



(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 I851886 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 08 月 11 日

(21)申請案號：110111515

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 30 日

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

(30)優先權：2020/05/25 日本

2020-090174

(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：八講学 HAKKO, MANABU (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201030472A

TW 201409603A

TW 201443577A

WO 2019/146448A1

審查人員：李科

申請專利範圍項數：23 項 圖式數：10 共 44 頁

(54)名稱

曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法

(57)摘要

本發明涉及曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法。在寬帶照明光中抑制對於基板轉印圖案的轉印性能的降低。一種使用包括第 1 波長範圍和第 2 波長範圍的波長範圍的光曝光基板的曝光裝置，具有用光照明遮罩的照明光學系統和將遮罩的圖案的像投影到基板的投影光學系統，照明光學系統以在其瞳面中以其光軸為中心使作為至少包括第 1 波長範圍的光的光強度分佈的第 1 光強度分佈的至少一部分比作為至少包括第 2 波長範圍的光的光強度分佈的第 2 光強度分佈更靠內側的方式形成包括第 1 光強度分佈和第 2 光強度分佈的光強度分佈，滿足第 1 波長範圍包括比第 2 波長範圍的最短的照明波長更短的波長、或第 2 波長範圍包括比第 1 波長範圍的最長的照明波長更長的波長中的至少一方。

指定代表圖：

	比較例 1	比較例 2	比較例 3	比較例 4	實施例 1
照明形狀					
正規化照度	1.00	0.86	0.75	0.57	0.86
對比度	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71
MEEF	2.74	2.72	2.65	2.72	2.59
DOF [μ m]	34.5	33.8	44.9	28.2	39.2
側壁角度 [$^{\circ}$]	72.8	72.8	73.4	72.5	73.6

【圖 6】



I851886

公告本

【發明摘要】

【中文發明名稱】

曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法

【中文】

本發明涉及曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法。在寬帶照明光中抑制對於基板轉印圖案的轉印性能的降低。一種使用包括第1波長範圍和第2波長範圍的波長範圍的光曝光基板的曝光裝置，具有用光照明遮罩的照明光學系統和將遮罩的圖案的像投影到基板的投影光學系統，照明光學系統以在其瞳面中以其光軸為中心使作為至少包括第1波長範圍的光的光強度分佈的第1光強度分佈的至少一部分比作為至少包括第2波長範圍的光的光強度分佈的第2光強度分佈更靠內側的方式形成包括第1光強度分佈和第2光強度分佈的光強度分佈，滿足第1波長範圍包括比第2波長範圍的最短的照明波長更短的波長、或第2波長範圍包括比第1波長範圍的最長的照明波長更長的波長中的至少一方。

【指定代表圖】第(6)圖。

【代表圖之符號簡單說明】無

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法

【技術領域】

【0001】本發明涉及曝光裝置、曝光方法及物品之製造方法。

【先前技術】

【0002】曝光裝置為將形成在遮罩(原版)上的圖案轉印到平板(基板)的裝置，經由照明光學系統對作為被照射面的遮罩照射光，經由投影光學系統將遮罩的圖案的像投影到平板上。

【0003】照明光學系統利用來自光源的光照射光學積分器，在與照明光學系統的瞳面相當的光學積分器的射出面上生成2次光源。2次光源在具有預定的形狀以及預定的大小的發光區域中形成。另外，形成2次光源的發光區域與對遮罩的各點進行照明的光的角度分佈對應。

【0004】在曝光裝置中，作為使針對微細的圖案的轉印性能提高的技術，已知超解析技術(RET：Resolution Enhancement Techniques)。作為RET之一，已知使對遮罩的各點進行照明的光的角度分佈最優化的變形照明。

【0005】在專利文獻1中，針對在將圖案轉印到塗覆有靈敏度低的抗蝕層的平板上時生產率降低這樣的課題，

記載了一種通過在照明光學系統內的瞳面上重疊形成波長不同的光強度分佈以提高照度的技術。另外，記載了在形成作為變形照明的環帶照明的情況，例如在瞳外側使用中心波長約為365nm的i線、在瞳內側使用中心波長約為405nm的h線的例子。

[先前技術文獻]

【0006】

專利文獻1：國際公開第2019/146448號

【發明內容】

[發明欲解決之課題]

【0007】在專利文獻1記載的技術中，通過使用作為RET之一的變形照明在照明光學系統內的瞳面上重疊形成波長不同的光源像，可提高照度。然而，關於成為光學系統、圖案的性能的指標的焦點深度、對比度等，限於由變形照明產生的一般的效果。即，在寬帶的照明光(寬帶照明光)中，未成為如充分地發揮轉印性能的變形照明的結構。

【0008】因此，本發明的目的在於提供一種在寬帶照明光中有利於抑制將圖案轉印到平板上的轉印性能降低的曝光裝置。

[解決課題之技術手段]

【0009】為了達成上述目的，作為本發明的一個側面的曝光裝置為使用包括第1波長範圍和第2波長範圍的波長範圍的光對基板進行曝光者，前述曝光裝置具有：照明光學系統，利用前述光對遮罩進行照明；以及投影光學系統，將前述遮罩的圖案的像投影到前述基板，前述照明光學系統以在前述照明光學系統的瞳面上將前述照明光學系統的光軸作為中心使第1光強度分佈的至少一部分比第2光強度分佈更靠內側的方式形成包括前述第1光強度分佈和前述第2光強度分佈的光強度分佈，前述第1光強度分佈為至少包括前述第1波長範圍的光的光強度分佈，前述第2光強度分佈為至少包括前述第2波長範圍的光的光強度分佈，前述照明光學系統滿足前述第1波長範圍包括比前述第2波長範圍的最短的照明波長更短的波長、或前述第2波長範圍包括比前述第1波長範圍的最長的照明波長更長的波長中的至少一方。

根據以下(參照圖式)對示例性實施例的描述，本發明的其他特徵將變得清楚。

[發明功效]

【0010】根據本發明，例如，可提供在寬帶照明光中有利於抑制將圖案轉印到基板上的轉印性能降低的曝光裝置。

【圖式簡單說明】

【 0011】

[圖 1]為示出曝光裝置的結構的示意圖。

[圖 2]為示出照明光學系統的結構的示意圖。

[圖 3]為示出針對單一波長的環帶照明的最佳的照明條件的圖。

[圖 4]為示出針對多個波長的環帶照明的最佳的照明條件的圖。

[圖 5]為示出與照明條件相伴的對比度變化的圖。

[圖 6]為示出實施例 1 中的變形照明的效果的圖。

[圖 7]為示出實施例 2 中的變形照明的效果的圖。

[圖 8]為示出實施例 3 中的變形照明的效果的圖。

[圖 9]為示出第 1 實施方式中的變形照明的例子的圖。

[圖 10]為示出變形照明中的照明光學系統的結構例的圖。

【實施方式】

【 0012】 以下，根據圖式詳細說明本發明的優選的實施方式。

<第 1 實施方式>

【 0013】 圖 1 為示出作為本發明的一個側面的曝光裝置的結構的示意圖。曝光裝置 100 為利用包括多個波長範圍的光對遮罩(原版)9 進行照明並將遮罩 9 的圖案轉印到平板(基板)12 上的光刻裝置。曝光裝置 100 為用於製造平板

顯示器、半導體元件、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems，微機電系統)等的裝置，特別適合於平板顯示器的製造。

【0014】曝光裝置100具有通過來自光源的光對作為被照明面的遮罩9進行照明的照明光學系統10以及將形成在遮罩9上的圖案的像向平板12投影的投影光學系統11。而且，曝光裝置100具有保持遮罩9並驅動或定位的遮罩台13、保持平板12並驅動或定位的平板載台38、設置於平板載台38的計測部14以及控制部15。遮罩9配置於投影光學系統11的物面，平板12配置於作為與物面在光學上共軛的位置的投影光學系統11的像面。

【0015】投影光學系統11例如為反射光學系統，包括反射鏡32、34及36。投影光學系統11按照反射鏡32、34、36、34、32的順序反射來自遮罩9的光，將遮罩9的投影像形成在平板12上。在投影光學系統11由反射光學系統構成的情況下，來自光源的光的色像差小於折射光學系統。這樣的結構適合於使用包括多個波長範圍的寬帶光(寬帶照明光)的情況。

【0016】控制部15總體地控制曝光裝置100的各部分、即、照明光學系統10、投影光學系統11、遮罩台13、平板載台38等而使曝光裝置100動作。控制部15例如由FPGA(Field Programmable Gate Array(現場可編程門陣列)的簡稱)等PLD(Programmable Logic Device(可編程邏輯器件)的簡稱)、或ASIC(Application Specific Integrated

Circuit(專用集成電路)的簡稱)、或嵌入有程序的通用或專用的計算機、或它們的全部或一部分的組合構成。

【0017】圖2為示出曝光裝置100中的照明光學系統10的結構例的示意圖。照明光學系統10例如包括光源1、聚光鏡2、聚焦透鏡5、蠅眼透鏡7、聚焦透鏡8以及孔徑光闌61。雖然在圖2中未示出，但亦可在聚焦透鏡5與遮罩9之間的光路徑中配置以使對遮罩9進行照明的光的剖面成為預定的形狀以及預定的大小的方式對來自光源1的光進行整形的光學系統。光源1例如為水銀燈，射出波長為270nm至450nm的寬帶光。聚光鏡2是為了收聚光源1的射出光而配置。光源1配置於聚光鏡2的第1焦點3的附近，聚光鏡2將光源1的射出光收集到第2焦點4。

【0018】聚焦透鏡5將被收集到第1焦點4的光變換為平行光。被聚焦透鏡5變換後的光入射到蠅眼透鏡7的入射面7a。蠅眼透鏡7為由多個光學元件、具體而言多個微小的透鏡構成的光學積分器。蠅眼透鏡7根據入射到入射面7a上的光在射出面7b上形成2次光源。從蠅眼透鏡7射出的光經由多個聚焦透鏡8而重疊地對遮罩9進行照明。在平板載台38中設置有作為可計測形成在蠅眼透鏡7的射出面7b上的2次光源的形狀、光強度的影像感測器(例如CCD感測器)的測量部14。

【0019】接著，說明超解析技術(RET：Resolution Enhancement Techniques)。作為RET之一的環帶照明、四極照明等變形照明(斜入射照明)對於投影光學系統11的焦

點深度(DOF: Depth of focus)、由投影光學系統11形成的投影像的對比度的提高為有效。環帶照明為在以照明光學系統10的光軸為中心的照明光學系統的瞳坐標中具有環帶形狀的光強度分佈的變形照明，環帶照明的發光區域由照明角度 σ 界定。在以下的說明中，將環帶形狀的發光區域的內側的半徑稱為內 σ ，將環帶形狀的發光區域的外側的半徑稱為外 σ 。另外，照明角度 σ 在以瞳坐標表示的情況下相當於距原點的距離(半徑)，如果照明角度 σ 大，則成為大的半徑，如果照明角度 σ 小，則成為小的半徑。

【0020】另外，如上所述的變形照明例如可通過在與照明光學系統10的瞳面相當的蠅眼透鏡7(光學積分器)的射出面7b處配置孔徑光闌61以實現。通過利用孔徑光闌61遮擋變形照明的非發光區域的光，可得到期望的變形照明。

【0021】一般地，在變形照明中，以與非變形照明的情況相比抑制轉印性能的降低的方式使發光區域的照明角度 σ 最優化。例如，針對環帶照明，使上述內 σ 和外 σ 最優化。另一方面，在本實施方式中，可在照明光學系統10的瞳面上形成由包括第1發光區域I1以及第2發光區域I2的多個區域構成的發光區域。第1發光區域I1以及第2發光區域I2可以為不相互重疊的區域，但亦可為相互重疊的區域。另外，在本實施方式中，合成由來自第1發光區域I1的第1波長範圍的第1光在平板12上形成的第1像和由來自第2發光區域I2的第2波長範圍的第2光在平板12上形成的第2

像。

【0022】變形照明為在用於製造半導體元件的曝光裝置中發展起來的技術。在用於製造半導體元件的曝光裝置中，從光源射出的光的光譜的半高寬小於20nm，所以照明波長 λ 被視為單一的照明波長 λ (例如光強度最大的波長、進行光強度的加權後得到的重心波長)。另一方面，在用於製造平板顯示器的曝光裝置中，可使用從光源射出的光的光譜的半高寬為20nm以上的寬帶光(寬帶照明光)。在此，半高寬為指被稱為FWHM(Full Width at Half Maximum)的量，與光譜的波長寬度相當。另外，在寬帶照明光這樣的表述中，不僅包括具有單一亮線的頻帶的光的含義，而且還包括具有多個亮線的頻帶的光的含義。

【0023】寬帶(broad band)這樣的表述為在與如KrF雷射光或ArF雷射光等半高寬小的窄帶(narrow band)這樣的表述進行區分的含義下使用。具體而言，在本實施方式中，寬帶光這樣的表述意味著半高寬為20nm以上。

【0024】在用於製造平板顯示器的曝光裝置中，例如，在使用水銀燈作為光源並使用作為來自水銀燈的光中的單一亮線的i線的情況下，半高寬成為約6nm。另一方面，在使用作為來自水銀燈的光中的多個亮線的g線(中心波長約436nm)、h線(中心波長約405nm)、i線(中心波長約365nm)的情況下，半高寬成為80nm以上。通過使用更寬的半高寬的曝光的光，可使照度增加，與其相伴地可使生產率提高。

【0025】在本實施方式中，除了變形照明中的發光區域的照明角度 σ 以外，照明波長 λ 亦可被最優化。通過使照明波長 λ 最優化，得到提高包括對比度、焦點深度(DOF)的轉印性能的效果。本實施方式中的DOF被定義為與散焦相伴的線寬變化相對於目標線寬CD(Critical Dimension，臨界尺寸)為10%以下的變化的對焦範圍。

【0026】一般地，通過抑制與散焦相伴的對比度的降低，亦可抑制DOF的降低。使用圖3說明抑制與散焦相伴的對比度的降低的條件。圖3示出照明光的照明波長為290nm，投影光學系統的數值孔徑NA為0.12，線寬1 μ m的線隙圖案(line-and-space pattern)(週期2 μ m)的情況下的遮罩9的透射光 D^0_{290} 以及1階繞射光 D^1_{290} 。在圖3的說明中示出的照明波長、NA、線寬以及週期僅為用於說明的一個例子，實際上任意地設定。在此，繞射的公式對於遮罩圖案的週期P和照明波長 λ 、作為入射角 θ_{in} 、繞射角 θ_{out} 成為下式。

$$P \cdot \sin \theta_{in} + P \cdot \sin \theta_{out} = \lambda \cdots (1)$$

在此，作為照明條件，考慮入射角 θ_{in} 和繞射角 θ_{out} 相等的情況。圖3為圖示入射角 θ_{in} 和繞射角 θ_{out} 相等的情況的圖，圖3所示的遮罩的透射光 D^0_{290} 和1階繞射光 D^1_{290} 相對於光軸對稱地傳播。該照明條件抑制與散焦相伴的對比度的降低，與增大DOF的條件相當，成為下式。

$$\begin{aligned} 2P \cdot \sin \theta_{in} &= \lambda \\ \sin \theta_{in} &= \lambda / 2P \cdots (2) \end{aligned}$$

另外，在以瞳坐標記載照明角度 σ 時，成為利用數值孔徑NA對 $\sin\theta_{in}$ 進行正規化而得到的值，所以在將抑制DOF的降低的變形照明的照明角度設為 σ_c 時，期望 σ_c 相對於投影光學系統的數值孔徑NA滿足下式。

$$\sigma_c = \sin\theta_{in} / NA = \lambda / (2NA \cdot P) \cdots (3)$$

在滿足照明條件 $\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)$ 的情況下，在抑制DOF的降低的同時，還可期待使最佳對焦(best focus)處的對比度提高的效果。

【0027】圖4示出照明光的照明波長為包括290nm和365nm這2個波長的光的情況下的遮罩9的透射光 D^0_{290} 、 D^0_{365} 以及1階繞射光 D^1_{290} 、 D^1_{365} 。另外，關於其他條件，與圖3的條件相同，投影光學系統的數值孔徑NA為0.12、線寬1 μm 的線隙圖案(週期2 μm)。

【0028】在圖4的(a)所示的照明中，如圖3所示那樣對於波長290nm成為滿足公式(3)的照明條件。根據公式(1)，伴隨波長的變化，繞射角度發生變化，所以公式(3)的最佳的 σ 亦根據波長而發生變化。因此，在圖4的(a)中，在照明波長為365nm的情況下，不滿足公式(3)的照明條件，所以透射光和繞射光無法相對於光軸對稱地傳播而DOF降低。

【0029】為了抑制DOF的降低，根據公式(3)可知，在長波長的情況下，期望照明角度 σ 大的照明光，在短波長的情況下，期望照明角度 σ 小的照明光。在圖4的(b)所示的照明中，以遵循公式(3)的方式針對每個波長以不同的

照明角度 σ 進行照明。因此，對於波長290nm和365nm這兩方的波長，透射光和繞射光相對於光軸對稱地傳播，可得到抑制DOF的降低的效果。

【0030】使用圖5說明滿足公式(3)的照明條件抑制與散焦相伴的對比度的降低。圖5示出空間像強度的對比度。將投影光學系統的數值孔徑NA設為0.10。圖5的(a)~(c)的圖形為示出曝光圖案為線寬1.5 μm (週期3.0 μm)的7條線隙圖案的中央線處的對比度的圖。圖5的(d)~(f)的圖形為曝光圖案是線寬1.8 μm (週期3.6 μm)的7條線隙圖案的中央線處的對比度。圖5的(a)、(d)的圖形為散焦是0 μm 的對比度，圖5的(b)、(e)的圖形為散焦15 μm 的對比度，圖5的(c)、(f)的圖形為從散焦15 μm 去掉散焦0 μm 的對比度。

【0031】圖5的(c)、(f)的圖形示出與散焦相伴的對比度的惡化，灰色越濃，對比度的惡化越大。在此，在散焦15 μm 下對比度變得小於0.3的條件作為在轉印性能的觀點下未實用化的條件而設為黑色。圖5的橫軸的波長設為包括水銀光譜的g線、h線、i線的340nm~460nm。圖5的縱軸表示環帶照明中的內 σ ，假設外 σ 為比內 σ 大0.05的值。這相當於細到可實際上將內 σ 和外 σ 等同的環帶照明。圖形中的黑的實線表示作為滿足公式(3)的最佳的照明條件的照明波長 λ 與照明角度 σ 的關係。從圖5可知，滿足公式(3)的以黑的實線示出的條件為與散焦相伴的對比度的降低小。根據以上可知，利用滿足公式(3)的照明條件，可抑制與散焦相伴的對比度的降低。

【0032】在大幅背離作為滿足公式(3)的最佳的照明條件的黑的實線的條件(特別為在照明波長 λ 為長波長側且照明角度 σ 小的情況)下，對比度低，與散焦相伴的對比度的惡化亦大。因此，關於與大幅背離滿足公式(3)的最佳的照明條件的條件相當的照明波長 λ 和照明角度 σ 的組合，例如，期望通過使用波長濾波器以遮光。另外，圖5的(d)~(f)所示的線寬 $1.8\mu\text{m}$ (週期 $3.6\mu\text{m}$)的圖案與圖5的(a)~(c)所示的線寬 $1.5\mu\text{m}$ (週期 $3.0\mu\text{m}$)相比對比度更大。此仍因線寬短的高精細的圖案一般有對比度惡化的傾向。

【0033】另外，在圖5中，在稍微偏離作為滿足公式(3)的最佳的照明條件的黑的實線的條件下，亦呈現高的對比度。如圖5的(d)所示，在線寬 $1.8\mu\text{m}$ 的圖案、散焦 $0\mu\text{m}$ 下，在大幅背離黑的實線的照明條件、例如照明波長 365nm 、照明角度 $\sigma=0$ 下，呈現高的對比度，存在可用作照明條件的可能性。在希望增大照度的情況下，期望設定為盡可能寬的波長寬度並且增大環帶寬度。因此，只要為表示在性能方面可實用的對比度的範圍，則亦可為大幅背離作為最佳的照明條件的黑的實線的照明條件，變得可在得到充分的轉印性能的情況下增大照度。

【0034】相對於一般的圓形形狀的照明(即，內 σ 為零的照明)，在本實施方式的變形照明中，在斜入射照明的效果下DOF提高。相對於作為變形照明的1個手法已知的窄環帶，本實施方式的變形照明具有抑制照度的降低並抑制生產率的降低的效果。另外，在本實施方式的變形照明

中，使用比窄環帶寬的環帶寬度，所以與由蠅眼透鏡形成的照明強度的不均勻性相伴的照度不均被降低。本實施方式的變形照明相比於環帶寬度窄的窄環帶照明，對於特定的週期的圖案P以外的週期的圖案亦可抑制轉印性能的降低。

【0035】另外，雖然還存在通過使照明波長短波長化以提高解析度的手法，但本實施方式的變形照明在不將長波長的照明光完全遮光的情況下提高解析度。因此，長波長的照明光的光量亦可不浪費地使用，所以可抑制照度降低(即，生產率的降低)。除此以外，本實施方式的變形照明有時可得到抑制與相移遮罩的製造誤差相伴的解析度降低、控制抗蝕層圖案的側壁角度等效果。

【0036】本實施方式的變形照明還可應用於偏光照明。光源不限定於水銀燈，還包括利用LED光源、多個半導體光源形成寬帶照明的情況。亦可調整照明光學系統內的波長濾波器的透射率，調整為與水銀燈的光譜強度分佈不同的強度分佈。亦可在照明光學系統中使用光纖束。通過使用適合於各個波長範圍的具有不同的 σ 的第1發光區域I1和第2發光區域I2，可抑制轉印性能的降低。另外，還可期待與利用單一波長的變形照明相比提高照明照度的效果。

【0037】關於本實施方式的變形照明，描述了滿足公式(3)的照明條件，但亦可為具有對於第1發光區域I1中的第1波長範圍 λ_1 的所有照明波長完全滿足公式(3)的照明角

度 σ 的結構，但不限於此。另外，亦可為具有對於第2發光區域I2中的第2波長範圍 λ_2 的所有照明波長完全滿足公式(3)的照明角度 σ 的結構，但不限於此。部分滿足公式(3)的照明條件即可，例如，為包括如對於第1發光區域I1的一部分的照明波長和第2發光區域I2的一部分的照明波長滿足公式(3)的照明角度 σ 的變形照明即可。

【0038】

<實施例1>

使用圖6示出與4種比較例相比本實施方式的實施例1中的照明光的轉印性能高。圖6為示出比較例和實施例1的照明的模擬結果的圖。將數值孔徑NA設為0.10。關於遮罩圖案，評價線寬 $1.8\mu\text{m}$ (週期 $3.6\mu\text{m}$)的7條線隙圖案的中央線。圖6所示的照明形狀的格子花紋的區域的波長為 $340\text{nm}\sim 460\text{nm}$ 的寬帶光，其包括水銀燈的3個亮線g線、h線、i線。照明形狀的斜線花紋的區域的波長為 $340\text{nm}\sim 390\text{nm}$ 的寬帶光，其包括水銀燈的1個亮線i線。

【0039】從圖6的左邊開始依次進行說明。比較例1為內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.90$ 的g線、h線、i線的照明。即，為呈現圓形的光強度分佈的照明。比較例2為內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.83$ 的g線、h線、i線的照明。將外 σ 設定為0.83的理由在於設為與後述的本實施方式的照明相同的照度。比較例3為內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的g線、h線、i線的環帶照明。在比較例4中，內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的區域為g線、h線、i線的照明，內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的區域為i線的照明。在比較

例4中，在內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的區域中，與內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的區域相比包括更長的波長。這成為照明角度 σ 和照明波長 λ 的關係與後述的本實施方式相逆且不滿足公式(3)所示的最佳的照明條件的結構。

【0040】在實施例1中，內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的區域為i線的照明，內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的區域為g線、h線、i線的照明。在實施例1中，在內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的區域中，與內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的區域相比包括更長的波長。這成為滿足公式(3)所示的最佳的照明條件的結構。

【0041】將比較例1~4與實施例1的照明的各性能進行比較。首先，比較正規化照度。正規化照度為指將比較例1的照度設為1而對其他照度進行正規化後得到的照度，考慮了照明形狀的面積和水銀燈的光譜強度分佈。比較例1的正規化照度最大。與比較例3、4相比，本實施方式的照明大，並且在照度方面超越性能。此外，在比較例2中以如上所述成為與實施例1相同的照度的方式決定外 σ ，所以為相同的正規化照度。

【0042】接著，比較對比度。本實施方式中的對比度為指中央線的空間像強度的對比度。可知實施例1中的對比度大於比較例1~4。即，表示性能提高。

【0043】接著，比較MEEF(Mask Error Enhancement Factor，遮罩誤差增強因子)。MEEF為指在平板上曝光的抗蝕層圖案的線寬誤差 $\Delta CD_{\text{resist}}$ 相對於遮罩線寬誤差(製造誤差) ΔCD_{mask} 的比，由 $MEEF = \Delta CD_{\text{resist}} / \Delta CD_{\text{mask}} \cdots (4)$ 定

義。MEEF的值越小，表示性能越好。可知實施例1中的MEEF小於比較例1~4。即，表示性能提高。

【0044】接著，比較DOF。DOF為指與散焦相伴的線寬變化相對於目標線寬CD為10%以下的變化的對焦範圍，並且為在最佳對焦處1800nm的中央線成為1980nm以下的對焦範圍。DOF的值越大，表示性能越好。可知實施例1中的DOF大於比較例1、2、4。即，表示性能提高。但是，在將實施例1和比較例3進行比較的情況下，作為環帶形狀的照明的比較例3的DOF大。

【0045】接著，比較側壁角度。側壁角度為指中央線的抗蝕層圖案的底部的角度。側壁角度的值越大(即，越接近90°)，表示性能越好。可知實施例1中的側壁角度大於比較例1~4。即，表示性能提高。

【0046】總結上述比較。實施例1的照明與比較例1、比較例2所示的圓形形狀的照明相比，在與對比度、MEEF、DOF、側壁角度有關的轉印性能方面性能提高。實施例1的照明與比較例3所示的環帶照明相比，具有高的照度並且在與對比度、MEEF、側壁角度有關的轉印性能方面呈現高的性能。另外，實施例1的照明與比較例4相比，在正規化照度、對比度、MEEF、DOF、側壁角度方面都呈現高的性能。從該結果表明，僅通過針對每個照明區域改變波長，解析度提高的效果並不充分，需要考慮公式(3)以針對各個波長使用適當的照明區域。在本實施方式的實施例1中的照明中，考慮公式(3)以針對各個波長使

用適當的照明區域，所以與比較例1~4相比呈現高的性能。

【0047】因此，本實施方式的實施例1中的照明通過包括滿足公式(3)所示的照明條件的照明波長 λ 和照明角度 σ ，可同時實現轉印性能的降低的抑制和大的照度。

【0048】

<實施例2>

在實施例2中，說明以與實施例1不同的遮罩圖案評價本實施方式的照明的結果。使用圖7示出與3種比較例相比本實施方式的實施例2中的照明光的轉印性能高。

【0049】圖7為示出3種比較例和實施例2的照明的模擬結果的圖。將數值孔徑NA設為0.10。將遮罩圖案設為線寬 $1.2\mu\text{m}$ (週期 $3.6\mu\text{m}$)的空間線寬為線的線寬的2倍的一維線隙圖案。圖7所示的照明形狀的格子花紋的區域的波長為 $340\text{nm}\sim 460\text{nm}$ 的寬帶光，其包括水銀燈的3個亮線g線、h線、i線。照明形狀的斜線花紋的區域的波長為 $340\text{nm}\sim 390\text{nm}$ 的寬帶光，其包括水銀燈的1個亮線i線。在此，實施例2的照明形狀與實施例1相同，比較例1~3的照明形狀亦與在實施例1中說明的比較例1~3相同。

【0050】實施例2與實施例1同樣地，與比較例1、2相比，正規化照度差，但在對比度、MEEF、DOF、側壁角度方面呈現高的性能。與比較例3相比，DOF差，但在正規化照度、對比度、MEEF、側壁角度方面呈現高的性能。

【0051】因此，本實施方式的實施例2中的照明通過包括滿足公式(3)所示的照明條件的照明波長 λ 和照明角度 σ ，可同時實現轉印性能降低的抑制和大的照度。

【0052】

<實施例3>

在實施例3中，說明評價在實施例1、實施例2中未進行的控制波長濾波器的透射率的情況下的本實施方式的照明的結果。另外，實施例3為與實施例1、實施例2不同的數值孔徑NA、遮罩圖案、照明波長。使用圖8示出與各種比較例相比本實施方式的實施例3中的照明光的轉印性能高。

【0053】圖8為示出比較例和實施例3的照明的模擬結果的圖。將數值孔徑NA設為0.12。關於遮罩圖案，評價線寬 $1.2\mu\text{m}$ (週期 $2.4\mu\text{m}$)的9條線隙圖案的中央線。圖8所示的照明形狀的橫條紋花紋的區域的波長為 $270\text{nm}\sim 390\text{nm}$ 的寬帶光，其包括水銀燈的亮線i線和比i線短的波長。照明形狀的縱條紋花紋和格子花紋的區域的波長為 $270\text{nm}\sim 350\text{nm}$ 的寬帶光， 350nm 以下的波長為比水銀燈的i線短的波長，不包括i線。格子花紋的區域與縱條紋花紋相比將透射率設為25%而減小照度。如後所述，通過將透射率設定得較小，具有使DOF增加的效果。

【0054】關於橫條紋花紋的區域和縱條紋花紋的區域，既可以原樣地使用來自水銀燈的照明光強度，亦可通過經由波長濾波器以對光進行控制。將照度評價為正規化

照度，在瞳的整個區域中將均勻的透射率降低設為任意。將水銀燈的光譜強度分佈設為一般的分佈，但沒有針對該分佈的制約。

【0055】在比較例5中，在內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.90$ 的圓形區域中，照明波長為270nm~390nm的照明。在比較例6中，在內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的環帶區域中，照明波長為270nm~390nm的照明的環帶照明。在比較例7中，在內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.55$ 的圓形區域中，照明波長為270nm~350nm的照明，在內 $\sigma=0.55$ 、外 $\sigma=0.90$ 的環帶區域中，照明波長為270nm~390nm的照明。比較例7成為以與公式(3)匹配的方式在內 $\sigma=0.55$ 、外 $\sigma=0.90$ 的區域中比內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.55$ 的區域包括更長的波長的結構。

【0056】在實施例3中，在內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的圓形區域中，為照明波長270nm~350nm的照明，在內 $\sigma=0.45$ 、外 $\sigma=0.90$ 的環帶區域中，為照明波長270nm~390nm的照明。如上所述，格子條紋所示的內 $\sigma=0.00$ 、外 $\sigma=0.45$ 的區域通過將透射率設為25%而降低照度。

【0057】比較例7在與比較例6比較的情況下可知，在正規化照度、對比度、MEEF、側壁角度方面呈現高的性能，但DOF大幅降低。因此，通過使用實施例3的照明形狀，可如後所述相對地抑制DOF的降低。

【0058】實施例3與比較例5相比正規化照度差，但在對比度、MEEF、DOF、側壁角度方面呈現高的性能。與比較例6相比DOF稍微差，但在正規化照度、對比度、

MEEF、側壁角度方面呈現更高的性能。與比較例7相比DOF的增大顯著。比較例7亦為本發明的實施例之一，但在實施例3中，通過控制波長濾波器的透射率，可調整DOF等轉印性能。

【0059】因此，本實施方式的實施例3中的照明通過除了考慮公式(3)以外還控制使用的波長濾波器的透射率，可同時實現轉印性能降低的抑制和大的照度。

【0060】

<實施例4>

在實施例4中，說明作為與在實施例1~3中說明的照明形狀不同的照明形狀的本實施方式的照明。

【0061】圖9為示出本實施方式中的6種照明的圖。圖9的(a)為隨著從瞳內側的區域進入到瞳外側的區域而如i線、h線、g線那樣波長變長的照明形狀。此滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係的照明形狀。圖9的(b)為在瞳內側的區域中使用h線並且在瞳外側的區域中使用g線、i線的情況。其在外側使用比在內側使用的波長更長的波長的g線，所以成為滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係的照明形狀。圖9的(c)為瞳內側的區域使用g線、h線和i線並且瞳外側的區域使用g線和h線的情況。截斷瞳外側的區域的短波長(i線)滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係。另外，在比較在內側的區域中使用的波長的重心波長、和在外側使用的波長的重心波長時，在外側使用的重心波長更長。重心波長為指與

將照明光的光譜分佈作為重量以考慮時的重心相當的波長。相當於在圓形照明中使用的第1波長範圍中比在環帶照明中使用的第2波長範圍包括更短的波長的實施例。

【0062】另外，在此前的說明中，描述了成為如第1光強度分佈為圓形形狀且第2光強度分佈為環帶形狀的旋轉對稱的光強度分佈，但不限於此。例如，亦可第1光強度分佈非圓形形狀而為環帶形狀，亦可第2光強度分佈為非旋轉對稱的形狀。

【0063】圖9的(d)為在瞳內側的環帶形狀的區域中使用g線和i線並且在瞳外側的環帶形狀的區域中使用h線的情況。此為在g線的強度小且內側的重心波長比外側的波長h線短的情況下滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係的照明形狀。圖9的(e)為在瞳內側的圓形形狀的區域中使用i線並且在如瞳外側的環帶形狀缺失一部分的結構的區域中使用h線的情況。此為滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係的照明形狀。圖9的(f)為在與瞳內側的圓形形狀的區域成為十字狀的區域中使用h線並且在如瞳外側的環帶形狀缺失一部分的結構的區域中使用g線的情況。此為滿足公式(3)所示的照明波長 λ 和照明角度 σ 的關係的照明形狀。

【0064】在本實施方式的變形照明中，以使包含包括第1波長範圍的光的第1光強度分佈的至少一部分比包含包括第2波長範圍的光的第2光強度分佈更靠內側的方式在照明光學系統的瞳面上形成光強度分佈。另外，滿足第1波

長範圍包括比第2波長範圍的最短的照明波長更短的波長、或第2波長範圍包括比第1波長範圍的最長的照明波長更長的波長的至少一方。

【0065】在此，在實施例4中使用的g線、h線、i線是為了表示相對的波長的大小而使用的例子，不限定波長。在實施例4中，即使在與實施例1~3中說明的照明形狀不同的照明形狀的情況下，通過包括滿足公式(3)所示的照明條件的照明波長 λ 和照明角度 σ ，亦可同時實現轉印性能的降低的抑制和大的照度。

【0066】

<第2實施方式>

在本實施方式中，說明可實現在第1實施方式中說明的照明的照明光學系統10的結構。

【0067】圖10的(a)示出由第1光源1a及第2光源1b構成光源1的情況。第1光源1a和第2光源1b射出波長相互不同的光。另外，第1光源1a和第2光源1b的波長既可以為單一波長、窄的波長範圍的光，亦可為寬帶光。即使為單一波長、窄的波長範圍的光源，在使用多個光源形成具有相互不同的波長範圍的照明光的情況下，亦視為寬帶照明。

【0068】在第1實施方式中說明的變形照明的發光部包括第1發光區域I1和第2發光區域I2，第1發光區域I1中的第1波長範圍 λ_1 和第2發光區域I2中的第2波長範圍 λ_2 不同。該變形照明為通過合成第1光源1a的照明光和第2光源1b的照明光而形成。另外，亦可在第1光源1a和第2光源1b

中形成相互不同的發光區域之後進行合成。另外，亦可利用第1波長範圍 λ_1 和第2波長範圍 λ_2 形成同一發光區域，通過波長濾波器改變第1發光區域I1和第2發光區域I2的波長範圍。另外，亦可如在第1實施方式的實施例3中說明的那樣，在濾波器的任意的區域中改變透射率。另外，亦可在光源1中使用LED光源，光源1的數量亦可非為2個而為3個以上。

【0069】圖10的(b)示出利用3個寬帶光源1c構成光源1的情況。寬帶光源1c射出波長範圍寬的光。將從3個寬帶光源1c射出的光設為相同的波長範圍。亦可通過使用圖10的(b)所示的波長濾波器63a、63b、63c以針對每個光源形成具有不同的波長範圍的不同的發光區域。另外，亦可通過不使用波長濾波器63a、63b、63c而使用圖10的(b)所示的波長濾波器63d以在合成來自3個寬帶光源1c的照明光之後形成具有不同的波長範圍的發光區域。另外，波長濾波器63a、63b、63c和波長濾波器63d亦可組合使用。波長濾波器63a、63b、63c、63d既可以裝備於旋轉的轉台，亦可裝備於位移(shift)驅動的光柵類型的機構。由此，使用波長濾波器的情況和不使用波長濾波器的情況的切換變得容易。在圖10的(b)中示出了構成光源1的光源1c為3個的情況，但不限於此，例如，光源1c亦可為1個，光源1c的數量沒有限定。本實施方式不限定與波長範圍的分割和發光區域的形成有關的方法。

【0070】波長濾波器減小期望的波長的透射率即可，

亦可不對期望的波長將透射率完全地遮光為零。另外，無需在發光區域的邊界部分處完全地分割波長範圍。而且，不限於利用波長濾波器的波長選擇，亦可通過使用全像圖元件、繞射光學元件、稜鏡以抑制照度的降低。

【0071】

<物品之製造方法>

接著，說明利用上述曝光裝置的物品(平板顯示器、液晶顯示元件、半導體IC元件、MEMS等)之製造方法。物品之製造方法包括使用上述曝光裝置在塗覆到平板上的感光劑中形成潛像圖案的程序(對平板進行曝光的程序)以及對在上述程序中形成潛像圖案後的平板進行顯影的程序。而且，上述製造方法包括進行其他公知的處理(氧化、成膜、蒸鍍、摻雜、平坦化、蝕刻、抗蝕層剝離、切割、接合、封裝等)的程序。本實施方式的物品之製造方法與以往的方法相比，在物品的性能、質量、生產率、生產成本中的至少1個方面更有利。

【0072】以上說明了本發明的優選的實施方式，但本發明不限定於這些實施方式，可在其要旨的範圍內進行各種變形以及變更。例如，本發明還可應用於多重曝光。另外，為了增加變形照明的效果，亦可使NA最優化。亦可將本發明的變形照明應用於無遮罩曝光裝置。

【符號說明】

【0073】

- 9:遮 罩
- 10:照 明 光 學 系 統
- 11:投 影 光 學 系 統
- 12:平 板
- 100:曝 光 裝 置

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種曝光裝置，其為使用包括第1波長範圍和第2波長範圍的光對基板進行曝光者，前述曝光裝置具有：

照明光學系統，其利用前述光對遮罩進行照明；以及
投影光學系統，其將前述遮罩的圖案的像投影到前述基板，

於前述照明光學系統的光瞳面，包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈，被形成為，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第2波長範圍，包含比前述第1波長範圍的最長的照明波長更長的波長。

【請求項2】如請求項1的曝光裝置，其中，
前述第2光強度分佈為以前述光軸為中心的環帶形狀的光強度分佈。

【請求項3】如請求項1的曝光裝置，其中，
前述第1光強度分佈為以前述光軸為中心的圓形形狀的光強度分佈。

【請求項4】如請求項1的曝光裝置，其中，
在前述瞳面上形成的光強度分佈為旋轉對稱。

【請求項5】如請求項1的曝光裝置，其中，
在將前述投影光學系統的數值孔徑設為NA、將前述

遮罩的圖案的週期設為 P 、將照明波長設為 λ 、將界定發光區域的照明角度設為 σ 時，前述光的至少 1 個 λ 和 σ 的組合滿足：

$$\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)。$$

【請求項 6】如請求項 5 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍的光的至少 1 個 λ 和 σ 的組合以及前述第 2 波長範圍的光的至少 1 個 λ 和 σ 的組合滿足：

$$\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)。$$

【請求項 7】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍和前述第 2 波長範圍中的至少一方包括與水銀燈的亮線對應的波長。

【請求項 8】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍和前述第 2 波長範圍中的至少一方包括波長寬度為 20nm 以上的寬帶光。

【請求項 9】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍和前述第 2 波長範圍中的至少一方包括水銀燈的多個亮線。

【請求項 10】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍與水銀燈的亮線的 i 線對應，
前述第 2 波長範圍與水銀燈的亮線的 g 線、h 線、i 線對應。

【請求項 11】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍和前述第 2 波長範圍中的至少一方包括 350nm 以下的波長。

【請求項 12】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述照明光學系統包括供於形成前述光強度分佈用的
波長濾波器。

【請求項 13】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍的最長的波長為比前述第 2 波長範圍
的最短的波長更短的波長。

【請求項 14】如請求項 1 的曝光裝置，其中，
前述第 1 波長範圍和前述第 2 波長範圍與相互不同的水
銀燈的亮線對應。

【請求項 15】一種曝光裝置，使用包含第 1 波長範圍
與第 2 波長範圍的光而對基板進行曝光，

照明光學系統，其以前述光對遮罩進行照明；以及
投影光學系統，其將前述遮罩的圖案的像投影於前述
基板；

於前述照明光學系統的光瞳面，包含前述第 1 波長範
圍的第 1 光強度分佈與包含前述第 2 波長範圍的第 2 光強度
分佈的光強度分佈，被形成為，前述第 1 光強度分佈的至
少一部分比前述第 2 光強度分佈以前述照明光學系統的光
軸為中心而靠內側，

前述第 2 光強度分佈的總光量，比前述第 1 光強度分佈
的總光量大，

前述第 2 光強度分佈的重心波長，比前述第 1 光強度分
佈的重心波長更長。

【請求項 16】如請求項 15 的曝光裝置，其中，

前述第2光強度分佈，為以前述光軸為中心的環帶形的光強度分佈。

【請求項17】如請求項15的曝光裝置，其中，

前述第1光強度分佈，為以前述光軸為中心的圓形的光強度分佈。

【請求項18】一種曝光裝置，使用包含第1波長範圍與第2波長範圍的光而對基板進行曝光，

照明光學系統，其以前述光對遮罩進行照明；以及

投影光學系統，其將前述遮罩的圖案的像投影於前述基板；

於前述照明光學系統的光瞳面，包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈，被形成為，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第1波長範圍，包含比前述第2波長範圍的最短的照明波長短的波長，

使前述投影光學系統的數值孔徑為NA、使前述遮罩的圖案的週期為P、使照明波長為 λ 、使界定發光區域的照明角度為 σ 時，前述光中的至少一個 λ 及 σ 的組合，滿足：

$$\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)。$$

【請求項19】一種曝光裝置，使用包含第1波長範圍與第2波長範圍的光而對基板進行曝光，

照明光學系統，其以前述光對遮罩進行照明；以及

投影光學系統，其將前述遮罩的圖案的像投影於前述基板；

於前述照明光學系統的光瞳面，包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈，被形成為，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第1波長範圍，包含比前述第2波長範圍的最短的照明波長短的波長，

前述第1波長範圍及前述第2波長範圍中的至少一方，包含350nm以下的波長。

【請求項20】一種曝光裝置，使用包含第1波長範圍與第2波長範圍的光而對基板進行曝光，

照明光學系統，其以前述光對遮罩進行照明；以及

投影光學系統，其將前述遮罩的圖案的像投影於前述基板；

於前述照明光學系統的光瞳面，包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈，被形成為，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第1波長範圍的最長的波長，為比前述第2波長範圍的最短的波長短的波長。

【請求項21】一種曝光方法，其為使用包括第1波長

範圍和第2波長範圍的波長範圍的光對基板進行曝光者，

具有以前述光對遮罩進行照明並將前述遮罩的圖案的像投影於前述基板的程序，

在前述程序，將包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈形成為，在照明光學系統的光瞳面，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第2波長範圍，包含比前述第1波長範圍的照明波長更長的波長。

【請求項22】一種曝光方法，使用包含第1波長範圍與第2波長範圍的光而對基板進行曝光，

具有以前述光對遮罩進行照明並將前述遮罩的圖案的像投影於前述基板的程序，

在前述程序，將包含前述第1波長範圍的第1光強度分佈與包含前述第2波長範圍的第2光強度分佈的光強度分佈形成為，在照明光學系統的光瞳面，前述第1光強度分佈的至少一部分比前述第2光強度分佈以前述照明光學系統的光軸為中心而靠內側，

前述第2光強度分佈的總光量，比前述第1光強度分佈的總光量大，

前述第2光強度分佈的重心波長，比前述第1光強度分佈的重心波長更長。

【請求項23】一種物品之製造方法，其包括：

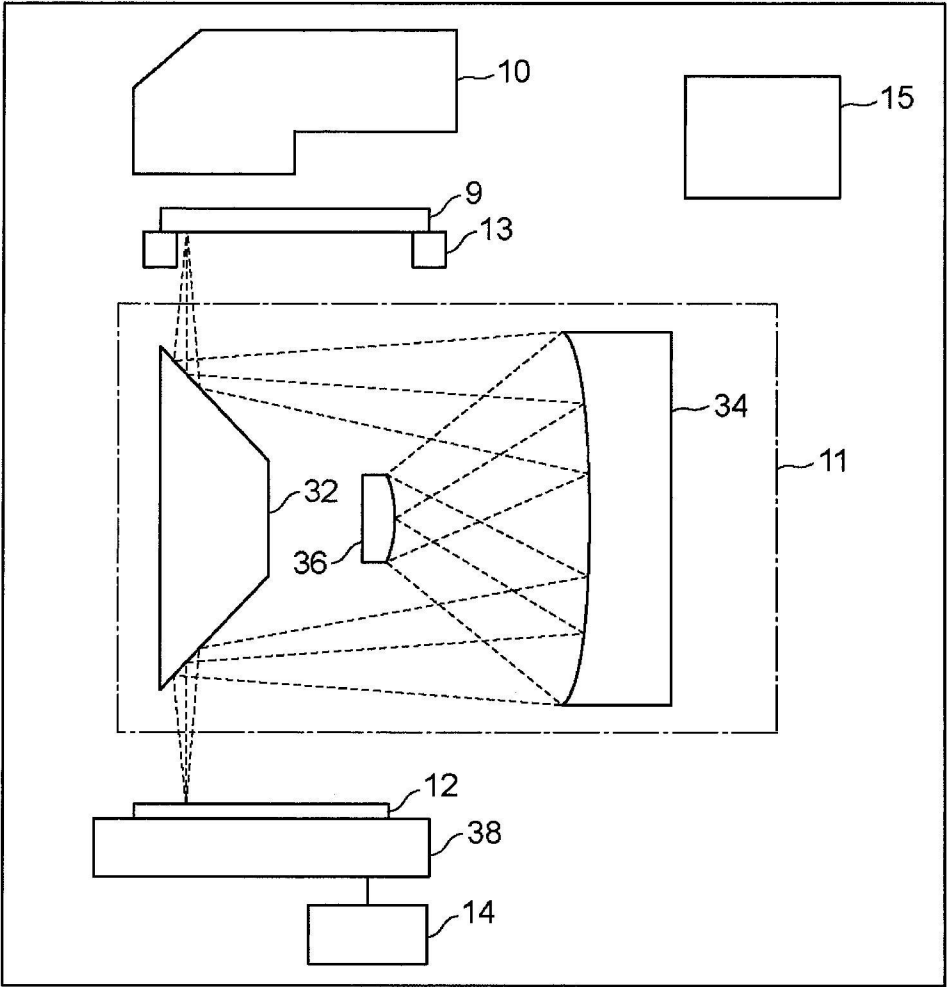
曝光程序，其為使用如請求項 1 至 20 中任一項的曝光裝置對基板進行曝光者；

顯影程序，其為對在前述曝光程序中曝光後的基板進行顯影者；以及

處理程序，其為針對在前述顯影程序中顯影後的基板進行處理者；

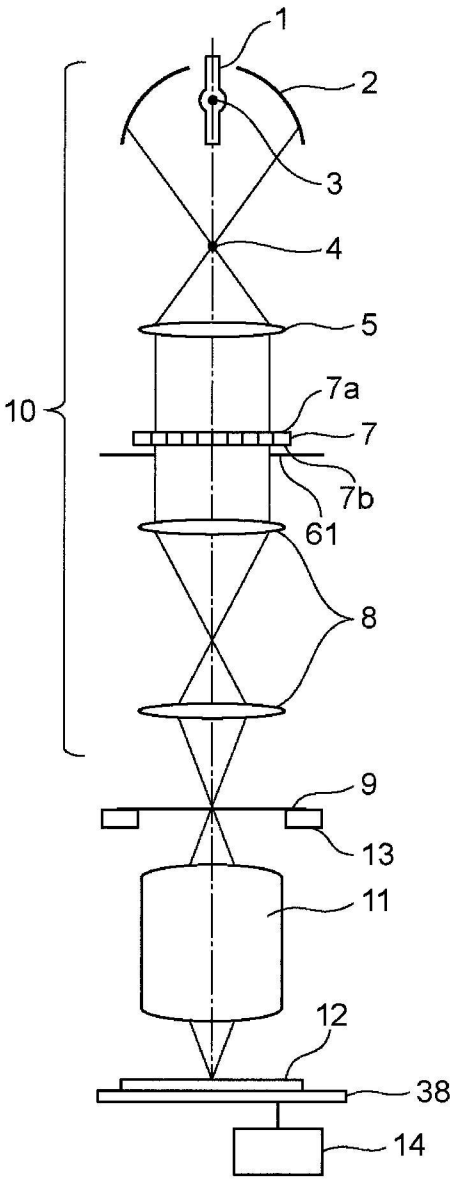
從在前述處理程序中處理後的基板製造物品。

【發明圖式】

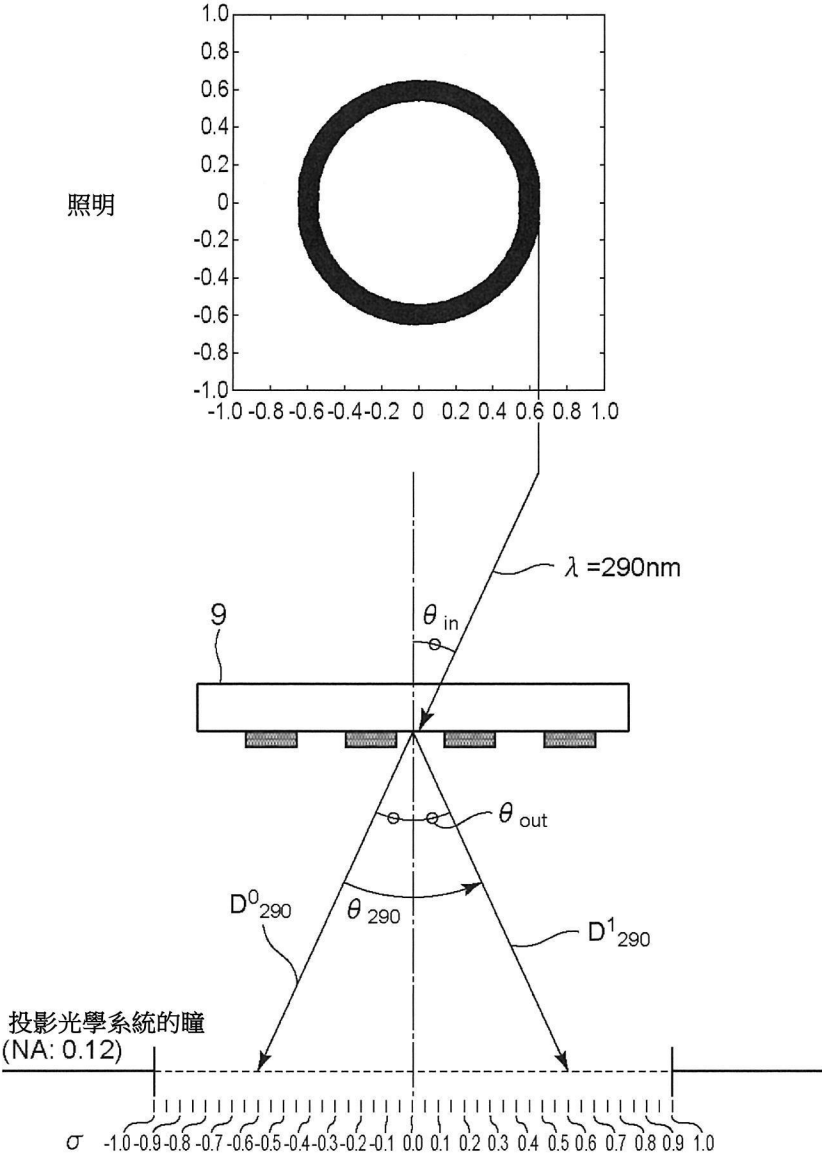


100

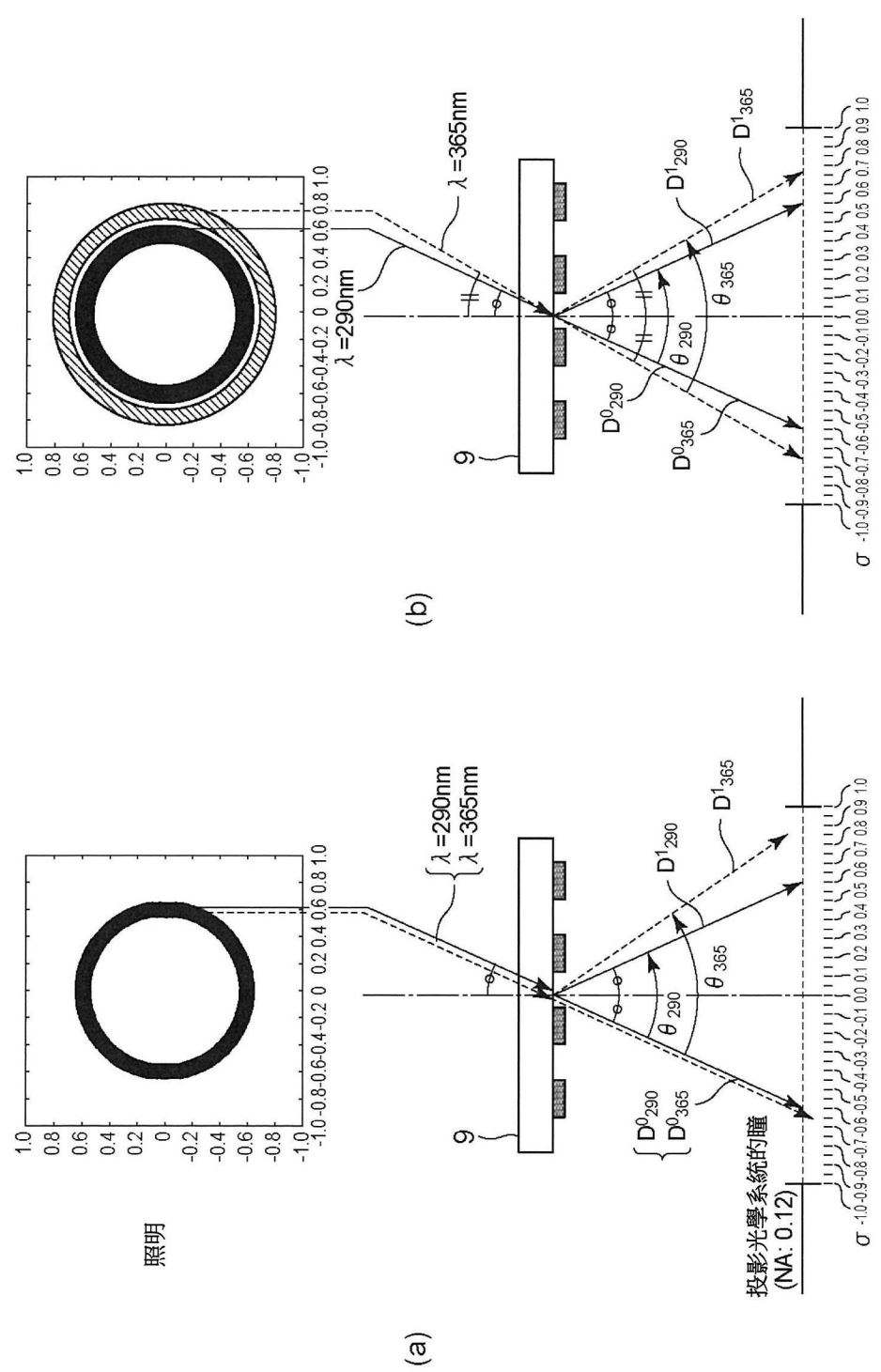
【圖 1】



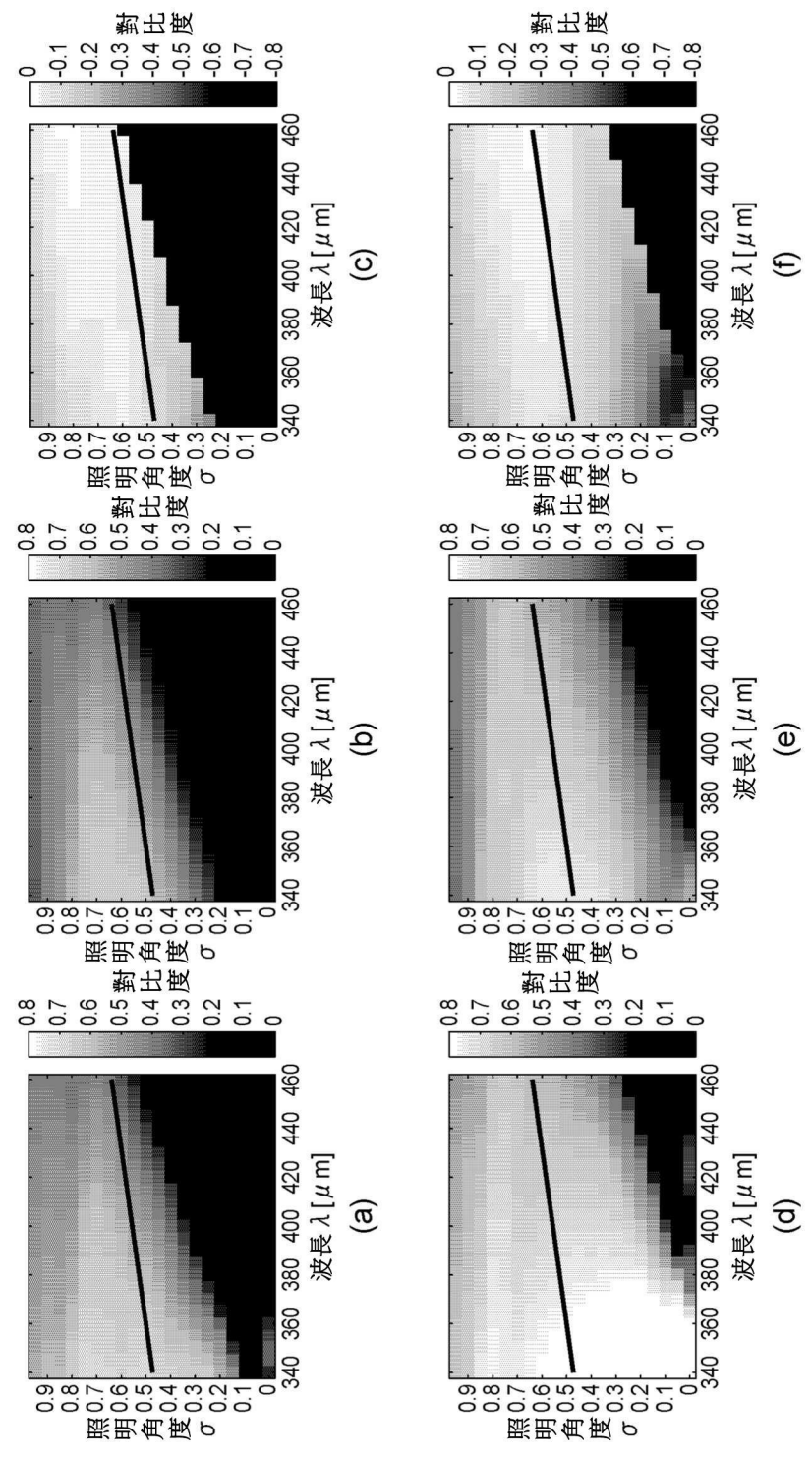
【圖 2】



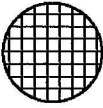
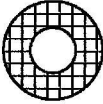
【圖 3】



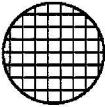
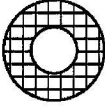
【圖 4】



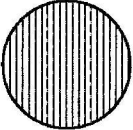
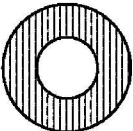
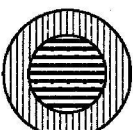
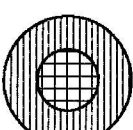
【圖 5】

	比較例 1	比較例 2	比較例 3	比較例 4	實施例 1
照明形狀					
正規化照度	1.00	0.86	0.75	0.57	0.86
對比度	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71
MEEF	2.74	2.72	2.65	2.72	2.59
DOF [μ m]	34.5	33.8	44.9	28.2	39.2
側壁角度 [$^{\circ}$]	72.8	72.8	73.4	72.5	73.6

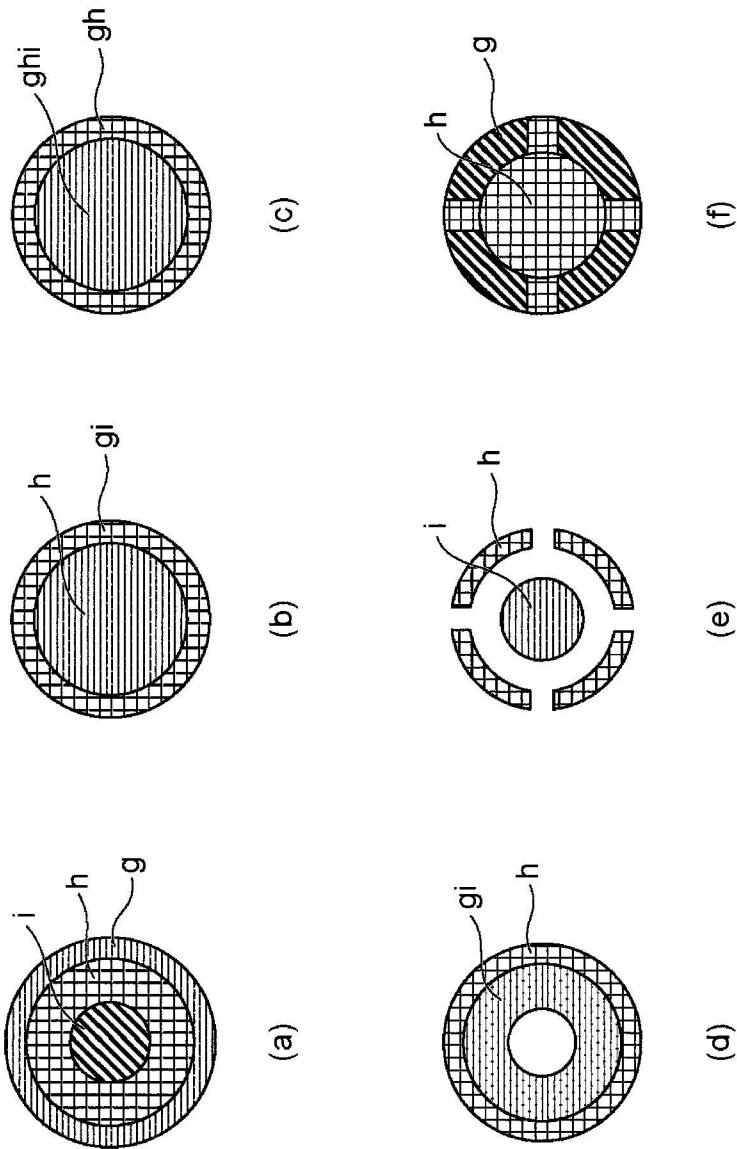
【圖 6】

	比較例 1	比較例 2	比較例 3	實施例 2
照明形狀				
正規化照度	1.00	0.86	0.75	0.86
對比度	0.50	0.50	0.51	0.52
MEEF	1.80	1.81	1.71	1.68
DOF [μ m]	50.6	50.9	64.3	57.7
側壁角度 [$^{\circ}$]	71.5	71.4	72.6	73.0

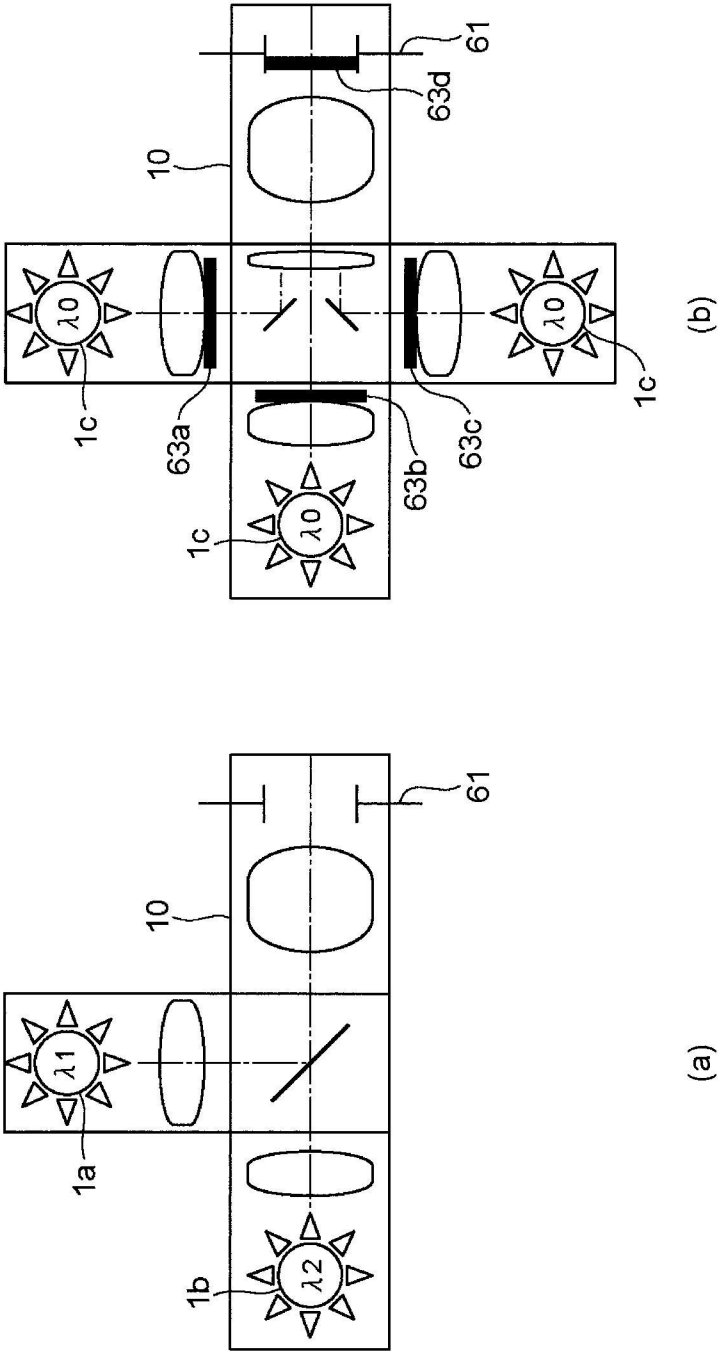
【圖 7】

	比較例 5	比較例 6	比較例 7	實施例 3
照明形狀				
正規化照度	1.00	0.75	0.86	0.79
對比度	0.63	0.66	0.67	0.66
MEEF	2.24	2.10	2.06	2.10
DOF [μm]	21.1	32.8	25.7	30.9
側壁角度 [$^{\circ}$]	71.4	72.4	72.7	72.5

【圖 8】



【圖 9】



【圖 10】