



(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 202410232 A

(43)公開日：中華民國 113 (2024) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：112112719 (22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 03 月 31 日

(51)Int. Cl. : *H01L21/66 (2006.01)* *H01L21/324 (2006.01)*
 H01L21/67 (2006.01) *B23K26/354 (2014.01)*
 G02B21/00 (2006.01) *G06T7/00 (2017.01)*

(30)優先權：2022/05/03 美國 63/337,714

(71)申請人：美商維高儀器股份有限公司 (美國) VEECO INSTRUMENTS INC. (US)
 美國

(72)發明人：理德 馬修厄爾華萊士 REED, MATTHEW EARL WALLACE (US) ； 沈 小華
 SHEN, XIAOHUA (US)

(74)代理人：李文賢；盧建川

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：14 共 63 頁

(54)名稱
散射熔化偵測系統及其使用方法

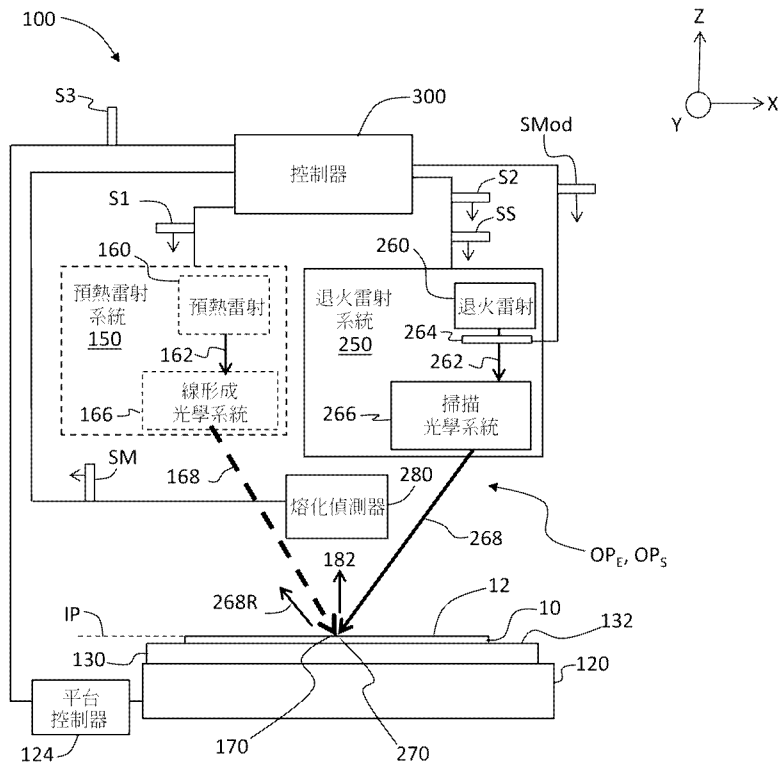
(57)摘要

高頻寬時間及空間解析散射相轉移顯微系統，經配置以偵測被雷射退火系統以超短駐留時間及光斑尺寸加工的晶圓中的熔化的起始。

High bandwidth time-and-space resolved scatter phase transition microscopy systems configured to detect melt onset in a wafer being processed by laser annealing systems with ultra-short dwell times and spot size.

指定代表圖：

圖 1



- 符號簡單說明：
- 10:晶圓
 - 12:表面
 - 100:雷射退火系統
 - 120:晶圓平台
 - 124:平台控制器
 - 130:卡盤
 - 132:卡盤上表面
 - 150:預熱雷射系統
 - 160:預熱雷射
 - 162:初始雷射光束
 - 166:線形成光學系統
 - 168:預熱雷射光束
 - 170:預熱線影像
 - 250:退火雷射系統
 - 260:退火雷射
 - 262:初始雷射光束
 - 264:調變器
 - 266:掃描光學系統
 - 268:掃描雷射光束
 - 268R:鏡面反射
 - 270:退火影像
 - 280:散熱熔化偵測器
 - 300:控制器
 - S1:第一控制訊號
 - S2:第二控制訊號
 - S3:第三控制訊號
 - SM:熔化訊號
 - SMod、SS:控制訊號

【發明摘要】

【中文發明名稱】 散射熔化偵測系統及其使用方法

【英文發明名稱】 SCATTER MELT DETECTION SYSTEMS AND METHODS
OF USING THE SAME

【中文】

高頻寬時間及空間解析散射相轉移顯微系統，經配置以偵測被雷射退火系統以超短駐留時間及光斑尺寸加工的晶圓中的熔化的起始。

【英文】

High bandwidth time-and-space resolved scatter phase transition microscopy systems configured to detect melt onset in a wafer being processed by laser annealing systems with ultra-short dwell times and spot size.

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

10:晶圓

12:表面

100:雷射退火系統

120:晶圓平台

124:平台控制器

130:卡盤

132:卡盤上表面

- 150:預熱雷射系統
- 160:預熱雷射
- 162:初始雷射光束
- 166:線形成光學系統
- 168:預熱雷射光束
- 170:預熱線影像
- 250:退火雷射系統
- 260:退火雷射
- 262:初始雷射光束
- 264:調變器
- 266:掃描光學系統
- 268:掃描雷射光束
- 268R:鏡面反射
- 270:退火影像
- 280:散熱熔化偵測器
- 300:控制器
- S1:第一控制訊號
- S2:第二控制訊號
- S3:第三控制訊號
- SM:熔化訊號
- SMod、SS:控制訊號

【特徵化學式】 無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 散射熔化偵測系統及其使用方法

【英文發明名稱】 SCATTER MELT DETECTION SYSTEMS AND METHODS
OF USING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本揭露大致上關於測溫術，且尤其地關於相轉移顯微術。

【先前技術】

【0002】 脈衝雷射熔化退火 (annealing) 系統被利用於進階積體電路 (integrated circuit (IC)) 晶片製造以用於晶片的迅速熱加工。此種雷射系統提供的熱處理可被使用以得到各種效果，例如摻雜活化 (dopant activation)、界定接點以及以其他方式改變晶片的材料特性及電性特性。然而，以脈衝雷射系統進行退火的期間的精準測量以及晶圓溫度的控制是重要的，且因為雷射將晶圓溫度提升至熔點的時間區間以及雷射作用的晶圓表面面積皆縮減，亦會帶來挑戰。精準測量及晶圓溫度的控制對於退火系統校準也是重要的。

【發明內容】

【0003】 於一實施例中，本揭露係涉及一種判斷半導體材料於雷射退火 (annealing) 製程期間的固態至液態材料相轉移的發生的方法。此方法包含藉由來自退火雷射的退火雷射光束形成退火影像於該半導體材料的表面上；形成半導體表面的區域的散射影像 (scatter image)；以及根據被收集於散射影像中的光線的強度辨識半導體材料的固態至液態材料相轉移。

【0004】 於另一實施例中，本揭露有關於一種分析散射影像資料的方法。此方法包含接收於半導體的雷射退火製程期間捕捉的半導體表面的區域的散射影像；以及根據影像辨識半導體的固態至液態相轉移；其中辨識包含統計的、時間序列的或幾何的非線性變化的辨識，其中非線性變化被表示為一或更多退火製程控制參數的函數而被辨識。

【0005】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種進行半導體材料的雷射退火製程的熔化校準的方法。此方法包含以來自退火雷射的退火雷射光束退火半導體材料的一區域，其中退火包含於熔化閾值功率準位（半導體材料的固態至液態相轉移發生處）以下及以上遞增地改變退火雷射的功率準位；於退火期間捕捉半導體材料的該區域的散射影像；以及根據被捕捉的散射影像判斷退火雷射的至少一熔化閾值設定點功率準位。

【0006】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種散射熔化偵測系統，包含平台，經配置以支撐半導體晶圓；退火雷射，經配置以退火半導體晶圓；以及散射熔化偵測器。散射熔化偵測器包含影像捕捉裝置，其包含聚焦平面陣列(focal place array (FPA))；以及散射光學佈置，經配置以阻擋或避免由退火雷射形成的光束的鏡面反射(specular reflection)，並經配置以於FPA形成半導體晶圓的表面的散射影像。

【0007】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種雷射退火系統，包含退火雷射；儲存裝置，包含至少一退火雷射熔化門檻校準設定點，其中校準設定點指定退火雷射的運作參數以於一組預定的退火製程條件下提高半導體材料的局部區域(local region)的溫度至熔化門檻，且校準設定點係自半導體材料的散射影

像於半導體材料的雷射退火製程期間被推導所得；以及控制器，經配置以根據退火雷射熔化門檻校準設定點控制退火雷射。

【0008】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種非暫態機器可讀取儲存媒體，包含至少一退火雷射熔化門檻校準設定點，其中校準設定點指定退火雷射的運作參數以於一組預定的退火製程條件下提高半導體材料的局部區域的溫度至熔化門檻，且校準設定點係自半導體材料的散射影像於半導體材料的雷射退火製程期間被推導所得。

【0009】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種形成用於熔化偵測演算法的熔點下參考影像及參數的方法。此方法包含於熔點下退火晶圓；以散射熔化偵測器捕捉影像框；紀錄退火雷射功率準位；自被捕捉的影像框產生熔點下參考影像；處理熔點下參考影像以產生熔點下一維平台掃描(scan)方向強度輪廓；辨識熔點下參考影像的感興趣區域(region of interest (ROIref))；以及產生平均一維平台掃描方向強度輪廓。

【0010】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種於退火製程期間判斷晶圓材料是否熔化的方法。此方法包含於熔點下、於熔點或於熔點上退火晶圓；於退火期間以散射熔化偵測器捕捉影像框；紀錄雷射功率準位；自被捕捉的影像框產生平均影像；以及產生熔化偵測影像，其中熔化偵測影像參考對應的相同晶圓種類的熔點下參考影像以產生平均影像。

【0011】 於再另一實施例中，本揭露有關於一種於退火製程期間判斷晶圓材料是否熔化的方法。此方法包含於熔點下、於熔點或於熔點上退火晶圓；於退火期間以散射熔化偵測器捕捉影像框；計算影像框的感興趣區域(ROIref)內的

像素數值的統計變化，其中ROIref係影像中退火雷射影像被形成於晶圓上的區域；以及比較經計算的統計變化以辨識熔化的起始。

【圖式簡單說明】

【0012】 為了說明本揭露，圖式呈現本揭露一或更多實施例的面向。然而，應理解本揭露並非限於圖式中呈現的確切配置以及機構(instrumentalities)，其中：

【0013】

[圖1]係根據本揭露的具有散射熔化偵測器的範例的雷射退火系統的示意圖；

[圖2]係半導體晶圓的俯視圖，其繪示具有預熱線影像及退火影像的晶圓表面的掃描(scan)的範例方法；

[圖3A]係形成於晶圓上的預熱線影像及退火影像的放大俯視圖，其呈現此二影像的相對尺寸及掃描方向，並呈現定義熔化退火製程的駐留時間的掃描重疊區域；

[圖3B]係不包含預熱雷射的替代範例的放大俯視圖，其呈現形成於晶圓表面上的退火影像、影像的掃視(sweep)方向以及平台掃描方向；

[圖3C]係退火影像的掃視以及液態半導體材料（被稱為熔化池）沿著退火影像的掃視而增加的體積的放大俯視圖；

[圖4A]係範例的散射熔化偵測系統的示意圖，其中雷射加工光束作為光源探測器被利用；

[圖4B]係包含與雷射加工光束分離的光源探測器的範例的散射熔化偵測系統的示意圖；

[圖5A]係本揭露的散射成像系統的光學佈置的示意圖；

[圖5B]係本揭露的散射成像系統的光學佈置的另一範例的示意圖；

[圖6A]概念性地及圖解地繪示散射熔化偵測器的影像捕捉裝置在晶圓表面於熔點下時於退火影像的掃視期間於影像框中捕捉的資料；

[圖6B]概念性地及圖解地繪示散射熔化偵測器的影像捕捉裝置於退火影像的掃視期間於影像框中捕捉的資料，其中此捕捉係於晶圓表面於熔點上且液態材料池沿著退火影像的掃視形成時進行；

[圖6C]繪示來自退火影像的掃視的影像框的資料，其中此退火影像係藉由未適當地校準的退火雷射產生，導致此掃視的不同部分於熔點下或熔點上；

[圖7A]至[圖7C]繪示來自熔化閾值校準的測試資料，其中雷射功率被遞增地增加，且熔化的增加程度於測試資料中被偵測；

[圖8]繪示於熔化閾值功率準位以下及以上漸增功率準位的一系列退火製程的FPA累積強度資料；

[圖9A]及[圖9B]繪示複數接續的沿著半導體表面的以退火雷射進行的退火影像掃視的散射影像資料，其中此退火雷射運作於熔化閾值功率準位；

[圖10]係範例的計算裝置的功能方塊圖；

[圖11]概念性地繪示由散射熔化偵測器的ICD於退火製程期間捕捉的範例的影像框的部份；

[圖12]繪示產生用於一或更多熔化偵測演算法的熔點下參考影像及關聯參數的範例方法；

[圖13]繪示熔化偵測演算法的範例方法，其中熔化係根據影像框中的大小的非線性被偵測；以及

[圖14]繪示熔化偵測演算法的範例方法，其中熔化係根據熔化影像中的統計變化被偵測。

【實施方式】

【0014】 本案主張於2022年5月3日申請、序號63/337,714、標題為「散射熔化偵測系統及其使用方法(Scatter Melt Detection Systems and Methods of Using the Same)」的美國臨時專利申請案的優先權，其完整內容以參照的方式併入本案。

【0015】 本揭露的面向包含高頻寬時間及空間解析相轉移顯微系統，經配置以偵測被掃描CW或QCW（脈衝時間<<駐留時間）雷射退火(annealing)系統以超短駐留時間及小的光斑加工的半導體晶圓中的熔化的起始，此顯微系統亦用於校準用於退火製程的此等系統。於一些範例中，本揭露的熔化偵測系統經配置以精準地且可靠地對於具有超短滯留時間（10奈秒至500奈秒或25奈秒至250奈秒的範圍內）以及光斑尺寸（10微米-150微米 x 10微米-150微米的範圍內）的雷射的偵測熔化起始。

【0016】 熔化退火包含以入射雷射光束局部地提升晶圓表面或次表面的溫度直到其熔化。於晶圓表面由一層薄的矽覆蓋著一層具有低熔化溫度的材料（例如鍍或者矽）構成的範例中，晶圓表面可保持固態，而次表面材料熔化。於此描述的熔化偵測系統可經配置以於表面熔化製程中偵測熔化，其中熔化發生於晶圓表面，及/或可經配置以於次表面熔化製程中偵測熔化，其中晶圓表面保持固態，且晶圓表面底下的材料的一體積熔化。

【0017】 圖1係本揭露的具有散射熔化偵測器的範例的準連續波(quasi continuous wave (QCW))雷射退火系統(「系統」)100的示意圖，系統100可併入本揭露的熔化偵測系統。如同後續可理解地，系統100以範例的方式被敘述及說明，且本揭露的熔化偵測系統可用於各種其他雷射退火系統的任一者。系統100的範例實施例的特定面向被描述於美國專利公告號10,083,843，標題為「具有超短駐留時間的雷射退火系統及方法(Laser Annealing Systems And Methods With Ultra-Short Dwell Times)」，於2018年9月25日公告的專利文件中，其完整內容以參照方式併入本案。美國專利公告號10,083,843中併入的參考文獻的完整內容亦以參照方式併入本案，包含美國專利公告號8,309,474；8,546,805；8,865,603以及美國專利申請號14/497,006（現已公告為美國專利公告號9,343,307）。

【0018】 系統100包含晶圓平台120，晶圓平台120可被操作地支撐具有上表面132的卡盤130。晶圓平台120可被操作地連接於平台控制器124並經配置以透過平台控制器的運作而於X-Y平面移動以及可選擇地於Z方向移動。卡盤上表面132經配置以可被操作地支撐具有表面12的晶圓10。於一些範例中，晶圓10可被加工並包含由半導體結構定義的圖樣，此半導體結構典型地關聯於製造積體電路晶片的各階段，且於許多例子中典型地為深的且高度圖樣化的多層結構。於另一些範例中，晶圓10可為尚未加工的而不具有被製造的結構，且表面12可為極度平滑的鏡面狀表面。如上所述，使用此處所揭露的用於校準以及追蹤雷射退火工具的表現的量測系統，則未加工的晶圓10可為實用的。本發明揭露的量測系統可搭配經良好校準的退火系統被利用，以進行晶圓特定的(wafer-specific)退火雷射功率校準以判斷例如熔化閾值設定點功率準位，以用於

獨特的材料及表面。於一範例中，卡盤130包含加熱器，加熱器加熱晶圓10至均勻的高於環境溫度的溫度。晶圓平台120可被操作地連接於平台控制器124。

【0019】 系統100包含退火雷射系統250，退火雷射系統250經配置以產生掃描(scan)雷射光束268，掃描雷射光束268形成退火影像270（圖2）於晶圓表面12。退火雷射系統250包含發射初始雷射光束262的退火雷射260、可被操作地連接於調變器驅動器的調變器264以及接收初始雷射光束並產生掃描雷射光束268的掃描光學系統266。於一實施例中，退火雷射260可為發射具有例如532奈米的波長的掃描雷射光束268的QCW光纖雷射。前述內容以範例的方式被提供，且其他現在已知的或將來研發的退火雷射系統可與本發明所揭露的量測系統共同被利用。於一範例中，調變器264為聲光調變器(acousto-optical modulator (AOM))，與掃描光學系統266連動使用，以選擇性地且交替地阻擋以及放行初始雷射光束262以控制退火影像270的掃描而得到橫跨晶圓表面的退火影像的掃視(sweep)動作。

【0020】 於一些範例中，系統100亦可選擇性地包含預熱雷射系統150，預熱雷射系統150與退火雷射系統250連動運作且經配置以產生預熱雷射光束168。預熱雷射光束168被使用以藉由提高晶圓表面（或晶圓次表面）溫度 T_s 至低於熔化溫度 T_M 的預退火溫度 T_{PA} 而預熱晶圓表面12。

【0021】 預熱雷射系統150可包含預熱雷射160以及線形成光學系統166。預熱雷射160可包含二極體雷射、光纖雷射或 CO_2 雷射，例如連續波(continuous-wave (CW)) p偏振10.6微米的 CO_2 雷射。於一範例中，線形成光學系統166經配置使得預熱雷射光束168以近正入射角度(near normal incident angle)或大的斜向入射角度(large oblique incident angle)入射至晶圓表面12。於一範例實施

例中，預熱雷射光束168的入射角實質上等於晶圓12的布魯斯特角(Brewster's angle)，使得有害的來自不均勻光學吸收的圖樣密度效應被降低或最小化。

【0022】 線形成光學系統166經配置以自預熱雷射160接收初始雷射光束162以及自預熱雷射160於晶圓表面12形成預熱線影像170（圖2及圖3）。線形成光學系統166以及掃描光學系統266可各包含透鏡、面鏡、孔徑、濾光片、主動光學元件（例如可變衰減器等）及以上元件的組合。於一範例中，線形成光學系統166以及掃描光學系統266的一者或兩者可經配置以進行光束調節(conditioning)，例如均勻化其各自的雷射光束162、262及/或提供具有經選擇的截面形狀的雷射光束。非限制性的適於進行此種光束調節的範例的光學系統被揭露於美國專利公告號7,514,305、7,494,942、7,399,945以及6,366,308，其完整內容以參照方式併入本揭露。於一範例中，來自退火雷射260的初始雷射光束262具有高的品質（例如實質上為高斯光束）且被使用而不需要顯著的（且於某些情況中完全不需要）光束調節。

【0023】 系統100亦包含散射熔化偵測器280；如於下會進一步說明的，熔化偵測器280被配置散射光學佈置(arrangement)以用於偵測來自晶圓表面12的感興趣區域(region of interest)的散射光線以暫時地且空間上地解析(resolve)散射的光線而偵測熔化的起始。本揭露的散射光學佈置包含基於空間上解析的感測器或感測器陣列的系統，其中感測器或感測器陣列不偵測來自平坦晶圓表面的鏡面反射，且不具有探測光束的遠場鏡面反射繞射極限。散射光學裝置的一範例形式為暗場成像。選擇（例如偏光濾光片、雙折性晶體等）之後的探測控制（例如偏振及波長）以及光學測量亦可被使用以捕捉相同或相似的散射資訊。

【0024】 範例雷射退火系統100進一步包含控制器300。於一範例中，控制器300是電腦或包含電腦，例如個人電腦或工作站。控制器300較佳地包含數種市面上可得的微處理器的任一者、合適的匯流排架構以將處理器連接至記憶體裝置（例如硬碟機）以及合適的輸入及輸出裝置（舉例來說，分別為鍵盤及顯示器）。控制器300可透過內嵌於非暫態電腦可讀取媒體（例如記憶體、處理器或兩者並用）且致使處理器進行系統100的各種功能的指令（軟體）被編程以執行晶圓10的退火。

【0025】 控制器300可被操作地連接於預熱雷射系統150以及掃描雷射系統250並控制這些系統的運作。控制器300電性連接於調變器264並以控制訊號SMod控制調變器264的運作。於一範例中，控制器300包含數位訊號處理器(digital signal processors (DSPs))（圖未示）以控制預熱及掃描雷射系統150、250中的掃描功能。於一些範例中，控制器300亦可以可被操作地連接於散射熔化偵測器280以及掃描光學系統266並經配置以接收以及處理於雷射退火製程期間產生的熔化訊號SM以控制退火雷射系統250或預熱雷射系統150，例如調整掃描雷射光束268的功率準位以達到所想要的製程條件。於其他的一些範例中，控制器300可根據先前取得並儲存於電腦可讀取儲存裝置1016（圖10）的退火雷射熔化校準設定點1024控制退火雷射系統250的功率準位。控制器300或分離的計算裝置亦可經配置以控制散射熔化偵測器280的部件，例如控制熔化偵測器的影像捕捉裝置(image capture device (ICD))。

【0026】 於系統100的一範例中，系統控制器300傳送第一控制訊號S1至預熱雷射160，預熱雷射160響應第一控制訊號S1產生初始雷射光束162。初始雷射光束162被光學系統166接收，光學系統166自初始雷射光束162產生預熱雷射光

束168，預熱雷射光束168於晶圓表面12形成預熱線影像170。系統控制器300亦傳送第二控制訊號S2至退火雷射260，退火雷射260響應第二控制訊號S2產生初始雷射光束262。初始雷射光束262被掃描光學系統266接收，掃描光學系統266被控制訊號SS控制以形成掃描雷射光束268，掃描雷射光束268藉此產生退火影像270於晶圓表面12。系統控制器300亦傳送第三控制訊號S3至平台控制器124以導致平台120的受控移動而相對於預熱線影像170以及退火影像270移動（掃描）晶圓10。於卡盤130提供晶圓預熱的範例中，系統控制器300亦可傳送另一控制訊號（圖未示）至卡盤控制器以啟動或控制晶圓預熱。典型的卡盤預熱範圍為室溫（25°C）至400°C。

【0027】 圖2係晶圓10的俯視圖，其繪示具有退火影像270並且於預熱雷射系統150被使用的範例中的晶圓表面的掃描的範例方法，預熱線影像170。預熱線影像170相對於晶圓表面12的移動可藉由平台120於第一方向（例如y方向，以箭號AR1指示，亦於本揭露中被稱為預熱掃描方向或平台掃描方向）的平移(translation)被達成。晶圓表面12關聯於預熱線影像170的部分代表晶圓表面的局部預熱部分，其中晶圓表面溫度 T_s 被提升至預退火溫度 T_{PA} 。由掃描雷射光束268形成的退火影像270相對於晶圓表面12於正交於第一方向的第二方向（例如x方向，以箭號AR2指示，亦於本揭露中被稱為退火掃描方向或掃視方向）移動。

【0028】 掃描光學系統266經配置以橫跨預熱線影像的長度於預熱線影像170上方且於x方向掃描或掃視退火影像270。於一範例中，與預熱線影像170的移動相比，退火影像270的掃描速度足夠快，而使得預熱線影像於退火影像的掃描的期間實質上為靜止的。

【0029】 一旦退火影像270達到預熱線影像170的末端，掃描雷射光束268以及對應的退火影像270藉由啟動調變器264（圖1）被關閉，以阻擋初始雷射光束262的傳送。在掃描雷射光束268為「關閉(off)」的同時，預熱線影像170於y方向移動，使得晶圓表面12的次一部分可被掃描。於一實施例中，預熱線影像170的移動可為連續的，例如藉由連續地於y方向移動平台120。一旦預熱線影像170就定位，掃描雷射光束268藉由將調變器264置於傳輸模式被再次啟動，其中調變器264係於掃描光學系統266可將掃描雷射光束268以及對應的退火影像270引導至起始新定位的預熱線影像170的第一端的位置時被置於傳輸模式。接著，新定位的預熱線影像170上方的退火影像270的掃描被進行。圖2繪示藉由重複上述的掃描方法以實質上掃描整個晶圓表面12（例如至少掃描圖樣化的部分）的範例方法。於其他退火系統不包含預熱雷射（如預熱雷射系統150）的範例中，預熱線影像170被省略，且退火影像270可於x方向被相似快速地掃描，而晶圓10同時被平台120於y方向被移動。

【0030】 圖3A係形成於晶圓表面12上的預熱線影像170及退火影像270之一的放大俯視圖。預熱線影像170具有近端172、遠端174及相對側173。預熱線影像170具有自近端172延伸至遠端174的長方向（尺寸）以及具有長度L1。預熱線影像170亦具有於相對側173之間測量的窄方向（尺寸）以及具有寬度W1。於一範例中，長度L1落在5毫米至20毫米的範圍內，且一示例性長度L1落在7毫米至12毫米的範圍內。此外，於一範例中，寬度W1落在50微米至200微米的範圍內，且一示例性寬度W1為150微米。於一範例實施例中，預熱雷射光束168（圖1）於掃描方向（例如y方向）具有高斯強度分布，且於長（橫跨掃描）方向（例

如x方向)具有相對平坦的頂部輪廓。光束寬度W1可被定義於高斯分布的 $1/e^2$ 強度數值或高斯分布的半峰全寬(full-width half-maximum (FWHM))。

【0031】 退火影像270與預熱線影像170的一部份重疊，且重疊的區域於此被稱為掃描重疊區域(scanning overlap region (SOR))。退火影像270具有具長度L2的長尺寸以及具寬度W2的窄尺寸。於所繪示的範例中，退火影像270於x方向及y方向具有實質上高斯的強度分布。退火影像270的長尺寸L2被定向於預熱線影像170的短尺寸W1的方向。於一範例中，長度L2落在100微米至500微米的範圍，且寬度落在10微米至50微米的範圍，且於一些範例中，寬度落在15微米至20微米的範圍或16微米至18微米的範圍。退火影像270的掃描方向AR2垂直（正交）於其長方向。掃描方向AR2亦被稱為退火掃描或掃視方向且實質上正交於預熱掃描方向AR1。退火影像270的寬度W2定義掃描重疊區域SOR於退火掃描方向AR2的寬度。退火影像270於掃描方向AR2的快速掃描導致SOR形成退火照明線272，退火照明線272具有與預熱線影像170實質上相同的尺寸且藉由平台120於y方向的移動接續地沿著晶圓表面12於y方向（預熱掃描方向AR1）被移動。

【0032】 於一範例中，長度L2實質上大於寬度W1（例如介於兩倍大及四倍大之間），使得退火影像270的端部延伸至預熱線影像170的側邊173之外，如圖3A所示。這使得對齊預熱線影像170以及退火影像270以定義掃描重疊區域SOR是相對容易的。此配置利用退火影像270中央的高強度部分以增長預熱線影像170提供的晶圓表面局部的預熱以將晶圓表面溫度 T_s 帶至熔化溫度 T_M 。

【0033】 於一範例中，掃描重疊區域SOR的駐留時間 t_d 落在 $10\text{ ns} \leq t_d \leq 500\text{ ns}$ 的範圍內，而於另一範例中落於 $25\text{ ns} \leq t_d \leq 250\text{ ns}$ 的範圍內。對於寬度 $W2 = 15\mu\text{m}$ 以及25奈秒的駐留時間，退火影像20的掃描速度且藉此掃描重疊區域SOR

為 $v_s = (W2)/t_d = 600 \text{ m/s}$ 。對於250奈秒的駐留時間 t_d ，掃描速度為 $v_s = (W2)/t_d = 60 \text{ m/s}$ 。對於500奈秒的駐留時間 t_d ，掃描速度為 $v_s = (W2)/t_d = 30 \text{ m/s}$ 。對於10奈秒的駐留時間 t_d ，掃描速度為1500 m/s。於一範例中，掃描光學系統266經配置以提供此些速度或任何介於其間的速度。

【0034】 圖3B係系統100的預熱雷射系統150被省略的另一範例的實施態樣的放大俯視圖。退火雷射系統250經設計以及配置以提升晶圓表面溫度 T_s 至所想要的退火溫度。退火影像270於掃描方向AR2的快速掃描導致依序地沿著晶圓表面12於y方向（箭號AR1）被移動退火照明線272，且此移動係藉由平台120於y方向的移動發生。於一範例中，退火照明線272的長度L1落在3毫米至12毫米的範圍內，退火影像270的寬度W2落在20微米至50微米的範圍內，且退火影像270的長度L2落在100微米至500微米的範圍內。

【0035】 圖3C係晶圓表面12的一部分的俯視圖，呈現退火影像270沿著退火照明線272於掃描方向AR2移動的三個時間的例子（標記為a、b及c）。圖3C概念性地繪示已由掃描雷射光束268形成的熔化池310，其中晶圓表面12的局部範圍已熔化且部分或完全自固態相轉變至液態相，導致固態相及液態相之間的界面312。於所繪示的範例中，熔化池310的尺寸沿著掃描方向AR2增加，潛在地是因為雷射光束268的增加的光學功率密度，且此增加是肇因於退火影像270橫跨退火照明線272的掃視。晶圓材料於熔化池310中的相轉移係第一階(order)相轉移，第一階相轉移導致晶圓材料的原子間互動或分子間互動的密度以及形式(form)中的不連續性。因為材料於此二不同相態（固態及液態）中不同的電磁互動，此相轉移導致材料的折射率的顯著的變化。於一範例中，熔化池310內的液

態相的折射率大幅度地高於熔化池310外的固態相晶圓材料的折射率，例如對於典型的IC半導體材料以100%至300%的級數較高的折射率。

【0036】 熔化池310與圍繞熔化池310的固態相材料之間的界面312作為入射光的主要散射體，其中寬場(wide-field)結構因數的大小隨著熔化池310的半徑 r_1 成長。本發明揭露的散射影像系統經設計以及配置以偵測熔化的起始時以及當熔化池310剛開始形成時產生的散射光線。隨著熔化池310的尺寸的增加，散射光線的強度快速地且非線性地增加，且本揭露的散射成像系統可經配置以偵測由被熔化的晶圓材料的增加的程度所導致的散射光的增加的強度。

【0037】 於低於熔點的固態相中，反射光訊號的強度與材料溫度之間的關係可概為近似線性， γ^T ，其中 γ 為縮放因數，且 T 為材料溫度。對於小於入射光的波長（例如雷射光束268的波長）的熔化池310，熔化池310以及界面312的散射強度近似 $\alpha V^{4/3}$ （其中 α 為縮放因數，且 V 為熔化池的體積）或熔化池的半徑的四次方，其中大小 $\alpha \gg \gamma$ 。對於顯著地大於入射光的波長的熔化池310，具有半徑 r_1 的熔化池上的不連續性是進入寬場的主要散射體，其具有近似於 $\alpha V^{2/3}$ 的大小。如次一來，增加的光學功率與熔化池尺寸之間的整體縮放關係是高度非線性的，且可最終使散射成像系統飽和。於圖3C所示的範例中，因為自圍繞熔化池的區域發出的散射光的突然增加，熔化池310的初始形成會導致被散射熔化偵測器280偵測的光線中銳利的不連續性。隨著熔化池310的尺寸成長（舉例來說，熔化池310b及310c相比於熔化池310a），被散射熔化偵測器280偵測的光線的強度會非線性地以熔化池的增加的半徑的四次方增加，這可能快速地使由熔化偵測器產生的熔化訊號SM飽和。本發明揭露的散射熔化偵測器280以及散射成像頻道被設計以及配置而對於熔化的起始是高度敏感的，其中由熔化偵測器捕捉

的光線的強度的非連續增加實質上於熔化的起始的瞬間發生，因此導致光訊號的強度大小的幾個數量級的增加。

【0038】 於退火製程期間，散射熔化偵測器280可被使用以捕捉來自圍繞退火影像270的範圍的光線，包含被退火影像的區域中的光學結構繞射、反射或折射的光線。於一範例中，散射熔化偵測器280產生代表被偵測的光線的熔化訊號SM並傳送熔化訊號至控制器300。於一範例中，控制器300接收熔化訊號SM並可使用此訊號以建立控制退火雷射系統250或預熱雷射系統150的一或更多特性（例如功率準位）的回授迴圈，使得晶圓表面溫度 T_s 可被控制。於一些範例中，散射熔化偵測器280可被使用以校準並追蹤退火雷射系統250的光學表現。此外，於一些範例中，散射熔化偵測器280可被使用以發展對於一組預定的退火製程條件提供熔化閾值雷射功率設定點的晶圓特定的雷射功率校準。

【0039】 圖4A繪示散射熔化偵測器280的一範例實施態樣側視圖。於所繪示的範例中，熔化偵測器280自晶圓表面12沿著散射偵測器路徑402接收光線，其中散射偵測器路徑402相對於表面法線N具有角度 α_1 ，且角度 α_1 不同於掃描雷射光束268的角度 α_2 。於所繪示的範例中，掃描雷射光束268與用於散射測溫測量的探測器以及與退火雷射光束同時被利用。於其他的一些範例中，不同於掃描雷射光束268的光源可作為探測器被利用。因為不需要額外的光源且因為掃描雷射光束268僅照明小的退火影像270周邊的視野（其中退火影像270能夠橫跨晶圓表面12快速移動，例如高達約1 km/s），將掃描雷射光束268作為用於散射測量的光源利用提供較簡單配置的好處。

【0040】 掃描雷射光束268相對於表面法線N具有入射角 α_2 ，入射角 α_2 不同於角度 α_1 並且形成退火影像270於晶圓表面。散射偵測器路徑402的角度 α_1 經設

計使得退火雷射光束268自晶圓10的表面12的鏡面反射268R不進入散射偵測器路徑402，因此使得熔化偵測器280能夠觀察到散射。

【0041】 熔化偵測器 280 包含光學元件 404 以及影像捕捉裝置 (image capture device (ICD))406。ICD 406包含或電性連接於至少一像素型二維CCD或CMOS聚焦平面陣列(focal plane array (FPA))以及於本案所屬技術領域中已知的相關聯的電子元件，例如處理器及用於儲存所捕捉的影像的儲存單元。光學元件404經配置以將晶圓表面12成像於FPA。於一範例中，ICD 406經配置以橫跨較雷射光束268的駐留時間來說相對長的曝光時段(time frame)（例如概略為50微秒的影像框捕捉率）捕捉散射影像，使得退火影像270的至少一橫跨退火照明線272的完整的掃視於單一影像框中被捕捉。

【0042】 光學元件404可包含一或更多透鏡、面鏡、濾光片、光柵、孔徑或其他部件。沿著散射偵測器路徑402被收集的光線（例如散射光）由光學元件404收集且於某些狀況下被反射及/或濾光，並被成像於影像捕捉裝置406的FPA。光學元件404的視野(FOV)可包含晶圓表面12的整體或一部分。舉例來說，光學元件404的FOV可於掃描方向AR2（見圖3B）具有大約等於退火照明線272的長度L1的寬度，或於方向AR2具有較退火照明線的長度L1更大約5%至50%的寬度。光學元件404的FOV於平台掃描方向AR1（見圖3B）的寬度可等同於FOV於退火影像掃描方向AR2的寬度或可大於或小於FOV於掃描方向AR2的寬度。於一範例中，光學元件的FOV於平台掃描方向AR1的寬度至少為退火影像270於平台掃描方向的直徑或外延伸區的二倍，使得晶圓表面12低於熔點且位於退火影像外的部分被捕捉於同一影像中而被呈現為退火影像內的部分。光學元件404於掃視方向AR2的FOV可至少較照明線272的長度L1大10%，且於一些範例中至少

大20%。ICD 406的空間解析度可為10 um/pixel至50 um/pixel，且於某些範例中約為30 um/pixel。

【0043】 如先前說明，光源（此處為退火雷射系統250）產生掃描雷射光束268，掃描雷射光束268形成退火影像270於晶圓表面12。掃描雷射光束268的光線的第一部分由晶圓表面12鏡面反射且不觸及熔化偵測器280。當晶圓表面12沿退火照明線272的溫度基於熔化溫度且晶圓材料於固態相，散射熔化偵測器280可偵測背景光線的一些量，其中背景光線例如來自光致發光(photoluminescence)以及散射光線的光線，其中散射光線是由例如晶圓表面12中的缺陷（如厚度的小的變化）或大範圍的缺陷（如刮傷或灰塵）所導致；於經加工的晶圓的例子中，背景光線例如因為晶圓中的不連續性（例如於晶圓表面或次表面中製造的圖樣）而受繞射、反射及/或折射的光線。藉此，於未加工且高度拋光的晶圓10的例子中，熔化偵測器280可能沿著散射偵測器路徑402偵測到極少或無光線，且熔化偵測器280的視野實質上是黑暗的。於經加工的晶圓的例子中，關聯於熔點下固態相條件的某種程度的散射光可能被捕捉。

【0044】 當掃描雷射光束268的功率密度被提升至熔化閾值能量密度 E_m ，晶圓材料於晶圓表面12或次表面的相轉移發生，導致大約位於退火影像270中的一體積的熔化的液態相材料。熔化的液態相材料的反射率大幅地不同於固態相的材料的反射率。固態相及新形成的體積的液體的液態相之間的界面（例如界面（圖3C））於晶圓表面中產生新的光學不連續性，此光學不連續性強烈地將光線散射至 2π ，即晶圓的熔化區域上方的角度的半球。觀察到的熔化區域（例如熔化池310）中的反射為漫射反射率，或於一些範例中接近朗伯反射(Lambertian reflectance)。熔化區域的成像熱反射訊號的所得強度會具有相較於固

雷射光束268的鏡面反射268R。於所繪示的範例中，熔化偵測器280沿著散射偵測器路徑416自晶圓表面12接收光線，其中散射偵測器路徑416對於表面法線N具有角度 α_1 ，角度 α_1 不同於退火雷射光束268的角度 α_2 或探測光420的角度 α_3 。探測光410可為二極體或連接於雷射源的光纖，且可發出窄波長的光線，例如綠、藍或NIR，或例如於電信頻帶（如1260奈米及1675奈米）進行發射。光學元件412可經配置以濾出光線的不同於探測光420的波長。探測光源410可經配置以於對於ICD 406的幀率(frame rate)較大的頻率或較短的時段發出探測光420的脈衝，使得退火照明線272的離散部分可被成像。

【0047】 圖5A及5B概念性地繪示二種可替代的用於散射成像的光學佈置500及501。佈置500包含物鏡502及影像形成透鏡504，用於形成晶圓表面12的內含熔化池310的區域的散射影像於ICD（如ICD 406）的FPA。佈置500對應於圖4A及圖5B繪示的範例，其中光線（例如掃描雷射光束268（於圖4A的範例中）或分離的探測光源（例如圖4B2範例中的探測光420））入射於一物體，例如熔化池310。有關傅立葉光學元件，因為鏡片502、504的空間位置及數值孔徑，第零階光線530（無散射光）不觸及物鏡502，使得形成於FPA的影像來自於更高階的散射強度532，此散射強度532係由熔化池310及/或其他光學散射體或晶圓表面或次表面上的不連續性散射。

【0048】 圖5B繪示另一光學佈置501，其中至少一不透明阻光件520被利用以阻擋第零階光線530（無散射光）觸及ICD（如ICD 406）的FPA，使得由物鏡510及影像形成透鏡512形成於FPA的影像是來自於更高階散射強度532，此散射強度532係由熔化池310及/或其他光學散射體或晶圓表面或次表面上的不連續性

散射。圖4A的散射熔化偵測器280或圖4B的散射熔化偵測器可被調整以具有光學佈置501，光學佈置501利用至少一不透明阻光件520以形成散射影像。

[(0049)] 圖6A概念性地及圖解地繪示散射熔化偵測器280的ICD 406在晶圓表面12於熔點下時於退火影像270的掃描期間於影像框中捕捉的資料。圖6B概念性地繪示當退火雷射系統250的光學功率被增加且晶圓表面12的溫度超過熔化閾值且晶圓材料開始熔化時於影像中被捕捉的資料的變化。

[(0050)] 於熔點下，熔化偵測器280捕捉的影像為探測強度 $I(\vec{x})$ ，探測強度 $I(\vec{x})$ 係由晶圓的粗糙度散射，且於一些例子中係由內嵌於晶圓表面12的共振散射體所散射。於薄膜近似 (thin film approximation) 中，由高度差異 $\delta(\vec{x})$ 導致的粗糙度將其本身作為隨機的全像光柵(holographic phase grating) $\theta(\vec{x})$ ，此光柵將其本身作為 $e^{i\theta(\delta(\vec{x}))} = e^{i\alpha\delta(\vec{x})}$ 而施加於電場。對於均勻晶圓製造程序，波動功率譜(即 $\delta(\vec{x})$ 的傅立葉轉換的平方 ($|F(\delta(\vec{x}))|^2 = |\delta(\vec{k})|^2$)) 典型地於超過 $\vec{k} = \frac{4\pi}{\lambda}$ 許多後依然不為零，且亦會均勻地散射 $I(\vec{x})$ 至晶圓平面上方的半球。圖6A概念性地繪示於熔點下可發生的此微光以及相對平坦的響應。

[(0051)] 對於經加工以及高度同樣化的晶圓10來說，某些材料製造程序包含被製成薄膜的罕見光學散射體，此種薄膜會產生隨機的影像，而隨機的影像可能提供錯誤的熔化訊號。然而，當熔化偵測器280的影像資料橫跨被蒐集的影像框被取平均時，因為高強度訊號於完整的橫跨退火照明線272的掃視(退火照明線272的掃視增加了退火雷射250的光學功率密度)中均勻地浮現於被蒐集的影像框中，熔點下錯誤熔化訊號可與正確熔化訊號被辨別。本揭露的一些面向包含於熔點下蒐集晶圓10的一組高解析度影像以採樣照明探測光束(例如掃描

雷射光束268或來自探測光源410的探測光420)的形狀。熔點下影像資料可接著自熔點上影像資料被分辨，其中熔點上影像資料會包含半徑為 $r_{\text{melt}} < r_{\text{baseline}}$ 且關聯於界面312的熔化池310的高強度加工品。探測光束於熔化池中的晶圓材料的液態相部分中的縮短吸收長度減少了經加工的晶圓中的次表面光學不連續性所產生的散射，藉此在熔化閾值被超過時簡化了散射光學響應，且進一步能夠偵測熔化的起始。

[(0052)] 圖6C繪示來自使用所捕捉的光線的大小判斷熔化的系統100的範例實施態樣的測試資料的影像框。圖6C繪示未適當地最佳化的系統的範例，其中退火影像掃視的開始(影像頂部)以及結束(底部)皆高於熔點，且中間的昏暗區域恰好低於熔點。退火雷射系統250的光學功率密度並未適當地校準，導致不必要的光學功率的波動，此波動導致掃視的開始與結束於熔點上以及掃視的中間於熔點下。

[(0053)] 圖7A至圖7C繪示來自一特定經加工的且具有獨特的材料堆疊以及位於一特定基盤溫度的晶圓種類的熔化閾值校準的測試資料。圖7A至圖7C顯示三個不同的掃描雷射光束268帶狀區的一或更多掃視，其中一個帶狀區是一系列的接續掃視。於圖7A中，退火雷射系統250的功率被設定於132 W。於圖7B中的下一帶狀區中，功率準位被提高至135 W。於圖7C中的第三帶狀區中，功率被提高至138 W。箭號指向影像中不同的訊號被飽和的區域，這代表於影像的這些區域中光線的高強度，此高強度是由晶圓材料的熔化導致，且導致散射光銳利的增加。圖7A至圖7C中的影像亦呈現由經加工的晶圓固有的粗糙度及不均勻性(non-uniformity)導致的低強度加工品(低強度加工品的一些於各圖中以虛線被圈起)。然而，於散射影像中，對應晶圓的熔化區域的高強度位置具有較大的空

間密度以及較熔點下背景光的大小更大數個數量級的大小，且強烈地相對於背景散射顯得突出。圖7A至圖7C繪示熔化閾值可藉由提升雷射功率以及研究熔化量測而對於特定的經加工的且具有獨特的材料堆疊的晶圓種類被校準的範例。

【0054】 圖8繪示來自與圖7A至圖7C繪示相同的校準程序的額外資料。Y軸為ICD 406的FPA所捕捉的光線的累積強度。更明確地，Y軸為影像中所有像素的所有灰值的總和，其中FPA的各像素如本案所屬技術領域中已知地以介於0（黑）與1（白）的灰階紀錄入射光的強度的準位。X軸為退火影像掃視編號。圖8呈現退火影像的於132 W的第一複數掃視，且灰值的總和為第一數值，第一數值是低的且代表熔點下條件以及ICD 406的FPA所捕捉的背景光散射。圖8呈現灰值於功率被提升至135 W時的增加，其中135 W的功率被判斷為熔化閾值。圖8亦呈現ICD 406所捕捉的光線的強度於雷射功率隨後被增加至138 W時的銳利增加，其中138 W的功率被判斷為超越熔化閾值。此外，晶圓材料的液體體積橫跨退火影像掃視的一大部分穩定地形成。

【0055】 圖9A及圖9B繪示經良好的最佳化的系統的測試資料，其中系統中的退火雷射系統250的功率被設定於先前被判斷為半導體晶圓的熔化閾值的功率。圖9A及圖9B以二種不同形式呈現相同的資料，其中各圖為許多影像框於高速點掃視(high-velocity spot-sweeping)方向的分佈分析的組合。於圖9A中，Y軸為強度，且X軸為沿著退火影像掃視的位置，其中複數接續掃視的光強度分佈被重疊。於圖9B中，相同的掃視強度分佈被呈現於三維色彩圖中，其中，Y軸為退火影像掃描方向中的位置，X軸為影像框及平台掃描方向中的位置，且顏色指示光訊號的強度。圖9B為散射熔化偵測器280所捕捉的複數影像框的馬賽克圖。

包含控制散射熔化偵測器的ICD(如散射熔化偵測器280的ICD 406)的指令。ICD控制應用程式1030可包含控制例如幀率及快門速度的功能的指令以及處理ICD的FPA所產生的訊號的指令。影像處理應用程式1032可經配置以進行一或更多影像處理演算法而分析收集自散射偵測器路徑的光線，其中散射偵測器路徑具有包含退火影像的FOV。

【0062】 如本揭露中所述，當退火影像（例如退火影像270）導致晶圓表面12上或下方的材料開始熔化，材料的光學特性的顯著變化開始發生，而導致散射熔化偵測器所收集光線的強度的顯著增加。影像處理應用程式1032可經配置以使用各種影像處理演算法的任一者辨識ICD所收集的光線強度的增加。舉例來說，可使用匹配演算法、邊緣偵測演算法、特徵基底分解及前饋分類器的一或更多者，或者使用對應光散射效應的強度數值，其中此光散射效應是由晶圓材料的液態相及固態相之間的界面所導致。於一範例中，影像處理應用程式1032可經配置以辨識ICD於一範圍內所收集的光線的強度增加，其中此範圍小於加工光束（例如雷射光束268）所形成的退火影像270。於一範例中，影像處理應用程式1032可比較光線強度以及熔化閾值1022，其中熔化閾值1022可包含對應於散射熔化偵測器280對不同尺寸的熔化池所捕捉的光線強度的閾值、或將光線強度關聯於熔點下強度以及雷射功率準位的閾值。請參照圖3C以作為範例，影像處理應用程式1032可經配置以偵測熔化的起始以及熔化池310以及對應的界面312的形成，此種偵測是透過偵測沿著散射偵測器路徑402、416被捕捉的超過周圍的探測光束的散射強度的相對散射強度的光線強度而達成。於一範例中，閾值可被標準化至熔點下散射光束光強度分佈中。影像處理應用程式1032亦可經配置以分析包含超過熔化閾值的光線強度的影像框的空間強度或空間程度，以

[(00/0)] 方法1200、1300及1400可根據特定的晶圓種類以及應用而作為用於雷射退火製程的熔化偵測子程序被選擇性地使用，以校準雷射系統以及對於特定的製程條件組合（例如晶圓種類、卡盤溫度以及駐留時間）判斷雷射功率校準表或曲線。參數以及參考資料（例如 P_{ref} 、 ROI_{ref} 、 P_{melt} 及熔點下一維平台掃描方向強度分佈等）可被儲存於記憶體中，例如於儲存裝置1016中並可由影像處理應用程式1032存取以用於進行本發明揭露的任何影像處理演算法。

[(00/1)] 具有退火雷射控制應用程式1034的計算裝置1000可經配置以控制一或更多預熱及/或退火雷射系統150、250的參數以於熔化閾值或於熔化閾值上達到想要的製程條件。退火雷射控制應用程式1034亦可經配置以根據退火雷射熔化校準設定點1024控制退火雷射系統250的功率準位。退火雷射熔化校準設定點1024可明定雷射功率準位設定點以達成熔化以下、熔化閾值或熔化閾值以上的退火條件而用於特定的製程條件組，例如對於特定的卡盤加熱器溫度、退火影像的滯留時間以及晶圓10的種類。如本揭露所述，散射熔化偵測器280可被利用以對於退火雷射系統250進行熔化校準而判斷退火雷射熔化校準設定點1024。

[(00/2)] 於一範例中，ICD 406可具有小於退火影像的掃視頻率 f_{swcpl} 的最大曝光頻率。散射熔化偵測器280的FOV可包含至少一退火照明線272（即至少一退火影像的掃視）以及某些情況下包含複數退火照明線（退火影像的複數接續掃視）。藉此，由ICD 406的一曝光捕捉的單一影像可包含至少一以及於某些範例中複數的退火影像270的掃視。影像處理應用程式1032可利用有關一材料相轉移的已知強度分佈的預定資訊並自被捕捉的一或更多影像相的複數掃視的強度提取一或更多統計關聯函數以特徵化一熔化製程的一致性，或作為裝置晶圓

【0074】 記憶體1006可持有處理器1002使用的指令以及資料。網路配接器1008將計算裝置1000耦接至區域或廣域網路，且通訊模組1010提供額外的頻道以用於有線或無線通訊。如本案所屬技術領域中已知地，計算裝置1000可具有不同於及/或除了圖10所示的部件的其他部件。此外，計算裝置1000可缺少特定的被繪示的部件。於一些範例中，儲存裝置1016可為區域的及/或對於計算裝置1000為遠端的，例如分離的儲存裝置、冷儲存裝置、儲存區域網路(storage area network (SAN))或基於雲端的儲存架構。

【0075】 如本案所屬技術領域中已知地，計算裝置1000適於執行電腦程式模組以提供本揭露所述的功能性。如本揭露中所使用地，模組一詞指被利用以提供特定的功能性的電腦程式邏輯。藉此，模組可於硬體、韌體及/或軟體中實現。於一實施例中，程式模組被儲存於儲存裝置1016上、被讀取至記憶體1006中、並由處理器1002執行。

【0076】 本揭露的一些部分敘述演算程序或運作的範例。此些演算敘述以及呈現是資料處理技術領域中具有通常知識者常用的，以有效地使此領域中具有通常知識的其他人理解其創作的內涵。雖然此些運作被功能性地、計算性地或邏輯性地被描述，應被理解為由包含指令的電腦程式實現，其中此些指令用於被處理器或等效的電路、微代碼等執行。此外，本揭露亦證明在某些時候將此些功能性運作的配置稱為模組是便利的，而不會失去普遍性。

【0077】 雖然圖10繪示單一的計算裝置1000以及單一的儲存裝置1016，應理解由計算裝置1000及儲存裝置1016提供的功能性以及儲存可以任何數量的計算裝置以及儲存設備實施。舉例來說，第一計算裝置1000可被使用以實現控制

器300，且一或更多其他的計算裝置1000可被使用以執行本發明所揭露的其他功能性，例如平台控制器124、卡盤加熱器、熔化偵測器280等。

【0078】 計算裝置1000可經配置以使用有線及/或無線通訊系統而透過一或更多網路與系統100的其他計算裝置通訊，其中網路可包含區域/或廣域網路的任意組合。於一實施例中，網路使用標準通訊科技及/或協議。舉例來說，網路包含使用例如乙太網路、802.11、全球互通微波存取(worldwide interoperability for microwave access (WiMAX))、3G、4G、分碼多重進接(code division multiple access (CDMA))、數位用戶線路(digital subscriber line (DSL))等科技的通訊連結。用於透過網路通訊的網路協議的範例包含多協定標籤交換(multiprotocol label switching (MPLS))、傳輸控制協定/網際網路協定(transmission control protocol/Internet protocol (TCP/IP))、超文件傳送協定(hypertext transport protocol (HTTP))、簡易電子郵件協定(simple mail transfer protocol (SMTP))以及檔案傳輸協定(file transfer protocol (FTP))。透過網路交換的資料可使用任何合適的格式(例如超文件標示語言(hypertext markup language (HTML))或可延展標示語言(extensible markup language (XML)))被呈現。於本案所屬技術領域中具有通常知識者會理解使用其他合適的技術的加密用於各種基於網路的本質的應用會是適當的。

【0079】 本揭露的範例包含一種分析散射影像資料的方法。此方法包含接收於半導體的雷射退火製程期間捕捉的半導體表面的一區域的散射影像；以及根據影像辨識半導體材料的固體至液體材料相轉移；其中此辨識包含影像強度的統計的、時間序列的或幾何的非線性變化的辨識，且此影像強度被表示為一

或更多退火製程控制參數的函數而被辨識。於一些範例中，一或更多退火製程控制參數包含雷射功率或光學功率密度。

【0080】 本揭露的範例亦包含一種進行半導體材料的雷射退火製程的熔化校準的方法。此方法包含以來自退火雷射的退火雷射光束退火半導體材料的一區域，其中退火包含於熔化閾值功率準位（半導體材料的固態至液態相轉移發生處）以下及以上遞增地改變退火雷射的功率準位；於退火期間捕捉半導體材料的該區域的散射影像；以及根據被捕捉的散射影像判斷退火雷射的至少一熔化閾值設定點功率準位。

【0081】 本揭露的範例包含一種於雷射退火製程期間控制退火雷射運作參數的方法。此方法包含於半導體材料的退火製程期間根據雷射退火溫度校準控制退火雷射的運作參數，其中雷射退火溫度校準是由藉由進行先前段落的方法產生。

【0082】 本揭露的範例亦包含經配置以致使雷射退火系統的控制器的處理器機器可讀取指令根據退火製程參數以及至少一退火雷射熔化閾值校準設定點控制退火雷射，其中火雷射熔化閾值校準設定點係根據本發明所揭露的方法被決定。

【0083】 本揭露的範例亦包含一種形成用於熔化偵測演算法的熔點下參考影像及參數的方法。此方法包含於熔點下退火晶圓；以散射熔化偵測器捕捉影像框；紀錄退火雷射功率準位；自被捕捉的影像框產生熔點下參考影像；處理熔點下參考影像以產生熔點下一維平台掃描方向強度輪廓；辨識熔點下參考影像的感興趣區域(region of interest (ROIref))；以及產生平均一維平台掃描方向強度輪廓。

【0084】 本揭露的範例包含一種於退火製程期間判斷晶圓材料是否熔化的方法。此方法包含於熔點下、於熔點或於熔點上退火晶圓；於退火期間以散射熔化偵測器捕捉影像框；紀錄雷射功率準位；自被捕捉的影像框產生平均影像；以及產生熔化偵測影像，其中熔化偵測影像參考對應的相同晶圓種類的熔點下參考影像以產生平均影像。

【0085】 段落[0084]的方法，更包含比較熔化偵測影像的數值以及閾值以判斷熔化是否發生於影像的一或更多區域中。

【0086】 段落[0084]的方法，更包含施用熔化偵測影像的一維分佈分析以辨識平台掃描方向中的寬度小於製程雷射光束的寬度的窄尖峰。

【0087】 段落[0084]的方法，其中熔點下參考影像藉由進行利用任意本發明揭露的系統的方法的任一者被獲得。

【0088】 本揭露的範例亦包含一種偵測晶圓材料是否於退火製程期間熔化的方法。此方法包含於熔點下、於熔點或於熔點上退火晶圓；於退火期間以散射熔化偵測器捕捉影像框；計算影像框的感興趣區域(ROIref)內的像素數值的統計變化，其中ROIref係影像中退火雷射影像被形成於晶圓上的區域；以及比較經計算的統計變化以辨識熔化的起始。

【0089】 前述為本揭露的說明用實施例的詳細敘述。應理解於本揭露的說明書以及所附的請求項中，有關於語句中使用的連接詞語如「X、Y及Z的至少一者」以及「X、Y及Z的一或更多」，除非明確地陳述或指示為其他語意，皆應被理解為意指連接清單中的各項目可以任意數量且排除清單中的其它者而存在，或者以任意數量且與任意或所有連接清單中的其他項目共同存在（且其他項目亦可以任何數量存在）。應用此原則性的規則，前述範例中的連接詞語中

的由X、Y及Z構成的連接清單應各包含：一或更多X；一或更多Y；一或更多Z；一或更多X及一或更多Y；一或更多Y一或更多Z；一或更多X及一或更多Z；以及一或更多X、一或更多Y及一或更多Z。

【0090】 各種修改及新增可被進行而不偏離本揭露的精神與範圍。以上敘述的各種實施例的各特徵可被適當地結合於其他所述的實施例的特徵以提供關聯於心的實施例的特徵組合多重性。此外，雖然前述內容敘述數種分離的實施例，本揭露所描述的內容僅用於說明本揭露的原理的應用。此外，雖然本揭露特定的方法可被說明及/或敘述為以特定的順序被進行，但順序是於通常知識的範圍內高度可變的以達到本揭露的各面向。此外，本說明書應被理解為僅作為範例，且非用於限制本揭露的範圍。

【符號說明】

【0091】

- 10:晶圓
- 12:表面
- 100:雷射退火系統
- 120:晶圓平台
- 124:平台控制器
- 130:卡盤
- 132:卡盤上表面
- 150:預熱雷射系統
- 160:預熱雷射

162、262:初始雷射光束
166:線形成光學系統
168:預熱雷射光束
170:預熱線影像
172:近端
174:遠端
173:相對側
250:退火雷射系統
260:退火雷射
264:調變器
266:掃描光學系統
268:掃描雷射光束
268R、420R:鏡面反射
270、270a、270b、270c:退火影像
272:退火照明線
280:散熱熔化偵測器
300:控制器
310、310a、310b、310c:熔化池
312、312a、312b、312c:界面
402、416:散射偵測器路徑
404、412:光學元件
406:影像捕捉裝置

- 410:探測器光源
- 420:探測光
- 500、501:光學佈置
- 502:物鏡
- 504、512:影像形成透鏡
- 520:阻光件
- 530:第零階光線
- 532:更高階散射強度
- 902:位置
- 1000:計算裝置
- 1002:處理器
- 1004:晶片組
- 1006:記憶體
- 1008:網路配接器
- 1010:通訊模組
- 1012:周邊配備
- 1014:顯示器
- 1016:儲存裝置
- 1020:應用程式
- 1022:熔化閾值
- 1024:退火雷射熔化校準設定點
- 1030:ICD控制應用程式

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於判斷一半導體材料於一雷射退火(annealing)製程期間的一固態至液態材料相轉移的發生的方法，該方法包含：

藉由來自一退火雷射的一退火雷射光束形成一退火影像於該半導體材料的一表面上；

形成該半導體表面的一區域的一散射影像(scatter image)，其中該散射影像包含該退火影像；以及

根據被收集於該散射影像中的光線的一強度辨識該半導體材料的一固態至液態材料相轉移。

【請求項2】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含該散射影像中一強度達到或超過一閾值的偵測，該閾值對應於該半導體材料的該固態至液態相轉移的起始(onset)。

【請求項3】 如請求項2所述的方法，其中該辨識包含該散射影像中一強度的偵測，該強度係該散射影像中的該退火影像內的一面積中的強度，且該面積小於該退火影像的一面積。

【請求項4】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含辨識被收集於該散射影像中的光線的強度相較於一熔點下(below-melt)參考影像的一不連續性。

【請求項5】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含辨識光線的該強度與一製程參數之間的一非線性縮放關係。

【請求項6】 如請求項5所述的方法，其中該製程參數係該退火雷射的一功率準位或該退火雷射的一局部(local)功率密度。

【請求項7】 如請求項1所述的方法，其中該雷射退火製程包含橫跨該半導體表面進行該退火影像的複數依序掃視(sweeps)，各掃視形成一退火照明線，且形成一散射影像包含形成至少一退火照明線的一影像。

【請求項8】 如請求項7所述的方法，其中辨識的步驟包含沿著該退火照明線分析光線的一強度以沿著該退火照明線判斷該半導體材料的一材料相轉移的程度。

【請求項9】 如請求項7所述的方法，其中辨識的步驟包含沿著該退火照明線分析光線的一強度以於固態至液態相轉移的起始已發生的位置判斷該退火照明線的一比例。

【請求項10】 如請求項7所述的方法，其中辨識的步驟包含於該退火影像的複數該依序掃視沿著該退火照明線於一第一位置分析光線的一強度以於固態至液態相轉移的起始已發生的位置判斷該退火雷射的一熔化門檻功率準位或一統計功率變動(statistical power fluctuation)的至少一者。

【請求項11】 如請求項1所述的方法，其中該雷射退火製程包含以一掃視頻率 f_{sweep} 橫跨該半導體表面進行複數依序掃視，該方法更包含藉由一探測光源而以複數輻射脈衝在一脈衝頻率 f_{probe} 輻射該半導體表面，其中 $f_{\text{probe}} < f_{\text{sweep}}$ 。

【請求項12】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含擬合演算法(fitting algorithms)、邊緣偵測演算法(edge detection algorithms)、特徵基底分解(eigenbasis decompositions)、前饋分類器(feed-forward classifiers)、或一捕捉影像框中任何超過一閾值的強度的偵測的一或更多者的應用。

【請求項13】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含影像強度的一統計的 (statistical)、時間序列的(time-series)或幾何的非線性變化的一辨識，該非線性變化被表示為一或更多退火製程控制參數的一函數而被辨識。

【請求項14】 如請求項13所述的方法，其中該一或更多退火製程控制參數包含雷射功率或光學功率密度。

【請求項15】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含產生一熔化偵測影像，其中該熔化偵測影像參考一對應的熔點下參考影像以產生該散射影像。

【請求項16】 如請求項15所述的方法，更包含比較該熔化偵測影像的複數數值與一閾值以判斷熔化是否發生於該熔化偵測影像中的一或更多區域。

【請求項17】 如請求項15所述的方法，更包含施用該熔化偵測影像的一一維輪廓分析以於平台掃描(stage scan)方向辨識複數窄尖峰，其中該些窄尖峰具有小於該製程雷射光束的一寬度的一寬度。

【請求項18】 如請求項15所述的方法，其中該熔點下參考影像係藉由進行包含以下的步驟被獲得：

於熔點下退火一晶圓；

以一散射熔化偵測器捕捉複數影像框；

紀錄一退火雷射功率準位；

自該被捕捉的複數影像框產生一熔點下參考影像；

處理該熔點下參考影像以產生複數熔點下一維平台掃描方向強度輪廓；

辨識該熔點下參考影像的一感興趣區域(region of interest (ROIref))；以及

產生一平均一維平台掃描方向強度輪廓。

【請求項19】 如請求項1所述的方法，其中該辨識包含：

計算該些影像框的一感興趣區域(ROIref)內的複數像素數值的一統計變化，其中ROIref係該影像中一退火雷射影像被形成於該晶圓上的一區域；以及比較該經計算的統計變化以辨識熔化的該起始。

【請求項20】 一種散射熔化偵測系統，包含：

一平台(stage)，經配置以支撐一半導體晶圓；

一退火雷射，經配置以退火該半導體晶圓；以及

一散射熔化偵測器，包含：

一影像捕捉裝置(device)，包含一聚焦平面陣列(focal plane array (FPA))；

以及

一散射光學佈置(arrangement)，經配置以阻擋或避免由該退火雷射形成的一光束的一鏡面反射(specular reflection)，並經配置以於該FPA形成該半導體晶圓的一表面的一散射影像。

【請求項21】 如請求項20所述的系統，進一步包含一處理器以及一機器可讀取儲存媒體，其中該機器可讀取儲存媒體包含用於由該處理器執行以進行如請求項1-19任一項所述的動作的程式指令。

【請求項22】 一種雷射退火系統，包含：

一退火雷射；

一儲存裝置，包含至少一退火雷射熔化門檻校準設定點，其中該至少一校準設定點指定該退火雷射的一運作參數以於一組預定的退火製程條件下提高一半導體材料的一局部區域(local region)的一溫度至一熔化門檻，且該校準設定點係自該半導體材料的複數散射影像於該半導體材料的雷射退火製程期間被推導所得；以及

一控制器，經配置以根據該退火雷射熔化門檻校準設定點控制該退火雷射。

【請求項23】 如請求項22所述的系統，其中該校準設定點係藉由包含請求項1-19任一項所述的步驟的一製程被決定。

【請求項24】 一種非暫態機器可讀取儲存媒體，包含至少一退火雷射熔化門檻校準設定點，其中該至少一校準設定點指定該退火雷射的一運作參數以於一組預定的退火製程條件下提高一半導體材料的一局部區域的一溫度至一熔化門檻，且該校準設定點係自該半導體材料的複數散射影像於該半導體材料的雷射退火製程期間被推導所得。

【請求項25】 如請求項24所述的非暫態機器可讀取儲存媒體，其中該校準設定點係藉由包含請求項1-19任一項所述的步驟的一製程被決定。

3A

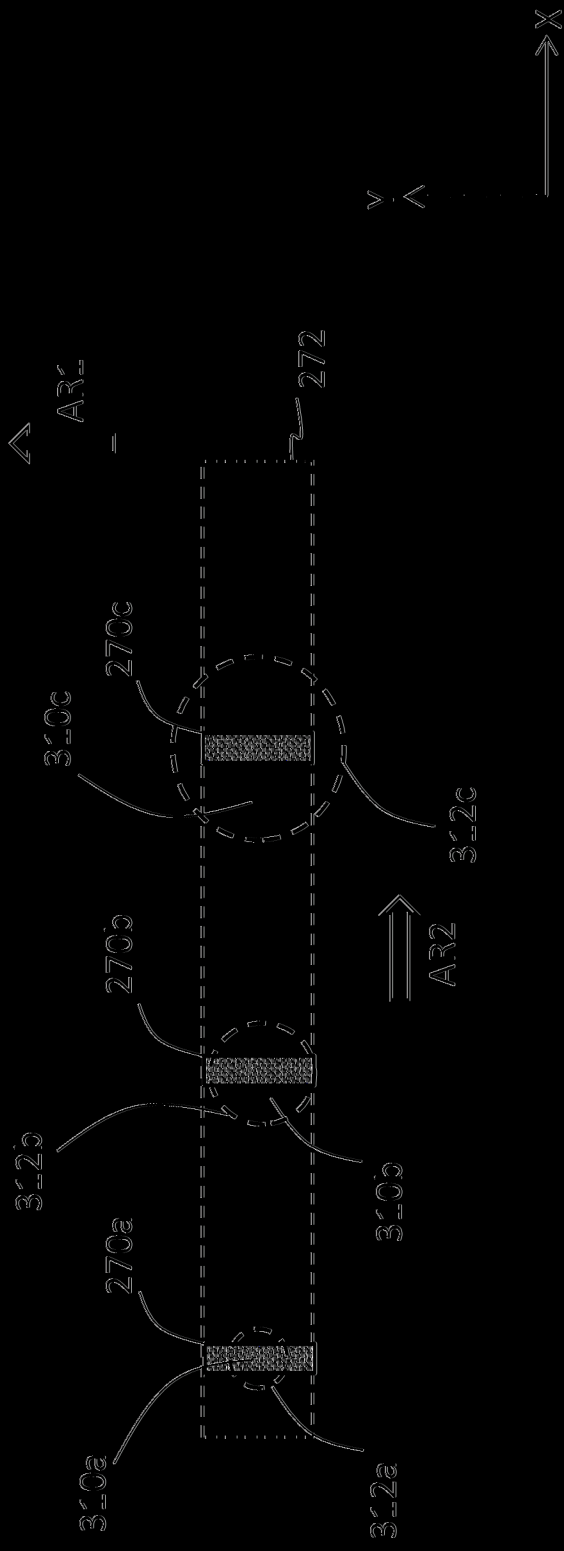


圖 3C

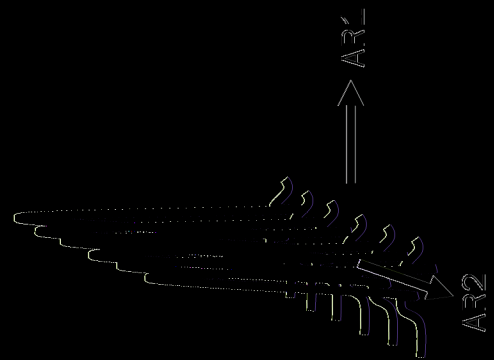


圖 63

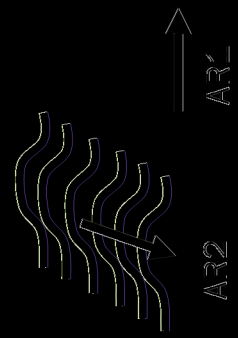


圖 6A



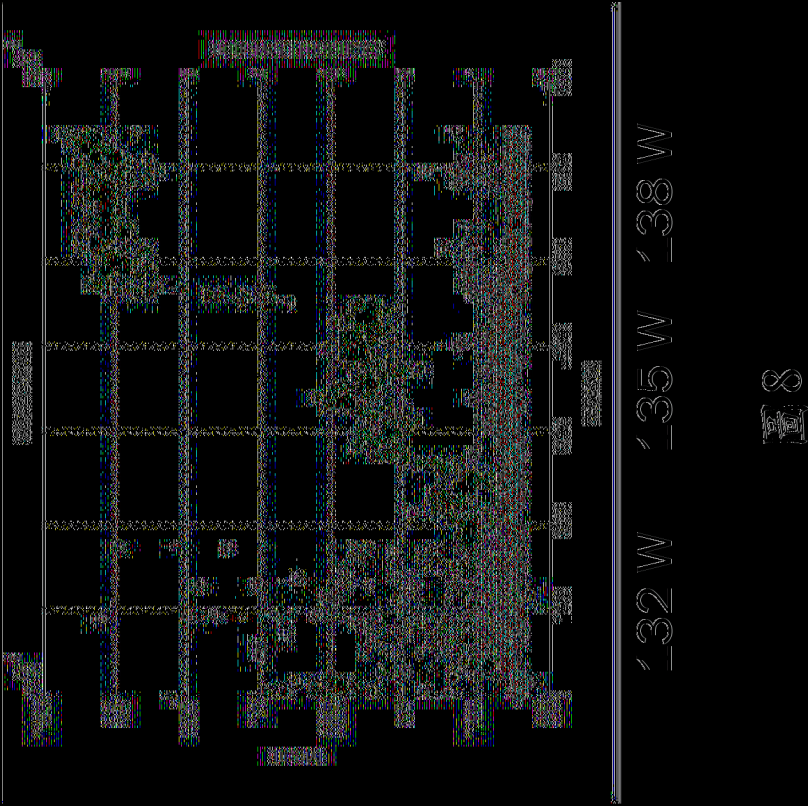
圖 6C

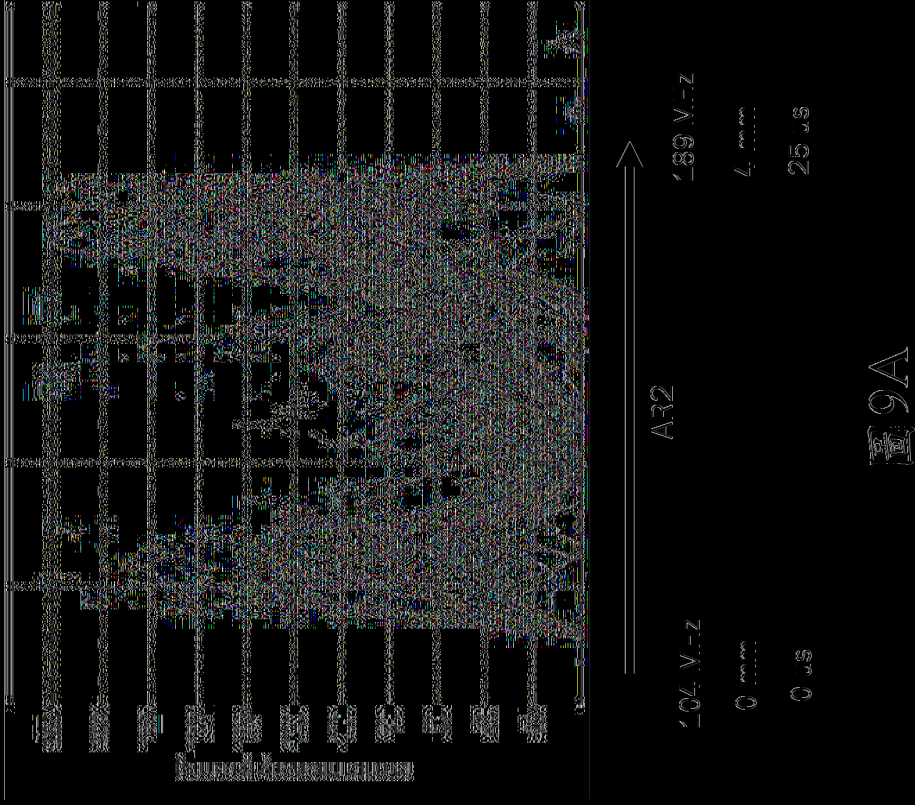
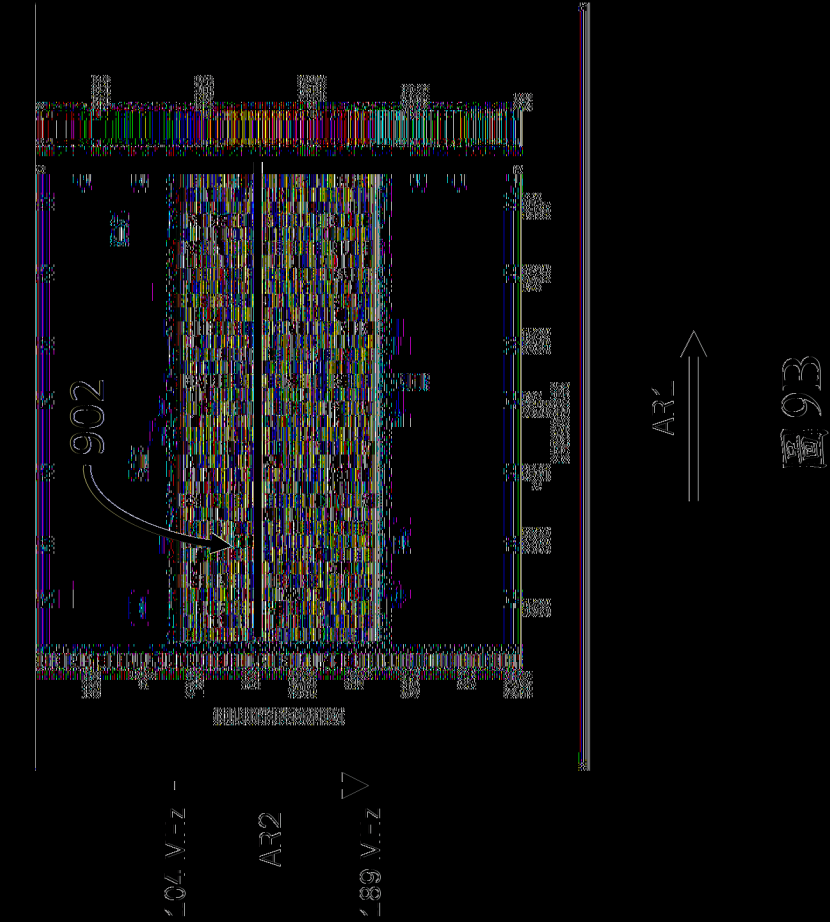


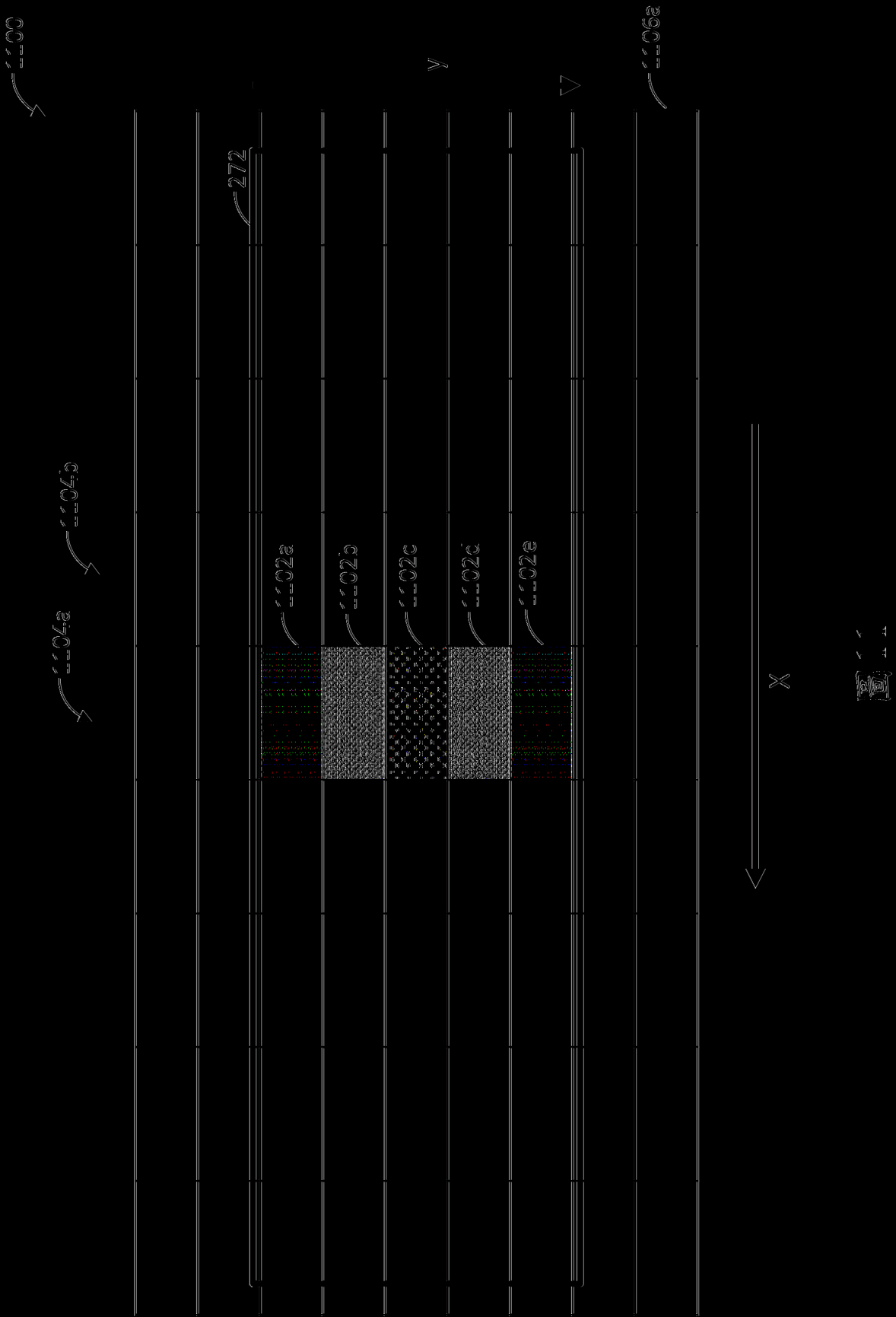
圖 7C

圖 7B

圖 7A







↙
200

於溶點上退火晶圓、以溶化偵測器捕捉影像框、紀錄03D電壓Vref	203
根據捕捉的影像框產生平均影像	205
產生將平均影像參照至溶點下參考影像的溶化偵測影像	207
比較被參考的影像與實值	209
應用被參考影像的一維台掃描方向的尖峰以辨識平台掃描方向	211
判斷被辨識的尖峰的寬度w(x)並將其實值點下參考影像分條的寬度w(x)比較	213

圖 13

↙
200

於溶點下退火晶圓、以溶化偵測器捕捉影像框、紀錄03D電壓Vref	203
根據捕捉的影像框產生溶點下參考影像	205
處理參考影像以產生複數溶點下一維台掃描方向強度分條	207
產生感興趣區域(ROI)參考影像ROIref	209
產生平均一維台掃描方向強度分條	211

圖 12

