



(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 I873429 B

(45) 公告日：中華民國 114 (2025) 年 02 月 21 日

(21) 申請案號：111121379

(22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 06 月 09 日

(51) Int. Cl. : G03F7/20 (2006.01)

G02B27/18 (2006.01)

G02F1/29 (2006.01)

(30) 優先權：2021/06/23 日本

2021-104157

(71) 申請人：日商佳能股份有限公司 (日本) CANON KABUSHIKI KAISHA (JP)

日本

(72) 發明人：住吉雄平 SUMIYOSHI, YUHEI (JP)

(74) 代理人：林志剛

(56) 參考文獻：

TW 569304B

JP 2014-179446A

US 6078380

US 2001/0017939A1

US 2006/0038254A1

US 2011/0269259A1

WO 2019/146448A1

審查人員：李科

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：12 共 46 頁

(54) 名稱

曝光設備、曝光方法和產品的製造方法

(57) 摘要

一種曝光裝置，藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光。該曝光裝置包括：照明光學系統，被佈置為將照明光引導到原件，照明光包括具有第一波長的第一照明光和具有與第一波長不同的第二波長的第二照明光；以及投影光學系統，被佈置為在光軸方向中的多個位置處藉由使用照明光形成原件的圖案影像。照明光學系統被配置為藉由改變進入原件的照明光的入射角來調整由第一照明光形成的圖案影像與由第二照明光形成的圖案影像之間在垂直於光軸方向的方向中的位置偏差。

An exposure apparatus that exposes a substrate to light by using an original in which a pattern is formed includes an illumination optical system arranged to guide illumination light to the original, the illumination light including first illumination light with a first wavelength and second illumination light with a second wavelength different from the first wavelength, and a projection optical system arranged to form a pattern image of the original by using the illumination light at a plurality of positions in an optical axis direction. The illumination optical system is configured to adjust a position deviation in a direction perpendicular to the optical axis direction between a pattern image formed by the first illumination light and a pattern image formed by the second illumination light by changing an incident angle of the illumination light entering the original.

指定代表圖：

符號簡單說明：

25:原件

26:投影光學系統

27:基板

31:光束

32:光束

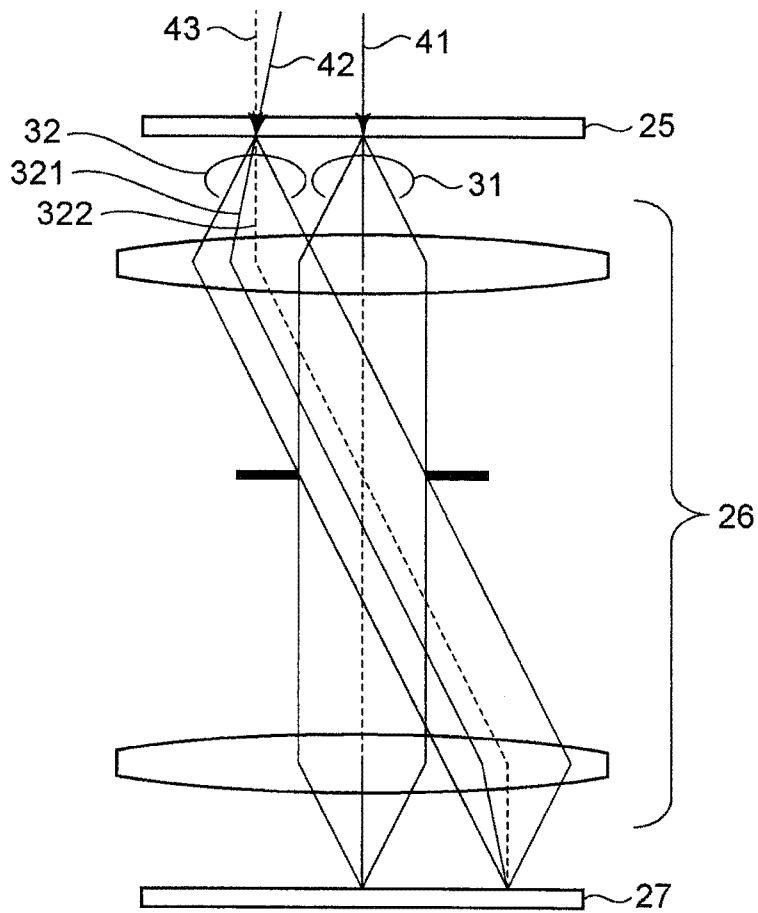
41:(主)光線

42:(主)光線

43:(主)光線

321:光線

322:光線



【圖 4】



I873429

公告本

【發明摘要】

【中文發明名稱】

曝光設備、曝光方法和產品的製造方法

【英文發明名稱】

EXPOSURE APPARATUS, EXPOSURE METHOD, AND
MANUFACTURING METHOD FOR PRODUCT

【中文】

一種曝光裝置，藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光。該曝光裝置包括：照明光學系統，被佈置為將照明光引導到原件，照明光包括具有第一波長的第一照明光和具有與第一波長不同的第二波長的第二照明光；以及投影光學系統，被佈置為在光軸方向中的多個位置處藉由使用照明光形成原件的圖案影像。照明光學系統被配置為藉由改變進入原件的照明光的入射角來調整由第一照明光形成的圖案影像與由第二照明光形成的圖案影像之間在垂直於光軸方向的方向中的位置偏差。

【 英文 】

An exposure apparatus that exposes a substrate to light by using an original in which a pattern is formed includes an illumination optical system arranged to guide illumination light to the original, the illumination light including first illumination light with a first wavelength and second illumination light with a second wavelength different from the first wavelength, and a projection optical system arranged to form a pattern image of the original by using the illumination light at a plurality of positions in an optical axis direction. The illumination optical system is configured to adjust a position deviation in a direction perpendicular to the optical axis direction between a pattern image formed by the first illumination light and a pattern image formed by the second illumination light by changing an incident angle of the illumination light entering the original.

【指定代表圖】圖 4

【代表圖之符號簡單說明】

25:原件

26:投影光學系統

27:基板

31:光束

32:光束

41:(主)光線

42:(主)光線

43:(主)光線

321:光線

322:光線

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

曝光設備、曝光方法和產品的製造方法

【英文發明名稱】

EXPOSURE APPARATUS, EXPOSURE METHOD, AND
MANUFACTURING METHOD FOR PRODUCT

【技術領域】

本發明涉及曝光裝置、曝光方法以及產品的製造方法。

【先前技術】

曝光裝置用於製造產品，諸如半導體設備。曝光裝置藉由用照明光學系統照射原件(遮罩版或遮罩)並經由投影光學系統將原件的圖案投影到基板上，從而使基板曝光。在曝光裝置中，在部署於基板上的抗蝕劑中形成原件的圖案影像，然後執行蝕刻等，結果在基板上形成期望的圖案。

所使用的抗蝕劑的厚度取決於要在基板上形成的圖案而不同，並且其中所使用的抗蝕劑膜的厚度厚的處理可以被稱為厚膜處理。在厚膜處理中，為了在抗蝕劑中高準確度地形成圖案影像，期望擴大曝光裝置中包括的投影光學系統的焦深。

日本專利公開 No.64-077123 描述了與多波長曝光相關的內容，該多波長曝光用於藉由使光源(諸如準分子雷射器)在兩個不同的波長處振盪而使光源的波長在時間上分成兩個來進行曝光。在投影光學系統的縱向色差的影響下，能夠在投影光學系統的光軸方向中的不同位置處形成圖案。

在日本專利公開 No. 64-077123 中描述的投影光學系統中，不僅殘留縱向色差而且還殘留橫向色差。在離軸區域中，具有兩種不同波長的光線可以在與光軸方向垂直的方向中偏移的位置處形成圖案影像。因此，形成在抗蝕劑中的圖案影像具有傾斜，這可能導致圖案形成準確度的降低。

【發明內容】

根據本發明的實施例，一種曝光裝置藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光。該曝光裝置包括：照明光學系統，被佈置為將照明光引導到原件，照明光包括具有第一波長的第一照明光和具有與第一波長不同的第二波長的第二照明光；以及投影光學系統，被佈置為在投影光學系統的光軸方向中的多個位置處藉由使用照明光形成原件的圖案影像。照明光學系統被配置為藉由改變進入原件的照明光的入射角來調整由第一照明光形成的圖案影像和由第二照明光形成的圖案影像之間在垂直於光軸方向的方向中的位置偏差。

本發明的其它特徵將從參考附圖對實施例的以下描述中變得清楚。

【圖式簡單說明】

[圖 1A]和[圖 1B]是示出曝光裝置的配置的圖。

[圖 2]是示意性地示出投影光學系統的橫截面的圖。

[圖 3]是示出圖案影像之間的位置偏差的圖。

[圖 4]是示出遠心度(telecentricity)調整之前和之後的主光線的光路的圖。

[圖 5A]至[圖 5C]是各自示出圖案影像的傾斜度(inclination)的圖。

[圖 6]是示出照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係的圖。

[圖 7A]至[圖 7C]是各自示出投影光學系統的光瞳平面中的光強度分佈的圖。

[圖 8A]至[圖 8C]是各自示出調整照明光束的遠心度的方法的圖。

[圖 9]是示出孔徑光闌調整之前和之後的主光線的光路的圖。

[圖 10A]至[圖 10D]是各自示出圖案影像的傾斜度的圖。

[圖 11]是示出照明光束的傾斜度和圖案影像的傾斜度之間的關係的圖。

[圖 12]是示出半導體設備的製造過程的圖。

【實施方式】

在下文中，將參考附圖描述實施例。以下實施例並非旨在限制根據請求項的本發明。在每個實施例中描述了多個特徵；但是，並非所有的多個特徵對於本發明而言都是必不可少的，並且多個特徵可以任意組合使用。附圖中類似的附圖標記表示相同或相似的部件，並省略重複描述。

圖 1A 是示出作為本發明的一個方面的曝光裝置 100 的配置的圖。圖 1B 是曝光裝置 100 的簡化橫截面視圖。曝光裝置 100 是在半導體設備等的製造處理中使用的、在基板上形成圖案的微影裝置。在本實施例中，曝光裝置 100 是分步掃描 (step-and-scan) 曝光裝置 (掃描器)，其藉由在掃描方向中移動原件 25 和基板 27 的同時對基板 27 進行曝光 (掃描曝光) 而將原件 25 的圖案轉印到基板 27 上。但是，曝光裝置 100 能夠採用分步重複 (step-and-repeat) 系統或其它曝光系統。

如圖 1A 和圖 1B 中所示，曝光裝置 100 包括用來自光源 1 的光照射原件 25 (遮罩版或遮罩) 的照明光學系統 110 和將原件 25 的圖案投影到基板 27 (晶片、玻璃板等) 上的投影光學系統 26。曝光裝置 100 包括原件台 29、基板台 28 和控制單元 50。基板台 28 具有在基板平面內沿著相互正交的第一方向和第二方向移動的功能。在本實施例中，如圖 1A 和圖 1B 中所示，以基板台 28 為基準，定義其中第一方向為 y 方向 (y 軸)，第二方向為 x 方向 (x 軸)，並且與第一方向和第二

方向正交的方向為 z 方向(z 軸)的坐標系。 z 方向是與投影光學系統26的光軸方向對應的方向。

光源1包括具有大約365nm波長的汞燈、準分子雷射器，諸如具有大約248nm波長的KrF準分子雷射器和具有大約193nm波長的ArF準分子雷射器。光源1發射用於照射原件25的光(曝光光)。

照明光學系統110包括中繼光學系統2、出射角保持光學元件5、繞射光學元件6、聚光透鏡7、遮光構件8、稜鏡單元10和變焦透鏡單元11。照明光學系統110還包括光學積分器12、光闌13、聚光透鏡15、遮光單元19、掩蔽單元20、聚光透鏡21和準直透鏡23。

中繼光學系統2設置在光源1和出射角保持光學元件5之間。中繼光學系統2將來自光源1的光引導到出射角保持光學元件5。出射角保持光學元件5設置在繞射光學元件6的光源側。出射角保持光學元件5包括光學積分器，諸如複眼透鏡、微透鏡陣列和光纖束。出射角保持光學元件5將來自光源1的光引導到繞射光學元件6，同時保持發散角恒定。出射角保持光學元件5降低了光源1的輸出變動對由繞射光學元件6形成的光強度分佈(圖案分佈)的影響。

繞射光學元件6部署在與照明光學系統110的光瞳平面14具有傅立葉轉換關係的平面中。繞射光學元件6藉由由繞射效應轉換來自光源1的光的光強度分佈在照明光學系統110的光瞳平面14或者與照明光學系統110的光瞳平面14共軛的平面上形成期望的光強度分佈，該光瞳平面14是與

投影光學系統26的光瞳平面共軛的平面。繞射光學元件6可以由電腦生成全息圖(CGH)構成，該電腦生成全息圖(CGH)由電腦設計成使得在繞射圖案平面上獲得期望的繞射圖案。在本實施例中，形成在投影光學系統26的光瞳平面上的光源形狀被稱為有效光源形狀。術語“有效光源”是指被照射平面和與被照射平面共軛的平面中的光強度分佈或光角分佈。繞射光學元件6設置在出射角保持光學元件5和聚光透鏡7之間。

多個繞射光學元件6可以設置在照明光學系統110中。例如，多個繞射光學元件6中的每一個都附接到轉檯(未示出)的多個槽之一。繞射光學元件6分別形成不同的有效光源形狀。這些有效光源形狀包括小圓形(相對小圓形)、大圓形(相對大圓形)、環形、偶極形、四極形和其它形狀。用環形、偶極形或四極形的有效光源形狀對被照射平面進行照明的方法被稱為修正照明。

來自出射角保持光學元件5的光被繞射光學元件6繞射並被引導到聚光透鏡7。聚光透鏡7設置在繞射光學元件6和稜鏡單元10之間。聚光透鏡7對由繞射光學元件6繞射的光進行聚光，並在傅立葉轉換平面9中形成分佈圖案(光強度分佈)。

傅立葉轉換平面9是位於光學積分器12和繞射光學元件6之間並且與繞射光學元件6具有光學傅立葉轉換關係的平面。藉由更換部署在照明光學系統110的光路中的繞射光學元件6，可以改變在傅立葉轉換平面9中形成的分佈圖

案的形狀。

遮光構件 8 被配置為可在與照明光學系統 110 的光軸 1b 垂直的方向中移動，並且被部署在傅立葉轉換平面 9 的上游側(光源側)。遮光構件 8 部署在與傅立葉轉換平面 9 的位置稍微隔開(散焦)的位置處。

稜鏡單元 10 和變焦透鏡單元 11 設置在傅立葉轉換平面 9 和光學積分器 12 之間。稜鏡單元 10 和變焦透鏡單元 11 用作放大在傅立葉轉換平面 9 中形成的光強度分佈的變焦光學系統。稜鏡單元 10 調整在傅立葉轉換平面 9 中形成的光強度分佈的圓環比(annular ratio)等，並將光強度分佈引導到變焦透鏡單元 11。變焦透鏡單元 11 設置在稜鏡單元 10 和光學積分器 12 之間。變焦透鏡單元 11 包括例如多個變焦透鏡。變焦透鏡單元 11 調整在傅立葉轉換平面 9 中形成的光強度分佈的 σ 值，並將光強度分佈引導到光學積分器 12，該 σ 值是參考照明光學系統 110 的數值孔徑(NA)與投影光學系統 26 的 NA 之間的比率獲得的。

光學積分器 12 設置在變焦透鏡單元 11 和聚光透鏡 15 之間。光學積分器 12 包括複眼透鏡，該複眼透鏡形成大量的二級光源並根據其圓環比、孔徑角和 σ 值被調整的光強度分佈將二級光源引導到聚光透鏡 15。但是，光學積分器 12 可以包括另一個光學元件，諸如光學管、繞射光學元件和微透鏡陣列，而不是複眼透鏡。光學積分器 12 用已經穿過繞射光學元件 6 的光均勻地照射放置在被照射平面 24 中的原件 25。光闌 13 設置在光學積分器 12 與聚光透鏡 15 之間的

照明光學系統110的光瞳平面14附近。

聚光透鏡15設置在光學積分器12和原件25之間。因此，聚光透鏡15能夠會聚從光學積分器12引導的大量光線並以疊加方式照射原件25。當使光線進入光學積分器12並被聚光透鏡15會聚時，作為聚光透鏡15的焦平面的共軛平面20a以大致矩形形狀被照射。

半反射鏡16部署在聚光透鏡15的後側。在半反射鏡16上反射的曝光光的一部分進入光強度測量光學系統17。測量光強度的感測器18部署在光強度測量光學系統17的後側。根據感測器18測量的光強度，適當地控制執行曝光期間的曝光。

包括X刀片和Y刀片的掩蔽單元20被部署在共軛平面20a中，該共軛平面20a是與被照射平面24共軛的平面並且以大致矩形光強度分佈被照射。掩蔽單元20被部署為限定原件25(被照射平面24)的照明範圍，並且與原件台29和基板台28同步進行掃描。原件台29是在保持原件25的同時移動的台。基板台28是在保持基板27的同時移動的台。

遮光單元19設置在與掩蔽單元20(被照射平面24的共軛平面20a)隔開(散焦)的位置處。在相對於來自聚光透鏡21的光束具有預定傾斜度的反射鏡22上反射的光經由準直透鏡23照射原件25。

投影光學系統26將原件25的圖案投影到基板27上。圖2是示意性地示出投影光學系統26的橫截面的圖。如圖2中所示，投影光學系統26包括多個光學構件(光學元件，諸

如透鏡和反射鏡)。具有可變孔徑的孔徑光闌261設置在投影光學系統26的光瞳平面26a處或光瞳平面26a附近。藉由調整孔徑光闌261的孔徑，可以將投影光學系統26的NA設定為期望值。原件25的圖案影像的解析度取決於投影光學系統26的NA和有效光源形狀。因此，藉由適當地設定(選擇)投影光學系統26的NA和有效光源形狀，可以提高原件25的圖案的解析度。

關於構成投影光學系統26的光學構件的材料，可使用的材料根據要從光源發射的曝光光的波長而受到限制。當使用具有大約365nm波長的汞燈作為光源時，可以藉由組合由大約10種材料製成的光學構件來有利地校正縱向色差、橫向色差等。另一方面，當使用準分子雷射器，諸如波長大約為248nm的KrF準分子雷射器和波長大約為193nm的ArF準分子雷射器作為光源時，透射來自準分子雷射器的曝光光的材料是有限的。考慮到準分子雷射器的光學透明度和成本，當前狀態下投影光學系統通常僅由石英製成。在這種情況下，難以利用投影光學系統的光學設計有利地校正色差，因此藉由縮小鐳射的波長光譜範圍來減小投影光學系統的色差的影響。

描述回到圖1A和圖1B。控制單元50由包括CPU、記憶體等的電腦(資訊處理裝置)構成。控制單元50藉由根據儲存在記憶體中的程式總體控制曝光裝置100的單元來操作曝光裝置100。控制單元50控制將基板27曝光的曝光處理以及與曝光處理相關的各種處理。例如，在本實施例中，

控制單元 50 執行確定用於以原件 25 的圖案進行照明的照明形狀(照明光束)的處理。

近年來，在三維記憶體或影像拾取元件的製造處理中，期望形成具有幾微米至幾十微米厚度的穿透圖案。為了用曝光裝置形成這種厚的穿透圖案，期望擴大投影光學系統的焦深。作為實質上擴大焦深的技術，已知一種在投影光學系統的光軸方向中偏移焦點位置的同時進行多重曝光的方法。作為多重曝光的示例，已知焦點寬容度增強曝光(FLEX)方法。在FLEX方法中，例如，在使基板相對於投影光學系統的光軸傾斜的同時進行掃描曝光，使得基板上的區域中的點在兩個或更高的散焦狀態下曝光。作為多重曝光的另一個示例，已知藉由鐳射光譜調整曝光(RELAX)方法的解析度增強。在RELAX方法中，鐳射光源的波長光譜被調整為在多個波長處具有光強度峰值。

在包括投影光學系統中殘留的縱向色差、彗形色差等光學特性的影響下，具有不同波長的光線分別在投影光學系統的光軸方向中的不同位置處形成影像。藉由調整鐳射光源的波長光譜，可以改變光軸方向中的成像位置，從而獲得擴大焦深的效果。

以這種方式，在RELAX方法中，藉由使用投影光學系統中殘留的縱向色差來獲得擴大焦深的效果；但是，除了縱向色差之外，諸如橫向色差和彗形色差之類的像差也殘留在投影光學系統中，並且這些像差可能導致成像性能的降低。

圖3是示出投影光學系統的橫向色差對成像性能的影響的示意圖。圖3示出了其中已透過原件25的照明光束穿過投影光學系統26並且到達基板27的狀態。在圖3中，描繪了來自原件25的軸上(on-axis)物點的光束31和來自原件25的離軸(off-axis)物點的光束32。來自軸上物點的光束31變成會聚在軸上像點處的光束33，並且來自離軸物點的光束32變成會聚在離軸像點處的光束35。

這裡，當來自原件25的光束的波長光譜包括多個峰時，即使對於從同一物點發射的光束，成像位置也根據波長而變化。這裡，假設波長光譜在第一波長處具有峰並且在與第一波長不同的第二波長處具有峰。

對於來自軸上物點的光束31，具有第一波長的光束(第一照明光)穿過投影光學系統26並變成光束33並會聚，並且具有第二波長的光束(第二照明光)在投影光學系統26的縱向色差的影響下變成光束34並會聚。光束33在光軸方向中的成像位置與光束34在光軸方向中的成像位置彼此不同。對於軸上光束，幾乎沒有橫向色差的影響，因此兩者的成像位置僅在光軸方向中不同。

另一方面，對於來自離軸物點的光束32，具有第一波長的光束穿過投影光學系統26並變成光束35並會聚，並且具有第二波長的光束在投影光學系統26的縱向色差和橫向色差的影響下變成光束36並會聚。光束35的成像位置與光束36的成像位置不僅在投影光學系統26的光軸方向中彼此不同，而且在與光軸方向垂直的方向中也彼此不同。換句

話說，在投影光學系統 26 的光軸方向和與光軸方向垂直的方向中，都在由光束 35 (第一照明光) 形成的圖案影像與由光束 36 (第二照明光) 形成的圖案影像之間產生位置偏差。

如上所述，對於離軸光束，連接第一照明光的聚光位置與第二照明光的聚光位置的直線不垂直於基板 27。因此，圖案影像相對於抗蝕劑傾斜地形成，結果在基板 27 上的穿透圖案中發生傾斜。圖案影像的傾斜主要與橫向色差 T 和縱向色差 L 的比率 T/L 成比例地發生。

因為由於橫向色差導致的圖案影像的位置偏差與像點和光軸之間的距離成比例，因此圖案影像的傾斜度隨著像點距光軸的距離而增加。

由於橫向色差導致的圖案傾斜發生在藉由橫向色差使影像偏移的方向中。換句話說，圖案的傾斜發生在相對於像平面和投影光學系統 26 的光軸之間的交點的輻射方向中。步進掃描曝光裝置 (掃描器) 藉由掃描狹縫狀的曝光區域來進行曝光。換句話說，投影光學系統 26 的像平面中的用於曝光的區域具有細長狹縫形狀。因此，橫向色差的影響如何出現，即圖案的傾斜如何出現，取決於圖案的方向而變化。具體而言，在相對於狹縫狀的曝光區域的橫向方向中延伸的圖案中發生傾斜，並且在縱向方向中延伸的圖案中不發生傾斜。注意的是，傾斜度取決於圖案的方向而變化。當圖案的傾斜度大於或等於可允許值時，它可能導致設備缺陷，並且成品率會降低。

在本實施例中，為了校正由於第一波長的光束的聚光

位置與第二波長的光束的聚光位置之間的位置偏差而導致的圖案影像的傾斜，照明光束的傾斜度被調整。在下文中，將調整照明光束的傾斜度的操作稱為遠心度調整。圖4示出了來自原件25的光束穿過投影光學系統26並且到達基板27的狀態。在圖4中，光線41、42、43分別表示照射原件25的照明光束的主光線。主光線41照射軸上物點。主光線42、43照射離軸物點。主光線43在投影光學系統26內如光線322所示行進、成為與基板27大致垂直的光線，並且到達像點。主光線42在投影光學系統26內如光線321所示行進、成為從與基板27垂直的方向傾斜的光線，並且到達像點。以這種方式，藉由改變進入原件25的主光線的傾斜度，可以調整會聚在基板27上的光束的傾斜度，從而獲得傾斜圖案影像的效果。換句話說，藉由適當控制RELAX方法的圖案影像的傾斜量和遠心調整的圖案影像的傾斜量，可以減少圖案的傾斜度。

圖5A至圖5C是示出藉由遠心度調整來減小圖案的傾斜度的圖。圖5A至圖5C各自示出了將由離軸光束形成的圖案影像的形狀。這些圖案影像是藉由類比獲得的。結果是在 $NA=0.55$ ， $\sigma=0.50$ 的照明條件下藉由類比獲得的，圖案具有直徑為200nm的溝槽，並且抗蝕劑厚度為4 μm 。這裡， σ 是參考照明光學系統110的數值孔徑(NA)與投影光學系統26的NA之間的比率的值。

圖5A示出了在遠心度未被調整的情況下的結果。圖5B示出了在遠心度被調整0.05的情況下的結果。圖5C示出

了遠心度被調整0.10的情況下的結果。

這裡，將遠心度調整0.05是指，在相對於投影光學系統26的光軸方向的傾斜角為 θ 的情況下，照明光束的傾斜度被調整 $\theta = \arctan 0.05$ 。如圖5A至圖5C中所示，看起來圖案的傾斜度隨著照明光束的傾斜度的增加而減小。

圖6是示出照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係的圖。圖案影像的傾斜度被描述為藉由對圖案影像的左右壁的中點進行線性回歸而獲得的直線的傾斜度。隨著照明光束的傾斜度增加，該直線的傾斜度減小，因此圖案影像的傾斜度減小。這裡，照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係是藉由模擬獲得的。替代地，可以根據實際圖案形成的結果來獲得這樣的關係。

照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係取決於圖案形狀而變化。這將參考圖7A至圖7C進行描述。圖7A至圖7C各自示出了由來自原件25中的離軸物點的光束形成的光強度分佈，並且各自示出了投影光學系統26的光瞳平面中的光強度分佈。圖7A示出了當藉由使用在波長光譜中具有一個峰的光束進行曝光時的光強度分佈。附圖標記54指示由投影光學系統26的孔徑光闌確定的光瞳。附圖標記51指示來自離軸物點的零階繞射光束。附圖標記52和53分別指示從由原件25的圖案繞射的照明光束形成的正一階和負一階繞射光束。

在圖7A中，零階繞射光束的光強度分佈位於光瞳中心處，並且光瞳周邊區域中的正一階和負一階繞射光束的遮

蔽(eclipses)也是雙邊對稱的，因此，即使在投影光學系統26中發生散焦時，也幾乎不會在像平面中出現圖案影像的位置偏差。換句話說，圖案影像幾乎不傾斜。

圖7B示出了從圖7A的狀態調整照明光束的傾斜度時的光強度分佈。由於使主光線傾斜地進入，因此光瞳平面中的零階繞射光束的光強度分佈55從光瞳中心偏移。由於光瞳周邊區域中的正一階和負一階繞射光束的遮蔽56、57是雙邊不對稱的，因此光瞳平面內的光強度分佈的對稱性降低。因此，當在投影光學系統26中已發生散焦時，在像平面中出現圖案影像的位置偏差，並且圖案影像傾斜。

繞射光束的發生方式根據原件25的圖案的形狀(例如，圖案節距、線與空間的比率、線和間隔圖案(line-and-space pattern)中的圖案的排列方向)而改變，並且光瞳周邊區域中的遮蔽也改變。因此，光瞳平面中的光強度分佈的不對稱性也改變，於是光強度質心也類似地改變。這意味著在投影光學系統26中發生散焦的情況下，在像平面中的圖案影像的位置偏差量發生差異。因此，看起來調整圖案傾斜度的容易度取決於原件25的圖案形狀而不同。

接下來，將參考圖8A至圖8C描述調整照明光束的遠心度的方法。圖8A至圖8C是簡化的圖，每個圖都示出了照明光學系統110的一部分。在圖8A至圖8C中，從光學積分器12到作為與原件25共軛的平面的共軛平面20a的光路被提取和示出。光學積分器12的出射平面和共軛平面20a經由聚光透鏡15成為影像和光瞳的關係(傅立葉轉換關

係)。

圖8A示出了從光學積分器12的一個點發射的光基本上垂直地進入共軛平面20a的基準狀態。在圖8A至圖8C中，聚光透鏡15被繪製成單個透鏡，並且實際上由多個透鏡製成。藉由移動構成聚光透鏡15的透鏡的一部分以進行變焦放大，可以改變整個聚光透鏡15的焦距。當聚光透鏡15的焦距與基準狀態相比縮短時，離軸光束進入共軛平面20a以接近光軸，如圖8B中所示。另一方面，當聚光透鏡15的焦距與基準狀態相比延長時，離軸光束進入共軛平面20a以移動遠離光軸，如圖8C中所示。

由於共軛平面20a是與被照射平面24(原件25)共軛的平面，因此該平面中的光強度分佈與被照射平面24(原件25)中的光強度分佈相同。

如上所述，藉由改變照明光學系統110中包括的透鏡的變焦放大狀態，可以調整被照射平面24(原件25)中的光強度分佈。換句話說，也可以調整照射原件25的主光線的傾斜度。以這種方式，藉由利用變焦機構連續地改變聚光透鏡15的焦距，也可以連續地調整主光線的傾斜量。

如圖8A至圖8C中所示，光線傾斜度的變化隨著距光軸的距離而增加，並且由於投影光學系統26的橫向色差而出現的圖案影像的傾斜也隨著與光軸的距離而增加。因此，為了調整由於橫向色差導致的圖案影像的傾斜度，如圖8A至圖8C中所示的改變變焦放大狀態的方法是合適的。

接下來，將參考圖9描述藉由控制投影光學系統26的孔徑光闌261來調整圖案影像的傾斜度的方法。圖9示出了來自原件25的光束穿過投影光學系統26並且到達基板27的狀態。附圖標記811表示照射軸上物點的光束81的主光線。附圖標記82表示從離軸物點發射並到達離軸像點的光束。

照射軸上物點的光束81的主光線811和照射離軸物點的光束82的主光線821大致垂直地進入原件25，並且也大致垂直地進入基板27。關於穿過孔徑光闌261的端部的邊緣光線，正側邊緣光線822和負側邊緣光線823以大致相同的人射角進入基板27。因此，形成在抗蝕劑中的圖案影像幾乎不傾斜。

這裡，如圖4中所示，當調整遠心度以校正圖案的傾斜度時，照射離軸物點的光束82的主光線831以相對於光軸的傾斜方向進入原件25，並且也以相對於光軸的傾斜方向進入基板27。藉由將孔徑光闌261的位置從A移動到B並且附加地改變孔徑光闌261的孔徑來確定邊緣光線的光路。如圖9中所示，正側邊緣光線832和負側邊緣光線833以相互不同的角度進入基板27。藉由適當地設定孔徑光闌261的位置和孔徑，能夠使主光線831與正側邊緣光線832之間形成的角度以及主光線831與負側邊緣光線833之間形成的角度基本相同。藉由以這種方式適當地設定邊緣光線的光路，可以在維持圖案影像的均勻性的同時控制圖案影像的傾斜度。

將參考圖 7C 描述當控制投影光學系統 26 的孔徑光闌 261 的位置和孔徑時投影光學系統 26 的光瞳平面中的光強度分佈。與圖 7B 的情況一樣，由於使主光線傾斜地進入，因此光瞳平面中的零階繞射光束的光強度分佈 58 從光瞳中心偏移。由於孔徑光闌 261 的位置改變，因此光瞳區域從區域 54 偏移到區域 61。結果，相對於零階繞射光束的光強度分佈，光瞳周邊區域中的正一階和負一階繞射光束的遮蔽 59、60 是雙邊對稱的。當將圖 7A 和圖 7C 相互比較時，光瞳平面中的整個光強度已經偏移，並且形成在抗蝕劑中的圖案在垂直於投影光學系統 26 的光軸方向的方向中偏移。

圖 10A 至圖 10D 是示出藉由調整遠心度和調整孔徑光闌 261 來減小圖案影像的傾斜度的圖。圖 10A 至圖 10D 各自示出了要由離軸光束形成的圖案影像的形狀。這些圖案影像是藉由類比獲得的。結果是在 $NA=0.55$ ， $\sigma=0.50$ 的照明條件下藉由類比獲得的，圖案具有直徑為 200nm 的溝槽，並且抗蝕劑厚度為 $4\mu\text{m}$ 。圖 10A 示出了在遠心度和孔徑光闌 261 未被調整的情況下的結果。圖 10B 示出了在遠心度被調整 0.05 並且孔徑光闌 261 被相應地調整的情況下的結果。圖 10C 示出了在遠心度被調整 0.10 並且孔徑光闌 261 被相應地調整的情況下的結果。圖 10D 示出了在遠心度被調整 0.15 並且孔徑光闌 261 被相應地調整的情況下的結果。

看起來圖案的傾斜度隨著照明光束的傾斜度的增加而減小。

圖 11 是示出照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係的圖。圖案影像的傾斜度被描述為藉由對圖案影像的左右壁的中點進行線性回歸而獲得的直線的傾斜度。隨著照明光束的傾斜度增加，直線的傾斜度減小，因此圖案影像的傾斜度減小。這裡，照明光束的傾斜度與圖案影像的傾斜度之間的關係是藉由模擬獲得的。替代地，可以根據實際圖案形成的結果來獲得這樣的關係。

如上所述，利用本實施例的曝光裝置，藉由適當地設定照射圖案的照明光束的傾斜度，可以有效地減小形成在抗蝕劑膜中的圖案影像的傾斜度。

修改例

在圖 9 中，改變孔徑光闌 261 的位置。替代地，也可以準備多個孔徑光闌，並且在位置 A 和位置 B 處分別部署孔徑可變的孔徑光闌。當使光束大致垂直地進入原件 25 時，增大在位置 B 處部署的孔徑光闌的直徑以防止光線中的遮蔽，並且適當地設定在位置 A 處部署的孔徑光闌的直徑。當使光束傾斜地進入原件 25 時，增大在位置 A 處部署的孔徑光闌的直徑以防止光線中的遮蔽，並且適當地設定在位置 B 處部署的孔徑光闌的直徑。

曝光裝置中的曝光模式

用於諸如記憶體和影像拾取元件之類的半導體設備的製造處理包括在基板上形成圖案層的處理。在該處理中，

藉由使用曝光裝置在抗蝕劑中形成圖案影像，並藉由蝕刻等形成包括溝槽的圖案層。所使用的抗蝕劑的厚度可以取決於要形成的圖案層而不同，並且曝光裝置的投影光學系統中使用的焦深也根據抗蝕劑的厚度而不同。當抗蝕劑的厚度厚時，可以藉由RELAX方法等的多重曝光來進行圖案形成。在RELAX方法中，需要控制鐳射光源的振盪狀態，以在多個波長處具有光強度峰。另一方面，當抗蝕劑的厚度薄時，控制鐳射光源的振盪狀態以在單一波長處具有光強度峰。

以這種方式，由於投影光學系統的焦深等需要針對要在基板上形成的各個層進行改變，因此曝光裝置中的曝光模式能夠根據需要進行切換。例如，可設想根據曝光模式切換鐳射光源的振盪狀態。為了切換鐳射光源的振盪狀態，在光源中設置能夠切換振盪狀態的機構。曝光裝置能夠根據設定曝光執行期間的各種參數的配方來切換鐳射光源的振盪狀態。

例如，曝光模式能夠在第一模式和第二模式之間切換。第一模式是藉由控制鐳射光源的振盪狀態以在單一波長(基準波長)處具有光強度峰來執行曝光的模式。第二模式是利用包括具有與基準波長不同的第一波長的第一照明光和具有與基準波長或第一波長不同的第二波長的第二照明光的照明光執行曝光的模式。藉由改變第二模式中離軸光束對原件的入射角和第一模式中離軸光束對原件的入射角，可以減少在第二模式中圖案影像的傾斜的發生。

當在第二模式中執行基於RELAX方法的曝光時，指定與光強度峰和波長差對應的多個波長的值，因此這些參數可以被設定為配方的設定項目之一。為了針對基於RELAX方法的曝光來調整照明光束的傾斜度和孔徑光闌，可以將曝光裝置配置為藉由使用配方自動執行調整，或者可以要求用戶確定是否執行調整。當曝光裝置自動執行調整時，調整量是考慮到圖案的特徵、照明光束的遠心度等來確定的。此時，可以將曝光裝置配置為能夠獲取關於原件的圖案的特徵的資訊。

產品的製造方法

將描述藉由使用本實施例中典型的曝光裝置來製造半導體設備(記憶體或光電轉換設備，諸如影像拾取元件)的方法。本實施例的曝光裝置適用於包括厚膜處理在內的用於半導體設備的製造方法。在影像拾取元件(光源轉換設備)中形成像素分離部分的處理是厚膜處理的示例。

在下文中，將參考圖12描述在影像拾取元件的製造處理中形成像素分離部分的處理。在步驟S101中，製備具有作為相互對立表面的第一表面S1和第二表面S2的半導體基板101。半導體基板101通常為矽基板或矽層。隨後，在步驟S102中，在半導體基板101的第一表面S1上形成絕緣膜(例如，氧化矽膜)102。

隨後，在步驟S103中，抗蝕劑103被施加在半導體基板101的第一表面S1上，更具體而言，在半導體基板101的

第一表面 S1 上的絕緣膜 102 上。此外，在步驟 S104 中，如上述實施例中所述，藉由在調整照明光束的傾斜度的狀態下執行曝光操作，在抗蝕劑 103 中形成圖案影像，並藉由蝕刻等形成凹槽(溝槽)104。藉由減小要在抗蝕劑 103 中形成的圖案影像的傾斜度，可以形成具有減小的傾斜度的凹槽 104。

隨後，在步驟 S105 中，藉由利用乾蝕刻法等對半導體基板 101 進行蝕刻，在半導體基板 101 的第一表面 S1 上形成凹槽 105。為了在該蝕刻中保護半導體基板 101 的第一表面 S1，期望厚塗抗蝕劑 103。

隨後，在步驟 S106 中，去除抗蝕劑 103，然後藉由經由凹槽 105 向半導體基板 101 注入離子，形成吸雜區域 106。換句話說，在步驟 S106 中，在半導體基板 101 的第一表面 S1 的除了存在凹槽 105 的區域之外的區域被用絕緣膜 102 掩蔽的狀態下，將離子藉由凹槽 105 注入到半導體基板 101 中。每個吸雜區域 106 可以包括位於凹槽 105 底部下方的第一部分和位於凹槽 105 側面的第二部分。在示例中，第一部分中第 14 族元素的濃度高於第二部分中第 14 族元素的濃度。當半導體基板 101 是矽基板時，離子可以是除矽之外的第 14 族元素的離子。離子注入設備用於注入離子。可以確定注入離子的加速能量，使得離子不穿透作為硬遮罩的絕緣膜 102 並到達半導體基板 101。例如，在當注入離子時絕緣膜 102 的厚度為 300nm 的情況下，在加速能量為大約 20keV 時，離子幾乎不會穿透絕緣膜 102。

當半導體基板 101 是矽基板時，作為要在步驟 S106 中注入到半導體基板 101 中的離子的成分的材料適當地是碳。替代地，可以採用作為包含碳的分子的烴。當半導體基板 101 是矽基板時，作為要在步驟 S106 中注入到半導體基板 101 中的離子的成分的材料可以是鍺、錫或鉛。藉由將碳、鍺、錫或鉛的離子注入到用作半導體基板 101 的矽基板中，可以在矽基板中賦予局部應變並且使矽基板用作吸雜位點。藉由經由凹槽 105 將離子注入到半導體基板 101 中，即使用相對低的加速能量也能夠在半導體基板 101 的深位置處形成吸雜區域 106。

隨後，在步驟 S107 中，去除絕緣膜 102。在步驟 S108 中，藉由成膜方法(例如低壓 CVD 等)在凹槽 105 中以及半導體基板 101 的第一表面 S1 上形成絕緣膜(例如，氮化矽膜)107，使得絕緣體部署或填充在凹槽 105 中。隨後，在步驟 S109 中，藉由 CMP 等去除存在於半導體基板 101 的第一表面 S1 上的部分絕緣膜 107。因此，存在於凹槽 105 中的部分絕緣膜 107 保留為部署或填充在凹槽 105 中的像素分離部分 108。

不一定要執行步驟 S108 和步驟 S109。當不執行步驟 S108 和步驟 S109 時，凹槽 105 保留為氣隙，並且氣隙可以用作像素分離部分。部署在每個凹槽 105 中的像素分離部分 108 不需要完全填充凹槽 105，並且在凹槽 105 中可以存在氣隙。像素分離部分 108 可以僅由絕緣體構成，並且也可以是絕緣體和非絕緣體(半導體或導體)的組合結構。在

這種情況下，為了避免非絕緣體和半導體基板 101 之間的接觸，可以在非絕緣體和半導體基板 101 之間部署絕緣體。

如上所述，像素分離部分 108 藉由在半導體基板 101 中形成凹槽 105 的第一形成步驟和在凹槽 105 中形成像素分離部分 108 的第二形成步驟形成。之後，在多個像素分離部分之間的區域中形成電荷儲存區域、柵電極等，從而製成影像拾取元件。

雖然已經參考實施例描述了本發明，但是應該理解的是，本發明不限於所公開的實施例，而是由所附各請求項的範圍限定。

【符號說明】

1:光源

1b:光軸

2:中繼光學系統

5:出射角保持光學元件光學元件

6:繞射光學元件

7:聚光透鏡

8:遮光構件

9:傅立葉轉換平面

10:稜鏡單元

11:變焦透鏡單元

12:光學積分器

- 13:光 闌
- 14:光 瞳 平 面
- 15:聚 光 透 鏡
- 16:半 反 射 鏡
- 17:光 強 度 測 量 光 學 系 統
- 18:感 測 器
- 19:遮 光 單 元
- 20:掩 蔽 單 元
- 20a:共 軛 平 面
- 21:聚 光 透 鏡
- 22:反 射 鏡
- 23:準 直 透 鏡
- 24:被 照 射 平 面
- 25:原 件
- 26:投 影 光 學 系 統
- 26a:光 瞳 平 面
- 27:基 板
- 28:基 板 台
- 29:原 件 台
- 31:光 束
- 32:光 束
- 33:光 束
- 34:光 束
- 35:光 束

- 36:光 束
- 41:(主)光 線
- 42:(主)光 線
- 43:(主)光 線
- 50:控 制 單 元
- 51:零 階 繞 射 光 束
- 52:正 一 階 繞 射 光 束
- 53:負 一 階 繞 射 光 束
- 54:光 瞳
- 55:光 強 度 分 佈
- 56:遮 蔽
- 57:遮 蔽
- 58:光 強 度 分 佈
- 59:遮 蔽
- 60:遮 蔽
- 61:區 域
- 81:光 束
- 82:光 束
- 100:曝 光 裝 置
- 101:半 導 體 基 板
- 102:絕 緣 膜
- 103:抗 蝕 劑
- 104:凹 槽
- 105:凹 槽

- 106:吸雜區域
- 107:絕緣膜
- 108:像素分離部分
- 110:照明光學系統
- 261:孔徑光闌
- 321:光線
- 322:光線
- 811:主光線
- 821:主光線
- 822:正側邊緣光線
- 823:負側邊緣光線
- 831:主光線
- 832:正側邊緣光線
- 833:負側邊緣光線
- S1:第一表面
- S2:第二表面

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種曝光裝置，藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光，所述曝光裝置包括：

照明光學系統，被佈置為將照明光引導到所述原件，所述照明光包括具有第一波長的第一照明光和具有與所述第一波長不同的第二波長的第二照明光；以及

投影光學系統，被佈置為在所述投影光學系統的光軸方向中的多個位置處，藉由使用所述照明光形成所述原件的圖案影像，

其中所述照明光學系統被配置為藉由改變進入所述原件的所述照明光的入射角，來調整由所述第一照明光形成的圖案影像與由所述第二照明光形成的圖案影像之間在垂直於所述光軸方向的方向中的位置偏差，和

其中所述第一照明光和所述第二照明光中的每一個，是相對於從光源振盪的具有基準波長的光在波長上偏移的光。

【請求項2】根據請求項1所述的曝光裝置，其中所述照明光學系統被配置為根據所述投影光學系統的光學特性來改變所述入射角。

【請求項3】根據請求項2所述的曝光裝置，其中所述光學特性是橫向色差。

【請求項4】根據請求項2所述的曝光裝置，其中所述光學特性是彗形像差。

【請求項5】根據請求項3所述的曝光裝置，其中入射

角被改變，以減小由於所述投影光學系統的橫向色差導致的位置偏差。

【請求項6】根據請求項4所述的曝光裝置，其中所述入射角被改變，以減小由於所述投影光學系統的所述彗形像差導致的位置偏差。

【請求項7】根據請求項1所述的曝光裝置，其中所述圖案是線和間隔圖案，並且所述位置偏差是在圖案的排列方向中發生的位置偏差。

【請求項8】根據請求項1所述的曝光裝置，其中藉由改變所述照明光學系統中包括的光學元件的位置，來控制所述入射角。

【請求項9】根據請求項1所述的曝光裝置，其中所述投影光學系統中包括孔徑光闌，並且藉由改變所述孔徑光闌的位置和孔徑的大小中的至少一個，來改變照射基板的光的入射角。

【請求項10】根據請求項1所述的曝光裝置，其中所述第一照明光的所述波長和所述第二照明光的所述波長，根據所述圖案的形狀來確定。

【請求項11】一種曝光裝置，所述曝光裝置藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光，並且能夠在第一模式和第二模式之間切換，其中所述第一模式藉由使用具有基準波長的照明光來執行曝光，並且第二模式藉由使用包括具有與所述基準波長不同的第一波長的第一照明光和具有與所述基準波長或所述第一波長不同的第二波長的第

二照明光的照明光來執行曝光，

其中所述裝置被配置為使得：在所述第一模式中進入所述原件的具有所述基準波長的所述照明光的入射角與在所述第二模式中進入所述原件的所述第二照明光的入射角不同，和

其中所述第一照明光和所述第二照明光中的每一個，是相對於從光源振盪的具有基準波長的光在波長上偏移的光。

【請求項 12】 根據請求項 11 所述的曝光裝置，其中藉由改變所述第二模式中所述第二照明光的所述入射角，使得在所述第一模式中進入所述原件的具有所述基準波長的所述照明光的所述入射角與在所述第二模式中進入所述原件的所述第二照明光的所述入射角不同。

【請求項 13】 一種曝光方法，所述曝光方法藉由使用其中形成有圖案的原件對基板進行曝光，所述曝光方法包括以下步驟：

用照明光照射所述原件，所述照明光包括具有第一波長的第一照明光和具有與所述第一波長不同的第二波長的第二照明光；

使用投影光學系統在所述投影光學系統的光軸方向中的多個位置處藉由使用所述照明光來形成所述原件的圖案影像；

調整進入所述原件的照明光的入射角，以減少由所述第一照明光形成的圖案影像與由所述第二照明光形成的圖

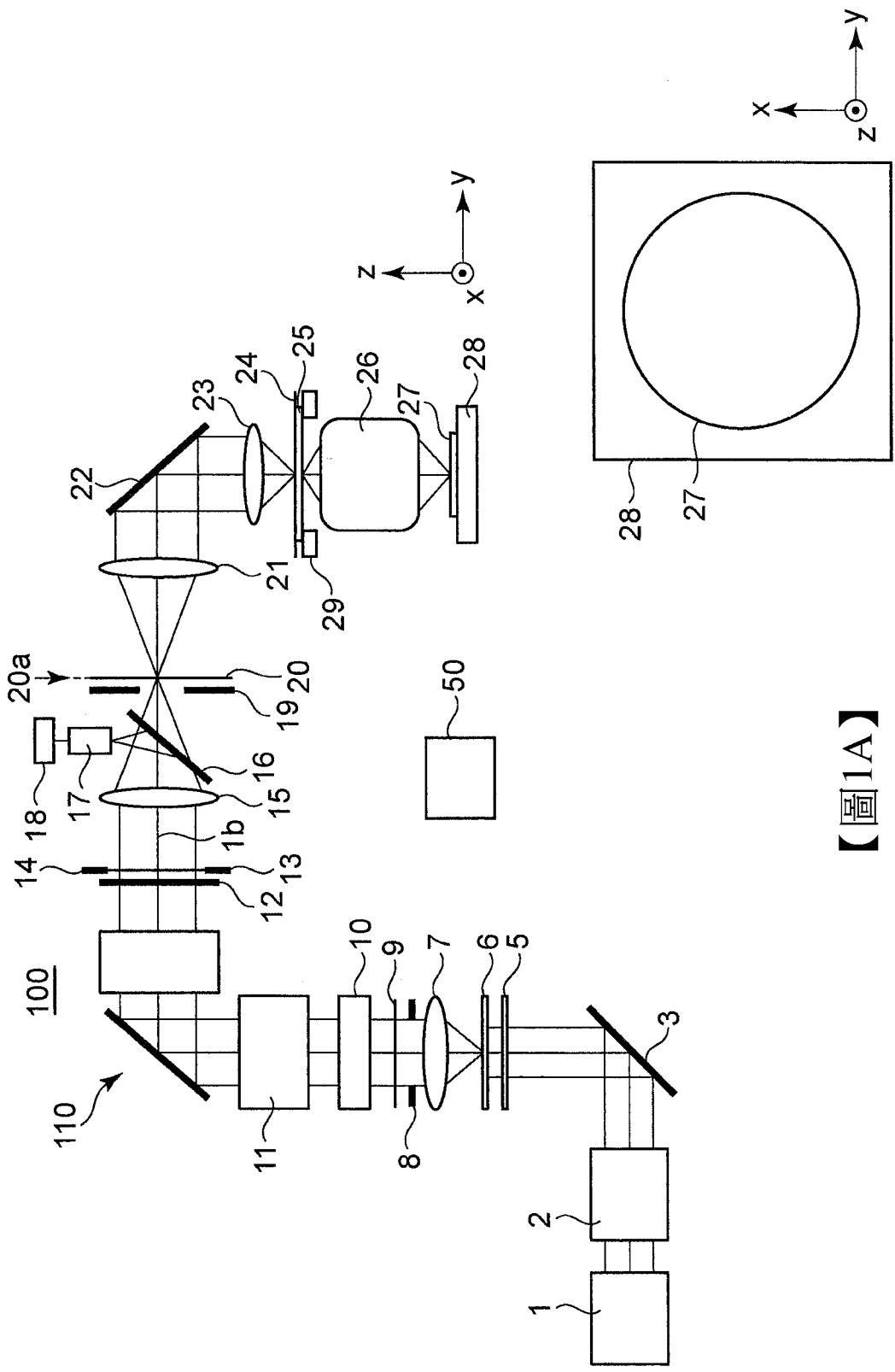
案影像之間在垂直於所述光軸方向的方向中的位置偏差，

其中所述第一照明光和所述第二照明光中的每一個，是相對於從光源振盪的具有基準波長的光在波長上偏移的光。

【請求項 14】 一種半導體設備的製造方法，所述製造方法包括：使用根據請求項 13 的曝光方法在基板中形成凹槽的第一形成步驟；以及在凹槽中形成像素分離部分的第二形成步驟。

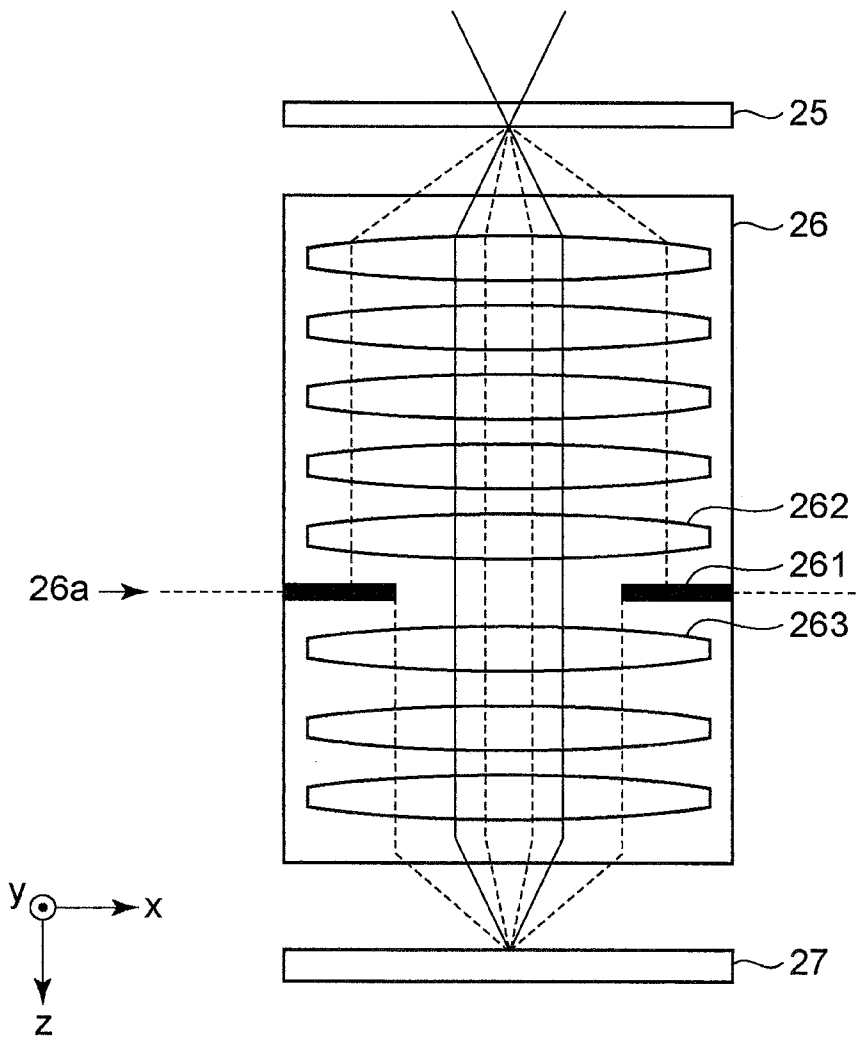
【請求項 15】 一種電腦程式，當在電腦上運行時，使所述電腦控制曝光裝置以執行根據請求項 13 所述的曝光方法。

【發明圖式】

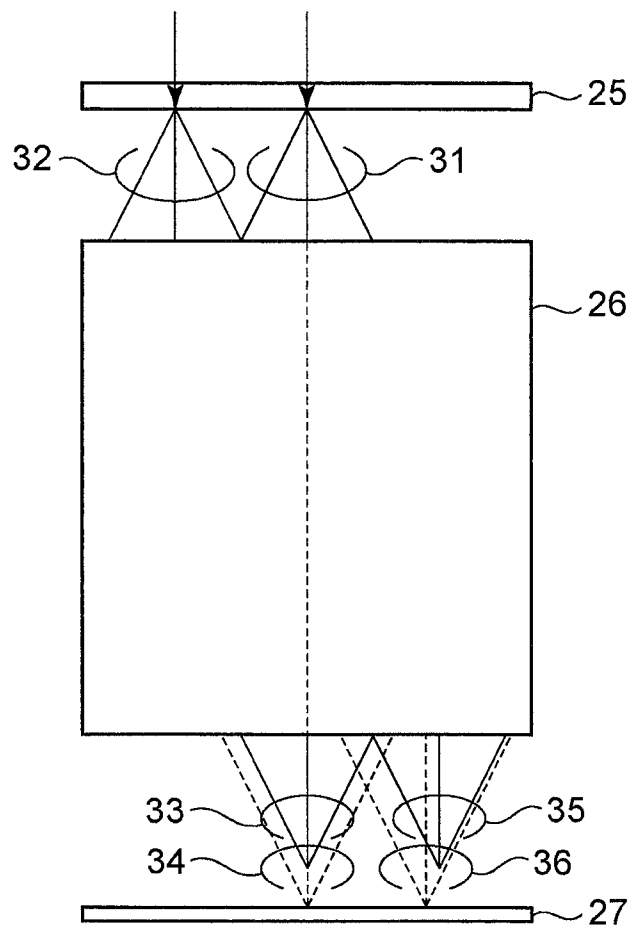


【圖1A】

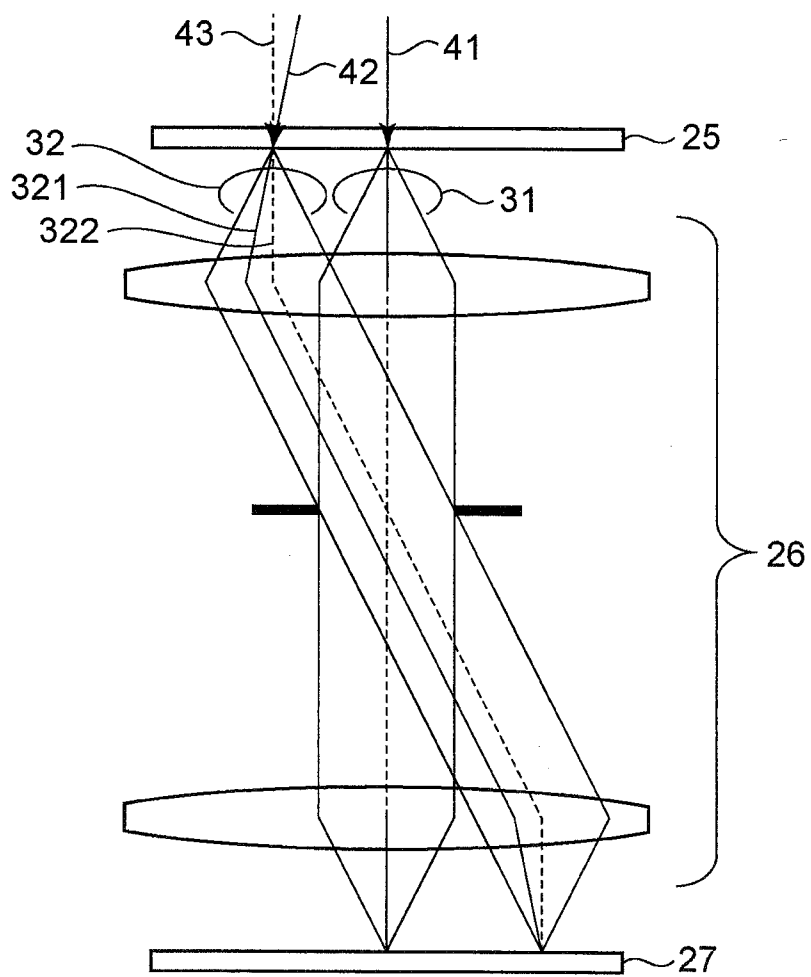
【圖1B】



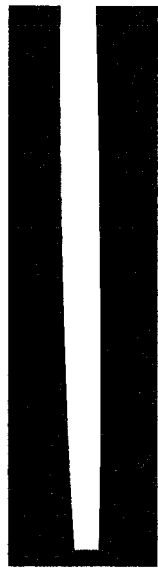
【圖 2】



【圖3】



【圖 4】



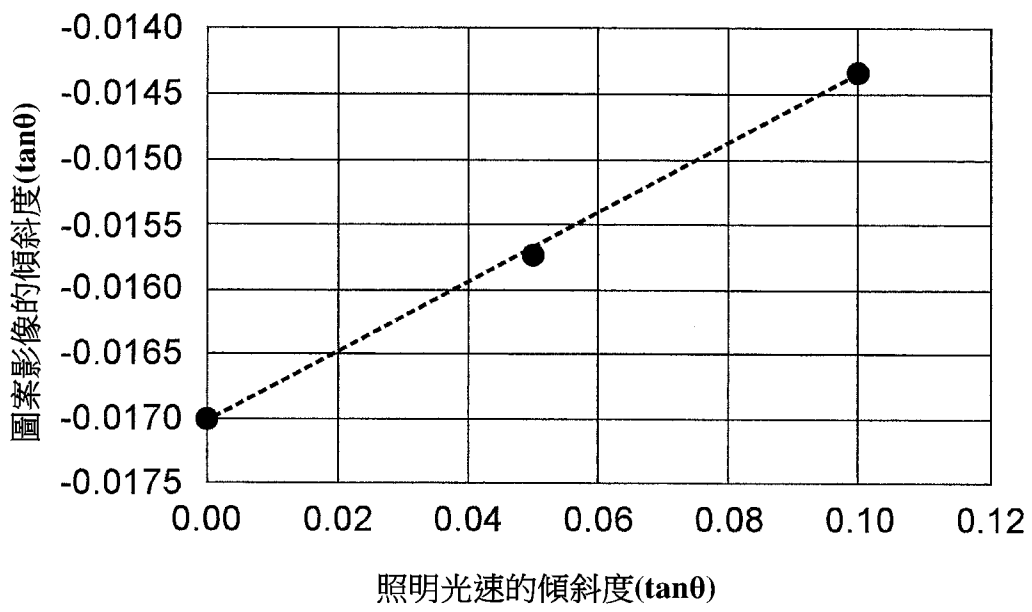
【圖 5A】



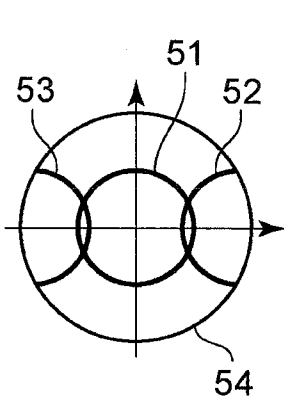
【圖 5B】



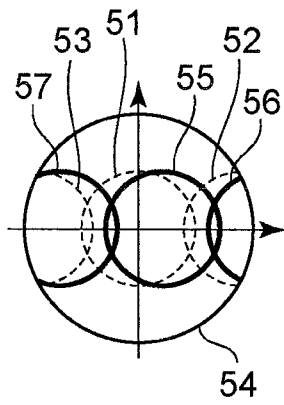
【圖 5C】



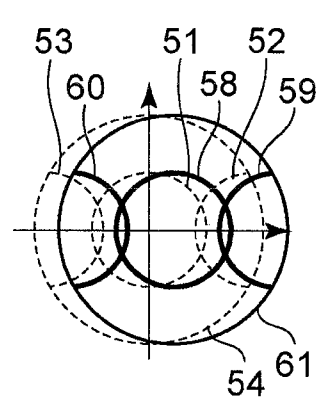
【圖6】



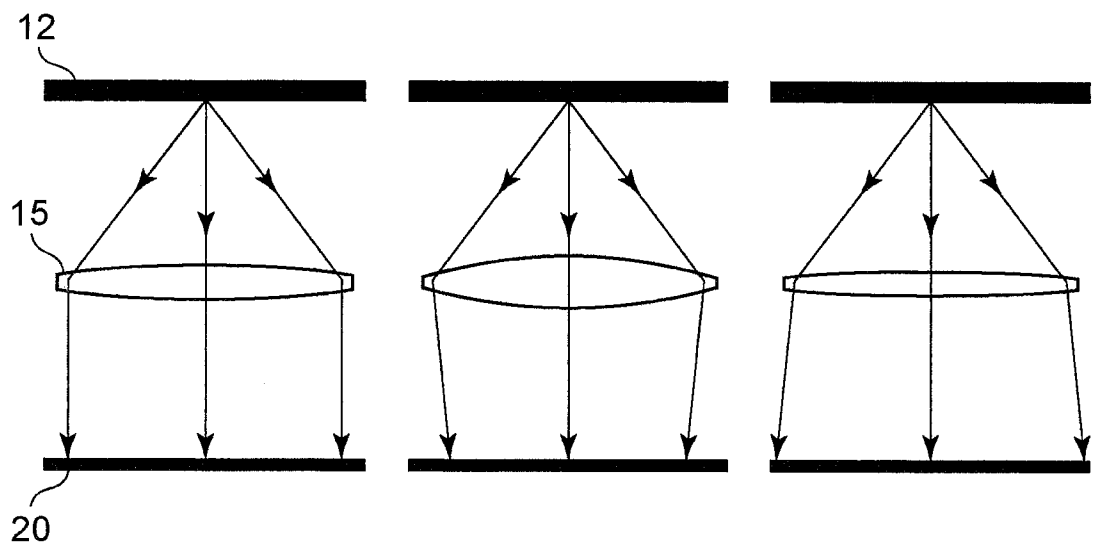
【圖 7A】



【圖 7B】



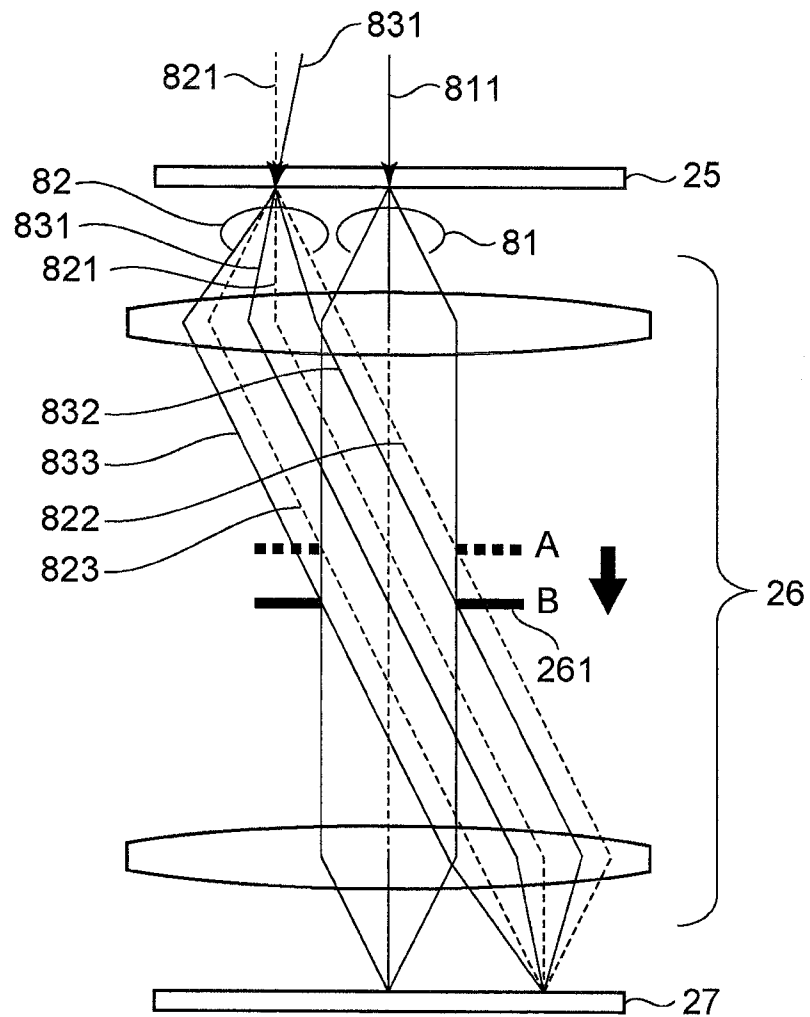
【圖 7C】



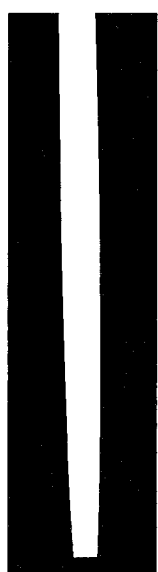
【圖 8A】

【圖 8B】

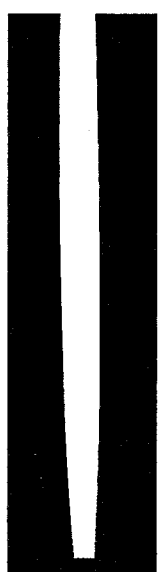
【圖 8C】



【圖 9】



【圖 10A】



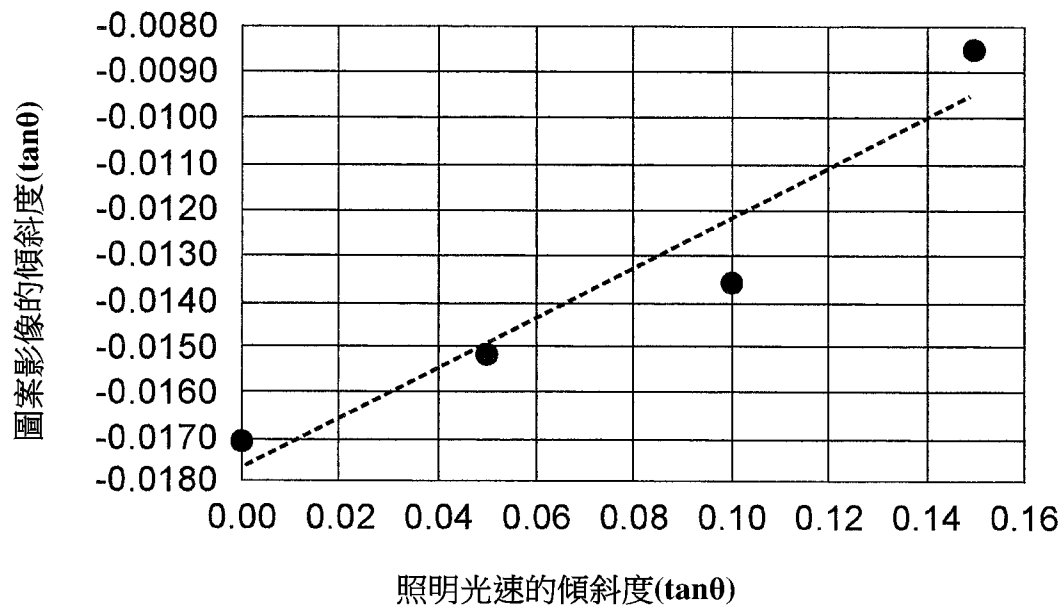
【圖 10B】



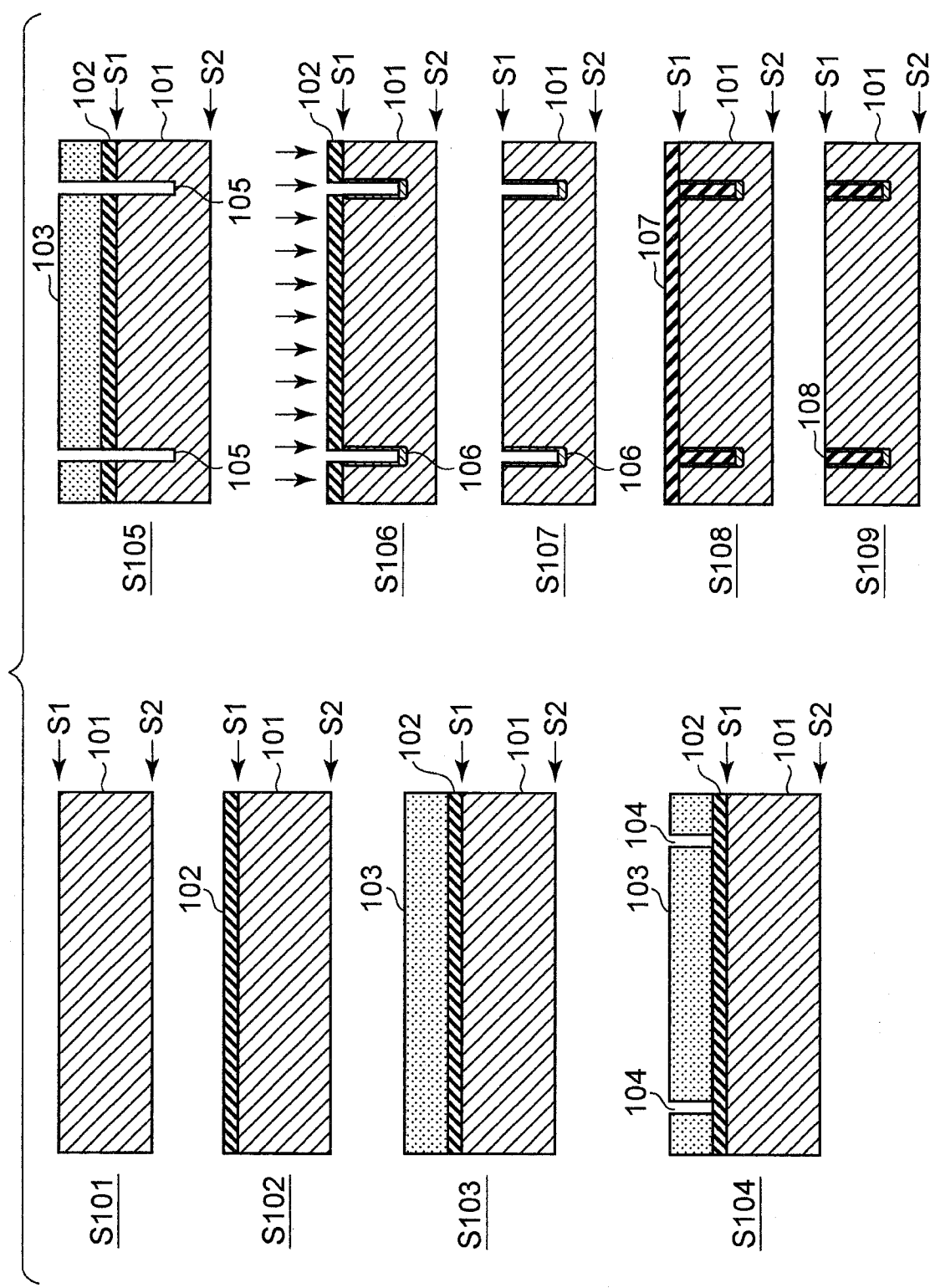
【圖 10C】



【圖 10D】



【圖11】



【圖12】