(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201141646 A1
(43)公開日： 中華民國 100 (2011) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：099141529 (22)申請日： 中華民國 99 (2010) 年 11 月 30 日
(51)Int. Cl.： *B23K26/36 (2006.01)* *B23K26/06 (2006.01)*
(30)優先權：2009/11/30 美國 61/265,259
2010/01/20 美國 61/296,525
2010/05/21 美國 61/347,085
(71)申請人：ＥＳＩ 派羅弗特尼克斯雷射股份有限公司 (加拿大) ESI PYROPHOTONICS LASERS, INC. (CA)
加拿大
(72)發明人：瑞考馬修 REKOW, MATTHEW (US) ；幕力森李察德 MURISON, RICHARD (CA) ；潘那瑞羅土立歐 PANARELLO, TULLIO (CA) ；敦斯基柯瑞 DUNSKY, COREY (US)
(74)代理人：蔡坤財；李世章
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：27 項 圖式數：13 共 65 頁

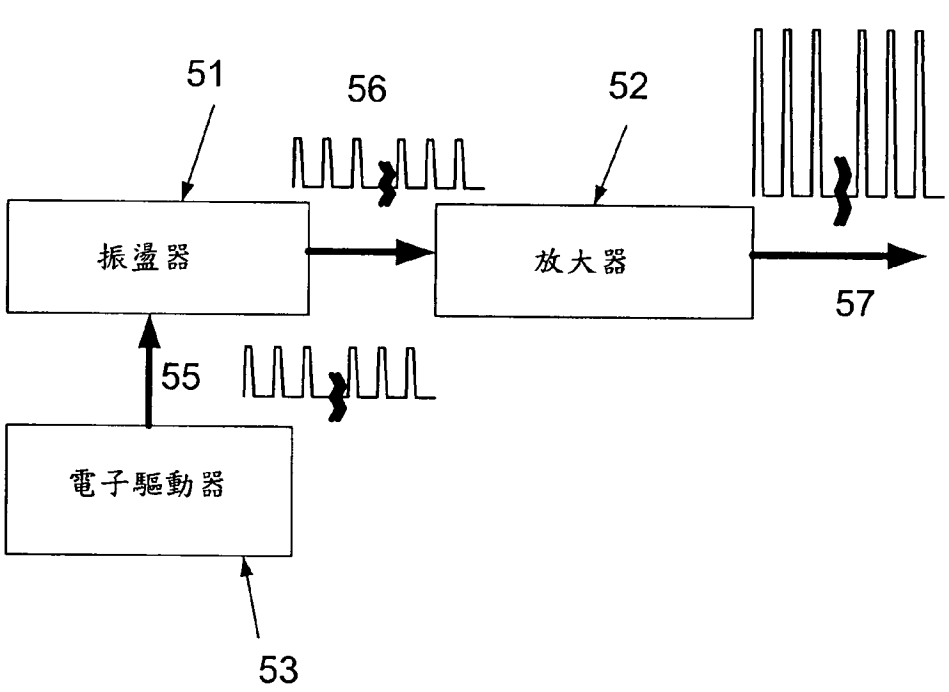
(54)名稱

使用雷射脈衝串以對薄膜劃出線條之方法及設備

METHOD AND APPARATUS FOR SCRIBING A LINE IN A THIN FILM USING A SERIES OF LASER PULSES

(57)摘要

使用在脈衝列(pulse train)中的雷射脈衝串對在基底上的薄膜材料劃線，每個脈衝具有預定時間性功率形態(predetermined temporal power shape)。預定時間性功率形態具有快速的上升時間(risetime)與下降時間(falltime)，以及小於 10 奈秒(ns)的在 10%功率點之間的脈衝長度。藉由將該雷射脈衝點串放置在欲劃線的線上，並使沿線之相鄰的雷射脈衝點之間存在一些重疊區域，以對薄膜劃線。使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串以對薄膜劃線，相較於使用傳統脈衝形態劃線，可得到較佳品質與較潔淨的劃線製程。



51：振盪器
52：放大器
53：電子驅動器
55：電子驅動信號
56：脈衝串
57：輸出脈衝串

(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201141646 A1
(43)公開日： 中華民國 100 (2011) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：099141529 (22)申請日： 中華民國 99 (2010) 年 11 月 30 日
(51)Int. Cl.： *B23K26/36 (2006.01)* *B23K26/06 (2006.01)*
(30)優先權：2009/11/30 美國 61/265,259
2010/01/20 美國 61/296,525
2010/05/21 美國 61/347,085
(71)申請人：ＥＳＩ 派羅弗特尼克斯雷射股份有限公司 (加拿大) ESI PYROPHOTONICS LASERS, INC. (CA)
加拿大
(72)發明人：瑞考馬修 REKOW, MATTHEW (US) ；幕力森李察德 MURISON, RICHARD (CA) ；潘那瑞羅土立歐 PANARELLO, TULLIO (CA) ；敦斯基柯瑞 DUNSKY, COREY (US)
(74)代理人：蔡坤財；李世章
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：27 項 圖式數：13 共 65 頁

(54)名稱

使用雷射脈衝串以對薄膜劃出線條之方法及設備

METHOD AND APPARATUS FOR SCRIBING A LINE IN A THIN FILM USING A SERIES OF LASER PULSES

(57)摘要

使用在脈衝列(pulse train)中的雷射脈衝串對在基底上的薄膜材料劃線，每個脈衝具有預定時間性功率形態(predetermined temporal power shape)。預定時間性功率形態具有快速的上升時間(risetime)與下降時間(falltime)，以及小於 10 奈秒(ns)的在 10%功率點之間的脈衝長度。藉由將該雷射脈衝點串放置在欲劃線的線上，並使沿線之相鄰的雷射脈衝點之間存在一些重疊區域，以對薄膜劃線。使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串以對薄膜劃線，相較於使用傳統脈衝形態劃線，可得到較佳品質與較潔淨的劃線製程。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明領域相關於使用雷射脈衝串以對薄膜劃線的方法與設備。

【先前技術】

現已使用諸如摻釹釔鋁石榴石雷射（Nd：YAG）之脈衝雷射源執行基於雷射之材料加工製程，針對諸如標記（marking）、雕刻（engraving）、微加工製程（micro-machining）、切削（cutting）與劃線（scribing）之應用。儘管已存在這些使用雷射源的發展進度，在本技術領域中仍需要相關於雷射劃線的增進方法與系統。

【發明內容】

本發明大體上相關於材料雷射加工製程（laser processing）。更具體而言，本發明相關於在雷射加工製程應用中運用被特定地成形（shaped）之雷射脈衝串，而提供較佳製程品質與較高產量的方法與設備。本發明亦相關於對基底上的薄膜材料劃線。然而，本發明具有廣泛適用性並可適用於其他應用與材料。

使用雷射的一種製程為對較厚基底上的薄膜材料劃線。薄膜係以常見的名詞定義，如一層或多層僅為數個

分子厚或更厚的材料。例如，薄膜的厚度可為在 25 奈米（nm）與 10 微米（microns；μm）之間。又例如，薄膜可包含一層或多層相同或不同的材料。基底為有多層材料沈積於其上之材料，且通常基底厚度實質上較薄膜為厚。在諸如電子裝置、光電裝置、光學裝置、與腐蝕防護（corrosion protection）的領域中具有許多使用薄膜的範例。例如，光伏打（photovoltaic）或太陽能電池可具有薄膜，薄膜包含一層或多層非晶矽（amorphous silicon）、碲化鎘（cadmium telluride）、硫化鎘（cadmium sulfide）、硒化銦銅（copper indium diselenide）、銅銦鎵硒（copper indium gallium diselenide）、金（gold）、銀（silver）、或鉬（molybdenum），以及使用透明導電氧化物（transparent conductive oxide；TCO）材料諸如銦錫氧化物（indium tin oxide；ITO）、氧化鋅（zinc oxide；ZnO）、與其他諸如鋁或鉬之金屬的薄膜所製成的電極。然而薄膜層的材料不僅限於上述範例。此等、與其他材料組成的薄膜亦被使用於平面顯示器與數位顯示器中。裝置可包含薄膜，而薄膜包含單一材料薄層或數個材料薄層，其中每一層可為相同或不同的材料。因此，如在此所述之，「薄膜」與「薄膜材料」可包含任意具有一層或多層材料的膜。有許多適合的基底材料範例，例如金屬膜（metallic films）或箔（foils）。諸如玻璃或熔融矽石（fused silica）之惰性材料（inert material）亦為適合。然而適合的基底材料選擇並不限於此。

對薄膜材料中線通常代表移除下至次層（sub-layer）或下至基底以上之所有薄膜材料，且沿著線進行。線可為直線、曲線、閉環（closed loop）線、或各種不同形樣（pattern）或形狀的線。對於相對粗的線，可使用諸如刀（knife）的機械劃線工具，但通常會導致邊緣粗糙與薄膜材料移除不完整。在電子裝置中所需的線寬可為非常細。因為雷射可被用以切割出非常細的線條以潔淨地移除薄膜材料，在對薄膜材料劃線的應用中使用雷射。雷射之另一優於機械劃線裝置的優點為雷射可下至較低層（並且保持在該處）以劃出溝槽。

當在電子裝置生產製程中對薄膜劃線時，可能的一目標為潔淨地移除在切割出的溝槽中的所有材料。在溝槽內或鄰接區域上的殘留物（residue）可產生問題。另一個可影響製程品質的議題為可能產生的對其他溝槽附近材料、溝槽體壁、與基底自身的熱傷害或其他傷害。對接近劃出的線之區域的任何傷害可調和（compromise）裝置的功能性與可靠度，因此生產製程的一目標為消除或減低任何由劃線製程導致的對附近區域的傷害。

時常可藉由發送雷射光束通過基底以到達薄膜底部，以執行對基底上薄膜的雷射劃線。此製程稱為第二表面劃線（second surface scribing）或底面劃線（bottom surface scribing）。當然，要讓此發生，基底對於雷射波長必須實質上為通透的（transparent）。一通透的基底範例為玻璃。再者，在多數情況中，在選定的雷射波長中

薄膜為強烈吸收體，致使薄膜強烈地吸收雷射光，且在薄膜底部邊緣處吸收最強烈，藉以起始移除薄膜之製程。在許多狀況中，需要對在實質上不通透的基底上的薄膜劃線。例如此基底可為金屬，因其為良好的熱傳導體而選定。使用來自上方的雷射對基底上的薄膜劃線稱為第一表面劃線（first surface scribing）或頂面劃線（top surface scribing）。使用具有傳統脈衝形態之雷射進行頂面劃線至今仍未完全成功。根據本發明具體實施例提供使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串、藉以成功進行薄膜頂部表面劃線的方法與設備。

根據欲加工的應用與材料，能夠選擇適合特定應用的各種雷射脈衝特徵是有益的，包含波長、脈衝能量、脈衝寬度、脈衝重複率、峰值功率或能量、及/或時間性功率形態。

許多已知的脈衝能量大於 0.5 mJ/每一脈衝的高功率脈衝雷射，係依賴諸如光量開關（Q-switching）與鎖模（mode locking）的技術以產生光學脈衝。然而，此等雷射產生的光學脈衝具有由雷射的空腔形狀（cavity geometries）、鏡面反射率（mirror reflectivity）與類似者所預定的特徵。使用此等雷射，通常難以達成當前應用所需的最佳脈衝形態，因此在許多情況下雷射製程具有一些缺點。具體而言，對於光量開關雷射，在已提供大部分的脈衝能量之後，雷射尾端仍存有大量的脈衝能量，且尾端可延續一段顯著的時間期間。

本發明具體實施例提供對基底上薄膜材料之第一表面劃線的系統與方法，相較於使用具有傳統脈衝形態（例如光量開關脈衝）之雷射以對第一表面劃線之系統與方法，本發明具體實施例提供之系統與方法增進了薄膜劃線製程的品質與良率，根據本發明具體實施例，藉由使用具有脈衝能量與時間性脈衝形態之脈衝串，可增進對薄膜第一表面的劃線，時間性脈衝形態限制將能量沈積至薄膜中的時間期間，並更進一步限制雷射脈衝尾端存有的能量。

本發明相關於對基底上薄膜材料劃線或切割（cut）線的方法，方法使用由具有預定時間性脈衝形態之各別脈衝所組成之雷射脈衝串（簡要圖示於第 1 圖中），使用從雷射發射的此脈衝形態代替傳統時間性脈衝形態具有許多優點，以增進薄膜劃線製程的品質與良率。選定預定脈衝形態以使其具有對薄膜劃線應用有益的性質。在一具體實施例中，劃線製程使用雷射脈衝串，其中每一脈衝具有預定脈衝形態，此預定脈衝形態可被描述為簡單的具有快速上升前緣（leading edge）與快速下降後緣（trailing edge）之平頂（flat-top）脈衝形態，如簡要圖示於第 2A 圖者。在一具體實施例中，在最大功率 10% 處的全幅值（full width at 10% maximum power）時間性脈衝長度約為 5 ns 。在劃線製程中將多個雷射光束聚焦點（聚焦點為部分重疊）掃過薄膜材料整體，若使用具備此平頂形式之預定脈衝代替先前使用的傳統時間性

脈衝形態，則可得到顯著的薄膜製程品質增進。

在薄膜劃線製程中使用預定脈衝形態具有數個優點。在一具體實施例中，使用預定平頂脈衝形態以進行對具有鉬次層於金屬基底上的銅銦鎵硒（copper indium gallium diselenide；CIGS）薄膜（使用於光伏打裝置中的結構）之雷射劃線，潔淨地移除下至鉬層之 CIGS 材料，且僅有微量的 CIGS 材料餘留在劃出的溝槽內。此外，對鄰接材料區域沒有明顯的熱傷害。使用預定脈衝形態代替傳統雷射脈衝形態，對生產裝置的品質與可靠度提供了顯著的增進，並對裝置數量之良率提供了顯著的增進，使裝置可進入下一生產階段。

大多數雷射被設計以提供最大的平均功率、脈衝能量或重複頻率，但皆不太考量輸出脈衝的時間性形態。自由運行（free running）、光量開關、或鎖模雷射的傳統時間性脈衝形態，如第 3 圖所簡要圖示者，具有上升的前緣、圓形的頂部、以及緩慢下降的後緣。此脈衝形態主要由雷射增益介質、雷射激升（laser pumping）裝置、與腔的設計決定。可由提供脈衝電子驅動信號之簡單方式將諸如二極體雷射之脈衝雷射源脈衝化。因此可藉由選擇送至二極體雷射之電子驅動信號的形態，預定產生的光學雷射脈衝的脈衝形態。來自此脈衝雷射源之經成形信號隨後可在諸如光纖雷射放大器之雷射放大器中被放大（amplified）。在本發明之一具體實施例中，提供振盪放大器（oscillator amplifier）雷射系統，以產生適合

對薄膜材料劃線之具有預定時間性脈衝形態的雷射脈衝串。

在另一具體實施例中，提供具有預定時間性脈衝形態之雷射系統以產生雷射脈衝串。脈衝雷射源包含經修改以適合（adapted to）產生晶種信號（seed signal）之晶種源（seed source），以及具有第二埠、第三埠、與耦合至晶種源之第一埠的光學循環器（optical circulator）。脈衝雷射源亦包含經修改以適合產生經成形電氣波形之調變器驅動器，以及經修改以適合接收經成形電氣波形之振幅調變器，振幅調變器係耦合至調變器驅動器。振幅調變器之特徵在於：第二側與耦合至光學循環器之第二埠的第一側。脈衝雷射源更進一步包含第一光學放大器，第一光學放大器之特徵在於：輸入終端與反射終端。輸入終端係耦合至振幅調變器之第二側。另外，脈衝雷射源包含耦合至光學循環器之第三埠的第二光學放大器。

在又另一具體實施例中，提供另一具有預定時間性脈衝形態以產生雷射脈衝串之雷射設計。脈衝雷射源包含經修改以適合產生穩定光學輻射之穩定源，以及具有第二埠、第三埠、與耦合至穩定源之第一埠的光學循環器。脈衝雷射源亦包含經修改以適合產生具有所需形態之信號脈衝的信號源，其中信號源係耦合至光學循環器之第二埠。脈衝雷射源更進一步包含耦合至光學循環器之第三埠的光學放大器。

在本發明另一具體實施例中，揭示用以對基底上之一層或多層薄膜材料劃線或切割線的材料加工製程系統。系統包含提供一種或多種預定時間性脈衝形態以加工薄膜材料的雷射，以得到一種或多種下列益處：（1）在劃線溝槽中具有最少殘留物之潔淨的材料移除（2）對劃線溝槽兩側體壁、鄰接區域、與底層的熱傷害最小（3）劃線溝槽兩側體壁近乎垂直。除雷射外，材料加工製程系統包含用以使用具有形樣之雷射光束聚焦、成像（imaged）、與掃過薄膜材料整體以執行劃線製程的裝置、用以調整掃過雷射點重疊的裝置、以及控制製程之一個或多個電腦。

相較於使用傳統技術，使用本發明可得到數個益處。例如，在根據本發明之具體實施例中，提供適合進行薄膜材料雷射劃線之高功率脈衝雷射，其運用較具有類似效能特徵之雷射便宜的小型結構。再者，在根據本發明之具體實施例中，提供適合對薄膜材料進行雷射劃線之脈衝雷射，致使光學脈衝可被成形以最佳化雷射脈衝設定以對薄膜材料進行雷射劃線。根據此具體實施例將得到數個益處，包含例如增進的製程物件品質與良率。此等與其他的益處已詳述於本說明書中，且將於下文更具體描述。參照下述之實施方式與附加圖式將可更完全瞭解本發明之各種額外的目標、特徵、與優點。

【實施方式】

在諸如太陽能電池、平板顯示器、與數位顯示器裝置的生產製程中，設計通常包含了沈積於基底上的薄膜材料，部分薄膜必須藉由對材料劃出溝槽線或形樣以將薄膜分段，藉以將材料分段或形樣化（patterning）。如裝置設計所需，此形樣可為簡單的線或較複雜的矩形或其他形態。使用脈衝雷射以劃線係為使用雷射脈衝串之多重脈衝製程，藉此每個脈衝被聚焦或成像至薄膜上的點，且此點沿著所需劃出的線掃過，致使每一點與前一點及後一點具有一些重疊。劃出的線寬主要係由聚焦雷射點的尺寸決定。使用雷射對此等薄膜劃出的線寬通常為 10 μm 至 100 μm 之間，但亦可得到較窄或較寬的線。使用特定的點重疊適當地移除材料，以在基底上留下邊緣鋒利的線。因此劃線製程基本上為多重脈衝製程而非單一脈衝製程。在一些情況下，脈衝與脈衝間的重疊量可被用以控制劃線製程。在一範例中脈衝重疊為 30%，但根據製程材料的性質，此值可為低至 2%或高至 95%之間。

第 4 圖圖示對薄膜進行雷射劃線之簡要代表圖。對薄膜進行雷射劃線為需要至少包含 10 個脈衝(在多數情況下）的雷射脈衝串之多重脈衝製程。每個脈衝被聚焦或成像至薄膜材料上的點。在此脈衝串中的第一個脈衝 31 被導引以使第一點位在欲劃之線的起始處。在該脈衝串

中的每個緊接著的脈衝被導引至鄰接前一點的一點，該點與前一點間存在一些於 2%至 95%之間的重疊值（OL%）。第 4 圖圖示之點重疊值約為 30%。因此，該脈衝串中的每個脈衝被導引至沿著欲劃之線的位置，且最後一個脈衝 32 被導引以使最後一個脈衝產生的點為在欲劃之線的末端上。若 N 為脈衝串中的脈衝數量、D 為聚焦在薄膜上的點直徑、且 OL%為以百分比表示之重疊值，則劃線的長度 L 係由以下方程式給定：

$$L = DN - D(N - 1)(OL\%)/100$$

劃出的線寬為對聚焦點尺寸、點重疊值、與薄膜之交互作用的函數；理想上，劃出的線寬大約與聚焦點尺寸的直徑相同。點重疊值為可改變以最佳化製程的製程參數。對於較細的材料，通常可能使用非常低的點重疊值（如 10%），其提供例如可至 1 公尺/秒以上的快速劃線速度。對於較厚的材料，通常選擇較大的點重疊值致使薄膜材料被完全移除。

第 5A 圖圖示在進行頂面劃線製程之前，在基底 33 上之光伏打薄膜設計的側面截面圖。在此具體實施例中，薄膜由下述之多層組成：鉬層 34、CIGS 層 35、硫化鎘層 36、與 TCO 層 37。在此具體實施例中鉬層厚度為 0.3 μm，CIGS 層厚度為 1.6 μm，硫化鎘層厚度為小於 0.1 μm，而 TCO 層為 0.2 μm。此僅為根據本發明之具體實

施例的一個特定設計範例。亦可使用除 CIGS 之外的材料，例如硒化銦銅、銀銦鎵二硒、或銀銦亞酸鹽。亦可使用除硫化鎘之外的材料，例如碲化鎘。可使用各種 TCO 材料諸如銦錫氧化物（ITO）、氧化鋅、與其他金屬氧化物。類似地，可使用除了鉬以外的其他材料，例如金。本發明之具體實施例在應用上並不僅限於在以上列出的材料。在此描述的原理可被廣泛應用至各種薄膜設計與材料。有許多可行且適合的基底材料諸如金屬膜或箔。諸如玻璃或熔融矽石之惰性材料亦為適合。然而適合的基底材料選擇並不限於此。另外，薄膜層數不限於四層，且可為單一層至 20 層以上。相同的，每一層的厚度不限於所提供的範例。

第 5B 圖圖示使用具有第 3 圖圖示之傳統脈衝形態的雷射以劃線出溝槽 40 後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖。約 17%的脈衝能量餘留在脈衝尾端中，脈衝尾端的定義為在脈衝後緣降至最大功率的 50%以下之後的脈衝部分。第 5B 圖亦圖示大量餘留在劃線溝槽中的 CIGS 殘留物 39，以及對溝槽側面體壁與鄰接區域的傷害 38。此等對鄰接區域的殘留物與熱傷害經常為使用具有傳統脈衝形態之雷射以對薄膜劃線的結果。使用傳統光量開關雷射脈衝產生此不能被接受之劃線品質的一個原因為，在傳統雷射脈衝形態的尾端內存在大量的能量，且因此無法將雷射脈衝內的大部分總體能量給予（impart）在夠短的時間期間內。本發明之具體實施例

提供藉由減少或消除劃線溝槽內的餘留物，與減少或消除對體壁或其他劃線溝槽鄰接區域的熱傷害，以增進薄膜劃線品質的方法與設備。

第 5C 圖圖示使用具有第 3 圖圖示之傳統脈衝形態的雷射以劃線出溝槽 40 後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖，其中在最大功率 10%處的脈衝長度全幅值為約 100 fs（毫微微秒）。具有非常短如毫微微秒之脈衝長度的雷射，由於在材料中的極高峰值功率能量沈積，經常被用以削磨（ablate）材料。此等雷射的缺點為昂貴，且非常複雜以使用於生產環境。另外，極高峰值功率雷射脈衝有時亦將削磨到不欲削磨的薄膜層材料，正常地，這些材料實質上將反射具有較低峰值功率的雷射。如第 5C 圖所圖示，使用具有傳統脈衝形態之短脈衝毫微微秒雷射以劃線出的溝槽 40，展示大量的從鉬層移除的材料 41。對劃線溝槽下方層的傷害或材料移除係為不想要的結果。本發明的另一目標為提供藉由減少或消除任何對劃線溝槽下方層的傷害或材料移除，以增進薄膜劃線之品質的方法與設備。

第 5D 圖圖示使用根據本發明之具體實施例之具有預定脈衝形態的雷射脈衝串以劃線出溝槽 40 後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖。如第 5D 圖所圖示，使用具有預定脈衝形態的雷射脈衝串以劃線出溝槽展示了最少或無 CIGS 殘留物於溝槽中、對溝槽體壁或鄰接區域產生最少傷害或不產生傷害、對溝槽下方鉬層產生最少

傷害或不產生傷害、以及具有接近垂直之兩側體壁的溝槽。

第 1 圖圖示脈衝串 21，其中每個脈衝具有根據本發明之具體實施例的預定脈衝形態，其與使用具有如第 3 圖圖示之傳統脈衝形態的雷射脈衝串相較之下，增進了對基底上的薄膜劃線的品質。每個雷射脈衝串通常包含至少十個脈衝，但此不為本發明所必需。具體而言，第 2A 圖圖示根據本發明之一具體實施例之預定脈衝形態 25，預定脈衝形態 25 具有在最大功率 10%處的脈衝長度全幅值（T1）、前緣上升時間（10%至 90%）（RT1）、以及後緣下降時間（90%至 10%）（FT1）。平頂的峰值功率為 H1。對於根據本發明之預定脈衝形態，較佳的 T1 將為 1 ns 至 10 ns。在一些具體實施例中，上升時間快於 T1 的 10%且下降時間快於 T1 的 30%，但更快的值亦包含在本發明之範圍內。大體來說，脈衝能量的選擇將根據一些因素，包含欲加工的材料、雷射點尺寸、與劃出的線寬。在由第 5D 圖圖示說明之範例中，係運用於 5 至 10 μJ 之間的脈衝能量值。與使用傳統脈衝形態之脈衝串劃出的線（具有如第 5B 圖與第 5C 圖所圖示之大量 CIGS 殘留物與對鄰接區域與層的傷害）相較之下，使用具有第 2A 圖所圖示之平頂脈衝形態的脈衝串所劃出的線提供了具有接近垂直之兩側體壁的溝槽，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，並未移除或傷害下方鉬層，並僅有微量的 CIGS 殘留物，如第 5D 圖所簡要圖示

者。在本發明之一具體實施例中，在第 5A 圖所圖示之設計的薄膜範例中劃出具有 47 μm 線寬的線，其中薄膜層係由下列層構成：厚度為 25 μm 之金屬箔基底 33，厚度為 0.3 μm 之鉬層 34，厚度為 1.6 μm 之 CIGS 層 35，與厚度為 0.2 μm 之 TCO 頂層 37。在此具體實施例中，具有第 2A 圖所圖示之預定脈衝形態的來自波長為 1064 nm 的雷射、脈衝能量為 10 μJ、脈衝長度 T1（在最大功率 10%處的全幅值）為 5 ns、RT1 與 FT1 值為 0.3 ns、以及重複率為 20 KHz 的脈衝串，以 47 μm 的點尺寸被成像於薄膜上，在該處雷射級（stage）以約 0.85 公尺/秒的速度移動以提供沿著欲劃線的形樣之約 10%的點重疊。在薄膜材料中下至鉬層所劃線出的溝槽展示了接近垂直的兩側體壁，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，溝槽中僅有微量的 CIGS 殘留物，且未傷害下方鉬層。使用各種其他的雷射級速度與雷射重複率以改變點重疊於 2%至 50%之間，且在薄膜材料中劃線出的溝槽展示了類似的有利性質，具有接近垂直的兩側體壁，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，溝槽中僅有微量的 CIGS 殘留物且未傷害下方鉬層。當使用具有脈衝長度 T1 為 2 ns、RT1 與 FT1 兩值皆小於 0.5 ns、脈衝能量為 5 μJ、並以 36 μm 的點尺寸成像的預定平頂脈衝形態，並使用雷射級速度與雷射重複率以提供於 2%至 50%之間的點重疊時，可觀察到類似的有利結果。當使用具有脈衝長度 T1 為 10 ns、RT1 與 FT1 兩值皆小於 1 ns、

脈衝能量為 10 μJ、並以 41 μm 的點尺寸成像的預定平頂脈衝形態，並使用雷射級速度與雷射重複率以提供於 2%至 50%之間的點重疊時，可觀察到類似的有利結果。本發明之具體實施例的特定參數並不限於此等值。在具體實施例中，平頂脈衝的脈衝長度 T1 將於 1 ns 與 10 ns 之間。平頂脈衝的上升時間 RT1 將快於 6 ns 與脈衝長度 T1 之較小值。平頂脈衝的下降時間 FT1 將快於 2 ns 與脈衝長度 T1 之較小值。在一些具體實施例中，其中平頂脈衝形態展示了一些如第 2B 圖圖示之垂度（droop），可達到類似的增進。例如，垂度可為使（H1-H2）小於 H1 的 50%，其中 T2（在最大功率 10%處的全幅值）為在 1 ns 至 10 ns 之間、RT2 為快於 6 ns 與脈衝長度 T2 之較小值、且 FT2 為快於 2 ns 與脈衝長度 T2 之較小值。

根據本發明之具體實施例對薄膜劃線所使用的預定脈衝形態的脈衝參數可為在一範圍內變動，並可展示類似的有利性質：具有接近垂直的兩側體壁，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，溝槽中僅有微量的 CIGS 殘留物且未傷害下方鉬層。本發明之具體實施例運用預定雷射脈衝，其被設計以將大部分施予製程的脈衝能量提供在 5 ns 中，且通常不長於 10 ns，且亦使在上述時間期間後的脈衝尾端中僅存有非常小的能量，因為其可對薄膜劃線製程品質產生不良的影響。即使快速的脈衝上升時間係為較佳，對於許多材料，具有長如 6 ns 之上升時間的脈衝將提供類似的優點，只要大部分的脈衝能

量提供在短於 10 ns 中。類似地，脈衝形態不需為水平與平頂，但可為扁平（flat）與錐形（tapered）、或具有圓形（rounded）的頂端。因此，對於具有根據本發明之具體實施例之在最大功率 10%處的全幅值脈衝長度的預定脈衝形態，較佳地，在脈衝後緣半功率點（half power point）之後來到的脈衝部分將包含少於 5%的總脈衝能量。通常該脈衝部分將包含少於 10%的能量。第 12 圖圖示根據本發明之具體實施例之適合的預定脈衝形態。此脈衝形態具有少於 6 ns 的上升時間（10%至 90%功率點）、少於 10ns 的在最大功率 10%處的全幅值脈衝長度、少於 10%總脈衝能量存在後緣降至半峰值功率點下以後的脈衝尾端中。較佳地，預定脈衝上升時間少於 1 ns、脈衝寬度少於 5 ns、且尾端包含少於 2%的總脈衝能量。

使用不同的點尺寸可得到類似的增進。在前述範例中，由將 10 μJ 脈衝能量成像至 47 μm 點所達到的能量密度（energy density）為 0.65 J/cm^2。在一應用中，對於以雷射將範例薄膜劃線，在脈衝串中的平頂脈衝的脈衝長度 T1 為在 1 ns 至 10 ns 的範圍內，且能量密度為在 0.2 至 0.7 J/cm^2 的範圍內。因此，例如，具有第 2A 圖所圖示之預定脈衝形態的來自波長為 1064 nm 的雷射、脈衝能量為 40 μJ、脈衝長度 T1（在最大功率 10%處的全幅值）為 5 ns、RT1 與 FT1 值為 0.2 ns、以及重複率為 20 KHz 的脈衝串，以 94 μm 的點尺寸被成像於薄膜

上，在該處雷射級以約 1.7 公尺/秒的速度移動以提供沿著欲劃線的形樣之約 10%的點重疊。在薄膜材料中下至鉬層所劃線出的溝槽展示了接近垂直的兩側體壁，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，溝槽中僅有微量的 CIGS 殘留物，且未傷害下方鉬層。

當使用小點尺寸時，調整能量密度可為有幫助的。在前述範例中，由將 10 μJ 成像至 47 μm 點所達成的能量密度為 0.65 J/cm^2。在應用中，脈衝串內的平頂脈衝脈衝長度 T1 為在 1 ns 至 10 ns 的範圍中，且當雷射點尺寸減至直徑 20 μm 並使用 0.4 J/cm^2 至 1.4 J/cm^2 之間的能量密度時，可達成對雷射劃線有利的結果。可根據欲劃線的線寬度選擇能量密度。

可根據使用於薄膜之材料的選擇與組合選擇能量密度。例如，CIGS 為其材料成分之固態混合物，其中銦（indium）與鎵（gallium）的比例可選定為特定值。當使用特定雷射波長對此特定薄膜劃線時，這些值的特定選擇通常將對能量密度與其他製程參數產生影響。對於特定樣品（sample）的最佳能量密度選擇，經常在可選定最佳脈衝能量之後，在進行實際劃線製程之前使用測試串以決定。

對於非常薄的薄膜，可使用小重疊以移除每個聚焦點的材料，但隨著材料厚度增加， 較佳的為提昇點重疊，而非提昇脈衝能量。相較於高點重疊，低點重疊可使點重疊處之劃線邊緣產生更多調變（modulation）。然而，

在每個點重疊處邊緣的尖銳點不同於使用具有傳統脈衝形態之雷射脈衝串所對薄膜劃線溝槽邊緣產生的熱傷害。因此，在一具體實施例中，在使用具有預定脈衝形態之脈衝串時，藉由增加點重疊，減少了點重疊處的尖銳邊緣且不造成 CIGS 殘留物、與對劃線溝槽體壁或周圍區域熱傷害的生成。在本發明之具體實施例中，點重疊可選定為 30%，但點重疊並不需為 30%且可為低至 10%或高至 70%。

本發明並不限於具有在此描述之厚度的材料層。例如，對厚度 2 μm 的 CIGS 層，而非前述的 1.6 μm，可預期脈衝能量將稍微提昇。類似地，對於較薄的層，當維持具有相同為 5 ns 的脈衝長度 T1 時，需要的脈衝能量將稍微降低。

已提供了使用於在本揭露中描述之具體實施例中的各種參數變化與組合。例如，在 10%至 70%間之不同的點重疊值，以及伴隨的點尺寸、能量密度、與雷射級速度改變，可對雷射劃線薄膜基底溝槽或形樣產生相同的有利性質。存在經設計以改變成像至薄膜材料雷射脈衝之能量分佈的空間性設定的光學均勻器（optical homogenizers），空間性設定可從高斯形式（Gaussian form）改變成平頂或其他所需的設定，可運用此光學均勻器以提供有利的結果。

可運用各種裝備以決定劃線品質。運用具有 40 倍放大倍率的光學顯微鏡可適當地觀察對體壁與劃線附近區域

的傷害，以及在使用傳統脈衝形態劃線的情況下可觀察在溝槽中的 CIGS 殘留物。當使用預定脈衝形態時，使用光學顯微鏡檢查可發現溝槽中沒有明顯的 CIGS 殘留物。此結果在此可稱為「無可觀察到的殘留物」。類似地，對於根據本發明使用預定脈衝形態的情況，當使用 40 倍放大倍率的光學顯微鏡時溝槽體壁顯示為垂直的。亦可使用更靈敏的裝置（諸如干涉表面輪廓儀（interferometric surface profiler）或掃描式電子顯微鏡（scanning electron microscope）SEM）以更進一步檢驗使用預定雷射脈衝形態劃線出的溝槽。使用 SEM，仍可在劃線溝槽底面偵測到一些少量的 CIGS 微粒，此將被描述為「痕跡（trace）」。此等級的 CIGS 殘留物非常小於光學顯微鏡可觀察到的等級，且亦相當小於會對生產製程產生問題的等級。使用 SEM 亦可估測（estimate）劃線溝槽體壁的斜度（slope）。在一些具體實施例中，在體壁上的隨機位置量測顯示，有八成以上的垂直側體壁隨機位置具有少於 1 μm 的體壁寬度（10%高度至 90%高度）。更進一步的確認劃線溝槽品質之常見的量測為，量測溝槽一側的頂層至溝槽另一側的頂層之電阻。對於此層系統中的劃線溝槽，通常可被接受的電阻值為大於 200 歐姆，雖然此亦將取決於劃線的長度。

不意為限制本發明的範圍，發明人相信使用具有預定脈衝長度與脈衝形態的雷射脈衝之第一表面製程、以潔淨地對薄膜材料劃線之能力的一解釋，為一脆性斷裂

（brittle fracture）製程。對於包含使用於薄膜的材料，具體來說，包含 CIGS 與硒化銦銅之特定材料，脆性斷裂製程能夠解釋在特定狀態下使用雷射脈衝如何將潔淨地移除特定薄膜材料，而不傷害附近的材料。對於此等材料，可產生適合的雷射脈衝以實質上穿透至下方金屬層，且快速地加熱局部點處及局部點處附近的材料，使其至恰於材料融熔（melting）或實質上軟化的溫度之下的溫度。處於此提昇的局部溫度下，鉬-CIGS 介面處可增建（buildup）大量的氣體蒸汽壓力，且在 CIGS 層與下方鉬層之間亦有大量的差別熱膨脹（differential thermal expansion），藉以提供足夠的壓力以起始在點外周圍的斷裂，以及 CIGS 來自鉬表面的爆炸性放射（explosive expulsion）。對於併入 CIGS 之薄膜，因為在 CIGS 組成物中硒具有最低的沸點，發明人相信硒蒸汽（selenium vapor）為最可能的氣體壓力來源。一般將在展示出適當機械性質的材料中觀察到此機制。發明人相信使用具有少於 10 ns 的等效能量沈積時間的適當波長雷射，可在諸如 CIGS 或硒化銦銅的材料中達成此潔淨排出碎片的製程，且適當波長雷射具有適當的預定脈衝形態，適當的預定脈衝形態可快速且直接地沈積足夠的能量於（或接近）適當的薄膜層介面，以導致蒸汽產生、差別熱膨脹、與隨後來自下層（例如鉬）的剝離（delamination），同時並防止附近區域發生材料實質上融熔或熱傳導。本發明之具體實施例運用短雷射脈衝脈

衝長度以非常快速地沈積足夠的能量至層結構中所需的位置，且運用快速的雷射脈衝下降時間以防止任何多出的能量變為有效以從鉬傳導至附近區域，或被 CIGS 材料直接吸收。

再者，一些具體實施例考量到被射出（expel）層（例如 CIGS）的光學性質。在一具體實施例中，為了使雷射能量達到第 5A 圖中的底層 34（例如鉬），上覆層 35、36、37 對使用的雷射波長係足夠通透。若此等層可吸收，多出的能量可被此等層直接吸收。在製程期間中，沈積正確的能量大小以產生足夠的氣體壓力與差別熱膨脹增建，而不肇始融熔。CIGS 的融熔將可減輕累積的應力，且亦允許氣體蒸汽逃出，而不產生所需的爆炸性剝離製程與潔淨的劃線。如控制沈積能量之一範例，對於前述的情況（將具有 5 ns 脈衝長度 T1 之 10 μJ 脈衝沈積至 47 μm 直徑點），一些發射通過 CIGS 層的能量將被鉬層反射，或在被鉬層吸收之後以熱的形式傳導回 CIGS 層。因此，在薄膜表面處的雷射輻射能量沈積為 0.6 J/cm^2。應強調的是對於材料，在雷射脈衝期間之能量的沈積與溫度的提升不為一致（uniform），但係主要地置於（或接近）在鉬層與 CIGS 層之間的介面。對於在 5 ns 時間期間範圍中的能量沈積，未發生 CIGS 融熔，但 CIGS 於潔淨製程中斷裂且爆炸性地剝離自鉬層，並同時帶走其上層。僅留下微量的熱，且已無能量被雷射脈衝沈積，所以對周圍區域的熱傷害被減至最小。快速地將適當能

量大小沈積以導致 CIGS 層剝離為達成潔淨劃線製程的關鍵。

對前述使用具有 5 μJ脈衝能量的預定脈衝形態且 T1 = 2 ns 的雷射脈衝、成像於 36 μm 點尺寸以控制對 CIGS 之能量沈積的具體實施例的類似分析，提供了下列數據：在表面處的雷射輻射能量密度為 0.5 J/cm^2。對於在 2 ns 時間期間範圍中的能量沈積，未發生 CIGS 融熔，但 CIGS 於潔淨製程中斷裂且剝離自鉬層，並同時帶走其上層。僅留下不足量的熱，且已無能量被雷射脈衝沈積，所以對周圍區域的熱傷害被減至最小。快速地將適當能量大小沈積以導致 CIGS 層剝離與爆炸性放射為達成潔淨劃線製程的關鍵。

雖然 CIGS 材料的吸收值可為高達 80%，較低的吸收值亦適用於本發明之具體實施例。CIGS 層的吸收值實質上可少於 80%。因為此機制被相信涉及於移除薄膜且不融熔薄膜，而是經由在鉬介面處的剝離製程，較佳地，足夠的雷射光可實質上穿透過 CIGS 層且部分被鄰接 CIGS 層之鉬表面處（或接近）吸收。傳導對鄰接鉬表面之 CIGS 區域的加熱導致此區域的溫度快速增加，而其他 CIGS 材料部分的加熱不那麼快速。CIGS 自下方鉬層之脆性斷裂被相信為藉由以差別膨脹引發之應力的製程、與從熱 CIGS 材料排放的硒氣體產生的蒸汽壓力（導致爆炸性放射）以發生。證據顯示包含 CIGS 的薄膜層以氣泡狀被移除，且事實上可在附近看到數個由一些脈

衝產生的頂帽（cap）大碎片或甚至在一些情況下可看到整個頂帽。由此可區別此製程與將 CIGS 分解成粉狀或許多小碎片或甚至融熔之汽化製程或削磨製程。此移除薄膜相信對獲得所需劃線性質為有益的，因而使溝槽展示了接近垂直的兩側體壁，且沒有對溝槽體壁與鄰接區域的明顯傷害，溝槽中僅有微量的 CIGS 殘留物，且未傷害下方鉬層。

欲達成所需的劃線性質，已知鄰接鉬表面之 CIGS 材料的溫度必須快速上升，但 CIGS 材料主體（bulk）必須不上升的那麼快速。根據一些具體實施例，提供少於 10 ns（在 10%最大功率處之全幅值）之雷射脈衝長度上限，且較佳地為少於 5 ns（在 10%最大功率處之全幅值）。為了發生脆性斷裂，已知 CIGS 材料主體溫度必須不上升到致使 CIGS 變為韌性（malleable）或被融熔的程度，因為此將導致不良的劃線溝槽性質，諸如在溝槽底部與體壁上的材料融熔。根據雷射波長與 CIGS 材料的組成物，CIGS 的吸收係數亦將可能如對溫度之函數快速增加。因此，重要的是在鄰接鉬表面之 CIGS 材料的加熱在 10 ns 以下的雷射脈衝期間被起始之後，不再將顯著的雷射光施予材料，因為雷射光有被 CIGS 主體吸收的傾向而導致不良的 CIGS 主體溫度提昇。此考量導致了使用具有快速下降時間的脈衝如前述者，因而使脈衝尾端僅存在少量能量。

被鉬表面反射的光量取決於數個因素，包含鉬層的表

面處理與鄰接層的材料。典型的鉬反射率為 40%但實際上的反射率可為低至 10%與高至 65%的範圍內。即使鉬可反射大量的雷射光量，鉬亦吸收一些光。這些被吸收的光將鉬與鄰接的 CIGS 材料加熱。對於具有低反射率且因此具有強吸收的鉬，在鉬表面或附近的溫度將提升的較快，且係為所需的結果。

在脆性斷裂製程中，CIGS 材料與在 CIGS 上層之材料的放射，被相信為肇因於蒸汽壓力在 CIGS 層與鉬層之間的增建。此蒸汽壓力可為極高，且可導致在其上受到高度應力之 CIGS 層的斷裂，並使 CIGS 層被爆炸力移除。可在距離劃出之線約 1 公釐（或更多）以外觀察到 CIGS 碎片，證明了此現象。蒸汽壓力被相信為主要來自硒蒸汽。在包含 CIGS 與鉬基底的材料中，硒具有最低的沸點。

第 11A 圖圖示適合使用本發明之具體實施例以劃線的另一基底上薄膜層設定。在此情況中，鉬層 34 與 CIGS 層 35 之間存在薄膜層 32。層 32 可單純為沈積製程的副產物。例如，沈積製程時常產生厚度小於 0.1 μm 的硒化鉬（molybdenum diselenide）薄膜層。亦可有意地沈積層。在此描述之本發明之具體實施例亦將適合用以對第 11A 圖圖示的薄膜種類劃線。事實上，藉由提升雷射光的吸收並提供硒蒸汽之來源，薄膜層 32 可幫助在鉬表面或接近處的吸收製程，藉以加速鄰接 CIGS 材料的加熱，以及由脆性斷裂製程所進行之 CIGS 層的移除。在另一

具體實施例中，層 32 可為具有強吸收的材料，其被附加至硒層與 CIGS 層之間以協助雷射劃線製程。在另一具體實施例中，層 32 可為降低硒表面反射率的材料，其被附加至硒層與 CIGS 層之間以協助雷射劃線製程。

一種可能性為從硒化鉬逐漸形成硒蒸汽相較於從 CIGS 要來得更快捷，且因此可為用以驅動爆炸性剝離製程之氣體壓力增建的來源。

第 11B 圖圖示使用具有第 3 圖圖示之傳統脈衝形態的雷射進行劃線溝槽 40 後、於第 11A 圖圖示之結構的側面截面圖，其中在 10%最大功率處的脈衝長度全幅值約為 10 ns。第 11B 圖亦圖示大量的 CIGS 殘留物餘留在劃線溝槽內，且存在對溝槽體壁與鄰接區域的傷害 38。此殘留物與對鄰接區域的熱傷害時常為使用具有傳統脈衝形態之雷射對薄膜材料劃線的結果。在此具體實施例中，劃線製程在鉬層 34 處終止。

第 11C 圖圖示使用具有第 3 圖圖示之傳統脈衝形態的雷射進行劃線溝槽 40 後、於第 11A 圖圖示之結構的側面截面圖，其中在 10%最大功率處的脈衝長度全幅值約為 100 fs。如第 11C 圖所圖示，使用具有傳統脈衝形態之短脈衝飛秒(femtosecond)雷射劃線出的溝槽 40 展示了大量從鉬層移除的材料 41。移除或傷害劃線溝槽下方層材料為不良的結果。

第 11D 圖圖示使用具有根據本發明具體實施例之預定脈衝形態的雷射脈衝串進行劃線溝槽 40 後、於第 11A

圖圖示之結構的側面截面圖。如第 11D 圖所圖示者，使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串劃線出的溝槽展示了最少的（甚至無）溝槽中 CIGS 殘留物、最小（甚至無）對溝槽體壁或鄰接區域的傷害、無對下方鉬層的傷害、且溝槽兩側體壁接近垂直。本發明具體實施例適合應用在其他薄膜層設計，且不僅限於第 5A 圖與第 11A 圖所圖示之薄膜設計。

本發明具體實施例之應用不限於包含 CIGS 層的薄膜。使用根據本發明所揭示之具體實施例的預定脈衝形態，將有益於對其他材料薄膜劃線。例如，硒化銦銅為另一可使用如本發明所述之具有預定脈衝形態的雷射劃線製程、以潔淨地移除的材料，雖然適當的每單位容積的能量沈積值可不與 CIGS 完全相同。在此應用中使用預定脈衝形態將受益於使用除 1064 nm 以外、適合欲劃線薄膜材料的其他波長。雷射波長的選擇部分由欲劃線之材料的吸收、以及上方層與下方層所使用的材料而決定。除 1064 nm 波長外，存在具有其他波長的雷射，包含 1032 nm、1.3 μm、1.5 μm、2 μm 與其他者。此外，可能藉由使用諸如相位匹配混合（phase matched mixing）之非線性製程達到較長的波長，以得到所需的其他波長。在一些情況中，使用除 1064 nm 以外的波長為有益的，諸如在 CIGS 材料更通透時使用較長的波長。

不意為限制本發明的範圍，發明人決定出用以選擇雷射波長之準則：亦即，雷射波長必須長於欲劃線薄膜主

要材料成分的等效帶隙能量波長（effective bandgap energy wavelength），其中帶隙能量波長由以下方程式決定：

（帶隙能量波長）＝hc/（帶隙能量）

其中 h 為蒲朗克常數（Planck's constant）且 c 為光速。此準則等效地說明雷射光子能量必須小於帶隙能量。半導體帶隙能量為在本發明領域具有通常知識者所習知，且定義為於在共價帶上緣與在傳導帶下緣的電子能量的差距。帶隙能量通常以電子伏特（electron volts; eV）單位表示。絕緣體的帶隙的定義雷同，雖然絕緣體的帶隙能量相當大於半導體的帶隙能量。例如，對於前述之具體實施例，其中 CIGS 為薄膜的主要組成物，CIGS 為具有帶隙的半導體。事實上，CIGS 材料為硒化銦銅與硒化鎵銅（copper gallium selenide）的固態混合物，其化學式為 $Cu[In_xGa_{(1-x)}]Se_2$，其中 x 值可由 x = 1（純硒化銦銅）變化至 x = 0（純硒化鎵銅）。類似地，CIGS 的半導體帶隙可於純硒化銦銅（x = 1）之 1 eV 與純硒化鎵銅（x = 0）之 1.7 eV 之間變化。在前述之具體實施例中，測量到的 CIGS 材料帶隙為 1.2 eV，對應於 1033 nm 的相等帶隙能量波長。由此，選定的 1064 nm 雷射波長係長於帶隙能量波長 1033 nm（雷射光子能量小於帶隙能量）。對於光伏打應用，具有 1.2 eV 帶隙的 CIGS 材料被許多在此領域中的專家認為是最佳的 CIGS 組成物。在欲劃線薄膜主要組成物的帶隙係為未知，或可根據材料

組成或生產製程變化的情況下，量測帶隙可幫助適當地選定雷射波長。雖然發明人相信使用在此描述之準則選定的雷射波長可提供較大的作業視窗（operating window），以在與最佳化脈衝能量與預定時間性脈衝形態一同使用時得到潔淨劃線製程，長於欲劃線薄膜主要組成物的相等帶隙能量波長的雷射波長選擇，可不為必要以得到對所有具體實施例之薄膜的潔淨劃線製程的成分。

雖然已在電子裝置生產製程中使用雷射以對薄膜劃線，當使用商業上可得的雷射時有一些問題。這些問題可被分類為（1）對附近區域的無意傷害，以及（2）材料移除不完全。此等雷射為可靠的且有成本效益，但通常提供具有傳統脈衝形態的脈衝。近期增加的用以對薄膜劃線之雷射類型為具有非常短脈衝長度，使能量可在數微微秒甚至數飛秒的時間段內沈積的雷射。此方式已成功，除了兩因素外：（1）短脈衝雷射非常昂貴且複雜，以及（2）因為其極高的雷射峰值功率，短脈衝雷射有時可傷害下層或附近區域。因此，尋求可靠、有成本效益、且亦能夠產生具有預定脈衝形態之脈衝的雷射，以對材料進行雷射劃線。

第6圖圖示能夠產生本發明揭示之預定脈衝形態類型的雷射系統。此雷射系統包含振盪器51，用以供電的電子驅動器53，且包含放大器52。可藉由提供脈衝電子驅動信號的簡單方式，將諸如二極體雷射之脈衝雷射源脈

衝化。可藉由使用電子驅動器 53，選擇送至振盪器 51 之電子驅動信號 55 的形態，以預先決定產生的在脈衝串 56 中的每個光學雷射脈衝的脈衝形態。來自此脈衝化雷射振盪器的成形信號隨後在雷射放大器中被放大，諸如二極體激升固態棒雷射（diode-pumped solid state rod laser）或光纖雷射放大器，且將輸出脈衝串 57 中的每個脈衝的脈衝形態維持不變於由振盪器提供的脈衝形態。

振盪器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所組成。在特定具體實施例中，脈衝化信號元的光學功率峰值可為低於或高於 1 瓦（watt；W）。例如，可為 500 mW、1 W、2 W、3 W、4 W、5 W 或更多。另外，脈衝寬度可小於或大於 100 ns。例如，可為 1 ns、2 ns、5 ns、10 ns、15 ns、20 ns、或其他值。振盪器雷射由電子驅動器驅動，使振盪器雷射輸出脈衝形態的形態模仿由電子驅動器提供的電流脈衝形態。

振盪器 51 的輸出在雷射放大器模組 52 中被放大，雷射放大器模組 52 由例如光纖雷射放大器或二極體激升固態棒雷射放大器所組成。在本發明之具體實施例中，放大器為光學放大器，其包含耦合至環通光學耦合器之摻稀土光纖（rare-earth-doped fiber）的幫浦（pump）。一般使用半導體激升雷射作為幫浦，雖然，光學放大器的激升可由其他顯然於在本發明領域具有通常知識者的裝置達成。在特定具體實施例中，光學放大器包含 5 公

尺長、具有約 4.8 μm 中心直徑、且以約 $6x10^{24}$ 離子/m^3 的摻雜濃度摻雜鐿（Ytterbium）的摻稀土光纖。放大器亦包含幫浦，其為作業於 976 nm 波長、且輸出功率為 500 mW 的光纖光柵穩定（FBG-stabilized）半導體雷射二極體。在另一特定具體實施例中，光學放大器 160 包含 2 公尺長、具有約 10 μm 中心直徑、且以約 $1x10^{26}$ 離子/m^3 的摻雜濃度摻雜鐿（Ytterbium）的摻稀土光纖。放大器亦包含幫浦，其為輸出功率為 5 W 的半導體雷射二極體。

雖然以摻雜鐿光纖放大器與 1064 nm 雷射波長作為範例，在本發明其他具體實施例中可使用其他範例：作業於 1064 nm 或其他波長之二極體雷射、固態雷射、以及摻雜光纖。此包含，例如，在 1550 nm 波長區域的摻雜鉺（erbium-doped）光纖，與在 2 至 3 μm 波長區域的摻雜銩（thulium-doped）光纖。

參照於第 7 圖，在本發明之具體實施例中，提供產生具有預定脈衝形態之脈衝串的脈衝雷射源。脈衝雷射源包含經修改以適合產生晶種信號的晶種源 110、以及具有耦合至晶種源之第一埠 114、第二埠 122、與第三埠 116 的光學循環器 120。脈衝雷射源亦包含振幅調變器 130，振幅調變器 130 之特徵在於：第二側 134 以及耦合至光學循環器第二埠 122 之第一側 132。脈衝雷射源更進一步包含第一光學放大器 150，第一光學放大器 150 之特徵在於：輸入終端 136 與反射終端 146。輸入終端

耦合至振幅調變器之第二側 134。另外，脈衝雷射源包含具有耦合至光學循環器之第三埠 116 的第二光學放大器 160。雖然第 7 圖圖示說明使用一個光學放大器 160 耦合至光學循環器之第三埠，此並不為一些本發明具體實施例所必需。在替代性具體實施例中，對於特定應用，可適當地在光學循環器下游運用多個光學放大器。

參照於第 8 圖，在本發明另一具體實施例中，提供產生具有預定脈衝形態之脈衝串的脈衝雷射源。脈衝雷射源包含經修改以適合產生穩定光學信號的穩定源 210、以及具有第二埠 216、第三埠 218、與耦合至穩定源之第一埠 214 的光學循環器 220。脈衝雷射源亦包含經修改以適合產生具有所需形態之信號脈衝的信號源 230，其中信號源係耦合至光學循環器之第二埠 216。脈衝雷射源更進一步包含耦合至光學循環器之第三埠 218 的光學放大器 260。

根據本發明之一特定具體實施例，第 9 圖圖示能夠使用產生具有預定脈衝形態之脈衝串的雷射以對薄膜材料工件 304 進行劃線的示例性雷射加工製程系統。系統包含雷射源 300、光學系統 302、控制器 305、與置於工件支架頂端的工件 304。雷射源 300 提供具有特定特徵（諸如波長、脈衝長度、脈衝形態、與脈衝重複率）的雷射脈衝。波長、脈衝長度、與脈衝形態可根據本發明具體實施例而被調整，以使用具有預定脈衝形態之脈衝串對薄膜材料工件劃線。

光學系統可包含用以將雷射光束聚焦在工件上的透鏡與反射鏡，以及用以將光束導引工件上各位置的部件。在特定具體實施例中，用以導引光束的部件可為裝置在檢流計（galvanometers）上的反射鏡。控制器可控制用以導引光束的光學系統以及部件的動作。例如，當對薄膜工件 304 劃線時，光學系統 302 可被控制器控制以將光束掃描過沿著工件表面的線，致使每個聚焦雷射點被導引至鄰接前一聚焦雷射點的位置，且與前一聚焦雷射點部分重疊。在另一具體實施例中，光學系統可將雷射光束聚焦在工件表面上，且工件支架可被控制器控制以將工件以線狀移動，致使每個聚焦雷射脈衝衝擊（impinge）鄰接於脈衝雷射串中前一聚焦雷射脈衝，且具有一些點重疊。

第 10 圖為根據本發明具體實施例圖示說明用以使用雷射脈衝串對薄膜劃線的方法之流程圖。根據本發明具體實施例，為了對薄膜劃線，每個脈衝的雷射點被置於薄膜材料上鄰接在脈衝串中前一脈衝雷射點之位置，且具有一些點重疊。使用具有脈衝能量與有益脈衝形態的雷射脈衝串對薄膜劃線，相較於使用具有傳統脈衝形態的雷射脈衝串，提供了具有較佳品質與較潔淨劃線製程的結果。

參照於第 10 圖，方法包含選擇適當於特定應用的脈衝能量與時間性脈衝形態（1005）。例如，可運用有益的脈衝形態。提供雷射脈衝串（1010），每個脈衝能量與形態

的特徵在 1005 中選定。運用適當的光學系統將第一個雷射脈衝的雷射點被置於薄膜材料上（1015），光學系統可包含透鏡、反射鏡、與類似者。因此，亦可被稱為聚焦雷射點的雷射點，可由適當於特定應用的空間性分佈（spatial distribution）而成形。餘留的雷射脈衝雷射點沿著線被放置，致使每個點鄰接於前一點，且具有來自雷射點空間性分佈的一些雷射點重疊（1020）。

將理解第 10 圖圖示說明的特定步驟，提供了根據本發明具體實施例使用雷射脈衝串對薄膜劃線的特定方法。根據替代性具體實施例亦可執行其他串的步驟。例如，本發明之替代性具體實施例可由不同順序執行前述步驟。再者，第 10 圖圖示說明之個別步驟可包含多個次步驟，多個次步驟可由各種順序執行，只要適當於個別步驟。另外，根據特定應用可附加或移除額外的步驟。在本發明領域中具有通常知識者可認知許多變化、修改、以及替代。

第 13 圖為根據本發明具體實施例圖示說明用以使用具有預定脈衝形態之脈衝串對薄膜劃線的方法之流程圖。根據本發明具體實施例，為了對薄膜劃線，每個脈衝雷射點被置於薄膜材料上鄰接於脈衝串中前一脈衝雷射點的位置，且具有一些點重疊。使用具有預定脈衝形態的雷射脈衝串對薄膜劃線，相較於使用具有傳統脈衝形態的雷射脈衝串，提供了具有較佳品質與較潔淨劃線製程的結果。

參照第 13 圖，提供雷射脈衝串（1310）並將雷射脈衝串沿著光學路徑導引（1312）。光學路徑相交於在基底上薄膜結構。方法亦包含定位基底，致使在基底上的薄膜結構面對光學路徑（1314）。為了移除薄膜的部份，將第一個脈衝雷射點置於薄膜上（1316），且在脈衝串中接續的脈衝雷射點被沿著線置於薄膜上，致使每個雷射點鄰接於前一脈衝雷射點，且具有一些點區域重疊（1318）。

將理解第 13 圖圖示說明的特定步驟，提供了根據本發明具體實施例使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串對薄膜劃線的特定方法。根據替代性具體實施例亦可執行其他串的步驟。例如，本發明之替代性具體實施例可由不同順序執行前述步驟。再者，第 13 圖圖示說明之個別步驟可包含多個次步驟，多個次步驟可由各種順序執行，只要適當於個別步驟。另外，根據特定應用可附加或移除額外的步驟。在本發明領域中具有通常知識者可認知許多變化、修改、以及替代。

雖然在此針對特定具體實施例與其特定範例描述本發明，必須瞭解其他具體實施例可位於本發明的精神與範圍內。因此本發明的範圍必須參照於附加申請專利範圍，以及由其均等範圍組成的全部範圍以決定。

【圖式簡單說明】

第 1 圖為一具體實施例之簡要示意圖，圖示具有平頂

脈衝格式之預定脈衝形態之、適合對基底上的薄膜材料劃線的脈衝串。在此圖中，時間沿著水平軸由左至右遞增，而功率沿著垂直軸；

第 2A 圖根據本發明之一具體實施例圖示平頂脈衝，其中時間沿著水平軸由左至右遞增，而功率沿著垂直軸；

第 2B 圖根據本發明之另一具體實施例圖示具有功率垂度（power droop）之脈衝，其中時間沿著水平軸由左至右遞增，而功率沿著垂直軸；

第 3 圖圖示使用於用以對基底上的薄膜材料劃線之傳統雷射脈衝的時間性脈衝形態。在此圖中，時間沿著水平軸由左至右遞增，而功率沿著垂直軸；

第 4 圖圖示雷射劃線製程之俯視圖，該雷射劃線製程使用多重個雷射脈衝，致使每個脈衝製程的區域與前一個脈衝及下一個脈衝重疊；

第 5A 圖圖示在進行劃線製程之前、在基底上之光伏打薄膜設計的側面截面圖；

第 5B 圖圖示使用具有傳統脈衝形態之雷射進行劃線溝槽後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 5C 圖圖示使用具有傳統脈衝形態之雷射進行劃線溝槽後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 5D 圖圖示使用根據本發明一具體實施例之具有預定脈衝形態的雷射進行劃線溝槽後、於第 5A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 6 圖簡要圖示說明具有可調脈衝特徵之脈衝雷射，

其根據本發明一具體實施例提供具有預定脈衝形態之輸出雷射脈衝串；

第 7 圖簡要圖示說明具有可調脈衝特徵之脈衝雷射，其根據本發明一具體實施例提供具有預定脈衝形態之輸出雷射脈衝串；

第 8 圖簡要圖示說明具有可調脈衝特徵之脈衝雷射，其根據本發明另一具體實施例提供具有預定脈衝形態之輸出雷射脈衝串；

第 9 圖簡要圖示說明適合根據本發明之一具體實施例、對基底上的薄膜劃線之雷射製程系統；

第 10 圖為圖示說明根據本發明之一具體實施例使用雷射脈衝串以對薄膜劃線之方法的流程圖；

第 11A 圖圖示在進行劃線製程之前、在基底上之光伏打薄膜設計的側面截面圖；

第 11B 圖圖示使用具有傳統脈衝形態之雷射進行劃線溝槽後、於第 11A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 11C 圖圖示使用具有傳統脈衝形態之雷射進行劃線溝槽後、於第 11A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 11D 圖圖示使用根據本發明一具體實施例之具有預定脈衝形態的雷射進行劃線溝槽後、於第 11A 圖圖示之結構的側面截面圖；

第 12 圖圖示根據本發明一具體實施例之脈衝形態，其中時間沿著水平軸由左至右遞增，而功率沿著垂直軸；

第 13 圖為圖示說明根據本發明之一具體實施例使用

具有預定脈衝形態之雷射脈衝串以對薄膜劃線之方法的流程圖。

【主要元件符號說明】

21 脈衝串

25 預定脈衝形態

31 第一個脈衝

32 薄膜層

33 基底

34 鉬層

35 CIGS 層

36 硫化鎘層

37 TCO 層

38 傷害

39 殘留物

40 溝槽

41 鉬層材料的移除

51 振盪器

52 放大器

53 電子驅動器

55 電子驅動信號

56 脈衝串

57 輸出脈衝串

100 脈衝雷射源

110 晶種源

114 光學循環器第一埠

116 光學循環器第三埠

120 光學循環器

122 光學循環器第二埠

130 振幅調變器

132 振幅調變器第一側

134 振幅調變器第二側

136 第一光學放大器輸入終端

146 第一光學放大器反射終端

150 第一光學放大器

160 第二光學放大器

200 脈衝雷射源

210 穩定源

214 光學循環器第一埠

216 光學循環器第二埠

218 光學循環器第三埠

220 光學循環器

230 信號源

260 光學放大器

300 雷射

302 光學系統

303 工件支架

304 工件

305 控制器

201141646

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；惟已有申請案號者請填寫）

※ 申請案號：99141529

※ 申請日期：99 年 11 月 30 日　　※IPC 分類：B23K 26/36 (2006.01)
B23K 26/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

使用雷射脈衝串以對薄膜劃出線條之方法及設備
/METHOD AND APPARATUS FOR SCRIBING A LINE IN A THIN FILM USING A SERIES OF LASER PULSES

二、中文發明摘要：

使用在脈衝列（pulse train）中的雷射脈衝串對在基底上的薄膜材料劃線，每個脈衝具有預定時間性功率形態（predetermined temporal power shape）。預定時間性功率形態具有快速的上升時間（risetime）與下降時間（falltime），以及小於 10 奈秒（ns）的在 10%功率點之間的脈衝長度。藉由將該雷射脈衝點串放置在欲劃線的線上，並使沿線之相鄰的雷射脈衝點之間存在一些重疊區域，以對薄膜劃線。使用具有預定脈衝形態之雷射脈衝串以對薄膜劃線，相較於使用傳統脈衝形態劃線，可得到較佳品質與較潔淨的劃線製程。

三、英文發明摘要：

A series of laser pulses in a pulse train, each pulse with a predetermined temporal power shape, scribes a line in a thin film of material on a substrate. The predetermined temporal pulse shape has a fast risetime and fast falltime

and a pulse length between 10% power points of less than 10 ns. Scribing a line in the thin film is achieved by placing the series of laser pulse spots on the line to be scribed such that there is some overlapping area between adjacent laser pulse spots along the line. The use of a series of laser pulses with the predetermined pulse shape to scribe a line in the thin film results in a better quality and cleaner scribing process compared to that achieved with a conventional pulse shape.

七、申請專利範圍：

1. 一種以雷射為基礎的加工製程方法，用以對置於一基底上的一薄膜結構進行前表面劃線以劃線出一形樣，方法包含以下步驟：

提供一雷射脈衝串，其中在該雷射脈衝串中之每個雷射脈衝之特徵在於：一波長、一脈衝能量、在前緣與後緣 10%功率點之間的一脈衝寬度、一預定雷射脈衝時間性功率形態、與一雷射點區域，其中該脈衝寬度係大於 1 ns 並小於 10 ns，且其中在 90%至 10%功率點之間的該後緣的該上升時間係小於 2 ns；

沿著一光學路徑導引該雷射脈衝串；

定位具有該薄膜結構的該基底，因而使該薄膜結構面向該光學路徑；

放置該第一脈衝之該雷射點於在該薄膜結構上的一點位置；

移除至少一部分薄膜；以及

放置該脈衝串中每個緊接著的脈衝的該等雷射點於沿著在該薄膜上的一形樣之點位置，因而使每個點位置鄰接該前一脈衝的該雷射點的該點位置，且點位置具有重疊，因而使每個點的一重疊區域以一些重疊量與每個前一點的一重疊區域重疊。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該薄膜包含銅銦鎵硒（copper indium gallium diselenide）材料。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中該銅銦鎵硒材料之特徵在於：一帶隙能量波長，且該雷射波長係長於該帶隙能量波長。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該雷射脈衝在該薄膜材料處之一能量密度係高於 0.2 J/cm^2 但低於 0.7 J/cm^2，其中能量密度係定義為該脈衝能量除以該雷射點區域。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中兩鄰接點之該重疊區域係高於該雷射點區域的 2%但低於 50%。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態具有一平頂（flat top）。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態之更進一步特徵在於：在 10%與 90%功率點之間的前緣上升時間小於 6 ns。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該薄膜包含硒化銦銅（copper indium diselenide）材料。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，其中該硒化銦銅材料之特徵在於：一帶隙能量波長，且該雷射波長係長於該帶隙能量波長。

10. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，其中該雷射脈衝之該脈衝能量被選定以提供高於 0.2 J/cm^2 但低於 0.7 J/cm^2 之在該薄膜材料處的一能量密度，其中能量密度為該脈衝能量除以該雷射點區域。

11. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，其中兩鄰接點之該重疊區域係高於該雷射點區域的 2%但低於 50%。

12. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態具有一平頂。

13. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態之更進一步特徵在於：在 10%與 90%功率點之間的前緣上升時間小於 6 ns。

14. 一種以雷射為基礎的加工製程方法，用以對置於一基底上的一薄膜結構進行前表面劃線以劃線出一形樣，方法包含以下步驟：

提供一雷射脈衝串，其中在該雷射脈衝串中之每個雷射脈衝之特徵在於：一波長、一脈衝能量、在前緣與後緣 10%功率點之間的一脈衝寬度、一預定雷射脈衝時間性功率形態、與一雷射點區域，其中該脈衝寬度係大於 1 ns 並小於 10 ns，且其中緊接在該脈衝的該後緣 50%功率點之後的該時間期間內包含的該能量係低於該脈衝能量的 5%；

沿著一光學路徑導引該雷射脈衝串；

定位具有該薄膜結構的該基底，因而使該薄膜結構面向該光學路徑；

放置該第一脈衝之該雷射點於在該薄膜結構上的一點位置；

移除至少一部分薄膜；以及

放置該脈衝串中每個緊接著的脈衝的該等雷射點於沿著在該薄膜上的一形樣之點位置，因而使每個點位置鄰接該前一脈衝的該雷射點的該點位置，且點位置具有重疊，因而使每個點的一重疊區域以一些重疊量與每個前一點的一重疊區域重疊。

15. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該薄膜包含銅銦鎵硒材料。

16. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該形樣為一線。

17. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該形樣為一閉環（closed loop）。

18. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該形樣為一曲線。

19. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該銅銦鎵硒材料之特徵在於：一帶隙能量波長，且該雷射波長係長於該帶隙能量波長。

20. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該雷射脈衝在該薄膜材料處之一能量密度係高於 0.2 J/cm^2 但低於 0.7 J/cm^2，其中能量密度係定義為該脈衝能量除以該雷射點區域。

21. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中兩鄰接點之該重疊區域係高於該雷射點區域的 2%但低於 50%。

22. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態之更進一步特徵在於：在 10%與 90%功率點之間的前緣上升時間小於 6 ns。

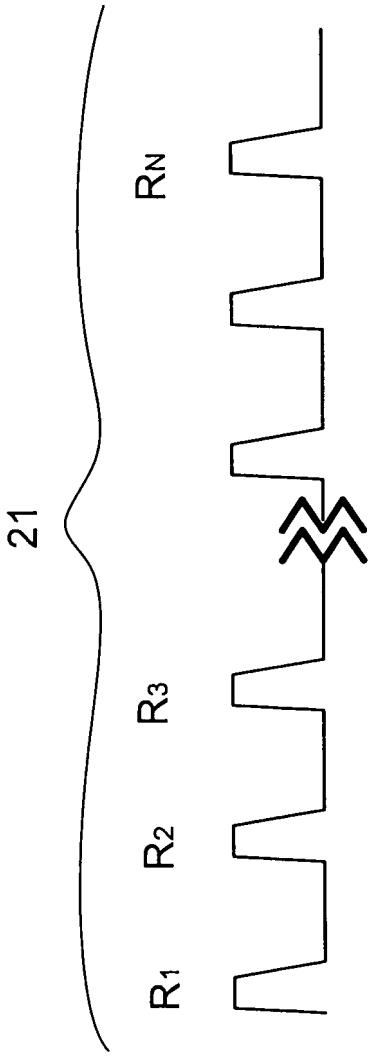
23. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，其中該薄膜包含硒化銦銅材料。

24. 如申請專利範圍第 23 項所述之方法，其中該雷射脈衝之該脈衝能量被選定以提供高於 0.2 J/cm^2 但低於 0.7 J/cm^2 之在該薄膜材料處的一能量密度，其中能量密度係定義為該脈衝能量除以該雷射點區域。

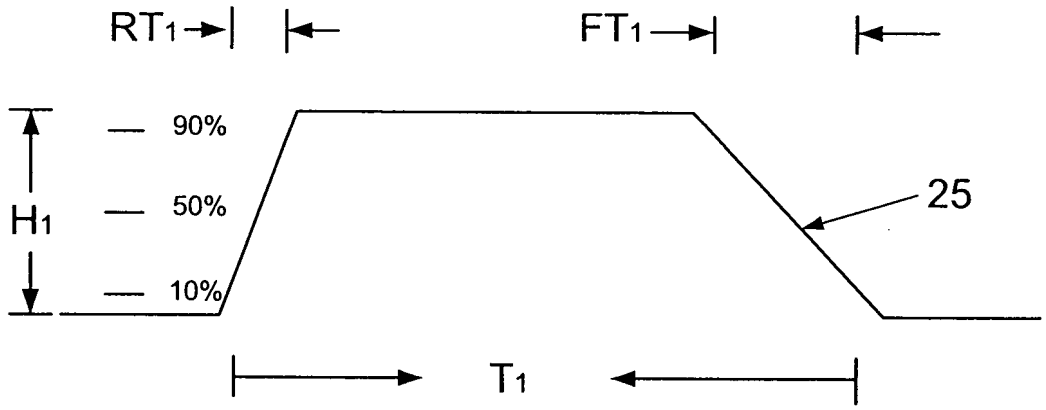
25. 如申請專利範圍第 23 項所述之方法，其中該硒化銦銅材料之特徵在於：一帶隙能量波長，且該雷射波長係長於該帶隙能量波長。

26. 如申請專利範圍第 23 項所述之方法，其中該雷射脈衝之該脈衝能量被選定以提供高於 0.2 J/cm^2 但低於 0.7 J/cm^2 之在該薄膜材料處的一能量密度，其中能量密度為該脈衝能量除以該雷射點區域。

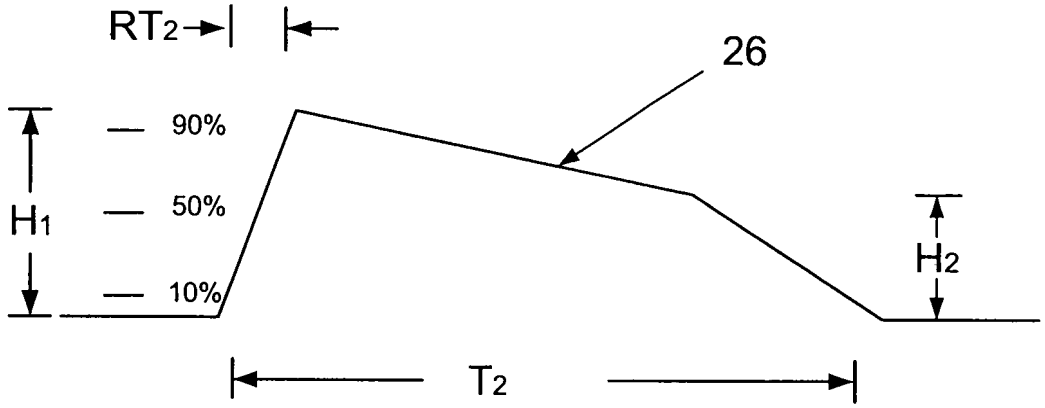
27. 如申請專利範圍第 23 項所述之方法，其中該預定雷射脈衝時間性功率形態之更進一步特徵在於：在 10%與 90%功率點之間的前緣上升時間小於 6 ns。



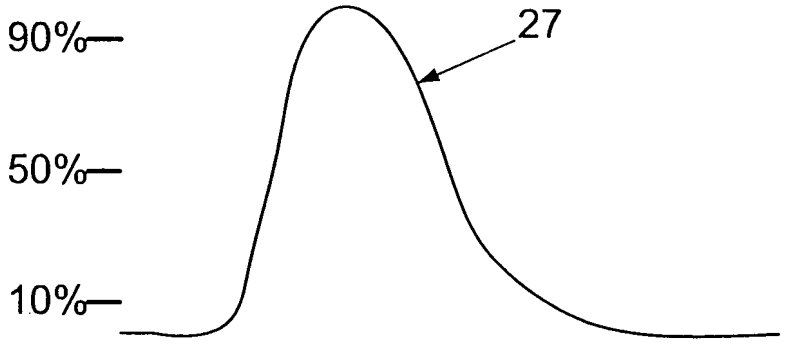
第 1 圖



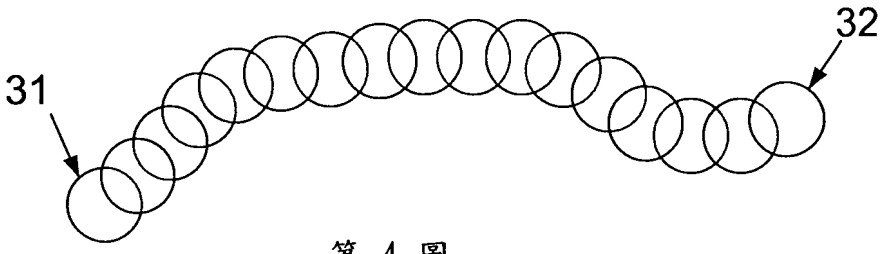
第 2A 圖



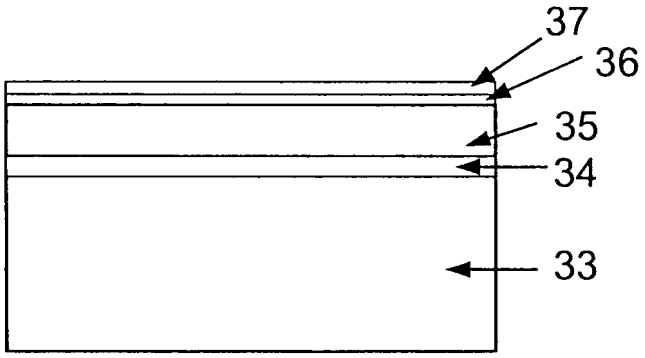
第 2B 圖



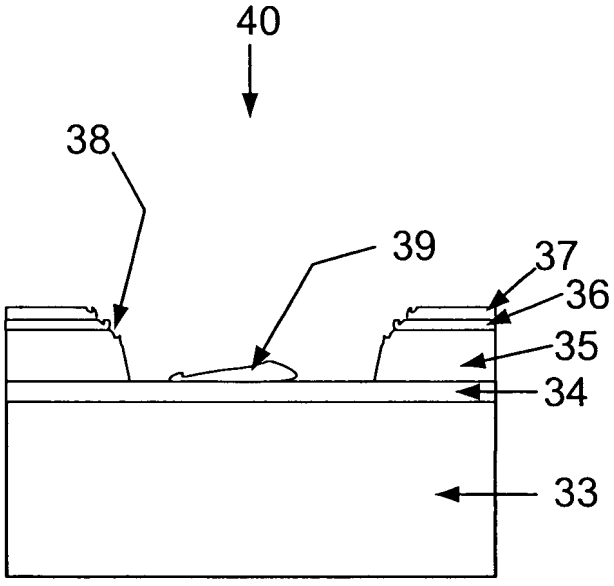
第 3 圖



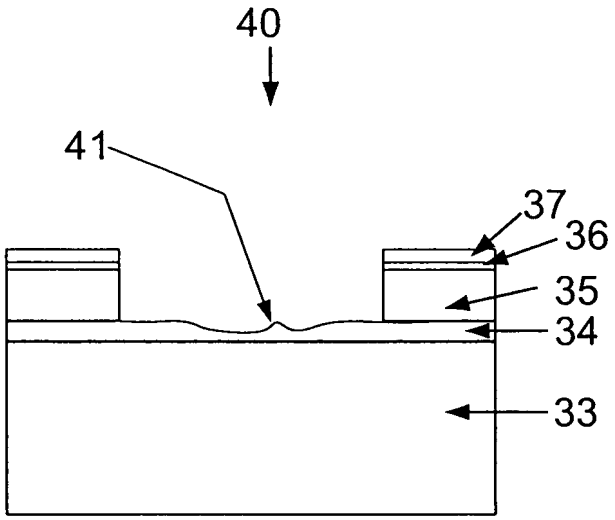
第 4 圖



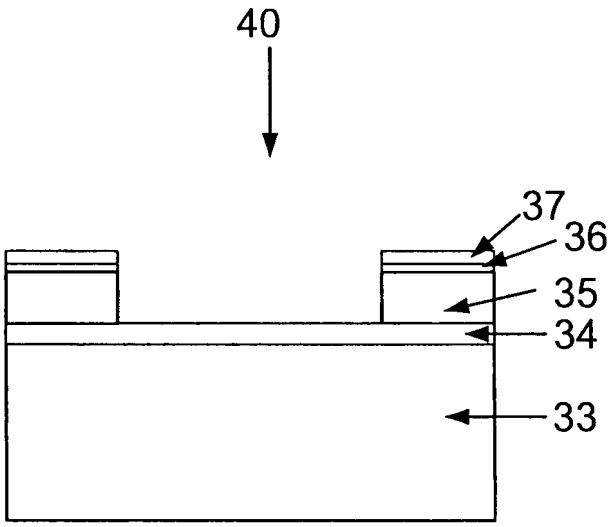
第 5A 圖



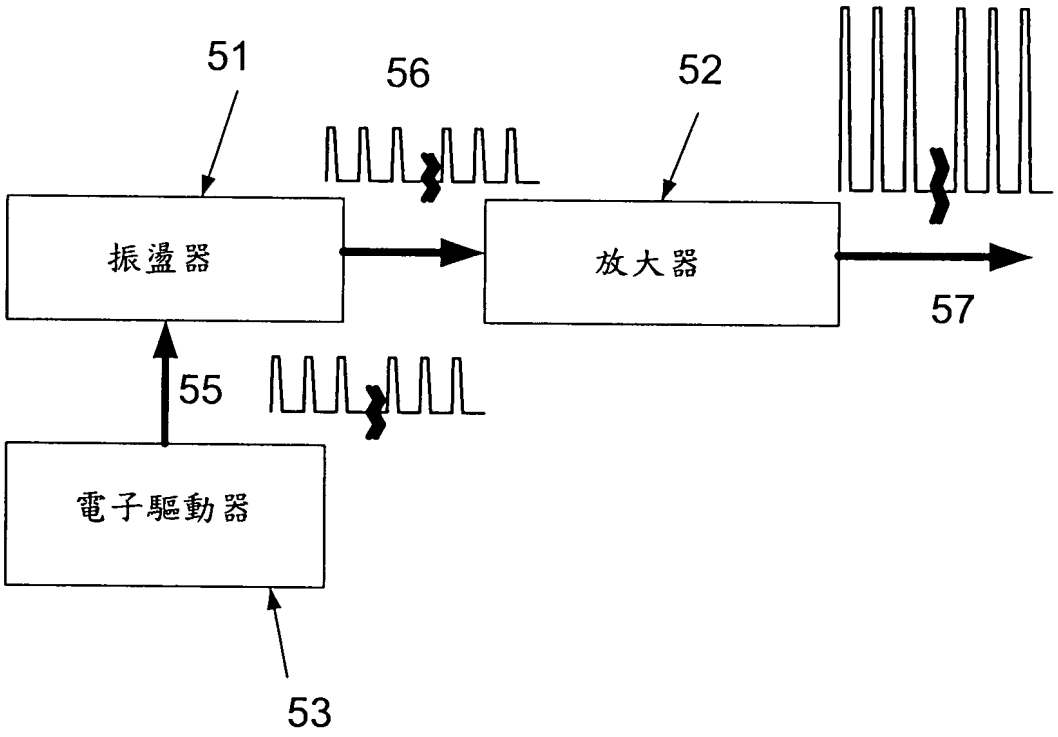
第 5B 圖



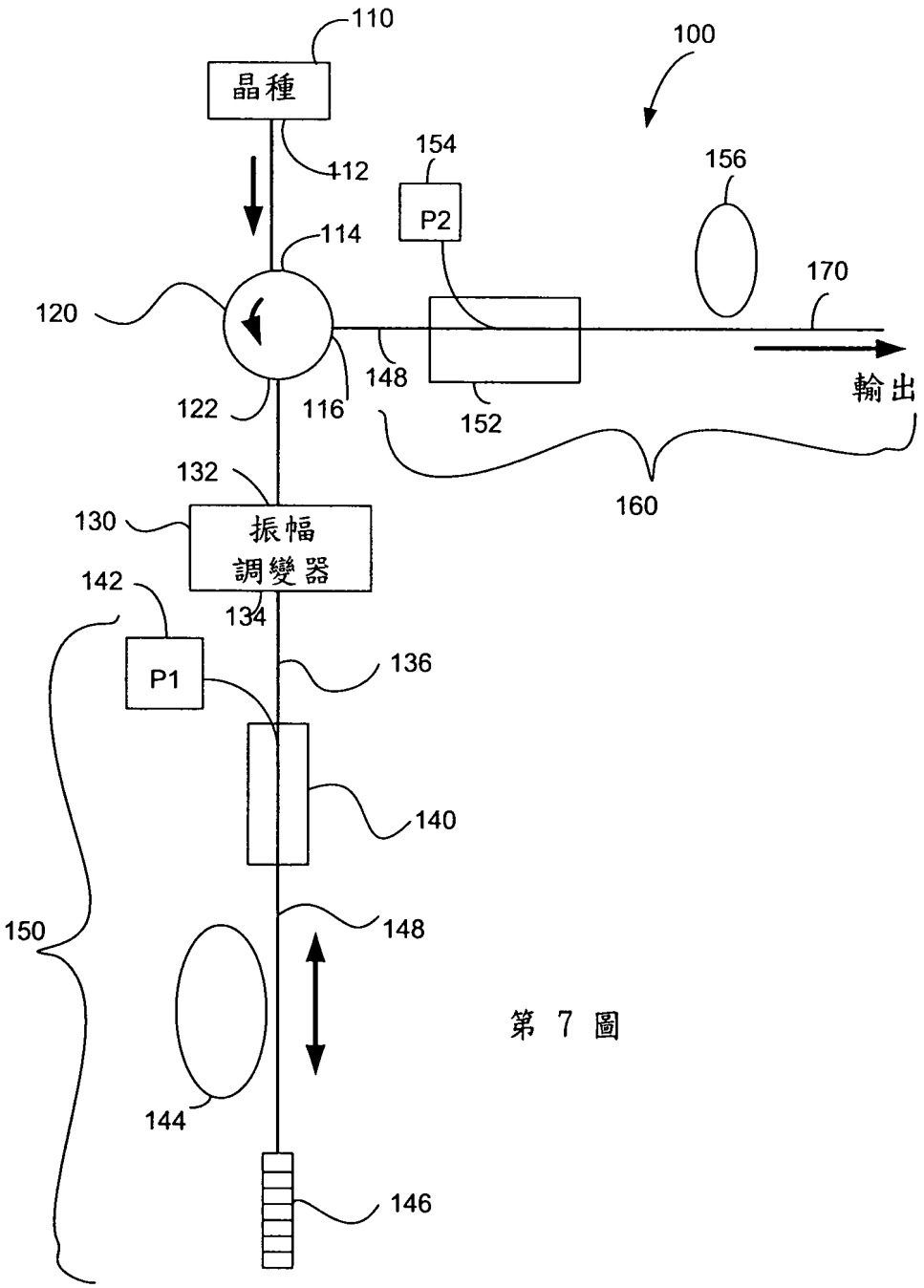
第 5C 圖



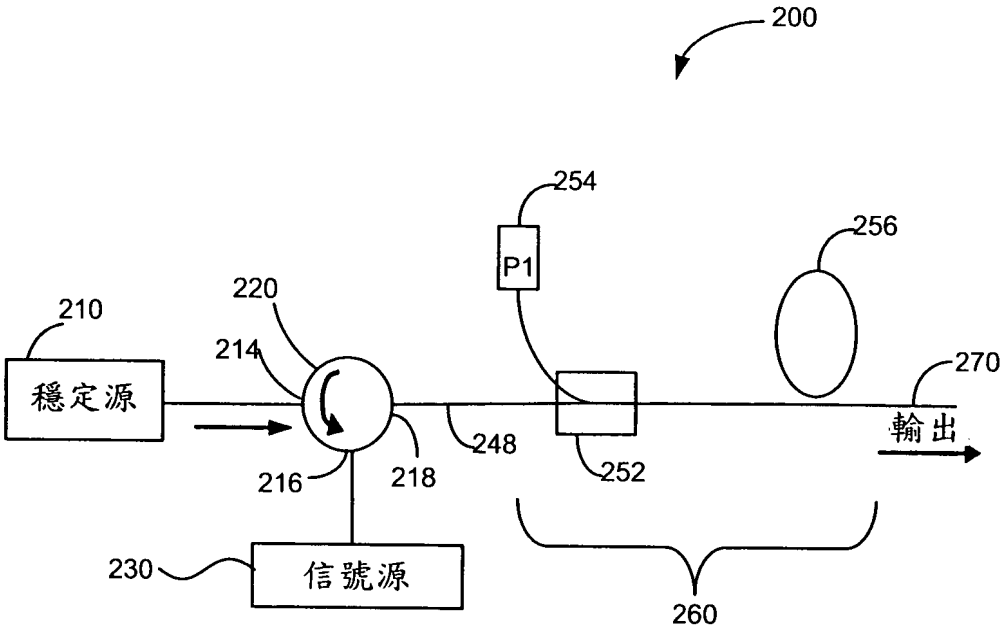
第 5D 圖



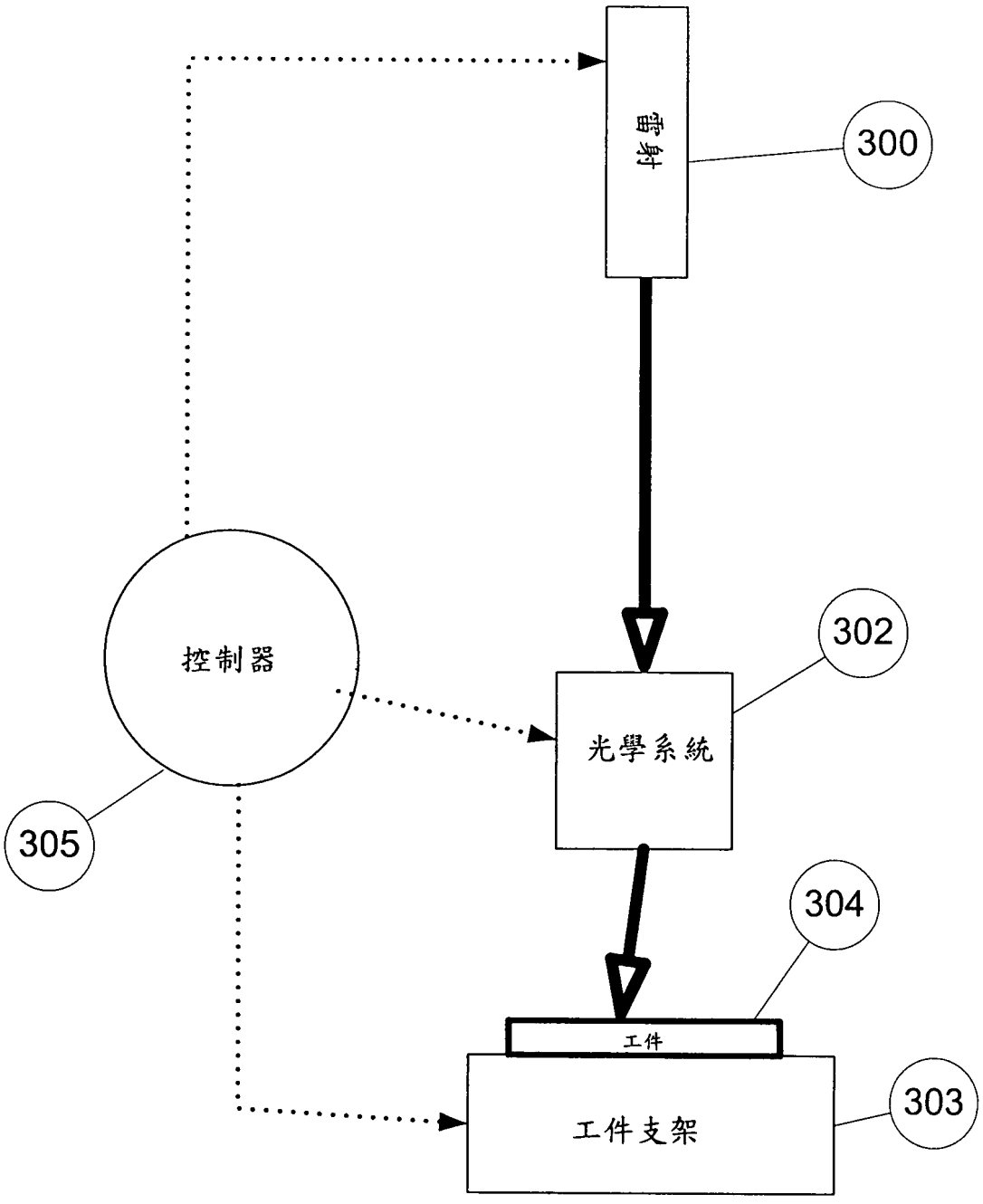
第 6 圖


110
晶種
100
112
154
P2
156
114
170
120
148
輸出
122
116
152
160
132
130
振幅
調變器
142
134
P1
136
140
150
148
144
146

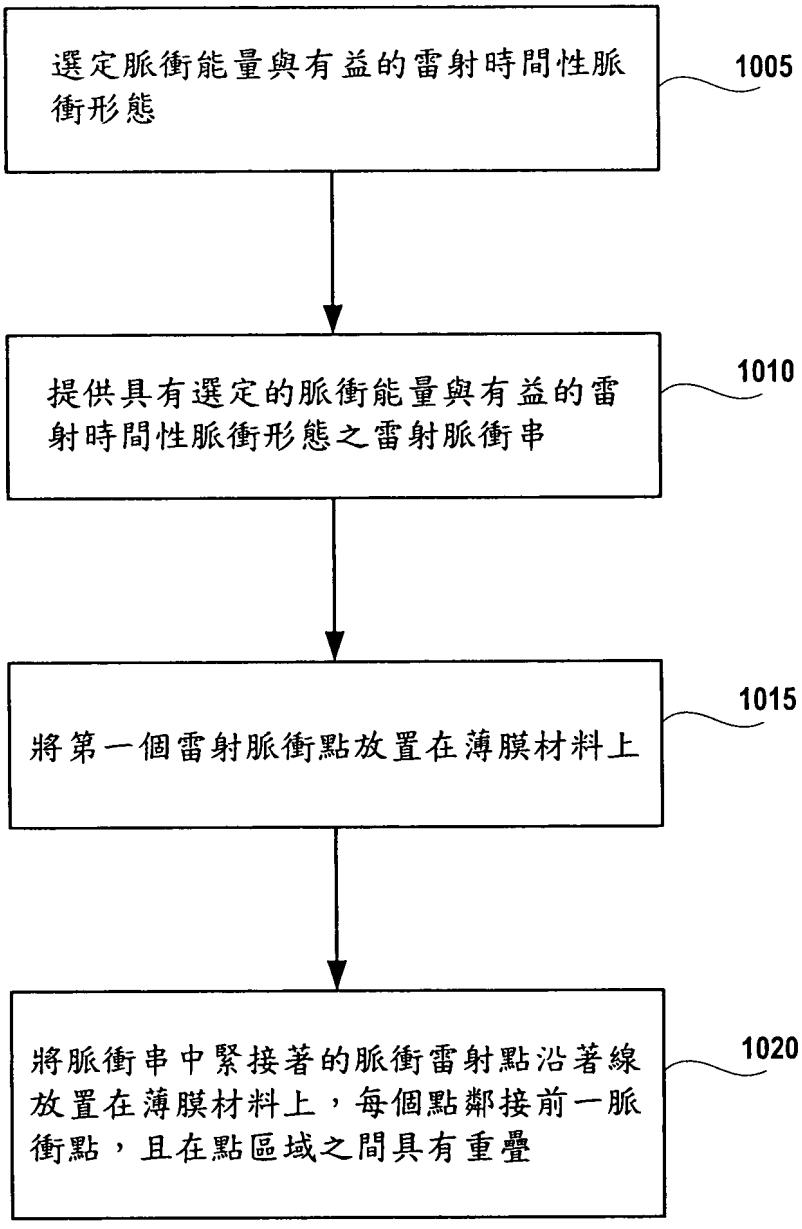
第 7 圖



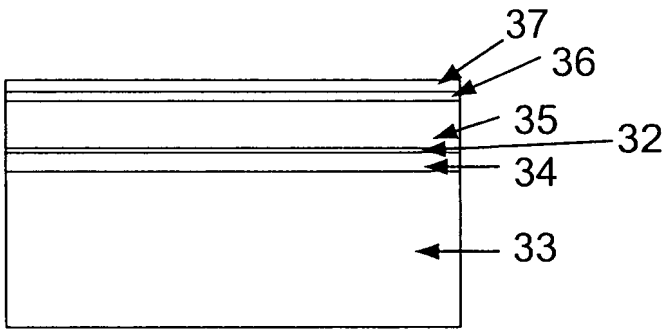
第 8 圖



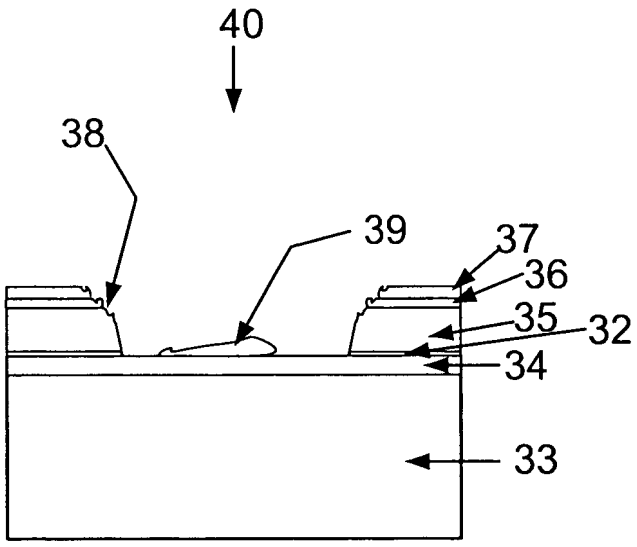
第 9 圖


選定脈衝能量與有益的雷射時間性脈衝形態
1005
提供具有選定的脈衝能量與有益的雷射時間性脈衝形態之雷射脈衝串
1010
將第一個雷射脈衝點放置在薄膜材料上
1015
將脈衝串中緊接著的脈衝雷射點沿著線放置在薄膜材料上，每個點鄰接前一脈衝點，且在點區域之間具有重疊
1020

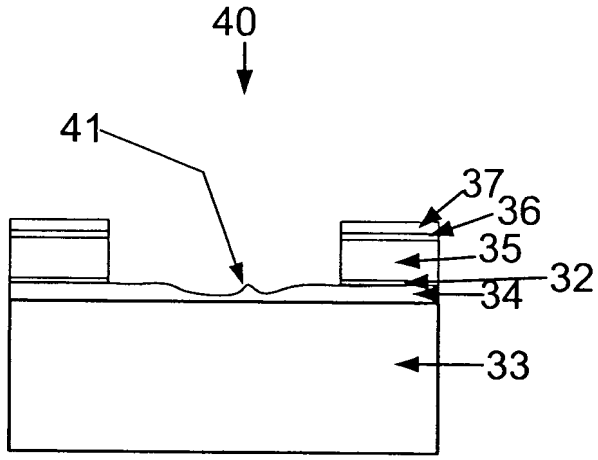
第 10 圖



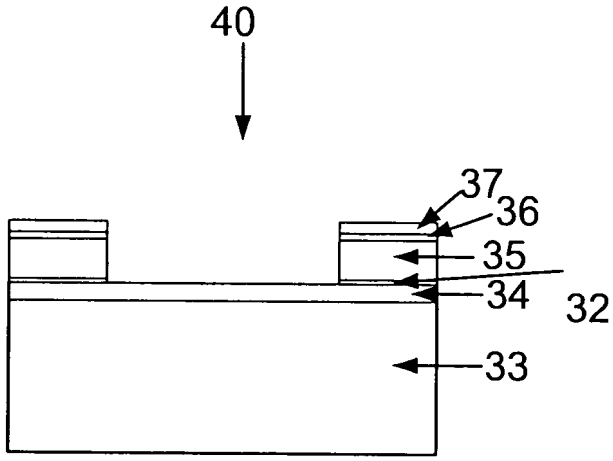
第 11A 圖



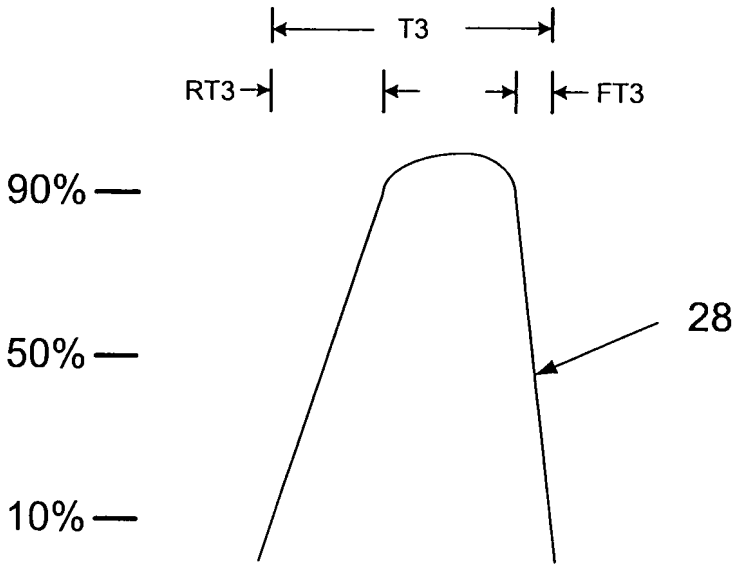
第 11B 圖



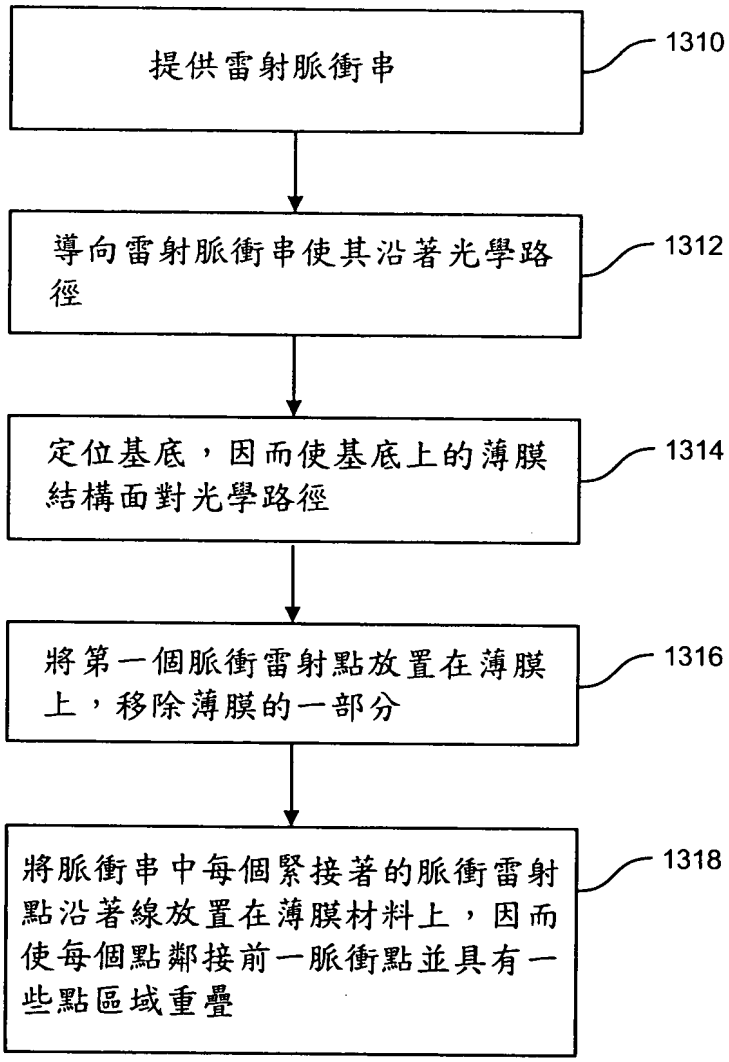
第 11C 圖



第 11D 圖



第 12 圖


提供雷射脈衝串
1310
導向雷射脈衝串使其沿著光學路徑
1312
定位基底，因而使基底上的薄膜結構面對光學路徑
1314
將第一個脈衝雷射點放置在薄膜上，移除薄膜的一部分
1316
將脈衝串中每個緊接著的脈衝雷射點沿著線放置在薄膜材料上，因而使每個點鄰接前一脈衝點並具有一些點區域重疊
1318

第 13 圖

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 6 ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明:

51	振盪器
52	放大器
53	電子驅動器
55	電子驅動信號
56	脈衝串
57	輸出脈衝串

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