



(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 I511179 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：100136531

(22)申請日：中華民國 93 (2004) 年 10 月 15 日

(51)Int. Cl. : H01L21/027 (2006.01)

G03F7/20 (2006.01)

G02B27/28 (2006.01)

(30)優先權：2003/10/28 日本

2003-367963

(71)申請人：尼康股份有限公司 (日本) NIKON CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：白石直正 SHIRAISHI, NAOMASA (JP)

(74)代理人：詹銘文

(56)參考文獻：

JP 6-53120A

JP 2001-135560A

US 6191880B1

US 6252712B1

US 2002/0085676A1

審查人員：陳柏雅

申請專利範圍項數：36 項 圖式數：11 共 69 頁

(54)名稱

照明光學裝置、曝光裝置、曝光方法以及元件製造方法

OPTICAL ILLUMINATION DEVICE, EXPOSURE DEVICE, EXPOSURE METHOD AND DEVICE
MANUFACTURING METHOD

(57)摘要

本發明提供一種投影曝光裝置，在以規定的偏光(optical polarization)狀態之照明光來照明光罩(mask)之際，可使光量損失減少。此投影曝光裝置具有照明光學系統 ILS 與投影光學系統 PL。其中，照明光學系統 ILS 係以照明光 IL 來照射光柵(reticle)R，投影光學系統 PL，係將光柵 R 之圖案的像投影於晶圓(wafer)W 上。在照明光學系統 ILS 中，從曝光光源 1 以直線偏光狀態所射出之照明光 IL，係通過進相軸之方向相異的第一及第二複折射構件 12、13，大略在特定環帶狀之領域以光軸為中心之圓周方向上實質上變換成直線偏光之偏光狀態後，經複眼透鏡 14 等以環帶照明條件來照明該光柵 R。

A projection exposure device is provided, which is capable of decreasing light loss as the emitted light illuminates a mask in a prescribed polarization state. The projection exposure device contains an optical illumination system ILS and an optical projection system PL. The optical illumination system ILS illuminates a reticle R with the emitted light IL. The projection optical system PL projects the pattern image of the reticle R onto a wafer W. In the optical illumination system ILS, the light IL in a line polarization state and emitted from an exposure light source 1 passes through 1st and 2nd birefringence elements 12, 13 which have different directions of phase advanced axes, and in a specified annular region, the emitted light IL is converted into a line polarization state in a circumferential direction with the optical axis as the center, then the emitted light IL passes through a fly-eyes lens 14 etc. and illuminates the reticle R in annular illumination condition.

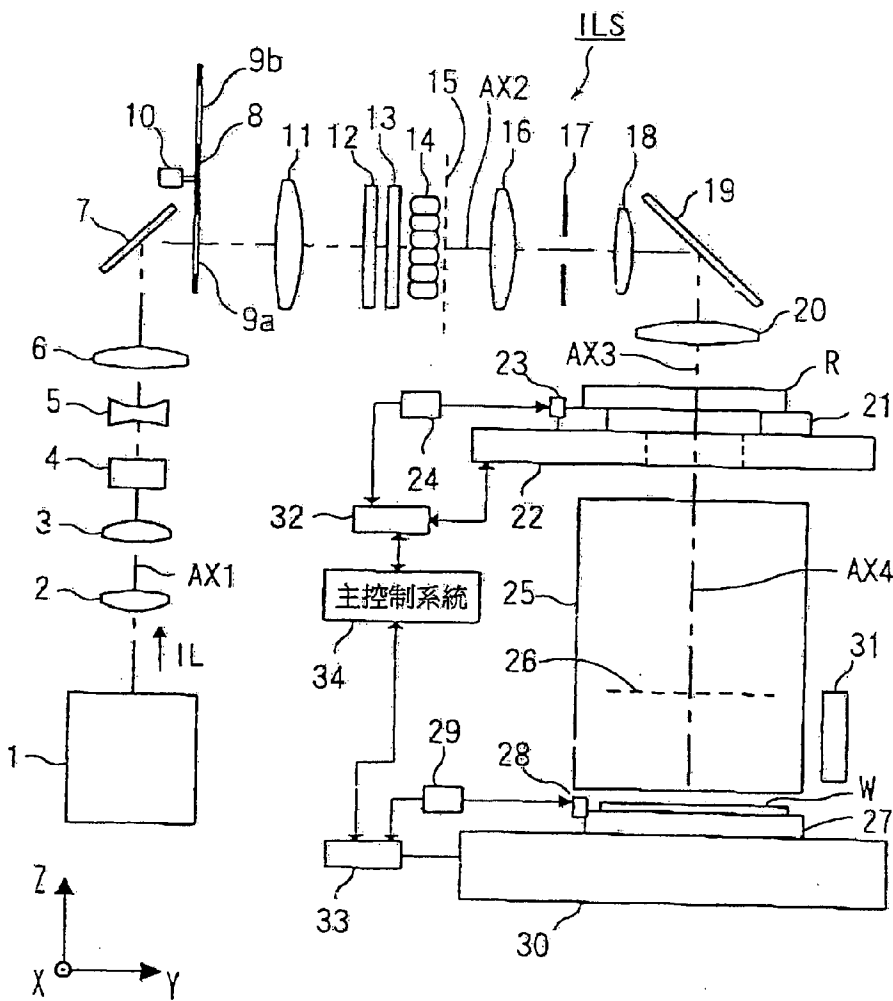


圖 1

- 1 . . . 曝光光源
- 2、3、11、16 . . . 中繼透鏡
- 4 . . . 偏光控制構件
- 5 . . . 凹透鏡變焦光學系統
- 6 . . . 凸透鏡變焦光學系統
- 7、19 . . . 鏡面
- 8 . . . 小塔狀構件
- 9a、9b . . . 繞射光學元件
- 10 . . . 交換機構
- 12、13 . . . 複折射構件
- 14 . . . 複眼透鏡
- 15、26 . . . 瞳面
- 17 . . . 視野光圈
- 18、20 . . . 聚焦透鏡
- 21 . . . 光柵機台
- 22 . . . 光柵基部
- 23、28 . . . 移動鏡
- 24、29 . . . 雷射干涉儀
- 25 . . . 投影光學系統
- 27 . . . 晶圓機台
- 30 . . . 晶圓基部
- 31 . . . 定位感應器
- 32 . . . 光柵機台驅動系統
- 33 . . . 晶圓機台驅動系統
- 34 . . . 主控制系統
- IL . . . 照明光(曝光光)
- ILS . . . 照明光學系統

AX1、AX2、
AX3 . . . 照明系統
光軸
AX4 . . . 投影光學
系統光軸
R . . . 光柵
W . . . 晶圓

公告本

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：100136531

※ 申請日期：93.10.15

原申請案號：93131323

※IPC 分類：H01L 21/27 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
G02B 27/28 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

照明光學裝置、曝光裝置、曝光方法以及元件製造方法
OPTICAL ILLUMINATION DEVICE, EXPOSURE
DEVICE, EXPOSURE METHOD AND DEVICE
MANUFACTURING METHOD

二、中文發明摘要：

本發明提供一種投影曝光裝置，在以規定的偏光(optical polarization) 狀態之照明光來照明光罩(mask)之際，可使光量損失減少。此投影曝光裝置具有照明光學系統 ILS 與投影光學系統 PL。其中，照明光學系統 ILS 係以照明光 IL 來照射光柵(reticle)R，投影光學系統 PL，係將光柵 R 之圖案的像投影於晶圓(wafer)W 上。在照明光學系統 ILS 中，從曝光光源 1 以直線偏光狀態所射出之照明光 IL，係通過進相軸之方向相異的第一及第二複折射構件 12、13，大略在特定環帶狀之領域以光軸為中心之圓周方向上實質上變換成直線偏光之偏光狀態後，經複眼透鏡 14 等以環帶照明條件來照明該光柵 R。

三、英文發明摘要：

A projection exposure device is provided, which is capable of decreasing light loss as the emitted light illuminates a mask in a prescribed polarization state. The projection exposure device contains an optical illumination system ILS and an optical projection system PL. The optical illumination system ILS illuminates a reticle R with the emitted light IL. The projection optical system PL projects the pattern image of the reticle R onto a wafer W. In the optical illumination system ILS, the light IL in a line polarization state and emitted from an exposure light source 1 passes through 1st and 2nd birefringence elements 12, 13 which have different directions of phase advanced axes, and in a specified annular region, the emitted light IL is converted into a line polarization state in a circumferential direction with the optical axis as the center, then the emitted light IL passes through a fly-eyes lens 14 etc. and illuminates the reticle R in annular illumination condition.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖（ 1 ）。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 1：曝光光源
- 2、3、11、16：中繼透鏡
- 4：偏光控制構件
- 5：凹透鏡變焦光學系統
- 6：凸透鏡變焦光學系統
- 7、19：鏡面
- 8：小塔狀構件
- 9a、9b：繞射光學元件
- 10：交換機構
- 12、13：複折射構件
- 14：複眼透鏡
- 15、26：瞳面
- 17：視野光圈
- 18、20：聚焦透鏡
- 21：光柵機台
- 22：光柵基部
- 23、28：移動鏡
- 24、29：雷射干涉儀
- 25：投影光學系統
- 27：晶圓機台
- 30：晶圓基部
- 31：定位感應器

32：光柵機台驅動系統

33：晶圓機台驅動系統

34：主控制系統

IL：照明光(曝光光)

ILS：照明光學系統

AX1、AX2、AX3：照明系統光軸

AX4：投影光學系統光軸

R：光柵

W：晶圓

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於製造例如半導體積體電路(LSI 等),攝影元件、或液晶顯示器等之各種元件的微影(Li-thography)製程所使用之一種曝光技術,更詳細而言,本發明係關於以規定之偏光狀態的光來照明光罩圖案(mask pattern)的曝光技術。又,本發明係有關於以使用其曝光技術的元件製造技術。

【先前技術】

在形成半導體積體電路或液晶顯示器等之電子元件的微細圖案之際,係使用應該形成之圖案以 4~5 倍程度加以比例放大所描繪的作為光罩(mask)用之光柵(reticle)(或光罩(photomask)等)的圖案,使圖案經由投影光學系統而在作為被曝光基板(感光體)用之晶圓(wafer)(或玻璃板等)上予以縮小且進行曝光轉印的方法。在圖案的曝光轉印之際,係使用步進式(step)等之靜止曝光型及掃描步進式(scanning step)等之掃描曝光型的投影曝光裝置。投影光學系統之解像度,係比例於將曝光波長除以投影光學系統之數值孔徑(NA)後所得之值。投影光學系統之數值孔徑(NA),係將曝光用之照明光向晶圓之最大入射角的正弦(Sin)乘上該照明光的光束通過之介質的折射率後所得者。

因此,為對應於半導體積體電路等之微細化,投影曝光裝置之曝光波長已予以更短波長化。現在,曝光波長雖係以 KrF 準分子雷射(excimer laser)之 248nm 為主流,

但更短波長之 ArF 準分子雷射的 193nm 也正在進入實用化之階段。然後，也正進行提案以使用更短波長之波長 157nm 的 F₂ 雷射或波長 126nm 的 Ar₂ 雷射等的所謂真空紫外域之曝光光源的投影曝光裝置。又，不僅藉由短波長化，亦可藉由投影光學系統之大數值孔徑化（大 NA 化）來達成高解像度化，所以正在進行使投影光學系統的 NA 更大化的開發，現在最先進的投影光學系統之 NA 為 0.8 左右。

另一方面，雖然使用同一曝光波長，同一 NA 的投影光學系統，對於提昇所轉印之圖案的解像度，亦可使用所謂移相光柵(phase shift reticle) 之方法或亦可使照明光之向光柵的入射角度分布控制成規定分佈的環帶照明、二極照明、及四極照明等所謂超解像技術加以實用化。

上述方式中，環帶照明，係使照明光之向光柵的入射角度範圍限制於所定角度，即，使照明光學系統之瞳面的照明光的分佈限定於以照明光學系統之光軸為中心的規定之環帶領域內，藉此來發揮解像度及焦點深度向上提昇的效果(例如，參照日本專利特開昭 61-91662 號公報)。另一方面，二極照明、四極照明，係並非僅在入射角度範圍的場合，且在光柵上之圖案是具有特定方向性之圖案的場合，對於照明光之入射方向也藉由限定該照明光之與圖案之方向性相對應的方向，以大幅度提昇解像度及焦點深度(參照例如日本專利特開平 4-101148 號公報、特開平 4-225357 號公報)。

尚且，對於光柵上之圖案方向使照明光的偏光狀態為

最佳化，以提昇解像度及焦點深度的嘗試亦已被提出。此種方法，係藉由使照明光成為在直交於圖案之周期方向的方向中，即，在平行於圖案長度方向的方向中具有偏光方向（電場方向）之直線偏光光，使轉印像之對比（Contrast）等提升（例如，參照專利文獻 1、非專利文獻 1）。

又，在環帶照明中也進行提案，試圖使照明光之偏光方向，在照明光學系統之瞳面中於照明光所布之環帶領域中與照明光的圓周方向一致，以提昇投影像之解像度或對比等。

【專利文獻 1】日本專利特開平 5-109601 號公報。

【非專利文獻 1】Timothy A. Brunner, et al.: "High NA Lithographic imaging at Brewster's Angel", SPIE (美國) Vol.4691, pp.1~24(2002)。

【發明內容】

如在上述之習知技術，在進行環帶照明之場合於照明光學系統之瞳面，如使照明光之偏光狀態以實質上成為一致於環帶領域之圓周方向的直線偏光時，照明光量之損失變多，有照明效率低降之問題。

關於此加以詳述時，從近年來主流之狹帶化 KrF 準分子雷射光源所射出之照明光係為一樣之直線偏光。如將此以保持原樣之偏光狀態予以導向光柵時，由於光柵係以一樣之直線偏光光來照明，因此，當然不能實現與上述之照明光學系統之瞳面的環帶領域之圓周方向一致的直線偏光光。

因此，為實現上述之偏光狀態，使從光源所射出之直線偏光以一次轉換成任意(random)偏光之光後，在其環帶領域之各部分，使用偏光濾光器(filter)或偏光射束分裂器(beam splitter)等之偏光選擇元件，有必要採用從任意偏光所構成之照明光來選擇所期望之偏光成分的方法等。在此方法，任意偏光之照明光的能量(energy)中僅以所定的直線偏光成分所含之能量，即，大略僅一半之能量可用作向光柵之照明光，所以照明光量之損失大，進而向晶圓之曝光功率(power)的損失大，會有曝光裝置之處理能力(throughtput)低降之問題。

同樣，在使用二極照明或四極照明等之多極照明的場合，在照明光學系統之瞳面，二極或四極之領域的照明光之偏光狀態如要設定於所定狀態時，也有照明效率低降的問題。

本發明係鑒於此等課題所設計者，本發明之第一目的係提供一種曝光技術，可將光柵等之光罩以所定偏光狀態的照明光來照明之際的光量損失減少。

而且，本發明之第二目的係提供一種曝光技術，將照明光學系統之瞳面上的環帶、二極、或四極等之領域的照明光之偏光狀態設定於所定狀態之際，可減少照明光量之低降，其結果幾乎不使處理能力低降即能提昇解像度等。

又，本發明之目的也可提供一種元件製造技術，係使用上述曝光技術以高處理能力來製造高性能元件。

依照本發明之一種照明光學裝置，藉由照明光對具有

圖案的物體進行照明，其包括：複折射構件，其由複折射材料構成，配置於所述照明光的光路而變換所述照明光的偏光狀態；以及光學積分器，其配置於所述照明光的光路中所述複折射構件與所述照明光學裝置的瞳面之間的光路，所述照明光的一部分的光束以及另一部分的光束通過所述瞳面中從該照明光學裝置的光軸離開的領域，所述複折射構件在所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度彼此不同，以使所述瞳面中的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束的偏光狀態成為彼此不同的偏光狀態。

在本發明的一實施例中，所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使以所定之一方向為偏光方向的直線偏光狀態而入射至所述複折射構件的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束以分別成為實質上以 S 偏光為主成份的偏光狀態而照射所述物體。

在本發明的一實施例中，所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使以所定之一方向為偏光方向的直線偏光狀態而入射至所述複折射構件的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束分別成為以在所述瞳面內實質上的所述光軸周圍的圓周方向為偏光方向的直線偏光狀態。

在本發明的一實施例中，所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使所

述一部分的光束的偏光方向與所述另一部分的光束的偏光方向在所述瞳面內彼此不同。

在本發明的一實施例中，在所述瞳面內所述一部分的光束的偏光方向與所述另一部分的光束的偏光方向彼此直交。

在本發明的一實施例中，所述一部分的光束以及所述另一部分的光束通過在所述瞳面中相對於所述光軸周圍的圓周方向為彼此不同的位置。

在本發明的一實施例中，所述複折射構件具備對應相對於所述光軸周圍的圓周方向的位置的厚度分布。

在本發明的一實施例中，所述複折射構件的厚度對應相對於所述圓周方向的位置而連續地變化。

在本發明的一實施例中，所述厚度分布具備相對於所述圓周方向的二次旋轉對稱性。

在本發明的一實施例中，所述照明光學裝置具備有設定對於所述物體的所述照明光的入射角的範圍的構件。

在本發明的一實施例中，設定入射角的範圍的所述構件將對於所述物體的所述照明光的入射方向設定於實質上是離散的多個方向中。

在本發明的一實施例中，所述照明光學裝置具備有：偏光控制構件，配置於所述複折射構件的入射側中的所述照明光的光路上，將所述照明光的偏光狀態從實質上以單一的偏光為主成分的偏光狀態變換為以所述所定之一方向為偏光方向的直線偏光為主成分的偏光狀態。

在本發明的一實施例中，所述單一的偏光為直線偏光、圓偏光或橢圓偏光。

在本發明的一實施例中，所述偏光控制構件含有 $1/2$ 波長板和 $1/4$ 波長板中的至少一者。

在本發明的一實施例中，所述照明光學裝置具備有：更換機構，能夠更換所述複折射構件。

在本發明的一實施例中，所述照明光學裝置具備有：旋轉機構，使所述複折射構件以所述光軸為中心而能夠旋轉。

在本發明的一實施例中，所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與所述瞳面一致的方式配置。

在本發明的一實施例中，所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與對於所述圖案所配置的面的傅里葉變換面一致的方式配置。

依照本發明之一種曝光裝置，藉由來自物體上所設置的圖案的光對基板進行曝光，其包括：機台，其保持所述基板；所述照明光學裝置，其照明所述圖案；以及投影光學系統，其將藉由所述照明光學裝置照明的所述圖案的像投影於所述機台保持的所述基板。

在本發明的一實施例中，所述曝光裝置為液浸型曝光裝置。

依照本發明之一種曝光方法，藉由來自物體上所設置的圖案的光對基板進行曝光，其包括：藉由機台保持所述基板；藉由所述照明光學裝置照明所述圖案；以及將藉由

所述照明光學裝置照明的所述圖案的像投影於所述機台保持的所述基板。

依照本發明之一種元件製造方法，用於製造元件，其包括：使用所述曝光裝置，將圖案轉印於基板上；以及對轉印了所述圖案的所述基板進行顯影。

依照本發明之第一投影曝光裝置係包括照明光學系統(I LS)與投影光學系統(25)之投影曝光裝置，其中，照明光學系統(I LS)係使從光源(1)之照明光照射於第一物體(R)，投影光學系統(25)係將第一物體上之圖案的像投影於第二物體(W)上，該光源實質上以單一之偏光狀態來產生其照明光，其照明光學系統係具有沿照明光之進行方向所配置之多個複折射構件(12,13)，並且該多個複折射構件之中至少一個複折射構件之進相軸的方向係與其他複折射構件之進相軸的方向為相異者，該照明光中，以特定之入射角度範圍照射於第一物體的特定照明光，係成為以 S 偏光為主成份之偏光狀態的光。

依照上述之本發明，例如使其多個複折射構件之厚度分布各別設定於所定分布，藉此使從光源所射出之照明光通過其多個複折射構件後的偏光狀態，例如在以光軸為中心之環帶狀領域中可使偏光於以其光軸為中心之圓周方向的狀態成為主成分。於是，將多個複折射構件之射出面例如配置於接近照明光學系統之瞳面的位置時，藉此使通過其環帶狀領域之照明光（特定照明光）在幾乎無光量損失之狀態下，可使其第一物體在以 S 偏光為主成份之所定的

偏光狀態下受到照明。

此種場合，也可具有光束限制構件(9a、9b)，其將照射於第一物體之照明光限制在該特定照明光。藉此，該第一物體係以大概為環帶照明的條件而受到照明。在此環帶照明下，使第一物體上之照明光大概成為 S 偏光時，在該第一物體上之任意方向以微細間距所排列的線・和・空間(Line・and・space)圖案之投影像係以主要偏光方向由平行於線圖案之長度方向的照明光來成像，因此可改善對比、解像度、焦點深度之成像特性。

又，該光束限制構件更可使照射於第一物體之照明光的入射方向也限制於特定之實施上的離散之多個方向中。藉此，以二極照明或四極照明等來進行照明，因此可在所定方向中使以微細間距所排列之線・和・空間圖案的成像特性獲得改善。

其次，依照本發明之第二投影曝光裝置，係包括照明光學系統(ILS)與投影光學系統(25)之投影曝光裝置，其中，照明光學系統(ILS)係使從光源(1)而來之照明光照射於第一物體(R)，投影光學系統(25)係將第一物體上之圖案的像投影於第二物體(W)上，該光源實質上是在單一之偏光狀態下產生該照明光，該照明光學系統係具有沿其照明光之進行方向所配置之多個複折射構件(12,13)，並且該多個複折射構件之中至少一個複折射構件的進相軸的方向係與其他複折射構件之進相軸的方向為相異者，在該照明光學系統中之瞳面或其近傍之面內，通過以該照明光學系統之

光軸為中心的所定環帶領域之特定環帶領域(36)內的至少一部分領域之照明光，係成為以其特定環帶領域之圓周方向為偏光方向的以直線偏光為主成分之偏光狀態。

依照上述之發明，例如使該多個複折射構件之厚度分布各別設定成所定分布，使從該光源所射出之照明光中通過其特定環帶領域的照明光之至少一部分的偏光狀態，係以幾乎無光量損失之狀態，成為以其特定環帶領域之圓周方向為偏光方向的以直線偏光為主成分之狀態(所定的偏光狀態)。

此種場合，也可具有光束限制構件(9a、9b)，其將照射於第一物體之照明光實質上限制於該特定環帶領域內所分布之光束。又，該光束限制構件，也可將其光束更限制在其特定環帶領域內之實質上離散之多個領域內。此等場合，幾乎不使照明光量低降，即可實現環帶照明、二極照明或四極照明等。

又，該光束限制構件之一例，係包含在光源(1)與多個複折射構件(12,13)之間所配置之繞射光學元件。藉由使用繞射光學元件，可更減少光量損失。

又，對於一例，其多個複折射構件中至少一構件，係在透射光中平行於進相軸之直線偏光成分與平行於遲相軸之直線偏光成分間所給與之相位差的偏光間相位差，對於此構件之位置以非線形而變化之不均一波長板(12,13)。藉此，可將通過其多個複折射構件後之照明光的偏光狀態以高精度控制成所定的狀態。

此種場合，該不均一波長板，對於其特定照明光或分佈於其特定環帶領域之照明光，也可包含以照明光學系統之光軸為中心而施加具有二次旋轉對稱性之偏光間相位差的第一不均一波長板(12)。

又，該不均一波長板，對於其特定照明光或分佈於其特定環帶領域之照明光，也可更包含以照明光學系統之光軸為中心而施加具有一次旋轉對稱性之偏光間相位差的第二不均一波長板(13)。

又，作為一例，該第一及第二不均一波長板，其進相軸之方向是以其照明光學系統之光軸為旋轉中心而互相偏離 45° 者。藉此，可容易地控制通過兩個不均一波長板後之照明光的偏光狀態。

又，也可更包含配置於該多個複折射構件與第一物體間之光學積分器(optical integrator)(14)。藉此，可提昇第一物體上之照度分布的均一性。

又，可更包含配置於該多個複折射構件與該光學積分器間之變焦(zoom)光學系統，間隔可變之圓錐稜鏡群(41,42)，或多面體稜鏡群。按照該第一物體上之圖案間距等來使用該變焦光學系統等，可控制其特環帶領域（或環帶狀領域或者其中之實質上離散之部分領域）的大小和位置，藉此，可使曝光種種間距的圖案時之成像特性提高。

又，該光學積分器，係以複眼透鏡(fly-eye lens)為其一例。

又，也可具有配置於該光源與該多個複折射構件間且

變換從該光源而來之照明光的偏光狀態之偏光控制構件(4)。藉此，可將從該光源而來之照明光的偏光狀態以無光量損失之狀態，變換為適合於多個複折射構件之偏光狀態。

又，也可具有將該多個複折射構件之一部分或全部，以其照明光學系統之光軸為中心予以旋轉之旋轉機構，藉此，可將從該光源而來之照明光，以適合於複折射構件之偏光狀態供給至複折射構件。

又，也可具有複折射構件交換機構，複折射構件交換機構係具有複數組之多個複折射構件，將該複數組之多個複折射構件以可交換方式配置於照明光學系統內。以此，可對應於轉印對象之種種圖案。

其次，依照本發明之曝光方法，係使用本發明之投影曝光裝置，以其作為第一物體之光罩(R)的圖案的像使作為第二物體之感光體(W)曝光。藉由本發明，可使其第一物體以環帶照明、二極照明、或四極照明等來照明，同時可使入射於其第一物體之照明光的偏光狀態大略以 S 偏光為主成分。因此，可幾乎以無光量損失之狀態在光罩上在所定方向以良好之成像特性來對以微細間距所形成的圖案進行轉印。

又，依照本發明之元件製造方法，係包含微影(lithography)製程之元件製造方法，在其微影製程中使用本發明之曝光方法將圖案轉印於感光體上。依照本發明時，可以高處理能力且以高成像特性將圖案予以轉印。

依照本發明時，使用多個複折射構件來控制照明光之

偏光狀態，因此可減少將第一物體(光罩)以所定偏光狀態之照明光加以照明之際的光量損失。

又，更藉由使用光束限制構件，在將第一物體以環帶照明、二極照明、或四極照明等加以照明之際，以幾乎不使照明光量低降，即可將通過特定環帶領域之至少一部分領域的照明光之偏光狀態，設定成以平行於其特定環帶領域之圓周方向的直線偏光為主成分之狀態。此種場合，將沿該第一物體上之直線偏光的方向具有長度方向之線圖案以微細間隔所配置而成之圖案加以曝光之際的成像特性可提昇。因此，可提供能實現成像特性之提昇、處理能力不會低降的投影曝光裝置及曝光方法。

為讓本發明之上述和其他目的、特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下。

【實施方式】

以下，對於本發明之較佳實施形態之一例以參照圖面加以說明。本例係由步進掃描(step and scan)方式所構成之掃描曝光型的投影曝光裝置(scanning stepper)，其在進行曝光的場合適用本發明。

圖 1 係表示將本例之投影曝光裝置之概略構成之一部分加以切開之圖，在此圖 1，本例之投影曝光裝置係包括照明光學系統 ILS 與投影光學系統 25。前者之照明光學系統 ILS 係包括沿著從曝光光源 1(光源)至聚焦透鏡(condenser lens)20 為止之光軸(照明系統光軸) AX1、

AX2、AX3 所配置之多個光學構件(詳細後述)，利用從曝光光源 1 而來之作為曝光光束(beam)之曝光用的照明光(曝光光)IL 來對作為光罩用之光柵 R 之圖案面(光柵面)的照射視野以均一的照度分布加以照明。後者之投影光學系統 25，係在其照明光之下，將光柵 R 之照明視野內之圖案以投影倍率 M (M 係例如為 1/4、1/5 等之縮小倍率)加以縮小後之像，投影於被曝光基板(基板)或塗佈著作為感光體之光阻(photoresist)的晶圓 W 上之一攝影(shot)領域上的曝光領域。光柵 R 及晶圓 W 係各可視為第一物體及第二物體。晶圓 W 係例如為半導體(矽等)或絕緣體上的矽 SOI (silicon on insulator)等之直徑 200~300mm 程度之圓板狀基板。本例之投影光學系統 25 雖係例如為折射光學系統，但也可使用反射折射系統等。

以下，在圖 1 中，關於投影光學系統 25、光柵 R、及晶圓 W，係以平行於投影光學系統 25 之光軸 AX4 取為 Z 軸，垂直於 Z 軸之平面(XY 平面)內以沿掃描曝光時之光柵 R 及晶圓 W 之掃描方向(平行於圖 1 之紙面的方向)取為 Y 軸，以沿非掃描方向(垂直於圖 1 之紙面的方向)取為 X 軸來說明。此種場合，光柵 R 之照明視野，係非掃描方向之 X 方向的細長領域，晶圓 W 上之曝光領域係與該照明視野為共軛之細長領域。又，投影光學系統 25 之光軸 AX4 係與光柵 R 上之照明系統光軸 AX3 為一致。

首先，已形成應曝光轉印之圖案的光柵 R 係吸附保持於光柵機台(reticle stage) 21 上，光柵機台 21 係在光柵基

部(reticle base) 22 上以一定速度於 Y 方向中移動，同時以補正同步誤差之方式在 X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸之周圍的旋轉方向中微動，以進行光柵 R 之掃描。光柵機台 21 之 X 方向、Y 方向之位置及旋轉角，係由設在其上面之移動鏡 23 及雷射干涉儀(Laser interferometer)24 來計測。依據此計測值及從主控制系統 34 而來之控制資訊，光柵機台驅動系統 32 係藉由線性馬達等之驅動機構(未圖示)來控制光柵機台 21 之位置及速度。在光柵 R 之週邊部的上方配置著光柵對準(alignment)用之光柵對準顯微鏡(未圖示)。

另一方面，晶圓係經由晶圓保持器(未圖示)以吸附保持於晶圓機台 27 上，晶圓機台 27 可在晶圓基部(wafer base)30 上以一定速度於 Y 方向中移動，同時能在 X 方向、Y 方向以步進(step)移動之方式而被載置著。又，晶圓機台 27 上也組裝著 Z 位準(leveling)機構，其依據未圖示之光聚焦感測器(photofocus sensor)之計測值，使晶圓 W 之表面與投影光學系統 25 之像面一致。晶圓機台 27 之 X 方向、Y 方向位置及旋轉角係藉由設在其上面之移動鏡 28 及雷射干涉儀 29 來計測。依據此計測值及從主控制系統 34 而來之控制資訊，晶圓機台驅動系統 33 經由線性馬達等之驅動機構(未圖示)來控制晶圓機台 27 之位置及速度。又，在投影光學系統 25 之近傍，為了使晶圓對準，須配置以離軸(off-axis)方式，例如，場影像對準(FIA, Field Image Alignment)方式，的對準感測器(alignment sensor)31，其用來檢出晶圓 W 上之位置對準用之標識(mark)的位置。

在依據本例之投影曝光裝置的曝光之前，由上述光柵對準顯微鏡來進行光柵 R 之對準，藉由對準感測器 31 來檢出晶圓 W 上在以前之曝光過程中與電路圖案一起形成之位置對準用標識的位置，以進行晶圓 W 之對準。其後，在光柵 R 上之照明視野上以照明光 IL 加以照射的狀態下，對光柵機台 21 及晶圓機台 27 加以驅動，將光柵 R 與晶圓 W 上之一個攝影領域在 Y 方向中進行同步掃描的動作，與使照明光 IL 之發光停止，然後驅動晶圓機台 27 使晶圓 W 以步進方式移動於 X 方向、Y 方向的動作，重複上述兩項動作。該同步掃描時之光柵機台 21 與晶圓機台 27 之掃描速度的比為了保持著經由投影光學系統 25 而形成之光柵 R 與晶圓 W 之成像關係，係等於投影光學系統 25 之投影倍率 M。藉由上述的動作，以步進掃描方式在晶圓 W 上之全部攝影領域上曝光轉印該光柵 R 之圖案像。

其次，對本例之照明光學系統 ILS 的構成加以詳細說明。在圖 1 中，對於本例之曝光光源 1 係使用 ArF（氟化氬）準分子雷射（波長 193nm）。尚且，對於曝光光源 1 係也可使用其他之 KrF（氟化氬）準分子雷射（波長 248nm）、F₂（氟分子）雷射（波長 157nm）、或 Kr₂（氬分子）雷射（波長 146nm）等之雷射光源等。此等雷射光源（包含曝光光源 1）係為狹帶化之雷射或已選擇波長之雷射，從曝光光源 1 所射出之照明光 IL 由於上述狹帶化或波長選擇而成為以直線偏光為主成分之偏光狀態。以下，在圖 1 中，剛從曝光光源 1 所射出之照明光 IL，係以偏光方向（電場方向）與

圖 1 中之 X 方向一致的直線偏光光為主成分加以說明。

從曝光光源 1 所發出之照明光 IL 係沿照明系統光軸 AX1 經由中繼透鏡(relay lens)2、3 而入射於作為偏光控制機構之偏光控制構件 4 (詳細後述)。從偏光控制機構 4 所發出之照明光 IL 經過凹透鏡 5 與凸透鏡 6 的組合所構成之變焦(zoom)光學系統(5、6)而在光路彎曲用之鏡面 7 上反射，然後沿照明系統光軸 AX2 入射於繞射光學元件(DOE: Diffractive Optical Element)9a。繞射光學元件 9a 係由相位型之繞射格子所構成，入射之照明光 IL 係於規定的方向中繞射前進。

如後所述，從作為光束限制構件用之繞射光學元件 9a 而來之各繞射光之繞射角及方向，係對應於照明光學系統 ILS 之瞳面 15 上的照明光 IL 之位置或照明光 IL 之向光柵 R 的入射角及方向。又，繞射光學元件 9a 及具有與其相異之繞射作用之別的繞射光學元件 9b 等在小塔(turret)狀之構件 8 上有複數個排列著。然後，例如在主控制系統 34 之控制下藉由交換機構 10 來驅動該構件 8，將構件 8 上之任意位置的繞射光學元件 9a 等填裝於照明光學系統光軸 AX2 上之位置，按照光柵 R 之圖案，使向光柵 R 之照明光的入射角度範圍及方向(或瞳面 15 上之照明光的位置)設定於所期望之範圍而構成。又，將構成上述變焦光學系統(5、6)之凹透鏡 5 及凸透鏡 6 藉由各別移動於照明光學系統光軸 AX1 之方向，則該入射角度範圍可進行補助性的微調。

繞射光學系統 9a 射出之照明光(繞射光)IL，係沿照明

系統光軸 AX2 而經過中繼透鏡 11，以順次入射於作為本發明之多個複折射構件的第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13。對於此等複折射構件之詳細情形將於後述。在本實施形態中，係在複折射構件 13 之後，配置著光學積分器(optical integrator)(照度均一化構件)的複眼透鏡(fly-eye lens)14。複眼透鏡 14 射出之照明光 IL，係經過中繼透鏡 16、視野光圈 17 及聚焦透鏡 18 而至光程(optical pass)彎曲用之鏡面 19，在此鏡面 19 上反射之照明光 IL，係沿著照明系統光軸 AX3 經過聚焦透鏡 20 而對光柵 R 進行照明。如此已照明之光柵 R 上的圖案，係如上所述藉由投影光學系統 25 投影於晶圓 W 上且予以轉印。

尚且，按照需要使視野光圈 17 為掃描型，也可以同步於光柵機台 21 及晶圓機台 27 之掃描來進行掃描。此種場合，也可將該視野光圈分為固定視野光圈與可動視野光圈而加以構成。

在此種構成中，複眼透鏡 14 之射出側的面係定位於照明光學系統 ILS 之瞳面 15 的近傍。藉由從瞳面 15 至光柵 R 為止之照明光學系統 ILS 中之光學構件（中繼透鏡 16、視野光圈 17、聚焦透鏡 18、20 及鏡面 19），使瞳面 15 在作用上成為一種對於光柵 R 之圖案面(光柵面)的光學傅里葉(Fourier)變換面。即，瞳面 15 上之一點所射出的照明光大概成為平行光束且以所定的入射角及入射方向照射該光柵 R。該入射角度及入射方向係按照該光束之瞳面 15 上之位置來決定。

尚且，光程彎曲用之鏡面 7、19 在光學性能上雖係並非必需，但如將照明光學系統 ILS 配置於一直線上時為了使曝光裝置之全高(z 方向之高度)增大，則須以省空間化為目的將鏡面 7、19 配置於照明光學系統 ILS 內之適當處。照明系統光軸 AX1 藉由鏡面 7 之反射而與照明系統光軸 AX2 一致，且照明系統光軸 AX2 藉由鏡面 19 之反射而與照明系統光軸 AX3 一致。

以下，參照圖 2～圖 5，對於圖 1 中之第一及第二複折射構件 12、13 之第一實施例加以說明。

第一複折射構件 12 係由一軸結晶等之複折射材料所構成之圓板狀構件，其光學軸係在其面內方向（與垂直於照明光學系統光軸 AX2 之平面平行）。然後，第一複折射構件 12 之在其面內方向的大小(直徑)，係比配置該複折射構件 12 之位置的照明光 IL 之光束直徑還大。

圖 2A，係將圖 1 之複折射構件 12 沿照明系統光軸 AX2 而在 +Y 方向所見之圖，如圖 2A 所示，在複折射構件 12 中，對於具有與光軸平行之偏光方向的直線偏光光使折射率為最低之軸方向的進相軸 n_f ，係在與圖 1 相同座標軸之 XZ 座標上向著從各座標軸(X 軸及 Z 軸)旋轉 45° 之方向。又，對於具有與光軸平行之偏光方向的直線偏光光，使折射率為最高之軸方向的遲相軸 n_s ，當然與上述進相軸 n_f 直交，也向著從 X 軸及 Z 軸之雙方旋轉 45° 之方向。

第一複折射構件 12 之厚度在平行於圖 2A 之紙面的面內係不一樣，按照 X 座標 (X 方向之位置) 而變化。圖 2B

係沿圖 2A 之 AA' 線的複折射構件 12 之斷面圖，如圖 2B 所示，複折射構件 12 係在 X 方向上形成中心（照明系統光軸）較薄而周邊較厚的形狀。另一方面，第一複折射構件 12 之厚度在圖 2A 之 Z 方向係為一樣，複折射構件 12 係全體成為如負的圓柱透鏡(cylinder lens)般的形狀。

透射如此之複折射構件的光束，一般而言會在其偏光方向(即「光之電場的振動方向」，以下也相同。)與進相軸 n_f 之方向一致的直線偏光成分以及與遲相軸 n_s 之方向一致的直線偏光成分之間產生光程差(偏光間相位差)。對平行於進相軸 n_f 之直線偏光而言，複折射構件的折射率低，因此，同偏光光之進行速度較快，另一方面，對於平行於遲相軸 n_s 之直線偏光而言，複折射構件之折射率高，因此，同偏光光的進行速度較遲，在兩偏光光間產生光程差（偏光間相位差）。因此，第一複折射構件 12 在功能上可作為第一不均一波長板，其使施加至透過光的偏光間相位差依據場所而不同。

可是，將第一複折射構件 12 之厚度加以最佳化，藉由複折射構件 12 所產生之上述光程差成為波長之整數倍時，兩光束之相位在實質上不能區別，以形成實質上無光程差之狀態。在本例，係將複折射構件 12 之中心部的厚度 T_1 設定為此種厚度。在以下，如圖 2B 所示，以 X 軸之原點($X=0$)為複折射構件 12 之中心(照射系統光軸)。

另一方面，對於第一複折射構件 12 之中心向 X 方向離開 $\pm l$ 的位置(l 是基準長度，在較第一複折射構件 12 之外徑

更內側處)處，僅以產生偏光間相位差 0.5 (單位係照明光的波長) 之方式，來設定該複折射構件 12 的形狀。以此種形狀，在本例中係將複折射構件 12 之厚度 TA，對於 X 方向之位置 X，為以下函數所表示之厚度。

$$TA=T1+\alpha\times(1.7\times X^4-0.7\times X^2)\cdot\cdot\cdot\cdot(1)$$

此處， α 係比例係數， α 值係與中心部之厚度 T1 同樣，由於所使用之複折射材料的上述進相軸與遲相軸之折射率差等而異。

對於構成第一複折射構件 12 之複折射材料，若使用一軸結晶之水晶時，水晶之折射率在波長 193nm 之 ArF 準分子雷射光的常光線折射率時為 1.6638，異常光線之折射率為 1.6774。藉此，則進相軸係為常光線之偏光方向，遲相軸係為異常光線之偏光方向。

水晶中之常光線、異常光線之波長，係將真空中之波長 (193nm) 以各別的折射率所相除後所得之值，各為 116.001nm、115.056nm，在水晶中每進行一波長時，在兩光束間形成 0.945nm 之光程差。因此，當進行 122.7 (=166.001/0.945) 波長時，兩光束間大約形成一波長之光程差。實際上若光程差剛好為一波長或整數波長時，兩光束實質上與無光程差為同價。122.7 波長之水晶厚度係相當於由 $122.7\times 193/1.6638$ 計算而得的 14239nm，即 14.239 μ m。同樣，如在常光線與異常光線中形成半波長之光程差時，水晶之厚度若成為上述之一半的 7.12 μ m 即可。

藉此，以水晶來形成第一不均一波長板之第一複折射構件

12 時，將上述(1)式之中心部的厚度 $T1$ 設定成 $14.239\mu\text{m}$ 之整數倍，在周邊近旁之基準位置($X=1$)的厚度，各加厚 $7.12\mu\text{m}$ 即可，即，使上述比例係數 α 設定為 $7.12\mu\text{m}$ 即可。

此時，由第一複折射構件 12 所形成之偏光間相位差 $\Delta P1$ 係作為 X 方向之位置 X 的函數而表示如下。

$$\Delta P1 = 0.5 \times (1.7 \times X^4 - 0.7 \times X^2) \dots\dots\dots(2)$$

尚且，對於第一複折射構件 12 之厚度，係為其入射面 12a 與射出面 12b 之間隔，如形成上述相位差之上述厚度與 X 方向之位置關係獲得滿足時，則入射面 12a 與射出面 12b 之各形狀也可為任意。但是，面形狀之加工上，係以任何一面作為平面而使加工成為容易，所以實際上係如圖 2B 所示，期望使射出面 12b 成為平面。此種場合，以射出面 12b 之厚度 TA 值為 0 之際的入射面 12a 之厚度 TA 值係成為如以(1)式所求得的 TA 。當然，也可使入射面 12a 為平面。

圖 4A 係表示以(2)式所表示之偏光間相位差 $\Delta P1$ (單位係照明光之波長) 與位置 X 的關係圖。又，圖 5 係表示從本例之第一複折射構件 12 所射出之照明光的偏光狀態圖，在圖 5 中，分布於 XZ 座標上之各位置之照明光的偏光狀態係以各位置為中心之線段、圓或橢圓來表示。又，圖 5 之 X 軸及 Z 軸的原點($X=0$ 、 $Z=0$)，係設定於複折射構件 12 之中心， X 方向和 Z 方向之比例尺，係將 $X=\pm 1$ 、 $Z=\pm 1$ 之位置(共同由原點 $X=0$ 、 $Z=0$ 離開基準長度之位置)設定成位於圖 5 中之四隅。

在圖 5 之以各 XZ 座標所識別之位置中，以線段所表示之位置處該照明光成為以直線偏光為主成分之偏光狀態，線段之

方向表示偏光方向。又，在以橢圓所表示之位置處該照明光係成為以橢圓偏光為主成分之偏光狀態，橢圓之長邊方向係表示橢圓偏光所含之直線偏光成分成為最大之方向。又，在以圓所表示之位置處，照明光成為以圓偏光為主成分之偏光狀態。

如圖 4A 所示，在從中心向 X 方向離開 ± 1 之位置，第一複折射構件 12 作用成所謂 $1/2$ 波長板。在此，從圖 1 之曝光光源所發出之照明光 Π 係如前所述以偏光於 X 方向之直線偏光作為主成分，此 $1/2$ 波長板，係以其進相軸 nf 及遲相軸 ns 對於入射光之(照明光之)偏光方向的 X 方向旋轉 45° 而形成者。因此，如圖 5 所示，在第一複折射構件 12 中從中心向 X 方向離開 ± 1 (基準長度)的位置附近所透射之照明光的偏向狀態，係藉由此 $1/2$ 波長板之作用，變換成以 Z 方向之直線偏光為主成分的偏光狀態。

又，由圖 4A，對於在第一複折射構件 12 之中從中心向 X 方向離開 ± 0.6 的位置附近所透射之照明光，偏光間相位差 $\Delta P1$ 係為 0.25，第一複折射構件 12 作用成所謂 $1/4$ 波長板。因此，透過此部分之照明光變換成以圓偏光為主成分之偏光狀態。

另一方面，對於 X 方向中透射中心之光束，在進相軸 nf 方向及遲相軸 ns 方向之各直線偏光間不產生光程差，所以透射光之偏光狀態未變換。因此，在 X 方向之中心入射於複折射構件 12 之光束，係以原樣保持著 X 方向之直線偏光狀態為主成分的狀態而從複折射構件 12 射出。然後，在上述 $X=0$ 、 ± 0.6 、 ± 1 之各位置以外之位置所透射之光束，係按照位置而成為形狀相異之橢圓偏光為主成分的偏光狀態，以透過第一複

折射構件 12。此偏光狀態係如圖 5 所示。

在圖 1 中，對應於已透過第一複折射構件 12 之場所而偏光狀態相異的照明光 IL 入射至第二複折射構件 13。第二複折射構件 13 也是由複折射材料所構成之圓板狀構件。

圖 3A 係沿照明系統光軸 AX2 向+Y 方向所見之圖 1 的第二複折射構件 13 之圖，與上述之第一複折射構件 12 相異，如圖 3A 所示，第二複折射構件 13 之進相軸 nf，係設定成與圖 1 同座標軸之 XZ 座標的 Z 軸平行，遲相軸 ns 係設定成與 X 軸平行。對於第二複折射構件 13，其面內方向之大小(直徑)也比在該第二複折射構件 13 所配置之位置的照明光 IL 的光束直徑還大。

「例如，第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 之形狀，係並非以上述之連續並且微分連續的函數所表示之形狀，也可在所定位置以階段性之形狀而變化的階段狀之形狀。

又，在此種階段狀之形狀的形成中，替代機械或機械化學的研磨方法時，適合由蝕刻來形成。」

又，第二複折射構件 13 其厚度也非一樣，其厚度係按照圖 3A 中之 XZ 座標系的函數 $Z=X$ 之方向，即，圖 3A 中之 BB' 線方向(以下，稱此為「XZ 方向」。)的位置而變化。圖 3B 係沿圖 3A 之 BB' 線的第二複折射構件 13 之斷面圖。如圖 3B 所示，複折射構件 13 係左端部(B 之近傍)為較薄右端部(B' 之近傍)為較厚之形狀。另一方面，第二複折射構件 13 之厚度在直交於 XZ 方向之方向中為一樣。因此，第二複折射構件 13 在功能上也作為第二不均一波長板，其使施加至透過光的偏光

間相位差對應於場所而不同。

在本例中，將第二複折射構件 13 之厚度 TB，對於 XZ 方向之位置 XZ，用以下函數來表示。尚且，如圖 3B 所示，以 XZ 方向之原點(XZ=0)作為複折射構件 13 的中心(照明系統光軸)，以該中心處之厚度為 T2。

$$TB = T2 + \beta \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \cdot \cdot \cdot (3)$$

在此， β 係比例常數，與中心部之厚度 T2 同樣， β 值係由於所使用之複折射材料的上述進相軸與遲相軸之折射率差等而異，在此，中心部之厚度 T2，係使第二複折射構件 13 之偏光間相位差 $\Delta P2$ 為 0.25（單位係照明光之波長）之方式，即，中心部設定成在功能上作為 1/4 波長板。

又，在複折射構件 13 中，在向 XZ 方向離開+1（基準長度）及-1 之位置處，係將偏光間相位差 $\Delta P2$ 各設定為+0.75 及-0.25。此係表示與中心之間形成各為+0.5 及-0.5 之偏光間相位差的差之意思。

即，在本例之第二複折射構件 13 中，以下式來表示偏光間相位差 $\Delta P2$ 之方式以設定其厚度。

$$\Delta P2 = 0.25 + 0.5 \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \cdot \cdot \cdot (4)$$

又，對於第二複折射構件 13 也以與上述之例同樣由水晶來形成時，以中心部之厚度 T2 為 14.239 μm 之(整數+1/4)倍，比例常數 β 為 7.12 μm 即可。圖 4B，係表示(4)式之偏光間相位差 $\Delta P2$ 與位置 XZ 的關係之圖。

在圖 1 中，對應於已透過第一複折射構件 12 之場所而偏光狀態相異之照明光，藉由第二複折射構件 13，再度使其偏

光狀態按照場所而變換。圖 4C 中表示從第二複折射構件 13 所射出之照明光 IL 的偏光狀態。

圖 4C 之表示方法，係與前述之圖 5 的表示方法同樣，在圖 4C 中，在 XZ 座標上之各位置所分布的照明光之偏光狀態是以各位置為中心之線段(直線偏光)，或以橢圓(橢圓偏光)來表示。又，圖 4C 之 X 軸及 Z 軸之原點($X=0$ 、 $Z=0$)也設定於複折射構件 13 之中心。

尚且，如圖 1 所示，在本實施形態，第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 係配置於複眼透鏡 14 之前方，並且複眼透鏡 14 之射出側的面係配置於照明光學系統 ILS 中之瞳面 15 的近旁。因此，第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 實質上配置於大概與照明光學系統 ILS 中之瞳面 15 為等價之場所。

因此，透過第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之照明光 IL，係以按照其位置所決定之入射角度及入射方向入射於光柵 R。即，圖 4C 中在原點($X=0$ 、 $Y=0$ 之位置)上所分布之光束垂直入射於光柵 R，從原點離開所定距離的位置上所分布之光束，係以與此距離大概成比例之入射角以傾斜入射至光柵 R。又，其入射方向，係等於其點之從原點算起的方位角之方向。

圖 4C 及圖 5 所示外圓 C1 及內圓 C2，係對於光柵 R 為構成所定環帶照明之照明光的分布的境界。各圓 C1、C2 之半徑，係以決定上述第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之厚度形狀(厚度分布)所使用之基準長度為單位，以外圓 C1 之半徑為 1.15、內圓 C2 之半徑為 0.85。即，對於環帶照明之

環帶比(內圓之半徑/外圓之半徑)係設想為 0.74。此係雖設想為一般所使用之所謂「3/4 環帶照明 (內半徑：外半徑=3：4)」者，但適用於本發明之環帶照明的條件當然不限於此。

從圖 4C 可明瞭，從第二複折射構件 13 所射出之照明光，係在外圓 C1 及內圓 C2 所圍繞之環帶領域的特定環帶領域 36 內，成為將該特定領域 36 之圓周方向作為偏光方向的直線偏光為主成分之偏光狀態。

從圖 4C 及圖 5 加以比較時，X 軸上及 Z 軸上之照明光的偏光狀態係大概相等。但是，以原點為中心從各軸離開 45°程度之位置(在圖 4C 及圖 5 中，右上、左上、左下、右下之位置)處的偏光狀態，圖 5 大概為圓偏光，對此而言，在圖 4C 中係變換成特定環帶領域之圓周方向的直線偏光。此係由於第二複折射構件 13 之作用所引起者，第二複折射構件 13 在圖 4C 中之左上及右下的領域作為 1/4 波長板而發揮機能，在左下及右上之領域各作為 -1/4 波長板及與其等價之 3/4 波長板而發揮機能。

尚且，實際上之曝光裝置中，其特定環帶領域 36 之外圓 C1 的實際半徑，係由圖 1 之投影光學系統 25 之光柵 R 側的數值孔徑(NA)、照明光學系統 ILS 中之中繼透鏡 16 及聚焦透鏡 18、20 所構成之光學系統的焦點距離，以及應設定之相參係數(coherence factor) (照明 σ) 的值來決定，內圓 C2 之半徑係由更應設定之環帶比所決定之值。然後，對於此環帶照明之條件，當然，在其特定環帶領域 36 中所分布之照明光的偏光方向，須以與各位置中之環帶領域的圓周方向一致之方式，來

決定第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之厚度形狀。

在此，所謂決定第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之厚度形狀，其意義係使其形狀在 XZ 面內以比例擴大或以比例縮小，且對於 Y 方向(光之進行方向)不變化其凹凸量。

以上，對於第一與第二複折射構件 12、13 之第一實施例，係藉由不使光束減光之第一及不二不均一波長板，以照明光束之光量無損失的狀態下，可使特定環帶領域中所分布之照明光的偏光方向，成為與各位置中之環帶領域的圓周方向相一致。在此種場合，該照明光中，通過該特定環帶領域 36 以照射至光柵 R 之照明光，即，以特定的入射角度範圍照射至光柵 R 之特定照明光，成為其偏光方向對於入射面以垂直方向的 S 偏光為主成分之偏光狀態的光。藉此，藉由轉印對象之圖案的周期性等，有使轉印像之對比(contrast)、解像度，及焦點深度等升的場合(詳細後述)。

其次，參照圖 6A~6C 對於圖 1 之照明光學系統 ILS 中之第一及第二複折射構件 12、13 的第二實施例加以說明。

在本例中，第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之構成基本上也與上述第一實施例所示者同樣。即，第一複折射構件 12，係如圖 2A 及圖 2B 所示具有進相軸方向及厚度形狀，第二複折射構件 13，係如圖 3A 及圖 3B 所示具有進相軸方向及厚度形狀。但，在本例中係將與兩複折射構件 12、13 之厚度有關的函數的形式加以變更。

圖 6A 係對應於圖 4A，在此第二實施例中顯示對於第一複折射構件 12 所形成之偏光間相位差 $\Delta P1$ 的 X 方向的位置之

特性。圖 6A 之偏光間相位差 $\triangle P1$ 是一種如下所示的包含一與位置 X 有關之三角函數的函數。

$$\triangle P1 = 0.265 \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\} \cdot \cdot \cdot (5)$$

此種偏光間相位差 $\triangle P1$ ，係將第一複折射構件 12 之厚度 TA，對於 X 方向之位置藉由以下函數來表示可加以實現。

$$TA = T1 + \gamma \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\} \cdot \cdot \cdot (6)$$

在此， γ 係比例係數。與第一實施例同樣，以水晶形成第一複折射構件 12 之場合，使中心之厚度 T1 設定成 $14.239\mu\text{m}$ 之整數倍，將比例係數 γ 設定為 $3.77\mu\text{m}$ 即可。 $3.77\mu\text{m}$ ，係已施加 1 波長之偏光間相位差之水晶的厚度 $14.239\mu\text{m}$ ，成為上述(5)式之係數倍之 0.265 倍所得的值。

圖 6B，係表示在本第二實施例之第二複折射構件 13 所形成之偏光間相位差 $\triangle P2$ 的對於 XZ 方向之位置的特性。圖 6B 之偏光間相位差 $\triangle P2$ ，係可如以下以包含一與位置 XZ 相關之三角函數的函數來表示。

$$\triangle P2 = 0.25 + 0.5 \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3) \cdot \cdot \cdot (7)$$

此種偏光間相位差 $\triangle P2$ ，係以第二複折射構件 13 之厚度 TB，對於 XZ 方向之位置 XZ 藉由以下函數來表示而實現。

$$TB = T2 + \delta \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3) \cdot \cdot \cdot (8)$$

在此， δ 係比例係數。以水晶為第二複折射構件 13 時，將中心之厚度 T2 設定為 $14.239\mu\text{m}$ 之（整數 + $1/4$ ）倍，且將比例係數 δ 設定為 $7.12\mu\text{m}$ 即可。

在本例中，第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 在功能上係作為第一及第二不均一波長板，其使施加至透過光之偏

光間相位差也對應於各場所而不同。然後，將入射於第一複折射構件 12 上之偏光於 X 方向的直線偏光光，變換成如圖 6C 所示之偏光分布，再從第二複折射構件 13 射出。

將圖 6C 與圖 4C 加以比較時即可明瞭，以本第二實施例之第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 的一方，比上述第一實施例所示者，可將外圓 C1 及內圓 C2 所圍繞之特定環帶領域 36 內所分布之照明光的偏光狀態，較接近於平行於圓周方向的直線偏光。此係由於本第二實施例之第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 採用所述三角函數之高次函數所定之厚度形狀(即，面形狀)，因此可進行更高精度之偏光控制。

然而，在第一實施例所示之第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13，係以至五次之高次函數加以構成，所以在偏光控制特性上雖稍差，但有加工容易可使製造成本控制成較低廉的優點。

尚且，為更再抑制第一、第二複折射構件 12、13 之製造成本，例如也可將第一複折射構件 12 之表面形狀作成為圓筒狀的(cylindrical)面(對於 X 方向之斷面成為圓形的面)，使第二複折射構件 13 之表面形狀亦可成為錐形(taper)面(傾斜面)。此種場合之偏光控制特性雖比第一實施形態者還差，但藉由投影曝光裝置之用途可獲得充分效果，一方面可達成上述製造成本之低廉化，一方面可實現高性能的曝光裝置。

如此使第二複折射構件 13 之表面形狀成為錐形面，在意義上是指透過了第二複折射構件 13 之光束的偏光間相位差可按照第二複折射構件 13 之面內的位置而以線形(一次函數)

來決定。

可是，圖 1 之第一複折射構件 12 與第二複折射構件 13 之形狀並非限定於上述之第一及第二實施例所示之形狀，只要其透過光之上述特定環帶領域內的偏光狀態，在其各部分中可與其圓周方向一致的形狀時，任何形狀均可。

尚且，為實現此種偏光狀態，如入射至第一複折射構件 12 之光束的偏光狀態是以直線偏光為主成分之單一偏光狀態所構成的照明光之場合，則第一複折射構件 12 較佳係以照明系統光軸 AX2 為中心而可施加具有二次旋轉對稱(symmetry of revolution)性之偏光間相位差者。此當然如上述第一及第二實施例所示，包含對 X 方向具有偶函數的厚度、且對 Y 方向具有一定厚度之不均一波長板。

又，第二複折射構件 13，係以照明系統光軸 AX2 為中心而可施加具有一次旋轉對稱性之偏光間相位差的不均一波長板為佳。所謂一次旋轉對稱性，係偏光間相位差之分布，對於直交於照明系統光軸 AX2 之兩條軸中之一軸大概為對稱，對於另一軸大概為反對稱。所謂反對稱，一般係對於座標軸之反轉其絕對值雖為相等但符號則為反轉之函數，此處，在一般之反對稱函數中，除了常數補償(offset)以外之函數亦包括在內。此當然如上述第一及第二實施例所示，包含不均一波長板，其對於 XZ 方向具有以附有補償之奇函數所決定的厚度、且對於與此直交之方向具有一定厚度。

又，在本實施形態中，特別是使上述之特定環帶領域中所分布之照明光設定成所定之偏光狀態，這很重要，所以對於第

一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 之形狀，在不對應於上述特定環帶領域之場所，雖然其形狀不滿足上述條件時也不會有特別之問題，此不必說即可明白。

尚且，對於第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 之個數或進相軸方向，也並非限定於上述第一、第二實施例所示者。即，也可使三個以上之複折射構件沿著照明光之進行方向(沿著照明系統光軸 AX2)而串列地排列著，以其進相軸方向之光軸 AX2 為中心的旋轉關係也並非限於 45° 。又，在將三塊以上的多個複折射構件沿著照明光之進行方向串列地配置時，在上述特定環帶領域之至少一部分領域中，最好大致在其全周之領域中，為使照明光之偏光狀態成為大略平行於圓周方向之直線偏光起見，該多個複折射構件中之至少一個複折射構件的進相軸的方向與其他複折射構件之進相軸方向不同即可。

同樣，複折射構件 12、13 等之材質也不限於上述之水晶，也可使用其他複折射材料，也可利用螢石之固有複折射(Intrinsic Birefringence)來形成。又，也可將本來無複折射之合成石英等之材料加上應力等使具有複折射性，以用作複折射構件 12、13 等。

更且，對於複折射構件 12、13，也可在無複折射性之透過性基板上使用各種貼合著具有複折射性材料的構件。此種場合，上述之厚度不用說是指具有複折射性之材料的厚度。此處，所謂貼合不僅是指以粘著、壓接等之機械方式的接合，也可在透過性基板上使用蒸鍍之手段使具有複折射性之薄膜形成成膜的方法。如上所述，上述第一、第二實施例所示之第一

複折射構件 12 及第二複折射構件 13 之厚度形狀等，雖係由於所使用材料之複折射的大小而有所變化，但即使在使用水晶以外之材料的場合，也可適用上述之形狀決定方法，以決定其形狀，這很明顯而不必再說明。

在此，在上述之環帶照明中，對於分布於環帶領域內之照明光的偏光狀態，以與其環帶領域之圓周方向一致的照明光之優點，以參照圖 7A、7B、7C 及圖 8A、8B、8C 加以簡單說明。

圖 7A 係表示在圖 1 之光柵 R 上所形成之微細周期圖案 PX 的一例。周期圖案 PX 係在與圖 1 同一 XYZ 座標系之 X 方向具有周期性的圖案，其間距 PT 係考慮到圖 1 之投影光學系統 25 的投影倍率而換算成晶圓 W 上之比例尺的值為 140nm。圖 7B 係將此圖案，使用波長 193nm 之照明光，以相參因數(照明 σ)為 0.9，環帶比為 0.74 之環帶照明來照明之場合，表示晶圓側之數值孔徑(NA)為 0.90 之投影光學系統 25 之瞳面 26(參照圖 1)內所形成之繞射光(diffracted light)之分布。

圖 7C，係表示對該圖案 PX 進行照明之環帶照明的條件之圖，在圖 1 之照明光學系統 ILS 的瞳面 15 中，從滿足上述環帶照明條件的環帶領域 ILO 而來之照明光對該圖案 PX 進行照明。從周期圖案 PX 而來之圖 7B 的 0 次繞射光 D0，係其全部分布於瞳面 26 內，且透射投影光學系統 25 而到達晶圓 W，一次繞射光 D1R 及 D1L，係僅一部分可透過瞳面 26 及投影光學系統 25。光柵 R 之圖案 PI 的像雖以 0 次繞射光 D0 與一次繞射光 D1R、D1L 之干涉條紋(moiré fringe)而形成於晶圓 W

上，但干涉條紋之形成，係限於照明光學系統 ILS 之瞳面 15 中從同一位置所發出之照明光所產生之 0 次繞射光與 1 次繞射光的一對(pair)中。

在圖 7B 中位置於瞳面 26 之左端部之一次繞射光 D1L，係與 0 次繞射光 D0 中位於右端部之部分成為一對，此等繞射光，係從圖 7C 中之環帶領域 IL0 中之右端部分領域 ILR 所照明之照明光。另一方面，位於圖 7B 中之瞳面 26 的右端部之一次繞射光 D1R，係與 0 次繞射光 D0 中之位於左端部的部分成為一對，此等繞射光，係從圖 7C 中之環帶領域 IL0 中之左端部分領域 ILL 所照射之照明光。

即，在進行如此種在 X 方向中具有微細間距之圖案 PX 的曝光時，從照明光學系統 ILS 之瞳面 15 上的環帶領域 IL0 所發出之照明光中，有助於圖案 PX 之成像的光束，係限於部分領域 ILR 及部分領域 ILL，從環帶領域 IL0 內之其他領域所發出之照明光，係為無助於圖案 PX 之成像的照明光。

可是，在進行如圖案 PX 在 X 方向具有周期性，在 Y 方向具有長度方向之圖案的曝光之際，如在光柵 R 上以具有 Y 方向之偏光方向的直線偏光來照明時，可提昇投影像之對比，這已在上述之非專利文獻 1 (Thimothy A. Brunner, et al.: “High NA Lithographic imaging at Brewster’s angle”, SPIE Vol. 4691, pp1~24(2001) 等有報告。

「又，不用說，上述之實施形態中所示之投影曝光裝置所含之照明光學系統 2~20，係也可適用為照明該光柵 R 等之第一物體的照明光學裝置。」

因此，將圖 7C 之部分領域及部分領域 ILL 內所分布之照明光，使成為各別偏光於圖 7C 中之平行於 Z 方向之 PR 方向及 PL 方向(考慮圖 1 中之鏡面 19 之作用時在光柵 R 上係對應於 Y 方向)的直線偏光光時，可有效地使圖案 PX 之投影像的對比提昇，進而使解像度及焦點深度提昇。

其次，光柵圖案與圖 7A 之圖案 PX 在旋轉 90° 之後在 Y 方向具有微細間距之周期圖案時，圖 7B 所示之繞射光分佈也成為旋轉 90° 。此結果，有助於周期圖案之像形成的照明光所通過部分領域也配置於圖 7C 中所示之部分領域 ILR 及部分領域 ILL 旋轉 90° 後之位置(即，圖 7C 中之上端及下端)，並且好的偏光狀態係成為偏光方向在 X 方向一致之直線偏光。由以上，使共同包含 X 方向中具有微細周期性之圖案 PX 與 Y 軸方向中具有微細周期性之圖案 PY 的光柵 R 曝光之際，係以使用具有如圖 8A~8C 所示之偏光狀態的照明光為較有效。

圖 8A，係將圖 1 之照明光學系統 ILS 的瞳面 15 與光柵 R 之關係以簡單地表示的斜視圖，圖 1 中之中繼透鏡 16、聚焦透鏡 18、20 等省略。如上所述，分佈於圖 8A 中之環帶領域 IL0 內的照明光，為了提昇在 X 方向中具有周期性的圖案 PX 之成像性能，係在其 X 方向之端部 ILL、ILR 中以 Y 方向(圖 8A 之紙面深度的方向)之直線偏光為佳，為提昇 Y 方向中具有周期性的圖案 PY 之成像性能，係在 Y 方向之端部 ILU、ILD 中以 X 方向之直線偏光為佳。即，以使用其偏光方向大概與環帶領域 IL0 之圓周方向一致的直線偏光為佳。

更且，在光柵 R 中，不僅為 X 方向及 Y 方向中在包含其

中間方向(45° 及 135° 方向)之圖案の場合，也考慮到此等圖案之方向性，係以使用其偏光方向與環帶領域之圓周方向完全一致的直線偏光為佳。

可是，上述之偏光狀態，對於與適合於環帶領域 IL0 內各部分之偏光狀態的方向性圖案直交之圖案，並不一定可實現有效的偏光狀態。例如，從部分領域 ILU 向 X 方向偏光之照明光，對在 X 方向具有周期性而長度方向成為 Y 方向之圖案 PX 的成像而言，係為不好之偏光狀態。但是，從圖 7C 可加以明瞭圖 7C 係表示有助於在 X 方向中具有微細間距之圖案的成像之光源，在圖 7C 中相當於環帶領域 IL0 之上端的部分領域 ILU，畢竟是對在 X 方向中具有微細間距之圖案的成像無任何貢獻之光源，所以不管部分領域 ILU 之偏光狀態為任何者，完全不會使其成像特性惡化。

尚且，如圖 8A 所示，在照明光學系統 ILS 之瞳面 15 中大略與環帶領域 IL0 之圓周方向一致的直線偏光，對於光柵 R 以所謂 S 偏光入射，所謂 S 偏光，係指對於光束入射至物體之入射面(包含物體之法線與光束的平面)為直交的直線偏光。即，從與環帶領域 IL0 之圓周方向一致的方向之直線偏光所構成的部分領域 ILL 而來之照明光 ILL1，係如圖 8B 所示，偏光方向 EF1 對於入射面(圖 8B 之紙面)以垂直之 S 偏光入射至光柵 R。又，對於同樣之部分領域 ILD 上之照明光 ILD1，如圖 8C 所示，偏光方向 EF2 也對於入射面(圖 8C 之紙面)成為垂直之 S 偏光而入射至光柵 R。

理所當然，從上述部分領域 ILL、ILD 與對於照明光學系

統之光軸 AX41 成為對稱位置的部分領域 ILR、ILU 而來之照明光，也在部分領域 ILR、ILU 上各照明光具有與環帶領域 IL0 之圓周方向一致之偏光方向，所以從對稱性而言也同樣成為 S 偏光而入射至光柵 R。對於環帶照明之一般性質，在環帶領域 IL0 上所分布之照明光的向光柵 R 之入射角度，係成為從照明光學系統之光軸 AX41(即，對於光柵 R 之垂線)以角度 φ 為中心之所定的角度範圍。以此入射角度照射於光柵 R 之光束以下稱為「特定照明光」。此角度 φ 及角度範圍可以依據照明光之波長或光柵 R 上之應轉印的圖案之間距等來決定。

可是，上述之第一、第二複折射構件 12、13，雖係將從其構件中固有之形狀所決定的所定的外半徑(外圓 C1)與內半徑(內圓 C2)間之特定環帶領域內所分佈之照明光的偏光狀態，變換成平行於該特定環帶領域之圓周方向的直線偏光為主成分之偏光狀態，但其半徑(C2、C1)不容易變更。

於是，如上所述，在有必要將所期望之環帶領域依據光柵 R 上應轉印之圖案之間距等來變更的場合，係在圖 1 之第一、第二複折射構件 12、13 與複眼透鏡 14 等的光學積分器之間，如圖 9 所示，加設變焦型之多個圓錐稜鏡 41、42，以使上述之特定環帶領域之半徑成為可變為佳。在圖 9 中，所謂變焦型之多個圓錐稜鏡，係將具有凹型圓錐面 41b 之凹圓錐稜鏡 41 與具有凸型圓錐面 42a 之凸圓錐稜鏡 42，以其間隔 DD 為可變的方式沿著照明系統光軸 AX2 而配置者。

在此種場合，透過第一、第二複折射構件 12、13，分佈於以平均半徑 RI 為中心的特定環帶領域中之照明光，係藉由

變焦型之圓錐稜鏡 41、42，在複眼透鏡 14 之入射面及其射出面之照明光學系統的瞳面 15 中，擴大為半徑 RO。此半徑 RO 可藉由擴大兩圓錐稜鏡 41、42 的間隔 DD 而擴大，亦可藉由該間隔 DD 之縮小而縮小。

藉此，在照明光學系統之瞳面 15 中，可將由平行於其圓周方向之直線偏光所構成之照明光所分布的特定環帶領域，能以任何半徑來形成，可將環帶照明之照明條件按照應轉印之光柵 R 上的圖案來變更。

尚且，替代上述變焦型稜鏡 41、42 時，當然也可使用變焦光學系統。

雖然，在以上之實施形態中，以形成於圖 1 之照明光學系統 ILS 之瞳面 15 上所形成的照明光量分布為環帶領域，即，以適用於環帶照明之前提來加以說明，但由圖 1 之投影曝光裝置可實現的照明條件，未必限定於環帶照明。即，圖 1 之複折射構件 12、13 或圖 9 之變焦型圓錐稜鏡 41、42，係使分佈於照明光學系統之瞳面 15 內的特定環帶領域內所分佈之照明光的偏光狀態，設定成上述所期望的偏光狀態，所以即使將照明光之分佈限定於其特定環帶領域內的更特定之部分領域內的場合，即，例如即使限定於圖 7C 中之部分領域 ILL、ILR 的場合，不用說亦可將分佈於其部分領域內之照明光轉換成以具有平行於該特定環帶領域的圓周方向的偏光方向之直線偏光為主成分的照明光。

如此，使照明光僅聚光於特定環帶領域內之更特定的領域內時，更換圖 1 中之繞射光學元件 9a，使從其他繞射光學元

件所產生之繞射光(照明光)，集中於第一複折射構件 12、第二複折射構件 13 上之特定環帶領域中的更特定的離散之領域即可。使照明光集中之場所，例如在圖 7C 中雖然為部分領域 ILL、ILR 的兩場所，但不限於此，也可集中於特定環帶領域中之任意場所，其個數也可為四個。其選定，係按照光柵 R 上之成為曝光對象的圖案形狀來決定即可。

尚且，如此使照明光集中於特定環帶領域內之更特定領域內的場合，替代上述之變焦型之圓錐稜鏡 41、42 時，也可使用將金字塔型等之凸型多面體稜鏡與凹型之多面體稜鏡，以可變更間隔之同一方式所組合而成的光學構件群。

尚且，分布於此等特定領域以外之照明光由於不適於作為上述曝光對象之圖案的曝光，也有使其光量分佈實質上成為 0 時為較好之場合。另一方面，由於繞射光學元件 9a 等之製造誤差等，從繞射光學元件 9a 等向所期望方向之外也產生繞射光(以下稱為「誤差光」。)，在上述之部分領域以外也有照明光分佈之可能性。於是，例如可在圖 1 之複眼透鏡 14 的入射面側或射出面側設置光圈，以構成為對此誤差光加以遮光的結構。由此使上述之多個特定領域之照明光量分布係完全成為離散者。但是，在光柵 R 上也有成為上述曝光對象之圖案以外的圖案存在，上述誤差光由於也具有對此等對象外之圖案成像為有效的場合，因此也有不一定要使特定領域以外之照明光量分佈成為 0 之場合。

可是，若著眼於照明光之向光柵 R 的入射，將瞳面 15 上之照明光量的分布，限定於特定環帶領域內之更特定的領域內

時，除了由環帶照明所造成之入射角度範圍的限制以外，即使其入射方向也成為僅從上述之實質上離散的多個方向來加以限制。當然，將本發明適用於環帶照明之場合，也可構成為將分布於特定環帶領域以外之誤差光，以在複眼透鏡 14 之入射面側或射出面側設置光圈的方式來加以遮光的結構。

尚且，在以上之實施形態中，雖然使用複眼透鏡 14 作為光學積分器，但對於光學積分器也可使用內面反射型積分器(例如玻璃棒 (glass rod))。此種場合，玻璃棒之射出面並非照明光學系統的瞳面 15，且配置於與光柵 R 成共軛之共軛面。

又，在以上之實施形態中，對於作為曝光光源 1 之雷射光源，雖係為偏光於 X 方向之直線偏光光所射出者，依據雷射光源之形態，也有偏光於圖 1 中之 Z 方向的直線偏光或其他偏光狀態之光束所出射的場合。圖 1 中之曝光光源 1，以直線偏光於 Y 方向之光，即，在複折射構件 12、13 之位置上以直線偏光於 Z 方向之光射出的場合中，係將上述之第一及第二實施例所示之複折射構件 12、13，以照明系統光軸 AX2 為旋轉中心藉由 90° 旋轉，可得到與圖 4C 及圖 6C 所示之偏光狀態大略同樣的偏光狀態的照明光(正確而言係將兩圖所示的狀態以 90° 旋轉後的狀態的照明光)。

或者，也可藉由圖 1 中之偏光控制構件 4 (偏光控制機構)，將從曝光光 1 所射出之 Y 方向的直線偏光變換成 X 方向之直線偏光。此種偏光控制元件 4 可藉由所謂 $1/2$ 波長板而容易地實現。尚且，曝光光源 1 在射出圓偏光或橢圓偏光之場合，也可同樣藉由使用 $1/2$ 波長板或 $1/4$ 波長板為偏光控制構

件 4，以變換成朝向所期望之 Z 方向的直線偏光。

但是，偏光控制構件 4，係並非可將從曝光光源 1 所照射之任意偏光狀態的光束，無光量損失地變換成 Z 方向的偏光。因此，曝光光源 1 有必要產生直線偏光、圓偏光、橢圓偏光等具有單一偏光狀態之光束(藉由波長板等可以無光量損失地變換為直線偏光的光束)。但是，對於照明光的全體強度，在上述單一偏光狀態以外的光束強度在並非大如某種程度之場合，單一偏光狀態以外之光束的對成像特性之不良影響變為輕微，因此只要到某程度(例如為全光量之 20% 以下程度)，從曝光光源 1 所照射之光束包含上述單一偏光狀態以外的光束時亦可。

尚且，考慮上述實施形態之投影曝光裝置的使用狀態時，使照明光之偏光狀態以經常將分佈於上述特定環帶領域之照明光成為大概平行於其環帶領域之圓周方向的直線偏光，或設定上述特定照明光對於光柵 R 以 S 偏光而入射，最優良的情況不限於此。即，依照應曝光之光柵 R 的圖案，採用非環帶照明的通常照明(在照明光學系統之瞳面 15 中，具有圓形的照明光量分布的照明)的方法亦有較佳之場合，此種場合中，也有不使用具有上述實施形態之偏光狀態的照明光的方法為較佳之場合。

於是，為對應於此種使用狀態，對於圖 1 之偏光控制構件 4，可採用將雷射等之光源所射出之光束的偏光狀態，能按照需要變換成任意偏光等之元件或光學系統。此可由例如圖 10 所示之兩個偏光射束分裂器(beam splitter)4b、4c 等來實現。

圖 10 係表示可在圖 1 之偏光控制構件 4 的位置上所設置之偏光控制光學系統，在此圖 10 中，例如由直線偏光所構成之照明光束 IL0（對應於圖 1 之照明光 IL），係入射至由 1/2 波長板或 1/4 波長板所構成之旋轉波長板 4a。藉此使變換成由圖 10 之紙面傾斜 45° 方向的直線偏光或圓偏光之照明光 IL1，藉由最初之偏光射束分裂器 4b 來對其分裂面分裂為由 P 偏光成分所構成之光束 IL2 及由 S 偏光成分所構成之 IL3，光束 IL2 經由稜鏡 4b 直進於圖 10 中之上方，另一光束 IL3 係反射至圖 10 中之右方。

直進之光束 IL2 雖然入射於下一個偏光射束分裂器 4c，由於其偏光特性，光束 IL2 係在偏光射束分裂器 4c 內直進，成為光束 IL4 且前進至圖 10 中之上方。另一方面，反射之光束 IL3 係由鏡面 4d、4e 經反射後入射於偏光射束分裂器 4c，在此經再反射之光束 IL3 係與上述之直進光束 IL4 加以再度合流。此時，偏光射束分裂器 4b 及 4c 與鏡面 4d 及 4e 之間隔各為 DL 時，在合流之兩光束 IL3、IL4 之間形成 $2 \times DL$ 之光程長差。然後，若將此光程長差 $2 \times DL$ 設定成比照明光束之相參(coherent)長度還長時，兩光束間之可干涉性會消失，所以可使合流之光束實質上成為任意偏光。

尚且，將此種偏光控制光學系統裝填於圖 1 之照明光學系統 ILS 中時，透過此系統之照明光 IL 經常成為任意偏光，為了實現上述實施形態，這不能說不成為障害。但是，在圖 10 所示之光學系統中，藉由旋轉波長板 4a 之旋轉，使透過該旋轉波長板 4a 之照明光 IL1 的偏光狀態，全部變換成可透過最

初之射束分裂器 4b 之直線偏光，所以上述之障害在原理上不會產生。但是，由於在偏光射束分裂器 4b、4c 中之吸收，或在鏡面 4d、4e 中之反射損失等產生某種程度的光量損失並不能回避，所以在不需要將照明光任意偏光化時為較佳的場合，也可設置將射束分裂器 4b、4c 及旋轉波長板 4a 避讓於照明光學系統之光路外的機構。

可是，即使不使用此種偏光射束分裂器，由以下之簡便方法也可得到大概與任意偏光照明同樣之效果。此係將入射於圖 1 之第一複折射構件 12 之照明光 IL 的偏光狀態，成為從圖 1 中之 X 方向及 Z 方向離開 45° 之方向，藉由使分佈於上述特定環帶領域之照明光大概變換成圓偏光來實現。因此，將本實施形態之投影曝光裝置，在可將圓偏光視為近似於任意偏光之用途而使用的場合，即，所要求之成像性能，在比較不急的用途所使用的場合中，使圖 1 中之偏光控制構件 4 例如以 $1/2$ 波長板來構成，藉由將入射於第一複折射構件 12 之照明光的偏光狀態，成為如上所述從 X 軸及 Z 軸傾斜 45° 之方向時，也可得到與任意偏光照明大概同樣之效果。又，同樣使偏光控制構件 4 例如以 $1/4$ 波長板來構成，藉由使入射於第一複折射構件 12 之照明光的偏光狀態成為圓偏光時，也可得到與任意偏光照明同樣之效果。

或者，將圖 1 中之第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13，以照明光學系統 ILS 之光軸的照明系統光軸 AX2 為中心，藉由總體上可旋轉之機構，使兩複折射構件 12、13 與照明光之直線偏光的方向之關係，例如藉由旋轉 45° ，也可得與任意

偏光照明同樣之效果。

可是，即使在上述之通常照明中，也有將其偏光狀態以設定於向所定之一方向的直線偏光為較好之場合。在上述之實施形態的投影曝光裝置中，對應於此種照明條件時，將圖 1 中之第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 等之各複折射構件，各別獨立地以照明系統光軸 AX2 為中心，以設置成總體上可旋轉之機構，以各複折射構件之進相軸(或遲相軸)與照明光之直線偏光的方向成為平行之方式來設定各複折射構件之旋轉方向亦可。此種場合，照明光即使進行於各複折射構件中也完全不接受偏光狀態之變換作用，以保持入射時之直線光的原樣而射出。

尚且，在向所定之一方向的直線偏光狀態作設定之際，藉由將第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 等總體上避讓於照明光學系統之光程外，也可進行處理。即，設置更換機構，也可藉由使複折射構件等總體上進行更換以對應於向所定之一方向的直線偏光狀態。又，如要設更換機構時，也可構成為可設定更換機構中之複數組的複折射構件群，且將此等以可更換之方式配置於照明系統光軸 AX2 上之位置上的結構。此種場合，不用說，各複折射構件群，係在各具有相異之外半徑、內半徑之特定環帶領域中，以具有使照明光變換成沿其圓周方向之直線偏光的特性為佳。

可是，以使用如上述之向所定之一方向的直線偏光之照明光為佳時，例如存在著將圖案之方向齊全的空間頻率調變型之相位移位光柵予以曝光的場合。然後，在此種場合，為了更提

昇被曝光轉印之圖案的解像度及焦點深度，則照明光之相參係數(σ 值)係以 0.4 程度以下者為佳。

在此，對於本發明之複折射構件(第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13)的作用，以參照圖 4C 及圖 6C 再考究時，如各在兩圖中所示，共同由第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13 之第一實施例(圖 4C)與第二實施例(圖 6C)可知，以照明光學系統之光軸($X=0$ 、 $Z=0$)為中心，在特定環帶領域之外半徑 $C1$ 之半徑的一半程度作為半徑之圓(未圖示)的內側上所分佈之照明光的偏光狀態幾乎不受影響。

外半徑 $C1$ 之半徑，以照明 σ (σ 值)例如為相當於 0.9 時，在照明 $\sigma=0.45$ 之照明光束的範圍內，第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13，係將入射之 X 方向的直線偏光，大概以保持原樣之偏光狀態而射出。又，在第一複折射構件 12 中入射 Z 方向之直線偏光(Z 偏光)時，從第二複折射構件 13 所射出之光束中，可使上述照明 $\sigma=0.45$ 程度之照明光束的偏光狀態成為 Z 偏光。

因此，如要使用如上述第一及第二實施例之複折射構件(第一複折射構件 12 及第二複折射構件 13)時，不需將各構件避讓於照明光學系統之光程外，將向複折射構件之入射光的偏光方向，藉由上述之偏光控制構件 4 等來替換，以便在適合於向上述之空間頻率調製型相位移位光柵之照明、且以照明 σ 為 0.4 程度以下之照明光束中，實現 X 方向或 Z 方向之偏光(在圖 1 之光柵 R 上各為 X 方向或 Y 方向之偏光)的照明光。

當然，在此種場合，也要使照明 σ 限制於 0.4 程度時，不

用說，以使用所產生之繞射光之方向特性成為對應於此之角度分布的繞射光學元件 9a 為佳。藉此，不需要設置上述總體更換機構也可形成各種實用上的偏光狀態之照明光束，這也為本發明之優點。

其次，對於使用上述之實施形態的投影曝光裝置之半導體元件的製造過程之一例以參照圖 11 來說明。

圖 11 係表示半導體元件之製造過程的一例，在此圖 11 中，首先從矽半導體等來製造晶圓 W。其後，在晶圓 W 上塗布光阻(photoresist)(階段 S10)，在其次之階段 S12 中，在上述實施形態(圖 1)之投影曝光裝置的光柵機台上裝設光柵(假定為 R1)，在晶圓機台上載入晶圓 W，以掃描曝光方式將光柵 R1 之圖案(以符號 A 表示)轉印(曝光)至晶圓 W 上之全部攝影領域 SE。此時，按照需要進行雙重曝光。尚且，晶圓 W 係例如為直徑 300mm 之晶圓(12 英吋晶圓)，攝影領域 SE 之大小的一例是非掃描方向之寬度為 25mm 掃描方向之寬度為 33mm 的矩形領域。其次，在階段 S14 中，藉由進行顯像及蝕刻或離子注入等，在晶圓 W 之各攝影領域 SE 上形成所定之圖案。

其次，在階段 S16 中，在晶圓 W 上塗佈光阻，其後在階段 S18 中，在上述實施形態(圖 1)之投影曝光裝置的光柵機台上塗佈光柵(假定為 R2)，在晶圓機台上將晶圓 W 載入，以掃描曝光方式將光柵 R2 之圖案(以符號 B 表示)轉印(曝光)至晶圓 W 上之各攝影領域 SE。然後，在階段 S20 中，藉由進行晶圓 W 之顯像及蝕刻或離子注入等，在晶圓 W 之各攝影領域上形成所定之圖案。

以上之曝光過程~圖案形成過程(階段 S16~階段 S20)，只以所需要的次數重複地製造所期望之半導體元件。然而，藉由經過將晶圓 W 上之各晶片 CP 以一個一個切離之切割(dicing)過程(階段 S22)或結合(bonding)過程及封裝(packaging)過程等(階段 S24)，以製造成為製品之半導體元件 SP。

依照本例之元件製造方法時，用上述之實施形態的投影曝光裝置來進行曝光，所以在曝光製程中，可在提昇照明光(曝光光束)之利用效率的狀態下以所定之偏光狀態來照明光柵。因此，微細間距之周期性圖案等的解像度等有提昇，可以更高的積體密度將高性能之半導體積體電路，以高處理能力(throughput)廉價地製造。

又，上述實施形態的投影曝光裝置，係將由多個透鏡所構成之照明光學系統、投影光學系統組裝於曝光裝置本體中經光學調整後，將由多數機械構件所構成之光柵機台或晶圓機台組裝於曝光裝置本體中以連接配線或配管，更藉由綜合調整(電調整、動作確認等)來進行製造。尚且，該投影曝光裝置之製造，係以在溫度及清潔度等經管理之清潔室(clean room)中進行為佳。

又，本發明不僅在掃描曝光型之投影曝光裝置中適用，也可適用於元件等之總體曝光型的投影曝光裝置中。又，所使用之投影光學系統之倍率不僅為縮小倍率，也可為等倍或擴大倍率者。而且，本發明也可適用於例如國際公開(WO)第 99/49504 號等所揭示之液浸型曝光裝置中。

又，對於本發明之投影曝光裝置的用途，並非限定於半導

體元件製造用之曝光裝置，也可廣泛適用於例如角型玻璃板上所形成之液晶顯示元件，或者電漿顯示器等之顯示裝置用之曝光裝置或攝影元件(CCD 等)、微機械(micro machine)、薄膜磁頭、及 DNA 晶片等之製造各種元件用之曝光裝置中。而且，本發明亦可適用於已形成有各種元件的光罩圖案之光罩(包含 X 線光罩之光罩、光柵等)是以使用微影製程來製造時的曝光製程(曝光裝置)中。

尚且，本發明並非限定於上述之實施形態，在不脫離本發明之要旨的範圍內當然可取得種種的構成。

依照本發明之元件製造方法時，可提高曝光光束(照明光)之利用效率，同時能以高精度來形成所定圖案。因此，可將半導體積體電路等之各種元件以高精度且以高處理能力來進行製造。

雖然本發明已以較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

圖 1 係將表示本發明之實施形態的一例之投影曝光裝置的概略結構予以切開之剖面圖。

圖 2A 係向+Y 方向所見的圖 1 中之複折射構件 12 的圖，圖 2B 係沿圖 2A 之 AA'線的斷面圖。

圖 3A 係向+Y 方向所見的圖 1 中之複折射構件 13 的圖，圖 3B 係沿圖 3A 之 BB'線的斷面圖。

圖 4A 係表示在第一複折射構件 12 之偏光間相位差 $\Delta P1$ 與位置 X 的關係之一例的圖，圖 4B 係表示第二複折射構件 13 之偏光間相位差 $\Delta P2$ 與位置 XZ 的關係之一例的圖，圖 4C 係表示從第二複折射構件 13 所射出之照明光的偏光狀態之一例的圖。

圖 5 係表示從第一複折射構件 12 所射出之照明光的偏光狀態之一例的圖。

圖 6A 係表示第一複折射構件 12 之偏光間相位差 $\Delta P1$ 與位置 X 的關係之其他例的圖，圖 6B 係第二複折射構件 13 之偏光間相位差 $\Delta P2$ 與位置 XZ 的關係之其他例的圖，圖 6C 係表示從第二複折射構件 13 所射出之照明光的偏光狀態之其他例的圖。

圖 7A 係表示在圖 1 光柵 R 上所形成之微細周期圖案 PX 的一例之平面圖，圖 7B 係表示將圖 7A 之圖案以所定條件來照明時在投影光學系統之瞳面 26 內所形成之繞射光的分布圖，圖 7C 係表示照明該圖 7A 之圖案 PX 時的環帶照明之條件的圖。

圖 8A 係將圖 1 之照明光學系統 ILS 的瞳面 15 與光柵 R 之關係簡單地表示的斜視圖，圖 8B 係圖 8A 之一部分在 +Y 方向中所見的圖，圖 8C 係圖 8A 之一部分在 -X 方向中所見的圖。

圖 9 係在本發明之實施形態的一例中，為了使特定環帶領域之半徑成為可變，表示可配置在圖 1 之複折射構件 12、13 與複眼透鏡 14 間之多個圓錐稜鏡的圖。

圖 10 表示可配置於圖 1 之偏光控制構件 4 的位置之偏光控制光學系統的一例之圖。

圖 11 係表示使用本發明之實施形態的投影曝光裝置以製造半導體元件之微影過程的一例之圖。

【主要元件符號說明】

R：光柵

W：晶圓

ILS：照明光學系統

AX2：照明系統光軸

nf：進相軸

ns：遲相軸

1：曝光光源

4：偏光控制構件

9a、9b：繞射光學元件

12：第一複折射構件

13：第二複折射構件

14：複眼透鏡

25：投影光學系統

36：特定環帶領域

41、42：圓錐稜鏡

七、申請專利範圍：

1.一種照明光學裝置，藉由照明光對具有圖案的物體進行照明，其特徵在於包括：

複折射構件，其由複折射材料構成，配置於所述照明光的光路而變換所述照明光的偏光狀態；以及

光學積分器，其配置於所述照明光的光路中所述複折射構件與所述照明光學裝置的瞳面之間的光路，

所述照明光的一部分的光束以及另一部分的光束通過所述瞳面中從該照明光學裝置的光軸離開的領域，

所述複折射構件在所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度彼此不同，以使所述瞳面中的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束的偏光狀態成為彼此不同的偏光狀態。

2.如申請專利範圍第 1 項所述之照明光學裝置，其中所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使以所定之一方向為偏光方向的直線偏光狀態而入射至所述複折射構件的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束以分別成為實質上以 S 偏光為主成份的偏光狀態而照射所述物體。

3.如申請專利範圍第 1 項所述之照明光學裝置，其中所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使以所定之一方向為偏光方向的直線偏光狀態而入射至所述複折射構件的所述一部分的光束以及所述另一部分的光束分別成為以在所述瞳面內實質上

的所述光軸周圍的圓周方向為偏光方向的直線偏光狀態。

4.如申請專利範圍第 3 項所述之照明光學裝置，其中所述一部分的光束的光路中的厚度與所述另一部分的光束的光路中的厚度設定成使所述一部分的光束的偏光方向與所述另一部分的光束的偏光方向在所述瞳面內彼此不同。

5.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中在所述瞳面內所述一部分的光束的偏光方向與所述另一部分的光束的偏光方向彼此直交。

6.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中所述一部分的光束以及所述另一部分的光束通過在所述瞳面中相對於所述光軸周圍的圓周方向為彼此不同的位置。

7.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中所述複折射構件具備對應相對於所述光軸周圍的圓周方向的位置的厚度分布。

8.如申請專利範圍第 7 項所述之照明光學裝置，其中所述複折射構件的厚度對應相對於所述圓周方向的位置而連續地變化。

9.如申請專利範圍第 7 項所述之照明光學裝置，其中所述厚度分布具備相對於所述圓周方向的二次旋轉對稱性。

10.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中具備有設定對於所述物體的所述照明光的入射角的範圍的構件。

11.如申請專利範圍第 10 項所述之照明光學裝置，其

中設定入射角的範圍的所述構件將對於所述物體的所述照明光的入射方向設定於實質上是離散的多個方向中。

12.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

偏光控制構件，配置於所述複折射構件的入射側中的所述照明光的光路上，將所述照明光的偏光狀態從實質上以單一的偏光為主成分的偏光狀態變換為以所述所定之一方向為偏光方向的直線偏光為主成分的偏光狀態。

13.如申請專利範圍第 12 項所述之照明光學裝置，其中所述單一的偏光為直線偏光、圓偏光或橢圓偏光。

14.如申請專利範圍第 12 項所述之照明光學裝置，其中所述偏光控制構件含有 $1/2$ 波長板和 $1/4$ 波長板中的至少一者。

15.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

更換機構，能夠更換所述複折射構件。

16.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

旋轉機構，使所述複折射構件以所述光軸為中心而能夠旋轉。

17.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與所述瞳面一致的方式配置。

18.如申請專利範圍第 4 項所述之照明光學裝置，其中

所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與對於所述圖案所配置的面的傅里葉變換面一致的方式配置。

19.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中所述複折射構件具備對應相對於所述光軸周圍的圓周方向的位置的厚度分布。

20.如申請專利範圍第 19 項所述之照明光學裝置，其中所述複折射構件的厚度對應相對於所述圓周方向的位置而連續地變化。

21.如申請專利範圍第 19 項所述之照明光學裝置，其中所述厚度分布具備相對於所述圓周方向的二次旋轉對稱性。

22.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中具備有設定對於所述物體的所述照明光的入射角的範圍的構件。

23.如申請專利範圍第 22 項所述之照明光學裝置，其中設定入射角的範圍的所述構件將對於所述物體的所述照明光的入射方向設定於實質上是離散的多個方向中。

24.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

偏光控制構件，配置於所述複折射構件的入射側中的所述照明光的光路上，將所述照明光的偏光狀態從實質上以單一的偏光為主成分的偏光狀態變換為以所述所定之一方向為偏光方向的直線偏光為主成分的偏光狀態。

25.如申請專利範圍第 24 項所述之照明光學裝置，其中所述單一的偏光為直線偏光、圓偏光或橢圓偏光。

26.如申請專利範圍第 24 項所述之照明光學裝置，其中所述偏光控制構件含有 $1/2$ 波長板和 $1/4$ 波長板中的至少一者。

27.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

更換機構，能夠更換所述複折射構件。

28.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中具備有：

旋轉機構，使所述複折射構件以所述光軸為中心而能夠旋轉。

29.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與所述瞳面一致的方式配置。

30.如申請專利範圍第 2 項所述之照明光學裝置，其中所述光學積分器包括複眼透鏡，所述複眼透鏡的射出面以與對於所述圖案所配置的面之傅里葉變換面一致的方式配置。

31.一種曝光裝置，藉由來自物體上所設置的圖案的光對基板進行曝光，其特徵在於包括：

機台，其保持所述基板；

如申請專利範圍第 1 項至第 30 項中任一項所述之照明光學裝置，其照明所述圖案；以及

投影光學系統，其將藉由所述照明光學裝置照明的所述圖案的像投影於所述機台保持的所述基板。

32.如申請專利範圍第 31 項所述之曝光裝置，其中所述曝光裝置為液浸型曝光裝置。

33.一種曝光方法，藉由來自物體上所設置的圖案的光對基板進行曝光，其特徵在於包括：

藉由機台保持所述基板；

藉由如申請專利範圍第 1 項至第 30 項中任一項所述之照明光學裝置照明所述圖案；以及

將藉由所述照明光學裝置照明的所述圖案的像投影於所述機台保持的所述基板。

34.如申請專利範圍第 33 項所述之曝光方法，其中所述基板被液浸曝光。

35.一種元件製造方法，用於製造元件，其特徵在於包括：

使用如申請專利範圍第 31 項或第 32 項所述之曝光裝置，將圖案轉印於基板上；以及

對轉印了所述圖案的所述基板進行顯影。

36.一種元件製造方法，用於製造元件，其特徵在於包括：

使用如申請專利範圍第 33 項或第 34 項所述之曝光方法，將圖案轉印於基板上；以及

對轉印了所述圖案的所述基板進行顯影。

八、圖式

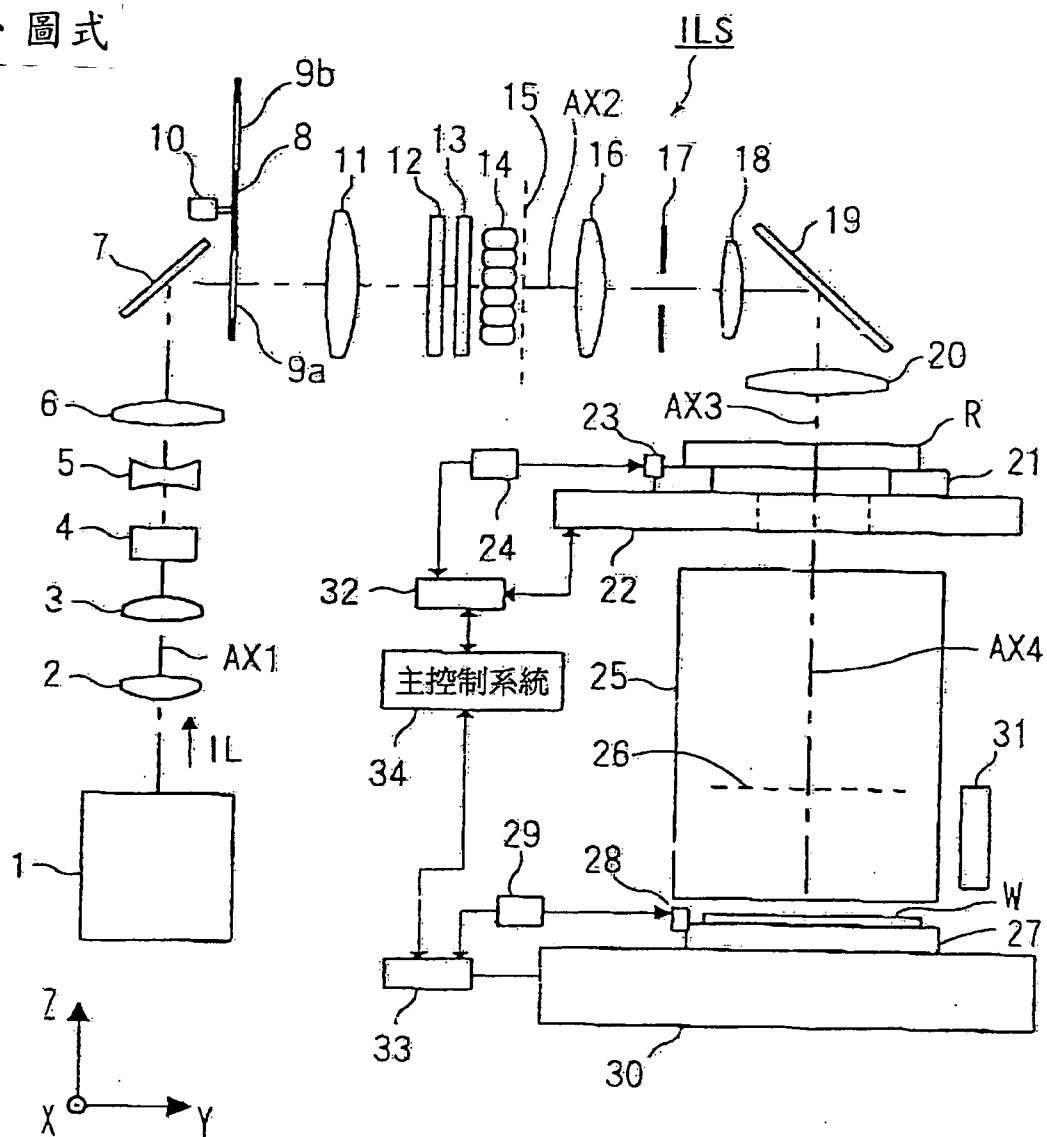


圖 1

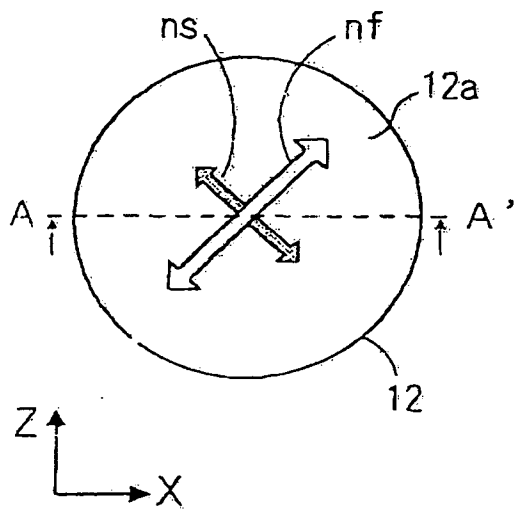


圖 2(A)

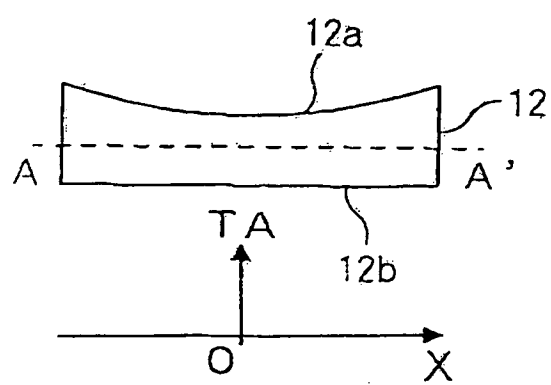


圖 2(B)

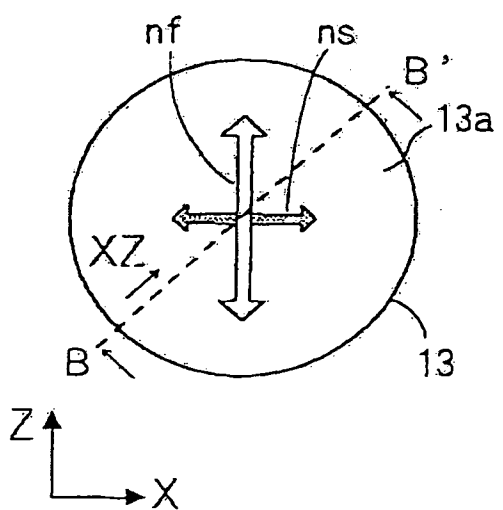


圖 3(A)

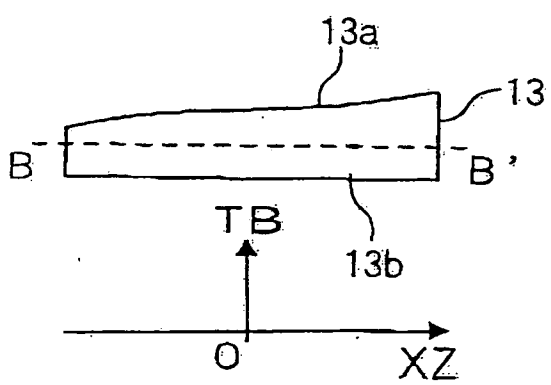


圖 3(B)

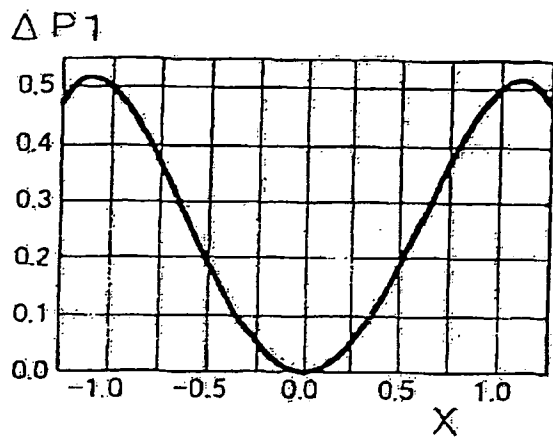


圖 4(A)

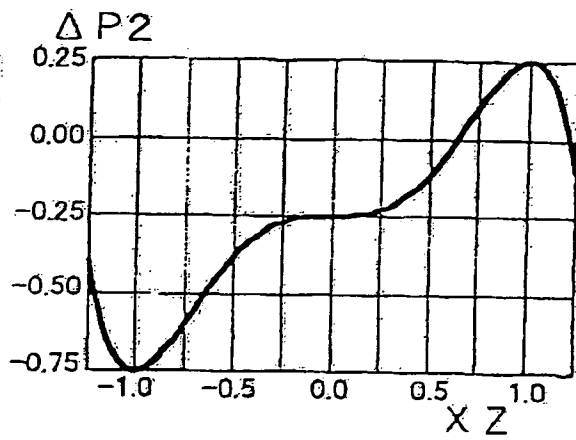


圖 4(B)

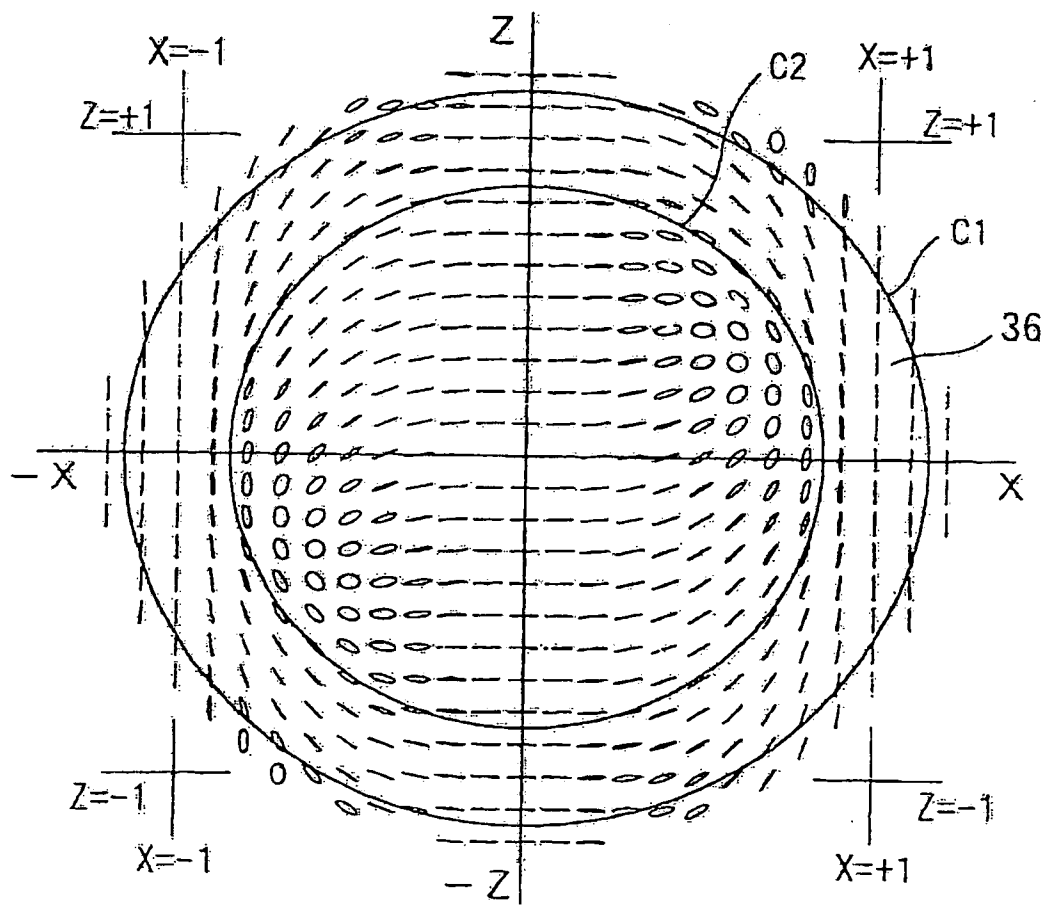


圖 4(C)

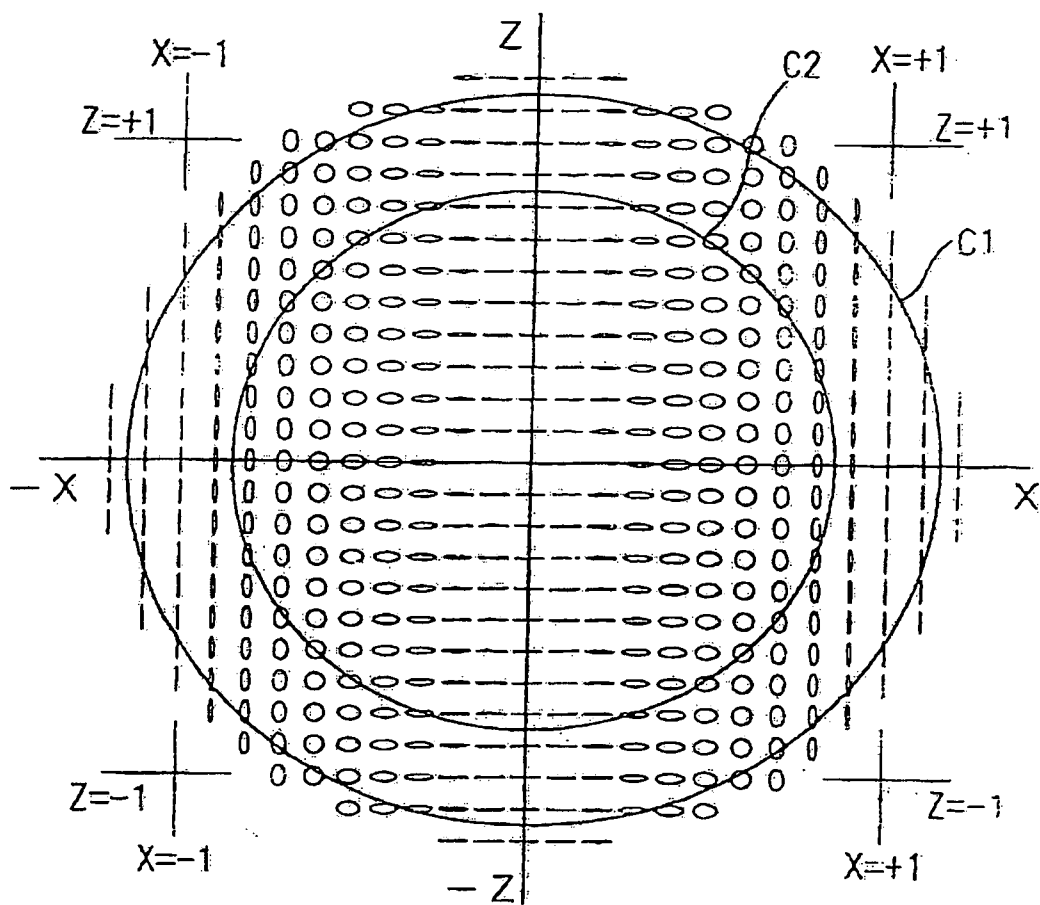


圖 5

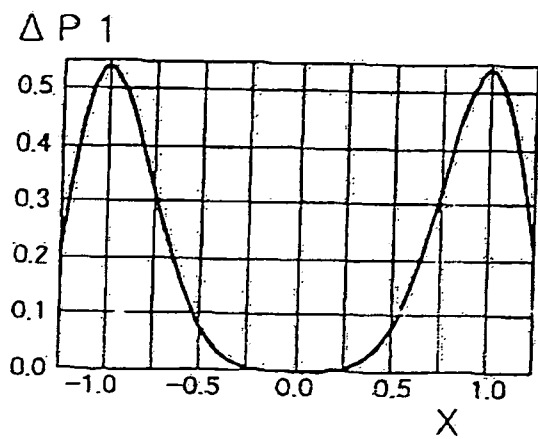


圖 6(A)

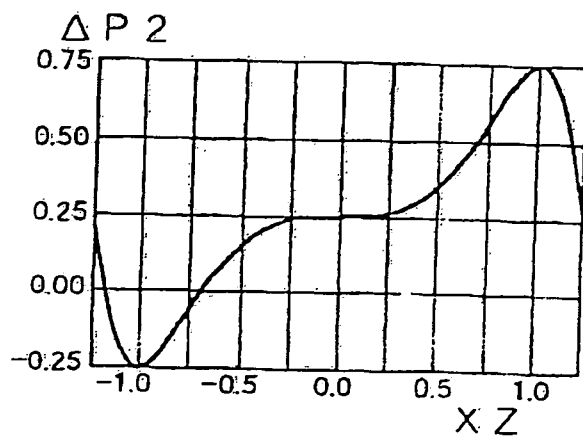


圖 6(B)

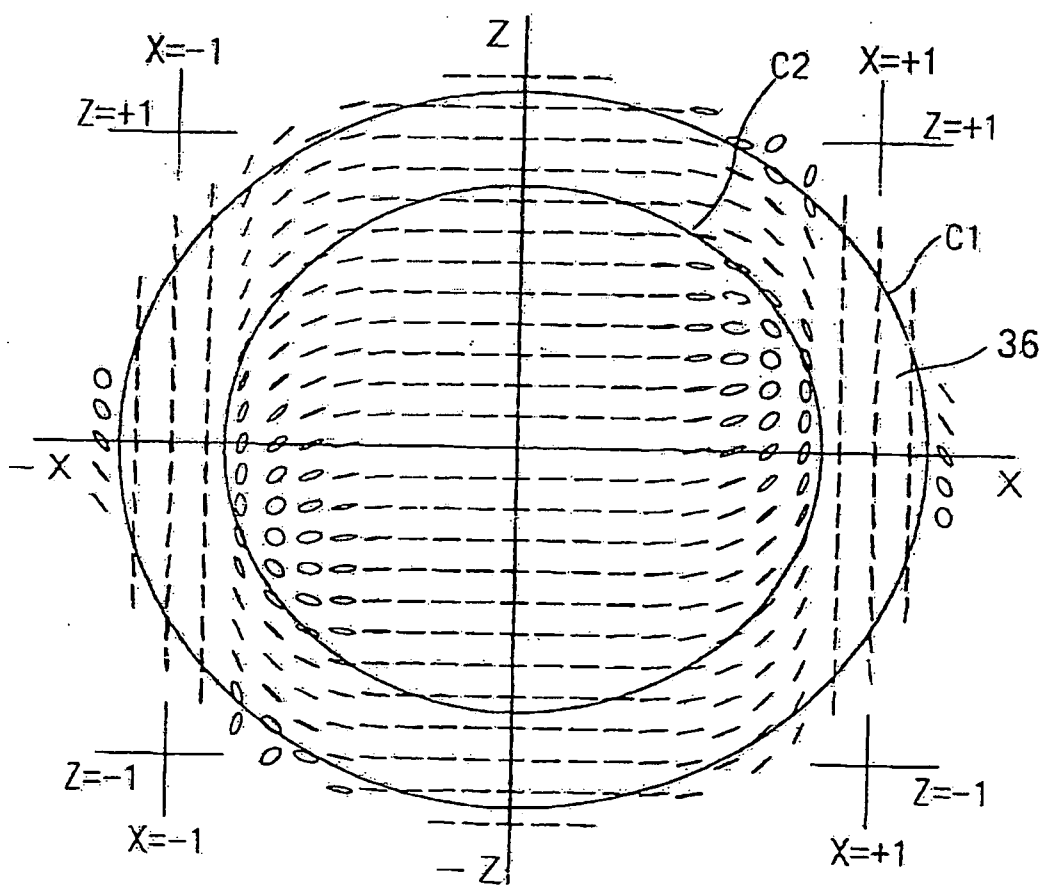


圖 6(C)

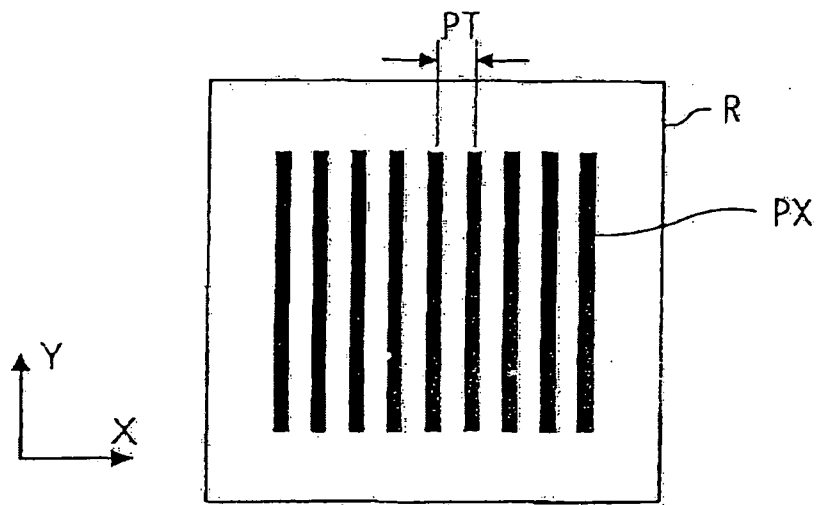


圖 7(A)

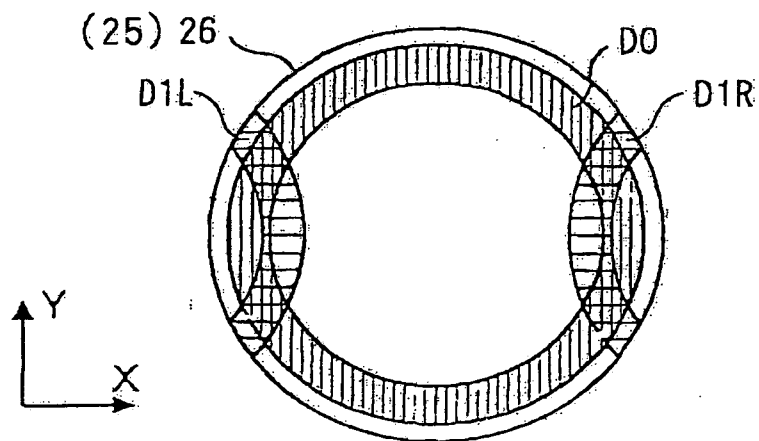


圖 7(B)

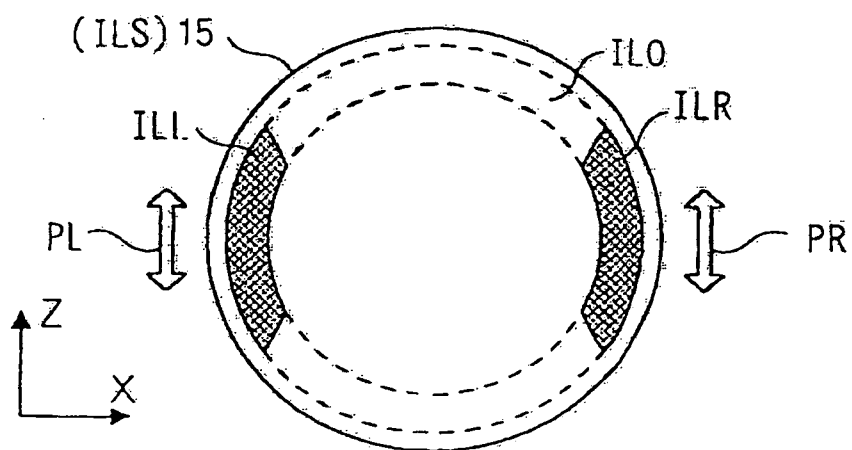


圖 7(C)

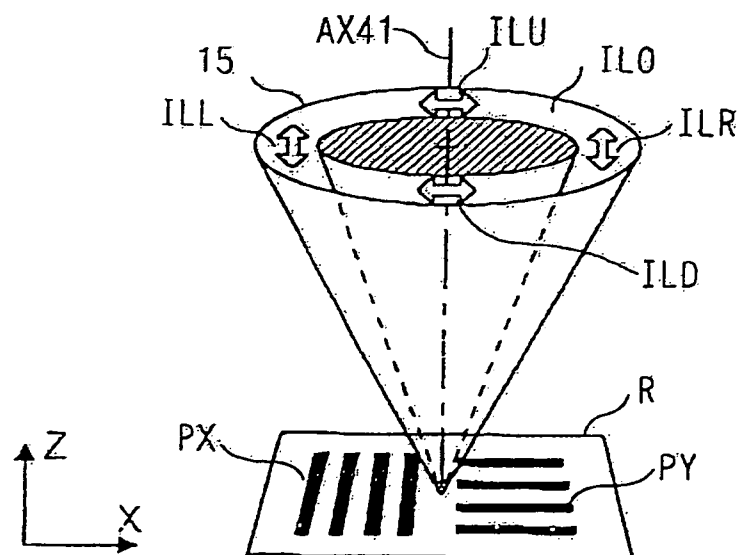


圖 8(A)

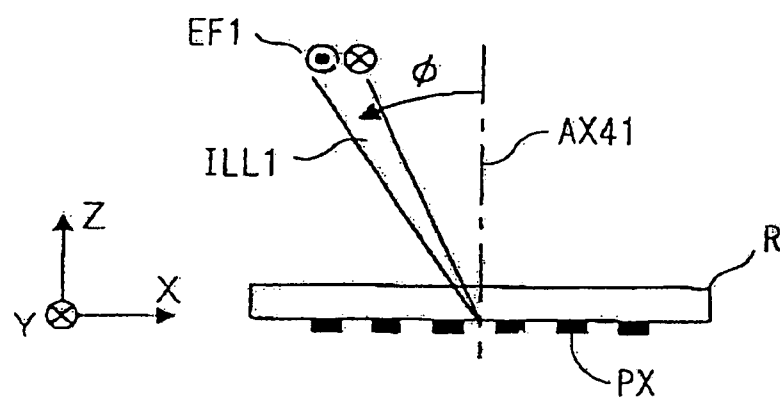


圖 8(B)

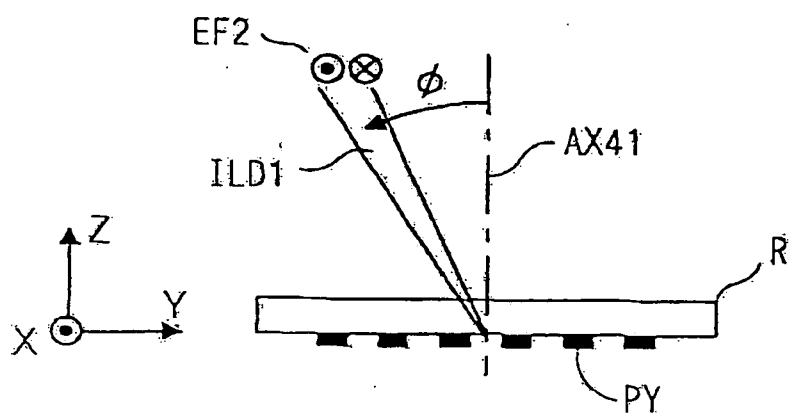


圖 8(C)

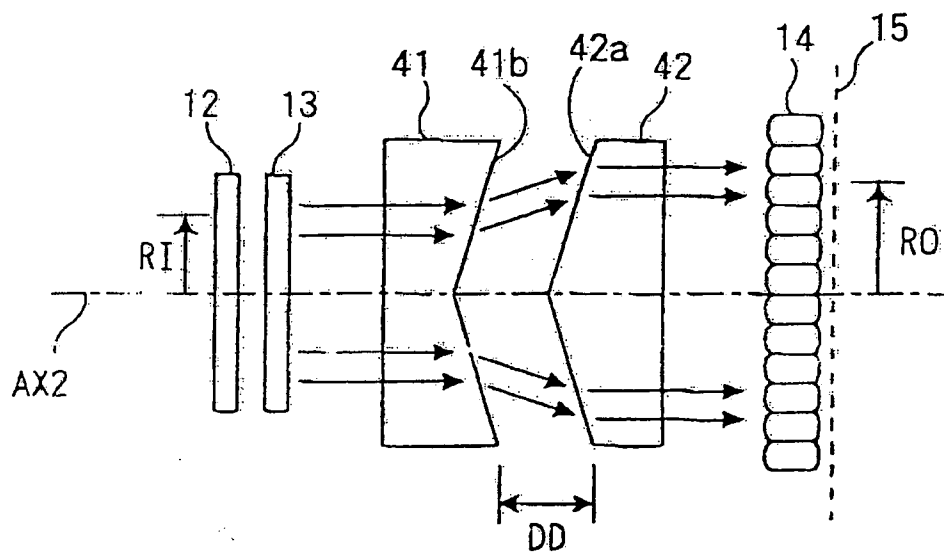


圖 9

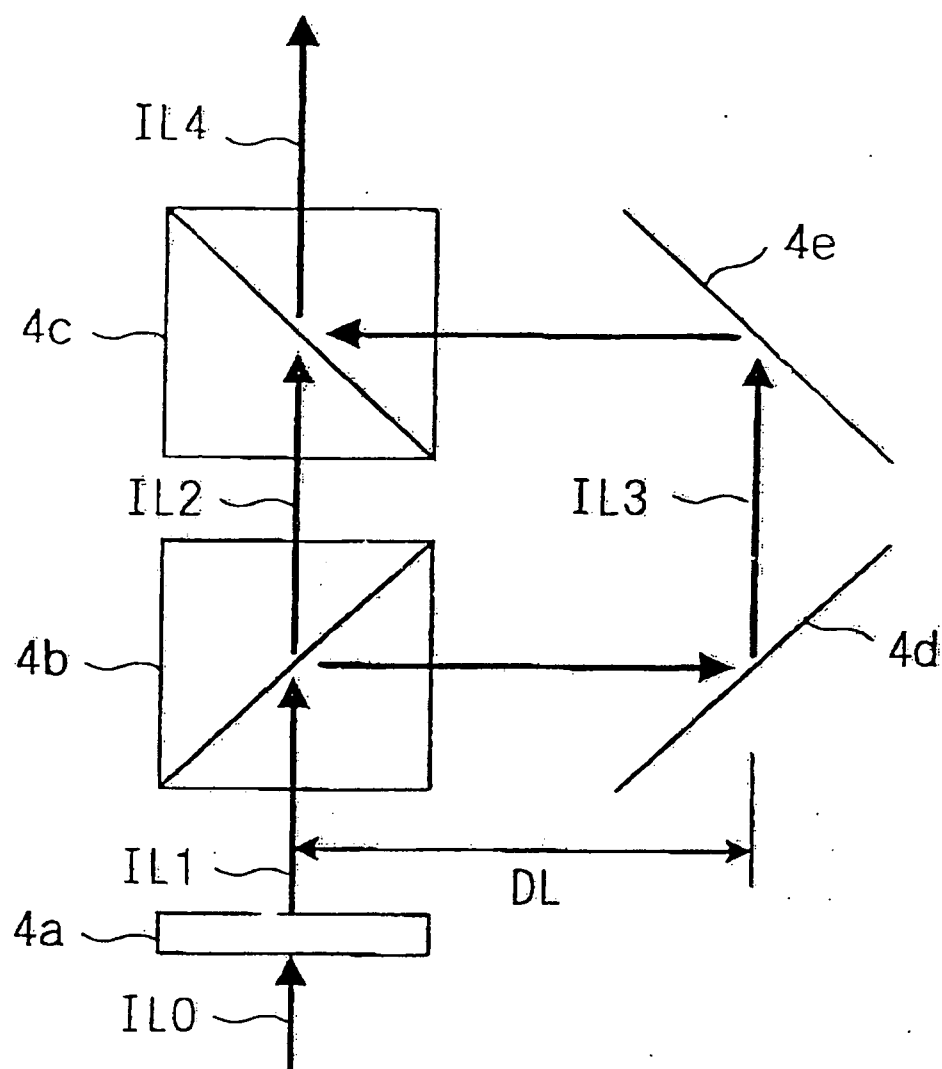


圖 10

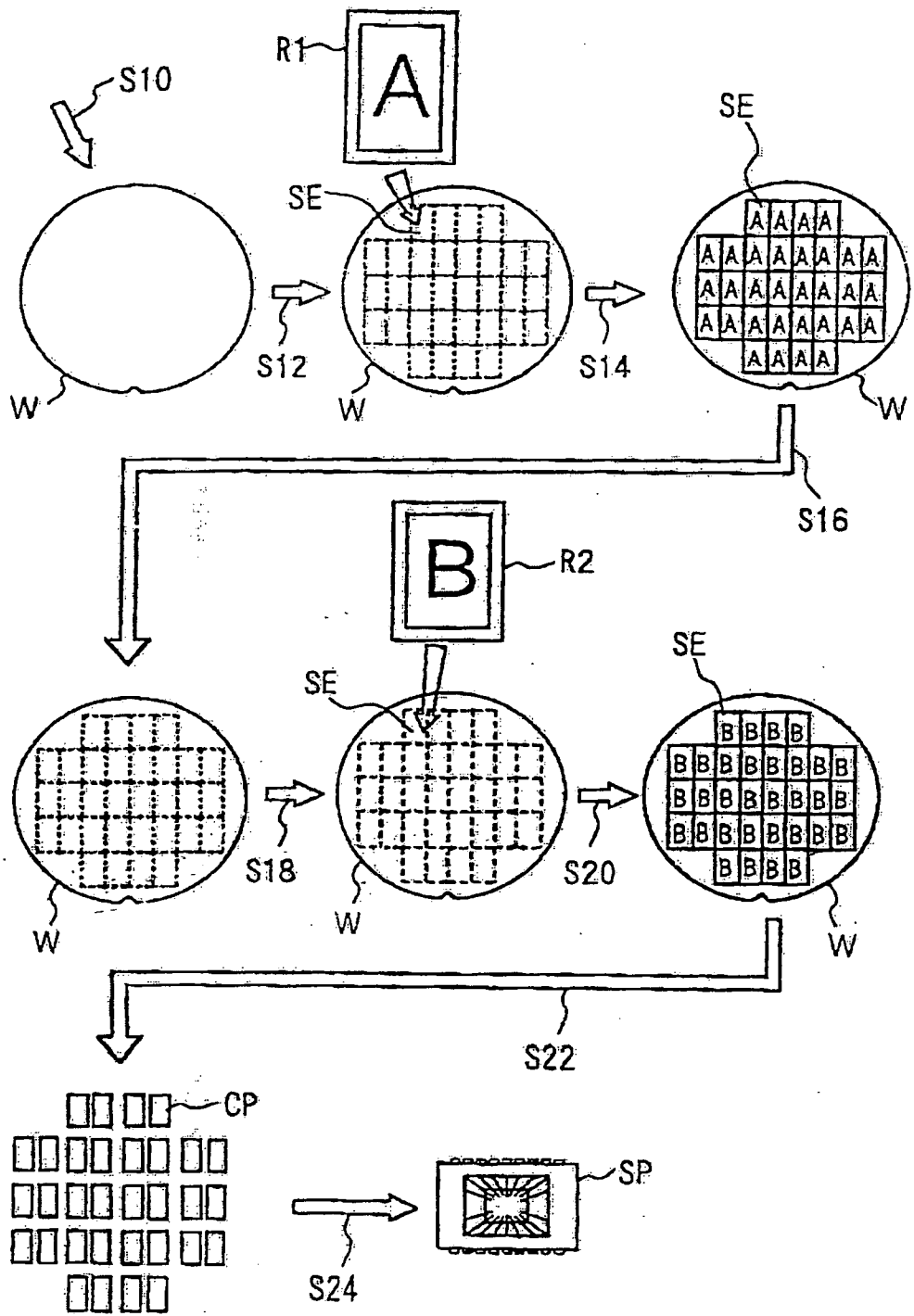


圖 11