施例中，提供一系列雷射脈衝以在一材料中鑽鑿一孔，其中該系列雷射脈衝可具有預定的不同之能量、脈衝間時間間隔、脈衝長度或脈衝形狀之脈衝，以最佳化鑽孔製程。脈衝長度定義為光學脈衝之半高寬(full width half maximum; FWHM)。與使用系列中各脈衝之特徵與系列中每隔一個脈衝之特徵相同之一系列脈衝所獲得的結果相比，預定選擇用於鑽鑿該孔之系列脈衝中各脈衝之特徵，以提供藉此鑽鑿的孔之改良特性及藉此鑽鑿該孔之速度。

【0009】 本文所描述的本發明之實施例在雷射鑽孔時提供若干優點。第2a圖圖示在矽晶圓中雷射鑽鑿的通孔之橫截面示意圖。在材料中鑽出的孔可以若干屬性為特徵。舉例而言，通孔可為桶形，其中入口及出口具有大致相等尺寸。或者，通孔可為錐形，其中入口比出口更大，如第2a圖中所示。在本發明之一實施例中，使用一系列脈衝來鑽孔，藉此為系列中之一或更多脈衝改變包括能量及脈衝間時間間隔之一或更多脈衝特徵，以使得所得孔之形狀將具有特定錐形輪廓。同樣，在本發明之另一實施例中，提供一系列脈衝，藉此為系列中之一或更多脈衝改變包括能量及脈衝長度之一或更多脈衝特徵，以使得所得孔之形狀將具有某種桶形輪廓。在本發明之另一實施例中，提供一系列脈衝，藉此改變包括能量、脈衝間時間間隔、脈衝長度及暫時脈衝形狀之一或更多脈衝特徵，以使得出口孔之形狀將為具有平滑邊緣的圓形且孔之側壁將為平滑的。由於雷射鑽孔製程在本質上常常燒蝕，故緊鄰孔入口之表面可展示出附接於基板、稱作刻幅的組合材料區。碎片或殘餘物散佈於孔入口附近之表面上，可能有可附接於基板或保持獨立之碎片或殘餘物。在本發明之另一實施例中，提供一系列脈衝以在材料中鑽孔，其中選擇系列中初始數個脈衝之特徵以減少爆炸燒蝕效應，但選擇系列中隨後的脈衝以增加鑽孔速度，因為隨著孔更深入於矽晶圓中會產生以下結果：藉此所鑽孔之碎片、殘餘物及刻幅減少，但與在

系列中各脈衝之特徵保持不變時鑽孔所得之速度相比，鑽鑿該孔之速度十分高。在矽晶圓中鑽孔之製程中，使用其中各脈衝之特徵經預定以最佳化鑽孔製程的一系列脈衝，而非使用在整個系列中脈衝特徵全部相同的一系列脈衝，藉此所鑽孔之品質及藉此所產生器件之可靠性方面提供顯著改良，以及鑽孔之速度方面及因此可被接受以進入下一個製造階段的器件數目之產量方面提供顯著改良。

【0010】 在本發明之另一實施例中，提供一種雷射系統來產生一系列雷射脈衝以在一材料中鑽鑿一孔，使得改變該系列中一或更多脈衝之一或更多特徵，以便使一材料中一孔之鑽鑿最佳化。該脈衝雷射源包括：一種子源，其經調適以產生一種子訊號；以及一光學循環器，其具有一第一埠、一第二埠及一第三埠，該第一埠耦接至該種子源。該脈衝雷射源亦包括：一調制驅動器，其經調適以產生成形的電氣波形；及一調幅器，其耦接至該調制驅動器且經調適以接收該成形的電氣波形。該調幅器特徵為：一第一側面及一第二側面，該第一側面耦接至該光學循環器之該第二埠。該脈衝雷射源進一步包括：一第一光學放大器，其特徵為一輸入端及一反射端。該輸入端耦接至該調幅器之第二側面。另外，該脈衝雷射源包括：一第二光學放大器，其耦接至該光學循環器之該第三埠。

【0011】 為鑽鑿N個數量之孔，雷射系統提供在各系列之間具有時間間隔的N個預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots\dots S_N$ 之雷射脈衝，該時間間隔足夠長以使雷射光束自孔已鑽鑿之樣品的一個區域被重定位至將鑽鑿下一孔之樣品的鄰接區域。在經設計以在諸如矽晶圓之均勻材料中鑽鑿相同孔之特定實施例中，提供一種雷射系統以產生一系列雷射脈衝，使得脈衝中之各系列將與各其他系列相同，旨在使藉此鑽出的各孔與各個其他孔大致相同，且將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括用於使雷射光束定向於每個待鑽孔且控制鑽孔製程之構件。在經設計以在諸如矽晶圓之均勻材料中鑽鑿相同孔之特定實施例中，提供一種雷射系統以產生一系列雷射脈衝，使得在各系列內脈衝之某些將具有顯著不同及刻意不同於相同系列中其他雷射脈衝之雷射參數，旨在使藉此鑽出的各孔與各個其他孔大致相同，且具有某些較佳特徵，且將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括使雷射光束定向於每個待鑽孔且控制鑽孔製程之構件。在經設計以在諸如矽晶圓之均勻材料中鑽鑿N個不同孔之另一個特定實施例中，提供一種雷射系統以產生N個預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots\dots S_N$ 之雷射脈衝，使得在一或更多系列內脈衝之某些將具有顯著不同及刻意不同於相同系列中其他雷射脈衝之雷射參數，且某些系列將包括不同於其他系列內所含脈衝之雷射參數，旨在使藉此所鑽之N個孔中之某些將具有不同於晶圓中其他孔之某些較佳特

徵，且將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括使雷射光束定向於各個待鑽之孔且控制鑽孔製程之構件。

【0012】 在另一實施例中，提供一種雷射系統以產生具有光束定位系統之一系列雷射脈衝，以使得脈衝系列 S_1 中之第一脈衝定向於第一孔處，接著系列 S_1 之第二脈衝定向於第二孔處，依此類推直至脈衝系列 S_1 中之最後脈衝已定向於最後的孔處為止；此後，脈衝系列 S_2 中之第一脈衝定向於第一孔處，接著系列 S_2 之第二脈衝定向於第二孔處，依此類推直至脈衝系列 S_2 中之最後脈衝已定向於最後的孔處為止；依此類推直至已有完整系列脈衝定向於該等孔之各者為止。介於整體脈衝序列中任何兩個連續脈衝之間的時間間隔將具有足夠的持續時間，以允許光束定位系統將光束自一個孔定向至下一個孔，而將不存在任何用於暫停以改變雷射脈衝參數之進一步要求。當然，同樣地，有可能第二程將使每一孔包括來自系列 S_2 之兩個脈衝。例如，當在穿過各孔的中途調整光學成像系統或若在第二程中使用不同雷射來以穿過第二層鑽孔時，通常使用多程鑽孔製程而非單程製程（其中順序地鑽鑿各孔）。熟習此項技術者應認識到，除上述兩個簡單佈置以外，還存在若干排列，在該等排列之內可將 N 個系列 X 脈衝傳遞至 N 個孔。在本發明之其他實施例中，包括了一或更多此等排列。根據本發明之某些

實施例，在此脈衝序列期間不需要冗長暫停來將雷射脈衝參數自一個脈衝系列改變至下一個脈衝系列。

【0013】 在又一實施例中，提供一種雷射系統以產生具有光束定位系統之一系列雷射脈衝，以使得脈衝序列 S_1 中之第一脈衝定向於第一孔處，接著序列 S_2 之第一脈衝定向於第二孔處，依此類推直至脈衝序列 S_N 中之第一脈衝已定向於第 N 個孔處為止；此後，脈衝序列 S_1 中之第二脈衝定向於第一孔處，接著序列 S_2 之第二脈衝定向於第二孔處，依此類推直至脈衝序列 S_N 中之第二脈衝定向於第 N 個孔處為止；依此類推直至已有完整系列脈衝 S_x 定向於該等孔中之各者為止。介於所有脈衝序列中任何兩個連續脈衝之間的時間間隔將具有足夠持續時間，以允許光束定位系統自一個孔定向至下一個孔。熟習此項技術者應認識到，除上述兩個簡單佈置以外，還存在大量排列，在該等排列之內可將 N 個序列 X 脈衝傳遞至 N 個孔。在本發明之其他實施例中，包括了所有此類排列。

【0014】 在另一實施例中，提供一種雷射系統以產生在各系列之間具有時間間隔的雷射脈衝之 N 個數量預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots\dots S_N$ ，該時間間隔足夠長以使雷射光束自一個孔重定向至下一個孔，以便預鑽鑿各孔，且接著雷射可提供雷射脈衝之 N 個預定系列 R_1 、 R_2 、 $\dots\dots R_N$ ，以完成對各孔之鑽鑿。在此實施例中，至少一個系列中之至少一個脈衝之雷射脈衝特性將不同於該系列中其他脈衝之雷射脈衝特性。將雷射系統包括於一處理系統

中，該處理系統可操作以將雷射光束定向於各待鑽孔處且控制鑽孔製程。將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括將雷射光束定向於各待鑽孔處且控制鑽孔製程的構件。因而，此舉為可用以（例如）在由兩層不同材料組成的樣品中鑽鑿貫穿孔之兩步鑽孔製程。在該兩步鑽孔製程之另一實施例中，可使用兩個不同雷射，第一個雷射用以產生系列 S_1 、 S_2 、 $\dots$ S_N ，而第二雷射用以產生系列 R_1 、 R_2 、 $\dots$ R_N 。

【0015】 使用本發明達成超過習知的技術之眾多益處。舉例而言，在根據本發明之一實施例中，提供可適用於在材料中鑽孔之高功率脈衝雷射，與具有可比較效能特徵之雷射相比，該高功率脈衝雷射利用更廉價的緊湊型架構。另外，在根據本發明之一實施例中，提供可適用於在材料中鑽孔之脈衝雷射，使得雷射可被調整以便改變一系列脈衝中之一或更多光學脈衝之一或更多特徵來最佳化在材料中的鑽孔製程。脈衝特徵包括但不限於：脈衝能量、鄰接脈衝間之時間間隔、脈衝長度、脈衝輪廓及峰值功率。取決於實施例，存在眾多益處，包括（例如）在藉此所鑽孔的品質方面及所處理項目之產量方面之提高。在本說明書中及更特定而言在下文之各個部分中描述了此等及其他益處。參閱詳細描述及隨附圖式可更完全瞭解本發明之各種額外目標、特徵及優點。

【圖式簡單說明】

【0016】 第1圖為圖示適用於在材料中鑽孔之一系列脈衝的一實施例之示意圖。在此圖式中，時間為橫軸且功率為縱軸；

【0017】 第2a圖圖示在矽晶圓中雷射鑽鑿通孔（貫穿孔）之橫截面示意圖；

【0018】 第2b圖圖示在其中示出多個經雷射鑽鑿通孔的矽晶圓之示意圖；

【0019】 第3圖為圖示適用於在材料中鑽孔之一系列脈衝的一實施例之示意圖。在此圖式中，時間為橫軸且功率為縱軸；

【0020】 第4圖為圖示適用於在材料中鑽孔之一系列脈衝的一實施例之示意圖。在此圖式中，時間為橫軸且功率為縱軸；

【0021】 第5圖為具有可調脈衝特徵的脈衝雷射之簡化示意圖，該脈衝雷射提供根據本發明之一實施例適用於在材料中鑽孔之一輸出系列雷射脈衝；

【0022】 第6圖為具有可調脈衝特徵的脈衝雷射之簡化示意圖，該脈衝雷射提供根據本發明之一實施例適用於在材料中鑽孔之一輸出系列雷射脈衝；

【0023】 第7圖為根據本發明之一實施例適合於在材料中鑽孔的雷射處理系統之簡化示意圖；

【0024】 第8圖為根據本發明之一實施例適合於在材料中鑽孔的雷射處理系統之簡化示意圖；

【0025】 第9圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖；

【0026】 第10圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖；

【0027】 第11圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖；以及

【0028】 第12圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖。

【實施方式】

【0029】 多層電路之技術在電子工業中已通用多年，範圍自大型多層銅介電電路板至微型矽積體電路。積體電路廣泛用於諸如電話、電腦、汽車及若干其他設備之電子器件中。每當使用多層設計時，在各層間必須用孔來實現連接。就使用於積體電路製造之矽晶圓而言，此等孔通常稱為通孔。如第2b圖中示意性圖示，矽晶圓通常可含有數千個通孔，且因此鑽孔之方法必須迅速且使孔具有正在製造之器件所需的屬性。實際上，由製程中隨後的步驟所決定之要求通常將定義此等所需屬性。

【0030】 矽晶圓中的單通孔之示意圖圖示於第2a圖中。通孔之重要屬性包括：入口孔及出口孔之大小、入口孔及出口孔之橢圓率、入口孔及出口孔的邊緣之粗糙度、圍繞進入孔的刻幅之高度、散佈於入口孔及出口孔附近的碎片之數量及延伸區、沈積於入口孔及出口孔附

近表面上的任何殘餘物之厚度及延伸區、孔側壁之粗糙度、側壁之曲率及其他屬性。由於矽晶圓可含有成千上萬個通孔，故重要的是每個通孔之屬性應為大致相同；因而，鑽孔製程之可再現性同樣重要。當然，在矽晶圓中鑽鑿通孔僅僅為在材料中所鑽孔之一個實例，且對於每種特定應用及材料，各孔將有一組需要的屬性。

【0031】 用以在材料中鑽孔的脈衝雷射之某些實例包括：用以在玻璃中鑽孔之脈衝CO₂雷射、用以在塑料中鑽孔之準分子雷射、用以在矽中鑽孔之脈衝Nd:YAG雷射、用以穿過銅來鑽孔之三階諧波至紫外線波長之脈衝Nd:YLF雷射、用以在印刷電路板之介電絕緣體中鑽孔之脈衝CO₂雷射、用以在聚合物中鑽孔之脈衝Nd:YAG雷射及許多其他實例。當使用脈衝雷射在材料中鑽孔時，最常見的技術稱作衝擊鑽，但亦存在諸如環鋸之其他技術。在衝擊鑽中，將雷射光束聚焦或成像於待鑽孔部位之雷射光點，其中每個各別脈衝移除某些材料直至達成需要的孔深度（盲孔）或孔沖穿材料之另一側（貫穿孔）為止。

【0032】 對於任何脈衝雷射，存在可選擇以最佳化鑽孔製程之一或更多操作特徵。舉例而言，可選擇雷射之脈衝能量。一般而言，脈衝能量越高，各脈衝將移除越多材料，且因而，需要用以鑽孔的脈衝之數量越少。在某些情況下，高脈衝能量可能具有有害效應，諸如，更多材料作為碎片及殘餘物噴出且增加了壁、入口孔及出

口孔的邊緣之粗糙度。若對於特定應用，將此類效應視為不良，則使用能導致需要更多脈衝來鑽孔的較低脈衝能量可能為有利的。可被選擇以加速鑽孔製程之另一操作特徵可能在於選擇高雷射重複率，其意謂較小脈衝間時間間隔。在某些情況下，諸如，若存在持續一段時間的熱致效應（heat-induced effect），則較短的脈衝間時間間隔可經由背景熱量之過量積累或用其它方式對孔之品質產生負面影響。由於光與材料之交互作用的物理性質，與較短雷射脈衝相比，較長雷射脈衝將更有效移除材料。存在大量可能性。在典型的製造情況中，操作者將執行一系列實驗，在實驗中選擇用於雷射操作特徵之值，使用具有該等選擇值之脈衝來鑽鑿樣品孔，且檢驗藉此所鑽之孔。藉由使用雷射操作特徵之各種值來鑽孔，操作者將決定哪一組值以期望的鑽率（每秒之孔數）提供具有可接受品質的孔。對於製程，接著將設定雷射以提供具有如此等實驗所測定而選擇用於每個操作特徵的最佳值之脈衝。

【0033】根據本發明之實施例，如在本說明書之各個部分所描述一般來預定脈衝參數。本文所描述的操作不同於某些習知脈衝雷射系統（例如，Q開關雷射），習知脈衝雷射系統具有用於觸發率不連續之後的連續脈衝之不同脈衝參數。本發明之實施例提供脈衝參數之主動控制，以提供適用於各種鑽孔操作之脈衝列，而非僅僅響應於作為時間函數之增益分佈，其為Q開關雷射中之

行為。提供具有特定、預定脈衝參數之脈衝的雷射之操作可稱為提供具有預定脈衝特性之一系列脈衝。在本發明之一實施例中，預定用於一系列脈衝中的脈衝之脈衝特徵之選擇，以提供將使用該系列脈衝來鑽鑿的一或更多孔之期望特性。根據本發明之某些實施例，藉由將雷射之一或更多特定參數中之每一個設定為眾多值中之一個來提供預定脈衝特性，此類參數可獨立地經設定為該眾多值中之一個。此方法與以下操作形成鮮明對比：該操作中，將一個可調參數設定為某一值，以使得藉由雷射設計之結果來修改雷射之其他非可調參數之操作以達成某些期望特性。

【0034】對於大多數習知雷射，不可能或至少極難以改變操作特徵中之某些特徵。儘管通常可能選擇脈衝能量及脈衝間時間間隔，但可能無法在不停止雷射之情況下改變此等值。若試圖改變脈衝操作特徵而不暫停，則在其穩定化以前，結果可能為若干脈衝之脈衝能量不穩定。舉例而言，若改變脈衝間時間間隔而不暫停，則鄰近的多個脈衝之脈衝能量可能突然增加。不幸地，對於某些雷射，通常不可能完全平穩改變某些重要特徵，諸如，脈衝長度、峰值功率或脈衝形狀。此狀況係因為可藉由諸如雷射增益媒介自身或雷射之光學共振器空腔之物來測定此等參數。

【0035】光纖雷射係為其活性增益媒介為光纖之雷射。對於某些光纖雷射，可能改變或設計許多以前用其

他種類雷射不可達到之操作特徵。選擇峰值功率值、脈衝長度值及暫時脈衝形狀值之能力使得在包括鑽孔之某些材料處理應用中達成改良。較短脈衝（其通常具有較高峰值功率）通常產生於較清潔的材料移除，因為製程變為燒蝕製程，而非熱製程。舉例而言，在材料可能出現任何熔融以前，可在足夠短的時間內沈積短雷射脈衝之能量。相反地，藉由較長脈衝在與材料的較慢熱相互作用中熔融的材料可能更傾向於濺潑在進入孔附近的表面上，從而形成過量殘餘物或碎片。類似地，短雷射脈衝通常可在孔中達成更平滑側壁。然而，由於材料移除通常與傳遞的能量成比例（至少在能量之某一範圍內），故若脈衝能量小於長脈衝，則通常短脈衝將移除更少材料。因此，在達成可接受孔品質與高孔鑽率之間可能存在折衷。因而，設定包括脈衝能量、脈衝間時間間隔、脈衝長度、峰值功率及脈衝形狀之較大數量的操作特徵值的能力促進了使用光纖雷射來進行包括鑽孔之許多材料處理應用。

【0036】 目前出現諸多新的光纖雷射設計，其具有在脈衝之間改變操作特徵而不需暫停之能力。使用此等設計，可立即達成操作特徵的值之改變，而隨後脈衝之特徵（包括脈衝能量或其他特徵）沒有任何不穩定性。在一系列脈衝中間改變操作特徵值之能力意謂現在可能為系列中之每個各別脈衝（或系列中之脈衝組）分別選擇特徵以最佳化鑽孔製程，而非提供所有雷射脈衝之每個

特徵皆相同的一系列雷射脈衝來鑽孔。因而（例如）對於在材料中鑽孔之一系列雷射脈衝而言，系列中之初始脈衝可具有低脈衝能量及較短的脈衝間時間間隔，但系列中剩餘的脈衝可具有較高脈衝能量及較長脈衝間時段。對用於在材料中鑽孔之一系列脈衝而言，可能為系列中之各脈衝選擇脈衝能量值、脈衝間時間間隔值、脈衝長度值、峰值功率值及脈衝形狀值，以最佳化鑽孔製程。

【0037】 根據本發明之一實施例，第1圖為圖示皆具有可適用於在材料中鑽孔的脈衝長度 W_1 之雷射脈衝之單系列 S_1 的示意圖，其中脈衝能量及脈衝間時間間隔自系列之第一子系列「 S_{1a} 」中之 E_1 及 T_1 分別改變至系列之第二子系列「 S_{1b} 」中之 E_2 及 T_2 ，以便以最高鑽率提供期望的孔屬性。因而，具有能量 E_1 及脈衝間時間間隔 T_1 之脈衝將對於鑽孔之開始部分有利，但隨後具有能量 E_2 及脈衝間時間間隔 T_2 之脈衝將對於鑽鑿孔之最後部分有利。介於第一子系列「 S_{1a} 」與第二子系列「 S_{1b} 」之間的時間間隔 L_1 可具有小於 T_1 或 T_2 之值、等於 T_1 或 T_2 之值或者大於 T_1 或 T_2 之值。在某些實施例中，值 L_1 小於 T_1 或 T_2 中之較大者的五倍，例如，約 T_1 或 T_2 中較大者的兩倍。當使用操作於波長1064奈米的脈衝光纖雷射來在厚度0.15毫米的矽晶圓中鑽鑿直徑50微米的孔時，本發明之發明者發現類似於第1圖中所示之一系列脈衝能用可接受的鑽孔速度提供桶形通孔且減小碎片與殘

餘物之延伸區。詳言之，對於前八個脈衝，使用具有210微焦之脈衝能量的相對短脈衝長度100奈秒將減小在進入孔附近的碎片之延伸區。然而，一旦孔產生，則剩餘的40個脈衝之脈衝能量可提高至400微焦以增加鑽率。若系列中所有48個脈衝之脈衝長度皆為100奈秒，則將產生桶形貫穿孔。在此實例中，選擇時間間隔 T_1 及時間間隔 T_2 以提供最大雷射功率。因而，在此實例中，對於20瓦特平均功率雷射， $T_1 = 10.5$ 微秒且 $T_2 = 20$ 微秒。將 L_1 選擇為與 T_2 相同，即20微秒。使用此等脈衝系列來在晶圓中鑽鑿各孔，該雷射之潛在的鑽率能力大致為每秒1100個通孔，以提供在進入孔附近碎片之延伸區減小的期望桶形通孔。

【0038】亦可改變除脈衝能量及脈衝間時間間隔之外的其他參數。根據本發明之另一實施例，第3圖為圖示可適用於在材料中鑽孔的雷射脈衝之單系列 S_2 的示意圖，其中脈衝能量、脈衝寬度及脈衝間時間間隔分別自系列之第一子系列「 S_{2a} 」中之 E_1 、 W_1 及 T_1 改變至系列之第二子系列「 S_{2b} 」中之 E_2 、 W_2 及 T_2 ，以便以最高鑽率提供需要的孔屬性。因而，具有能量 E_1 、脈衝寬度 W_1 及脈衝間時間間隔 T_1 之脈衝對於鑽孔之開始部分有利，但隨後具有能量 E_2 、脈衝寬度 W_2 及脈衝間時間間隔 T_2 之脈衝對於鑽孔之最後部分有利。介於第一子系列「 S_{2a} 」與第二子系列「 S_{2b} 」之間的時間間隔 L_1 可具有小於 T_1 或 T_2 之值、等於 T_1 或 T_2 之值或大於 T_1 或

T 2 之值。在某些實施例中，值 L 1 為 T 1 或 T 2 中之較大者的五倍，例如，約 T 1 或 T 2 中之較大者的兩倍。當使用操作於波長 1 0 6 4 奈米的脈衝光纖雷射來在厚 0 . 1 5 毫米的矽晶圓中鑽鑿直徑 5 0 微米的孔時，本發明之發明者發現類似於第 3 圖中所示之一系列脈衝可提供錐形通孔、減小碎片與殘餘物之延伸區，且具有快速的鑽孔速度。詳言之，對於前四個脈衝，使用 1 0 0 奈秒之相對短脈衝長度及 4 0 0 微焦之脈衝能量將減小在進入孔附近的碎片之延伸區。然而，一旦開始產生孔，對於在系列中剩餘的 1 4 個脈衝，則可將脈衝能量提高至 6 0 0 微焦且可將脈衝寬度提高至 5 0 0 奈秒以增加鑽率。使用相對長脈衝將產生錐形通孔形狀。起動具有較低能量及較短脈衝長度的四個短脈衝之脈衝系列將減小在進入孔處的碎片之延伸區。在此實例中，選擇時間間隔 T 1 及 T 2 以提供最大雷射功率。因而，對於 2 0 瓦特平均功率雷射， $T 1 = 2 0$ 微秒且 $T 2 = 3 0$ 微秒。將 L 1 選擇為與 T 2 相同，即 2 0 微秒。使用此等脈衝系列來在晶圓中鑽鑿各孔，將雷射之潛在的鑽率能力增加至大致為每秒 2 , 0 0 0 個通孔，以提供在進入孔附近碎片之延伸區減小的期望錐形通孔。

【0039】 在材料中鑽孔之一系列脈衝無需僅具有脈衝特性不同的兩個子系列。第 4 圖中圖示了根據本發明之一實施例的可適用於在材料中鑽孔之一系列脈衝，其中該系列脈衝包括 3 個子系列 S 3 a 、 S 3 b 及 S 3 c 。在第一子系列 S 3 a 中，脈衝具有脈衝能量 E 1 、脈衝寬度 W 1 及脈衝

間時間間隔 T_1 。在第二子系列 S_{3b} 中，脈衝具有脈衝能量 E_2 、脈衝寬度 W_2 及脈衝間時間間隔 T_2 。在第三子系列 S_{3c} 中，脈衝具有脈衝能量 E_3 、脈衝間時間間隔 T_3 及由尖峰與平線區組成之特殊脈衝形狀。因而，具有能量 E_1 、脈衝寬度 W_1 及脈衝間時間間隔 T_1 之脈衝將有利於鑽孔之開始部分，但隨後具有能量 E_2 、脈衝寬度 W_2 及脈衝間時間間隔 T_2 之脈衝將有利於鑽孔之中間部分，而具有能量 E_3 、脈衝間時間間隔 T_3 及特殊脈衝形狀之脈衝將適合於鑽孔之最後區域，以提供期望的孔出口屬性。介於第一子系列「 S_{3a} 」與第二子系列「 S_{3b} 」之間的時間間隔 L_1 可具有小於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值、等於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值或者大於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值。在某些實施例中，值 L_1 小於 T_1 、 T_2 或 T_3 中之較大者的五倍，例如，約 T_1 、 T_2 或 T_3 中之較大者的兩倍。

【0040】 同樣，介於第二子系列「 S_{3b} 」與第三子系列「 S_{3c} 」之間的時間間隔 L_2 可具有小於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值、等於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值 t_1 or 大於 T_1 、 T_2 或 T_3 之值。在某些實施例中，值 L_2 小於 T_1 、 T_2 或 T_3 中之較大者的五倍，例如，約 T_1 、 T_2 或 T_3 中之較大者的兩倍。當在矽晶圓中鑽孔時，發明者觀察到形成孔出口之貫穿製程可能為不可預知，有時產生具有鋸齒狀邊緣之非圓孔，尤其當使用具有長脈衝長度之脈衝時。當使用操作於波長 1064 奈米的脈衝光纖雷射而在 0.15 毫米厚的矽晶圓中鑽 50 微米直徑的孔時，發明者發現類似於第 4 圖

中所示之一系列脈衝可提供錐形、在進入孔處碎片與殘餘物之減小延伸區及圓形出口孔，且具有高鑽孔速度。詳言之，對於前四個脈衝，使用100奈秒之相對短脈衝長度及400微焦之脈衝能量將減小在進入孔附近的碎片之延伸區。然而，在用於隨後的11個脈衝之鑽孔製程的中間相期間，可將脈衝能量提高至600微焦且可將脈衝寬度提高至500奈秒以增加鑽率。最後，使用特殊脈衝形狀將用於系列中最後12個脈衝之脈衝能量減少至200微焦，以便提供圓出口孔。特殊脈衝形狀包括：寬度大致為20奈秒 FWHM之尖峰，隨後大致80奈秒 FWHM之平線區。尖峰與平線區的峰值功率比為大致4:1。實際上，在某些情況下，無需特殊脈衝形狀，而藉由使用具有200微焦脈衝能量及100奈秒脈衝長度之簡單矩形脈衝形狀，可達成出口孔之有益屬性。起動具有較低能量及較短脈衝長度的四個短脈衝之脈衝系列將減小在進入孔處碎片之延伸區。當鑽鑿該孔中間部分時，改變至具有高脈衝能量之較長脈衝將產生高鑽孔速度。使用相對長的脈衝將產生錐形通孔。對於系列中之最後12個脈衝，改變至短脈衝將產生平滑圓孔出口。在此實例中，選擇時間間隔 T_1 ，時間間隔 T_2 及時間間隔 T_3 以提供最大雷射功率。因而，對於20瓦特平均功率雷射， $T_1 = 20$ 微秒、 $T_2 = 30$ 微秒且 $T_3 = 10$ 微秒。將 L_1 選擇為與 T_2 相同，即30微秒。將 L_2 選擇為與 T_3 相同，即10微秒。使用此脈衝系列來在晶圓中鑽鑿各孔，雷射之潛在的鑽率

能力為大致每秒2,100個通孔，以提供在進入孔附近碎片之延伸區減小的期望錐形通孔及圓形出口孔。

【0041】脈衝特徵可改變的一系列脈衝中子系列之數量並未局限於僅兩個或三個。可有四個子系列、五個子系列、十個子系列、二十個子系列等。實際上，在本發明之實施例中，可能為系列中之各脈衝選擇不同的脈衝特徵值以在材料中鑽孔。可改變之脈衝特徵包括：脈衝能量、脈衝長度、暫時脈衝形狀、脈衝間時間間隔及峰值功率，但並非局限於僅此等脈衝特徵。

【0042】本文所描述的本發明之實施例並非局限於在矽中鑽孔。根據本發明之方法可用於在其他材料中鑽孔。同樣，根據本發明之方法可用於在由兩層或兩層以上之材料組成的樣品中鑽孔。實際上，在該情況下，可能為必要的是改變每層的脈衝特徵而無實質暫停之能力，以便結合高速鑽鑿穿過每種材料之孔來達成最佳孔屬性。若使用單個雷射，則製程通常將為順序完全鑽鑿各孔之單程製程，但其中脈衝之各系列含有經選擇以有效地鑽通第一層之材料的脈衝，接著經選擇以有效地鑽通第二層之材料的其他脈衝，依次類推。根據本發明之一實施例，鑽通第一層的脈衝之參數可隨脈衝而改變，以最佳化第一層之鑽孔製程。同樣，鑽通第二層的脈衝之參數可隨脈衝而改變，以最佳化第二層之鑽孔製程。

【0043】若使用一個以上雷射（例如，每層之一個雷射），則製程亦可為多程製程，其中在第一程中，一個

雷射鑽通整個樣品的一層之各孔，接著在第二程中，其他雷射進一步鑽通第二層之各孔，隨後每層依次類推。根據本發明之一實施例，鑽通第一層的第一雷射的脈衝之參數可隨脈衝而改變，以最佳化第一層之鑽孔製程。同樣，鑽通第二層的第二雷射的脈衝之參數可隨脈衝而改變，以最佳化第二層之鑽孔製程，依次類推。

【0044】參閱第5圖，圖示能產生本申請案中所揭示的此類脈衝之系列的雷射系統。此雷射系統包括由電子驅動器53供電之振盪器51，且包括放大器52。藉由提供脈衝電子驅動訊號可使脈衝雷射源（諸如，二極體雷射）以簡單的方式產生脈衝。藉由控制或設計電子驅動器53發送至振盪器51的電子驅動訊號55之屬性，可預測包括脈衝能量、脈衝寬度、脈衝形狀、峰值功率及脈衝間時間間隔之脈衝屬性。接著，此脈衝雷射振盪器之訊號在雷射放大器（諸如，二極體幫浦固態棒狀雷射或光纖雷射放大器）中放大，以在輸出脈衝之系列57中提供各脈衝之期望的屬性。

【0045】振盪雷射可由半導體雷射、光纖雷射、二極體雷射或分散式回饋二極體雷射組成。在特定實施例中，脈衝訊號源為操作於1064奈米波長的半導體二極體雷射，具有一瓦特峰值脈衝功率、可變達200千赫茲(kilohertz; kHz)之重複率、具有亞奈秒脈衝上升時間及下降時間的5奈秒之脈衝寬度。在替代實施例中，脈衝訊號源之峰值光學功率可高於或低於一瓦特。舉例而

言，峰值光學功率可為500毫瓦、1瓦特、2瓦特、3瓦特、4瓦特、5瓦特或以上。同時，脈衝寬度可大於或小於100奈秒。舉例而言，脈衝寬度可為1奈秒(nanosecond; ns)、2奈秒、5奈秒、10奈秒、15奈秒、20奈秒及其他值。電子驅動器驅動振盪器雷射，以使得電子驅動器提供的電流脈衝之形狀決定振盪器雷射輸出脈衝之形狀。

【0046】 在由（例如）光纖雷射放大器或二極體幫浦固態棒狀雷射放大器組成之雷射放大器模組52中，將振盪器51之輸出放大。在本發明之一個實施例中，放大器為包括經由光耦合器而耦接至稀土摻雜光纖迴路之幫浦的光學放大器。如熟習此項技術者將顯而易見，儘管可藉由其它方式達成光學放大器之抽取，但通常使用半導體幫浦雷射作為幫浦。在特定實施例中，光學放大器包括具有大致4.8微米之磁芯直徑、5公尺長之稀土摻雜光纖，且用鐳摻雜至大致 6×10^{24} 離子/立方米之摻雜密度。放大器亦包括幫浦，其為操作於976奈米之波長及具有500毫瓦之輸出功率的光纖布拉格光柵(Fiber Bragg Grating; FBG)穩定的半導體雷射二極體。在另一個特定實施例中，光學放大器160包括具有大致10微米之磁芯直徑、2米長之稀土摻雜光纖，且用鐳摻雜至大致 1×10^{26} 離子/立方米之摻雜密度。放大器亦可包括具有5瓦特輸出功率之半導體雷射二極體之幫浦。

【0047】 儘管給定實例係用於摻雜鐮(Ytterbium-doped)之光纖放大器及1064奈米之雷射波長，但操作於1064奈米或操作於其他波長的二極體雷射、固態雷射及摻雜光纖之其他實例可用於本發明之其他實施例。此等實施例包括(例如)在1550奈米波長範圍中之摻雜鉕之光纖及在2微米至3微米的波長範圍中之摻雜鈹之光纖。

【0048】 參閱第6圖，在本發明之一實施例中，提供產生一系列雷射脈衝以在材料中鑽孔之脈衝雷射源。2008年9月27日頒予、標題為「Method and System for Pulsed Laser Source with Shaped Optical Waveforms」之美國專利第7,428,253號描述了可調脈衝雷射源之實例，且該美國專利之全文在此以引用之方式併入本文。另外，2008年9月12日申請、標題為「Method and system for a Pulsed Laser Source Emitting Shaped Optical Waveforms」之美國專利申請案第12/210,028號亦描述了可調脈衝雷射源之實例，且該美國專利申請案之全文在此以引用之方式併入本文。另外，2009年6月11日申請、標題為「Stable Tunable High Power Pulsed Laser Source」之美國臨時專利申請案第61/186,317號亦描述了適用於根據本發明之實施例的用途之雷射源之實例，且該美國臨時專利申請案之全文在此以引用之方式併入本文。脈衝雷射源包括：經調適以產生種子訊號之

種子源 110，及具有第一埠 114、第二埠 122 及第三埠 116 之光學循環器 120，該第一埠耦接至種子源。脈衝雷射源亦包括特徵為第一側面 132 及第二側面 134 之調幅器 130，該第一側面耦接至光學循環器之第二埠 122。脈衝雷射源進一步包括特徵為輸入端 136 及反射端 146 之第一光學放大器 150。輸入端耦接至調幅器之第二側面 134。另外，脈衝雷射源包括耦接至光學循環器的第三埠 116 之第二光學放大器 160。儘管第 6 圖圖示了使用耦接至光學循環器之第三埠的一個光學放大器 160，但此舉對本發明之某些實施例並非必要。在替代實施例中，當適於特定應用時，在光學循環器之下游利用多個光學放大器。

【0049】 根據本發明之一個實施例，第 7 圖圖示根據本發明之一實施例能使用產生一系列脈衝或多系列脈衝之雷射在工件 304 中鑽一或更多孔之示例性雷射處理系統。系統包括雷射源 300、光學系統 302、控制器 305 及經定位於工件支架 303 之上的工件 304。雷射源 300 提供具有某些特徵（諸如，波長、脈衝能量、脈衝間時段、脈衝長度、暫時脈衝形狀及其他特徵）之雷射脈衝。可根據本發明之實施例調整系列中脈衝之此等及其他特徵以在工件中鑽鑿一或更多孔。在一實施例中，雷射可包括使用諸如諧波產生之技術產生不同波長之構件。

【0050】 光學系統可包括：透鏡及鏡組，用於將雷射光束聚焦於工件上之雷射光點；及用於將雷射光點定向

至工件上的各個位置以鑽鑿一個以上孔之組件。在特定實施例中，用於光束定向之組件可能為安裝於電流計上之鏡組。控制器可用於控制光學系統及用於光束定向的組件之運動。舉例而言，當在工件304中鑽孔時，控制器可控制光學系統302以沿工件之表面來使雷射光點重定向位置。在另一實施例中，光學系統可將雷射光束聚焦於工件之表面上或附近的雷射光點，且控制器可控制工件支架以移動工件來鑽鑿隨後的孔。在又一實施例中，聚焦雷射光束之透鏡及鏡組可產生具有某些需要的空間參數（諸如，平頂空間輪廓）之光點。

【0051】 為鑽鑿 N 數量個孔，雷射系統提供具有介於各系列之間的時間間隔的雷射脈衝之 N 個預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots\dots S_N$ ，該時間間隔足夠長以使雷射光點自樣品之一個已鑽孔區域重定位至樣品之下一個待鑽孔的另一個區域。在特定實施例中，脈衝之各系列將與各其他系列相同，旨在使藉此所鑽的各孔與其他孔中之各者大致相同。在經設計以在諸如矽晶圓之均勻材料中鑽相同孔之特定實施例中，提供雷射系統以產生一系列雷射脈衝，以使得在各系列內之某些脈衝將具有顯著不同及刻意不同於系列中其他雷射脈衝之雷射參數，旨在使所鑽的各孔藉此為大致與其他孔中之各者相同且具有某些較佳特徵，且將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括使雷射光束定向於各待鑽孔處且控制鑽孔製程之構件。在設計以在諸如矽晶圓之均勻材料中鑽鑿 N 個不同

孔之另一個特定實施例中，提供雷射系統以產生雷射脈衝之 N 個預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots\dots S_N$ ，以使得在一或更多系列內之某些脈衝將具有顯著不同及刻意不同於相同系列中其他雷射脈衝之雷射參數，旨在使藉此所鑽的 N 個孔中之某些將具有不同於晶圓中其他孔之某些較佳特徵，且將雷射系統包括於一處理系統中，該處理系統包括使雷射光束定向於各待鑽孔處且控制鑽孔製程之構件。在另一實施例中，選擇用於一個系列中的脈衝之特徵可不同於選擇用於另一個系列之特徵。

【0052】根據本發明之另一實施例，第8圖圖示根據本發明之一實施例能使用產生一系列脈衝或多系列脈衝之第一雷射源300及第二雷射源301在工件304中鑽鑿一或更多孔之示例性雷射處理系統。系統包括第一雷射源300、光學系統302、控制器305及經定位於工件支架303之上的工件304。第一雷射源300提供具有某些特徵（諸如，波長、脈衝能量、脈衝間時段、脈衝長度、暫時脈衝形狀及其他特徵）之雷射脈衝。可根據本發明之實施例調整系列中脈衝之此等及其他特徵。系統進一步包括第二雷射源301。第二雷射源301提供具有某些特徵（諸如，波長、脈衝能量、脈衝間時段、脈衝長度、暫時脈衝形狀及其他特徵）之雷射脈衝。可根據本發明之實施例調整系列中脈衝之此等及其他特徵。與第一雷射源300及第二雷射源301相關之脈衝特徵可為不同。舉例而言，第一雷射源可以第一波長操作，而第二雷射

源可以不同於第一波長之第二波長操作。脈衝特徵中之其他差異可包括：雷射功率、脈衝能量、脈衝間時段、脈衝長度、暫時脈衝形狀等。

【0053】 光學系統可包括：透鏡及鏡組，用於將雷射光束聚焦於工件上之雷射光點；及用於將雷射光點定向於工件上待鑽孔的各個位置之組件。在特定實施例中，用於光束定向之組件可為安裝於電流計上之鏡組。控制器可用於控制光學系統及用於光束定向的組件之運動。舉例而言，當在工件304中鑽孔時，控制器可控制光學系統302以沿工件之表面來使光束移動位置。在另一實施例中，光學系統可將雷射光束聚焦於工件之表面上或附近的雷射光點，且控制器可控制工件支架以移動工件來鑽隨後的孔。

【0054】 處理系統可使用單程或使用若干程在工件中鑽一系列孔。在使用雙程製程的兩個雷射在兩層樣品中鑽鑿N個孔的本發明之一實施例中，第一雷射系統可提供具有介於各系列之間的時間間隔的雷射脈衝之N數量個的預定系列 S_1 、 S_2 、 $\dots$ S_N ，該時間間隔足夠長以使雷射光束自一個孔重定向至下一個孔，以便預鑽鑿各孔。第二雷射可接著提供雷射脈衝之N個預定系列 R_1 、 R_2 、 $\dots$ R_N ，以完成對各孔之鑽鑿。因而，此舉為可用於（例如）在由兩層不同材料（諸如，由一層介電質與一層銅組成之印刷電路板）組成之樣品中鑽鑿通孔之雙程鑽孔製程。

【0055】 第9圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖。脈衝之系列包括第一組脈衝之第一子系列，其特徵為：第一脈衝能量、第一脈衝長度、第一脈衝形狀、第一波長及第一脈衝間時間間隔。第一子系列繼之以第二組脈衝之第二子系列，其特徵為：第二脈衝能量、第二脈衝長度、第二脈衝形狀、第二波長及第二脈衝間時間間隔。根據本發明之一實施例，以下條件至少一者成立，從而與系列中之各脈衝具有相同特性時所鑽孔相比，鑽出有所改良的孔：第二脈衝能量不同於第一脈衝能量、第二脈衝長度不同於第一脈衝長度、第二脈衝形狀不同於第一脈衝形狀或第二波長不同於第一波長中。

【0056】 第10圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖。在該系列脈衝中，沒有脈衝在時間上與緊接於前或緊接於後之脈衝的間隔大於0.01秒。根據本發明之一實施例，系列中至少一個脈衝之脈衝能量小於系列中另一個脈衝之脈衝能量，從而與系列中之各脈衝與系列中每隔一個脈衝具有相同脈衝能量時所鑽孔相比，鑽出有所改良的孔。

【0057】 第11圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖。在該系列脈衝中，沒有脈衝在時間上與緊接於先前或緊接於隨後之脈衝的間隔大於0.01秒。根據本發明之一實施例，系列中至少一個脈衝之脈衝長度小於系列中另一個脈衝之脈

衝長度，從而與系列中之各脈衝與系列中每隔一個脈衝具有相同脈衝長度時所鑽孔相比，鑽出有所改良的孔。

【0058】 第12圖為圖示根據本發明之一實施例使用一系列脈衝在材料中鑽孔的方法之流程圖。在該系列脈衝中，沒有脈衝在時間上與緊接於前或緊接於後之脈衝的間隔大於0.01秒。根據本發明之一實施例，系列中至少一個脈衝之暫時脈衝形狀大致上不同於系列中另一個脈衝之暫時脈衝形狀，從而與系列中之各脈衝與系列中每隔一個脈衝具有相同暫時脈衝形狀時所鑽之孔相比，鑽出有所改良的孔。

【0059】 雖然已相對於本發明之特定實施例及特定實施例來描述了本發明，但應瞭解其他實施例可落於本發明之精神及範疇之內。因而，本發明之範疇應參閱隨附申請專利範圍以及其等效物之全部範疇而決定。

【符號說明】

【0060】

- 51 振盪器
- 52 放大器/放大器模組
- 53 電子驅動器
- 55 電子驅動訊號
- 57 輸出脈衝之系列
- 110 種子源
- 114 第一埠

1 1 6	第三埠
1 2 0	光學循環器
1 2 2	第二埠
1 3 0	調幅器
1 3 2	第一側面
1 3 4	第二側面
1 3 6	輸入端
1 4 6	反射端
1 5 0	第一光學放大器
1 6 0	第二光學放大器
3 0 0	第一雷射源
3 0 1	第二雷射源
3 0 2	光學系統
3 0 3	工件支架
3 0 4	工件
3 0 5	控制器
E 1	脈衝能量 / 值
E 2	脈衝能量 / 值
E 3	脈衝能量 / 值
L 1	脈衝間時間間隔 / 值
L 2	時間間隔 / 值
S 1	預定系列
S 1 a	第一子系列
S 1 b	第二子系列

- S 2 雷射脈衝之單系列
- S 2 a 第一子系列
- S 2 b 第二子系列
- S 3 a 第一子系列
- S 3 b 第二子系列
- S 3 c 第三子系列
- T 1 脈衝間時間間隔
- T 2 脈衝間時間間隔
- T 3 脈衝間時間間隔
- W 1 脈衝寬度
- W 2 脈衝寬度
- R₁ 系列
- R₂ 系列
- R_N 系列

【生物材料寄存】

【 0 0 6 1 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 6 2 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【序列表】(請換頁單獨記載)

無

.

.

.

.

.

I647045

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】使用一系列雷射脈衝用於鑽孔之方法與裝置

【英文發明名稱】METHOD AND APPARATUS FOR DRILLING USING A
SERIES OF LASER PULSES

【中文】

本發明提供用於在一材料中鑽鑿一孔之一系列雷射脈衝，各脈衝特徵為一或更多預定脈衝特徵，包括：波長、脈衝能量、脈衝間時間間隔、脈衝長度或脈衝形狀。將該系列雷射脈衝光點置放於該孔將被鑽鑿之部位處，以達成在該材料中鑽鑿該孔。改變該系列中一或更多雷射脈衝之一或更多特徵，以便最佳化用於該孔之該鑽孔製程。改變該系列脈衝中一或更多雷射脈衝之該等特徵，以最佳化該鑽孔製程之能力，產生具有期望屬性的孔及一高鑽率。

【英文】

A series of laser pulses, each pulse characterized by one or more predetermined pulse characteristics including wavelength, pulse energy, inter-pulse time interval, pulse length or pulse shape, is provided to drill a hole in a material. Drilling the hole in the material is achieved by placing the series of laser pulse spots at the location wherein the hole is to be drilled. One or more characteristics of one or more laser pulses in the series is changed in order to optimize the drilling process for the hole. The ability to change the characteristics of one or more laser pulses in

the series of pulses to optimize the drilling process results in holes with desired attributes and a high drilling rate.

【指定代表圖】第（ 1 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

S 1：預定系列

S 1 a：第一子系列

S 1 b：第二子系列

E 1：能量

E 2：能量

W 1：脈衝寬度

T 1：脈衝間時間間隔

T 2：脈衝間時間間隔

L 1：脈衝間時間間隔

【特徵化學式】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種使用一系列雷射脈衝在一材料中鑽鑿複數個孔之方法，該方法包含以下步驟：

提供該系列雷射脈衝，該系列雷射脈衝包括在一第一程中用於該複數個孔之複數個鑽鑿位置上的一第一組雷射脈衝及在一第二程中用於該複數個孔之複數個鑽鑿位置上的一第二組雷射脈衝，該第一組雷射脈衝的特徵為一第一波長、一第一脈衝能量、一第一脈衝寬度及一第一脈衝形狀，且該第二組雷射脈衝的特徵為一第二波長、一第二脈衝能量、一第二脈衝寬度及一第二脈衝形狀，其中在波長、脈衝能量、脈衝寬度或脈衝形狀之至少一方面上，該第一組雷射脈衝係不同於該第二組雷射脈衝；

在該第一程中，定向該第一組雷射脈衝之一第一脈衝以衝擊在該材料上的一第一鑽鑿位置處；

定向該第一組雷射脈衝之接續的脈衝以衝擊在該材料上的接續鑽鑿位置處；

在該第一程之後且在該第二程中，定向該第二組雷射脈衝之一第一脈衝以衝擊在該材料上的該第一鑽鑿位置處；以及

定向該第二組雷射脈衝之接續的脈衝以衝擊在該材料上的該接續鑽鑿位置處。

【第2項】 如請求項1所述之方法，進一步包含以下步驟：

提供一第三組雷射脈衝，該第三組雷射脈衝的特徵為一第三波長、一第三脈衝能量、一第三脈衝寬度及一第三脈衝形狀，其中在波長、脈衝能量、脈衝寬度或脈衝形狀之至少一方面上，該第三組雷射脈衝係不同於該第一組雷射脈衝或該第二組雷射脈衝；

定向該第三組雷射脈衝之一第一脈衝以衝擊在該材料上的該第一鑽鑿位置處；以及

定向該第三組雷射脈衝之接續的脈衝以衝擊在該材料上的該接續鑽鑿位置處。

【第3項】 如請求項2所述之方法，其中該第三組雷射脈衝係適合用以形成一出口孔特徵，且在脈衝寬度方面不同於至少該第二組雷射脈衝。

【第4項】 如請求項2所述之方法，其中在該第三組雷射脈衝中的多個雷射脈衝具有包含一峰值和一平線區的一脈衝形狀。

【第5項】 如請求項2所述之方法，其中該第三組雷射

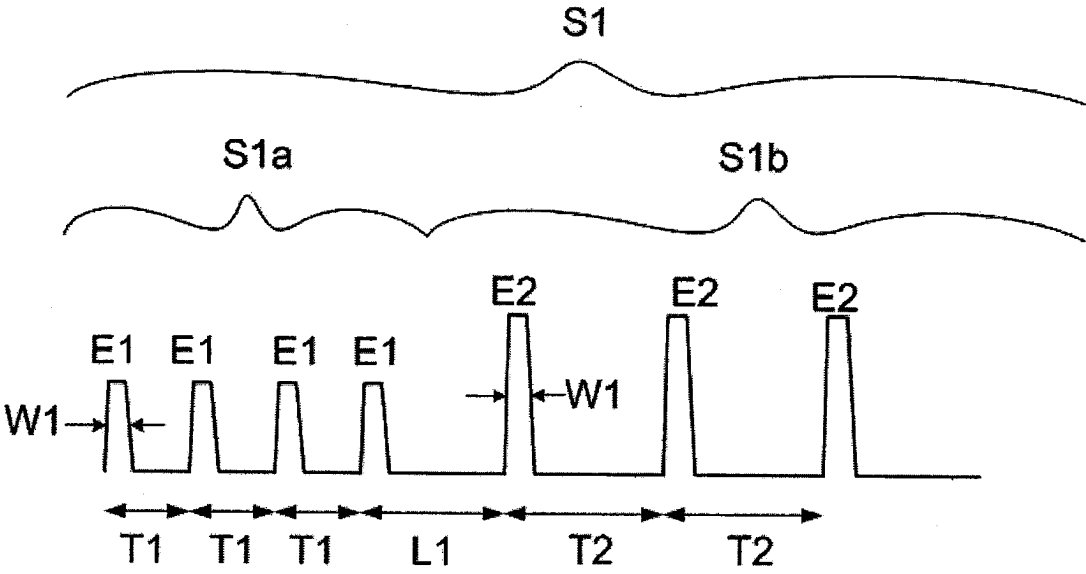
脈衝係在脈衝能量方面不同於該第一組雷射脈衝或該第二組雷射脈衝之至少一者。

【第6項】 如請求項1所述之方法，其中該第二組雷射脈衝係在脈衝寬度方面不同於該第一組雷射脈衝。

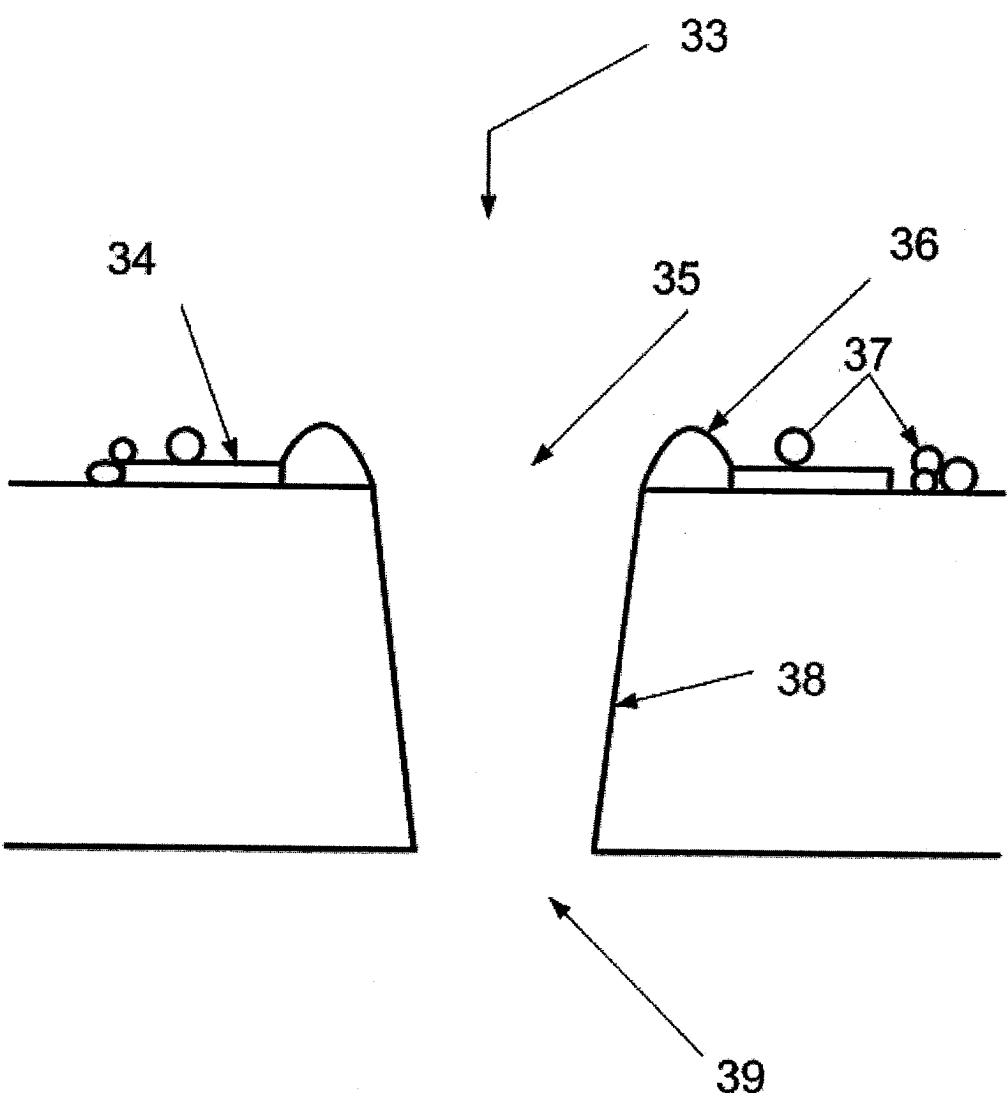
【第7項】 如請求項1所述之方法，其中在該第二組雷射脈衝中之多個雷射脈衝相較於在該第一組雷射脈衝中的多個雷射脈衝具有較長的脈衝寬度和較低的脈衝高度。

【第8項】 如請求項1所述之方法，其中該第二組雷射脈衝係在脈衝能量方面不同於該第一組雷射脈衝。

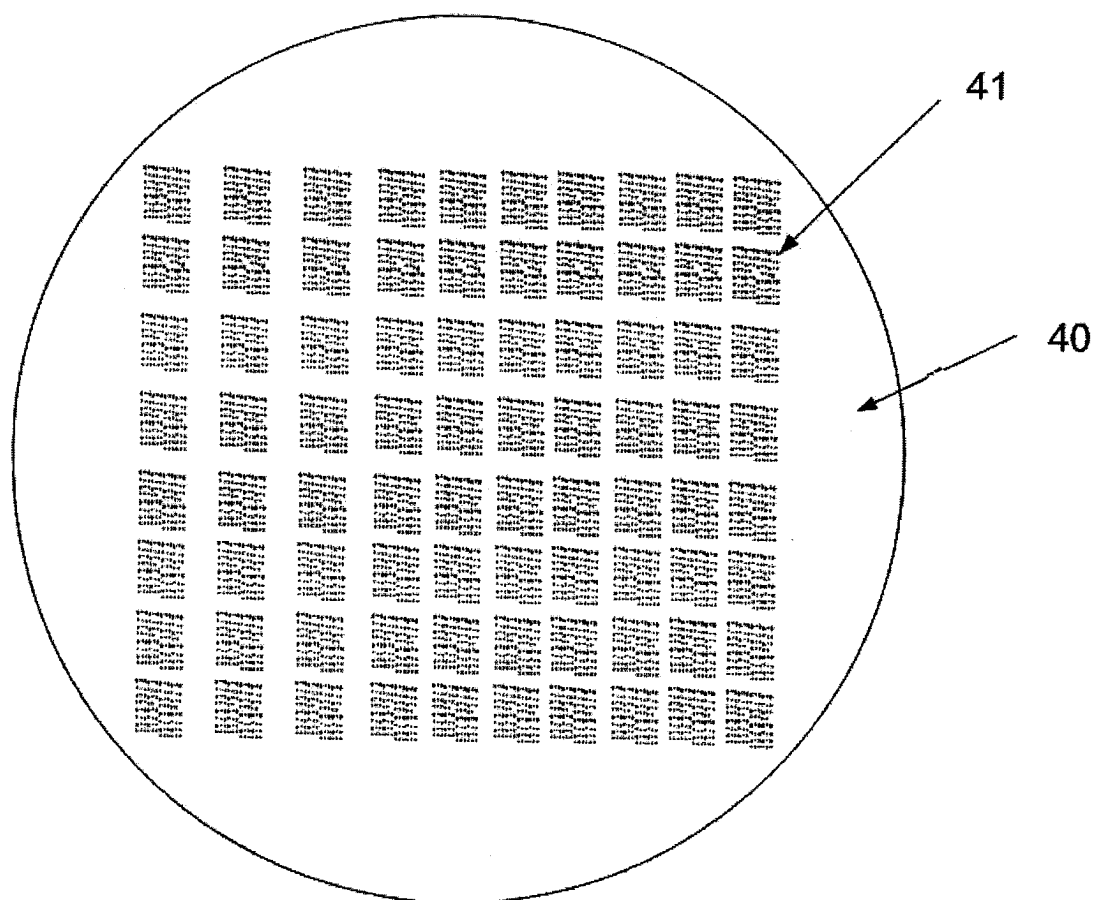
圖式



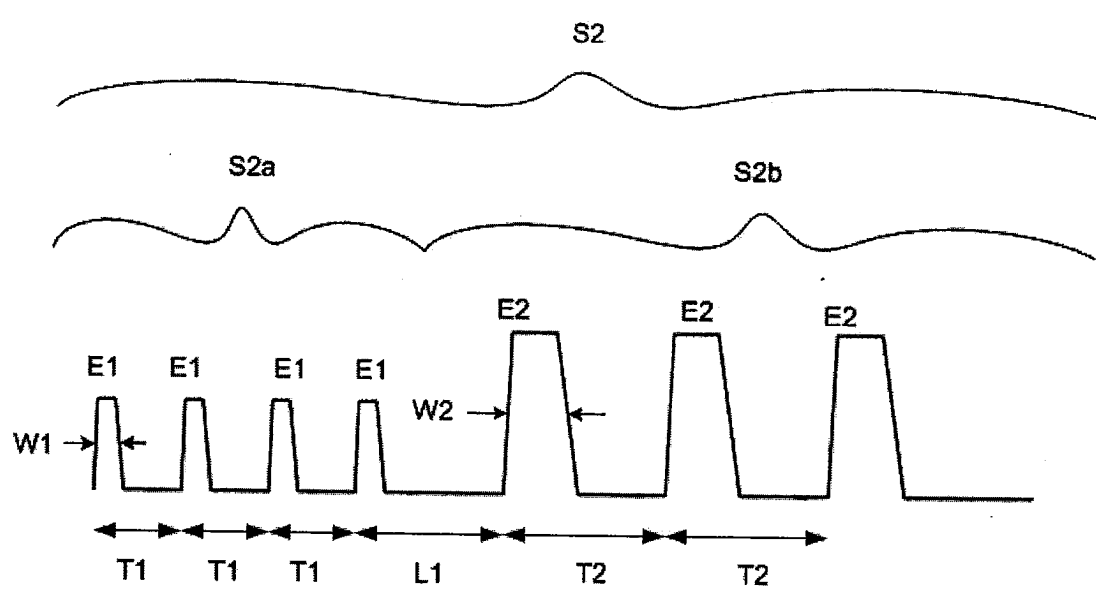
第1圖



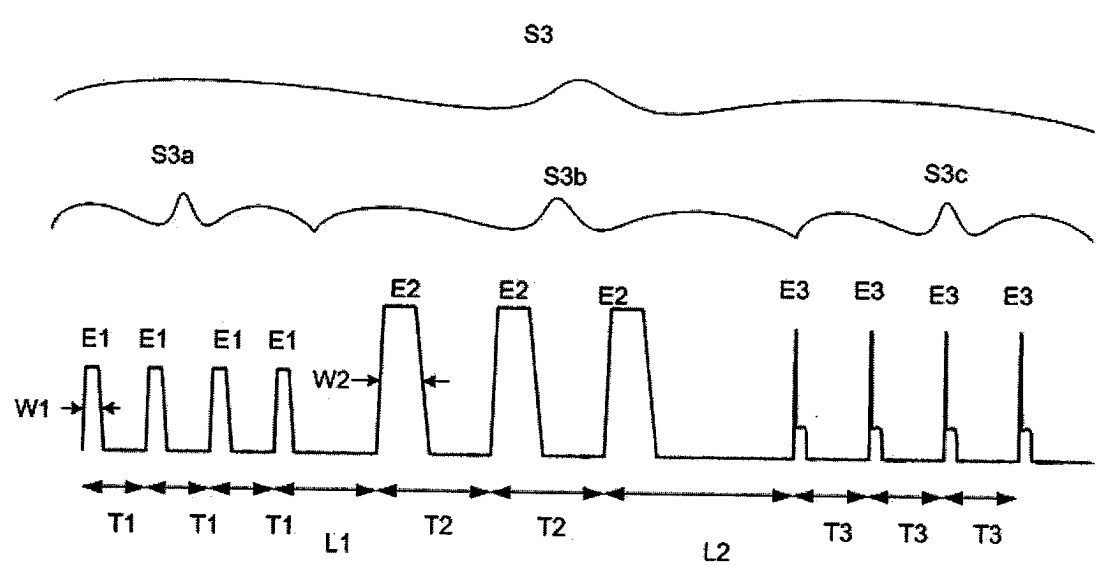
第2a圖



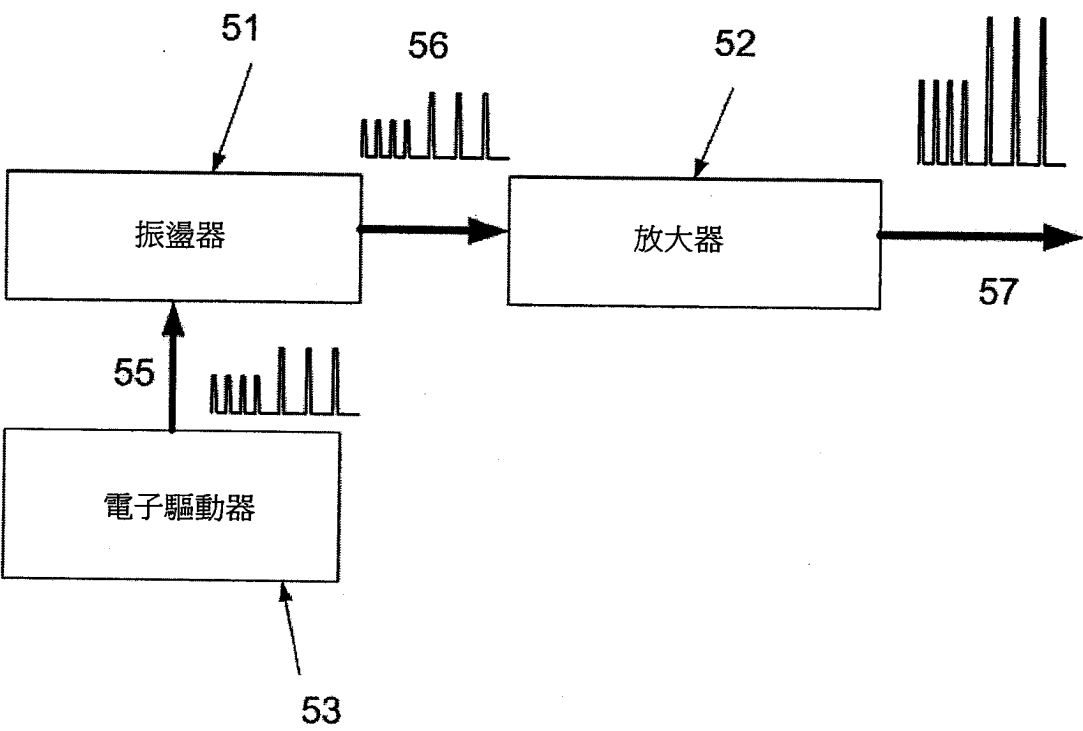
第2b圖



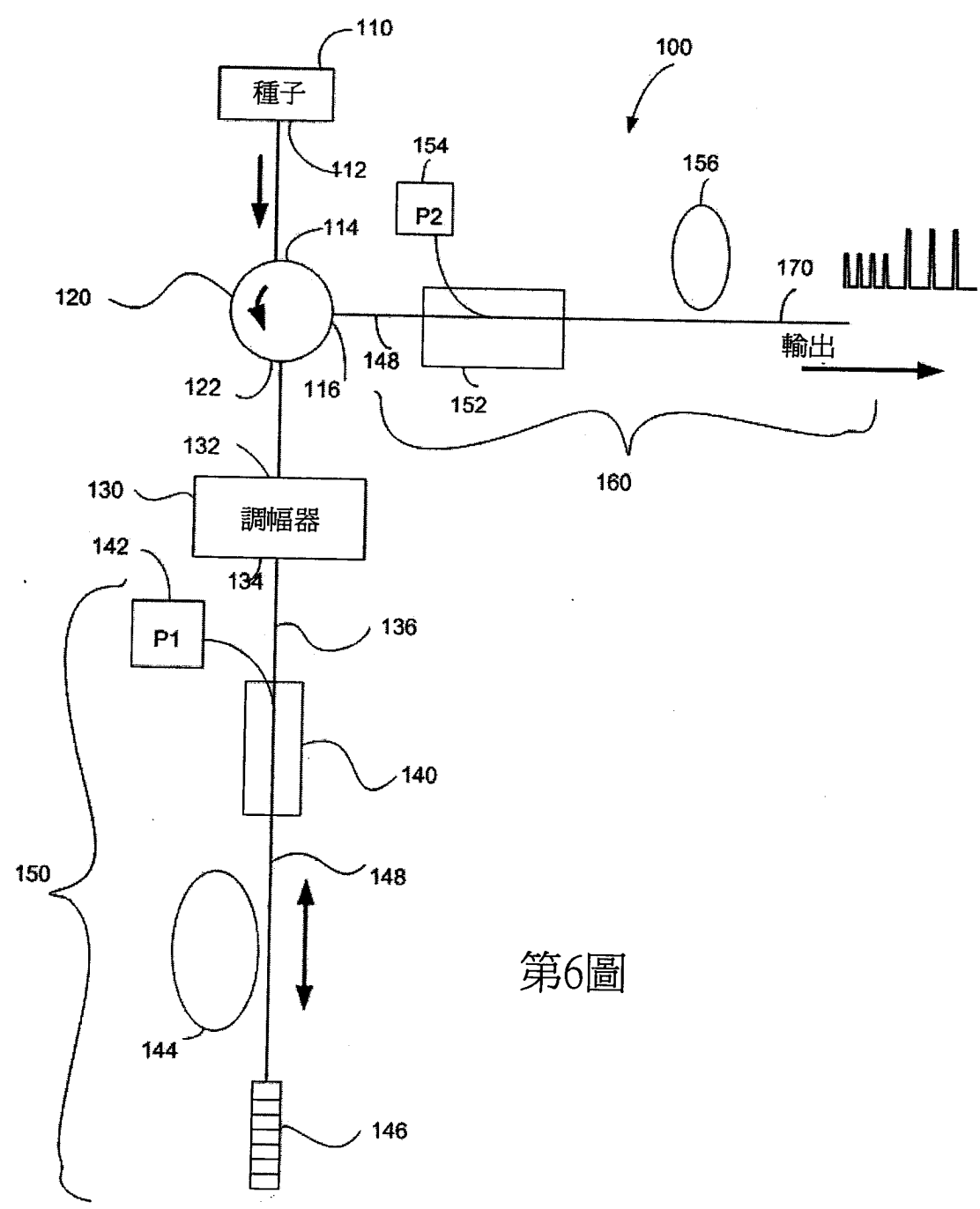
第3圖



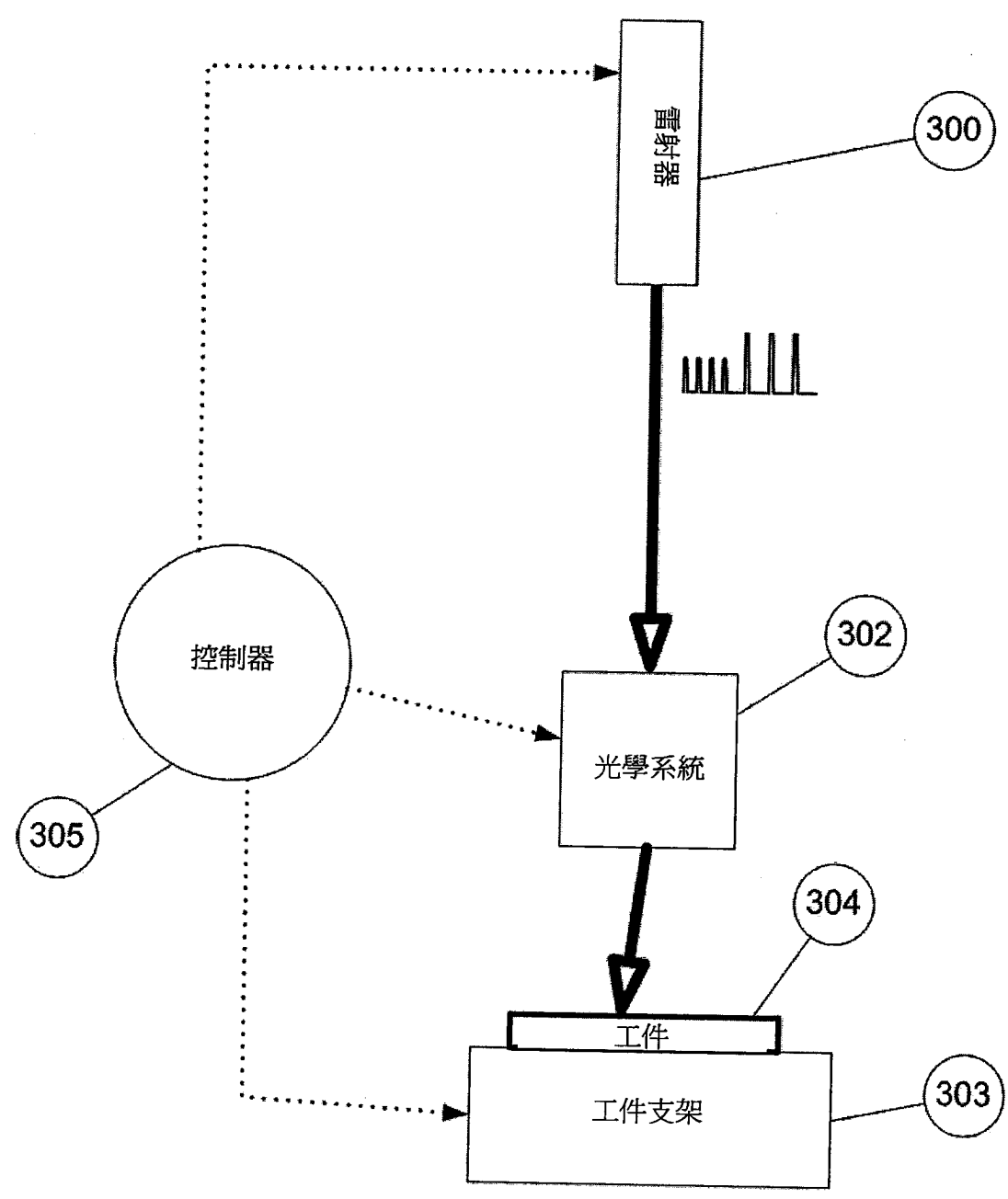
第4圖



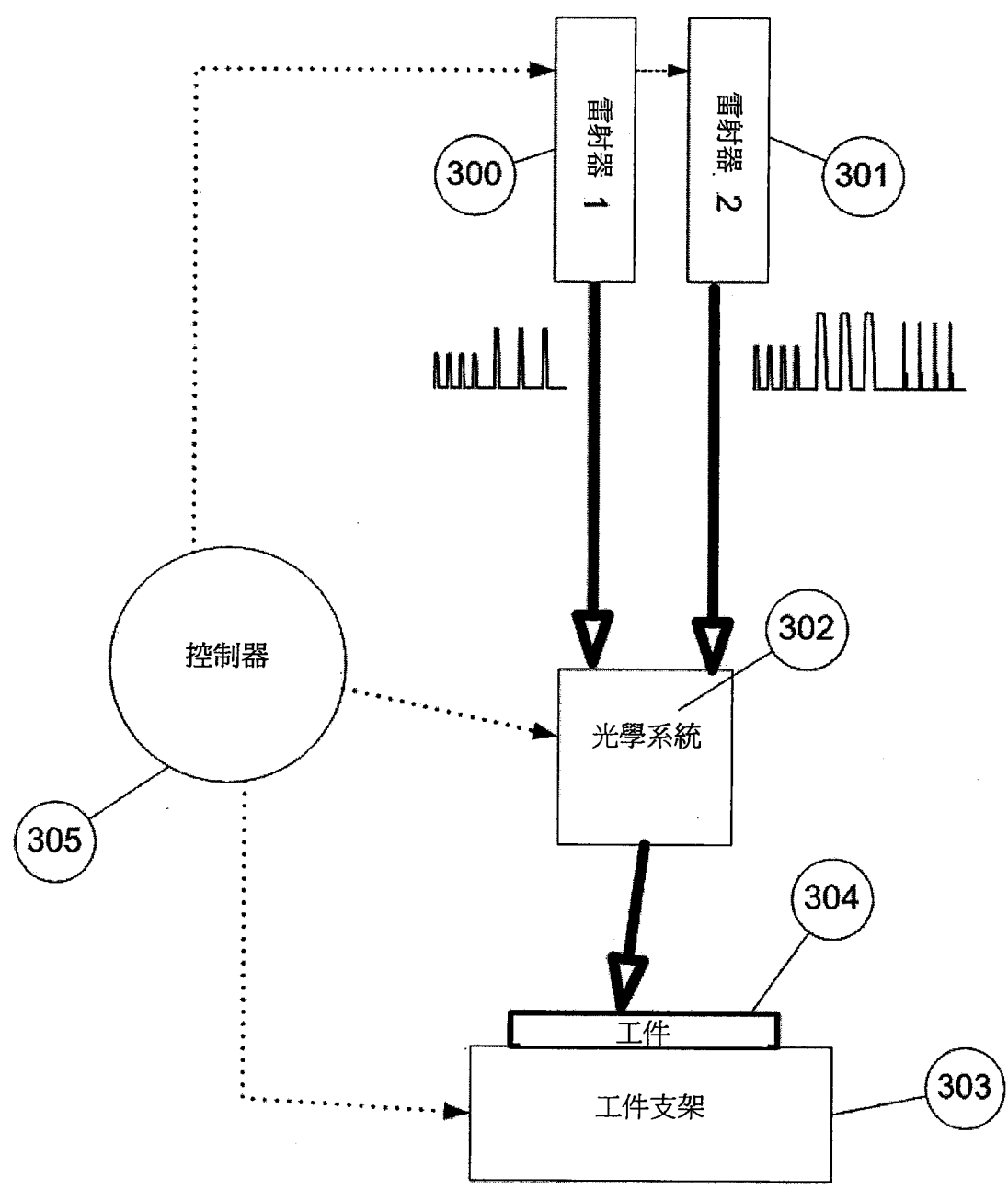
第5圖



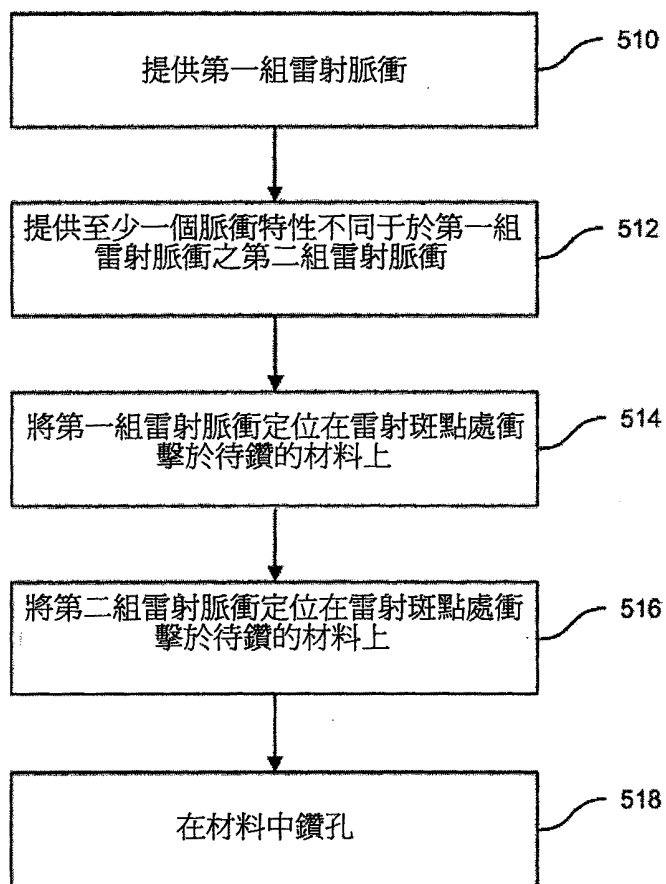
第6圖



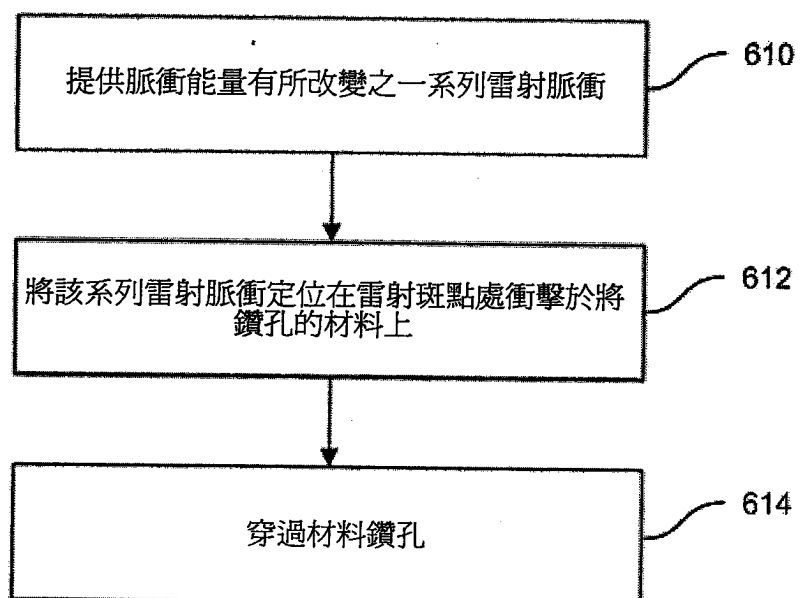
第7圖



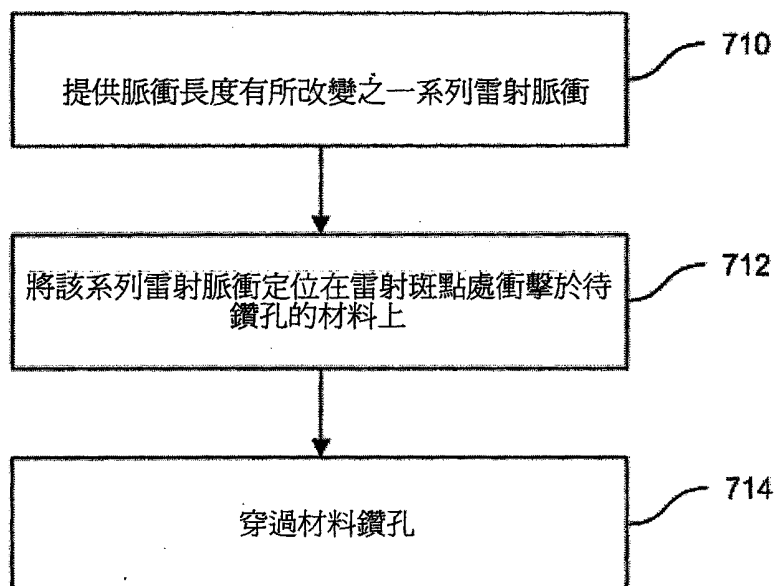
第8圖



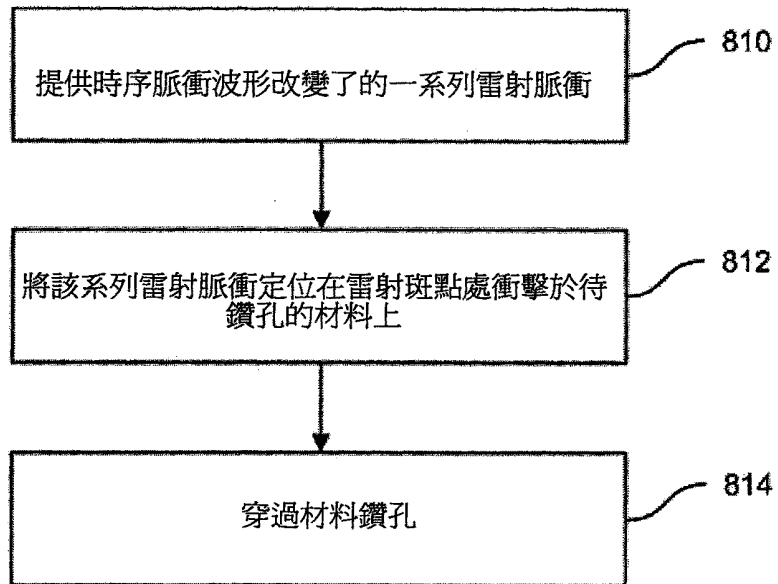
第9圖



第10圖



第11圖



第12圖