



(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 I548868 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：104138470

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 02 月 16 日

(51)Int. Cl. : G01M11/02 (2006.01)

G03F7/20 (2006.01)

(30)優先權：2010/02/25 美國

61/308,087

2011/01/21 美國

13/011,320

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

日本

(72)發明人：北尚憲 KITA, NAONORI (JP)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 541594

CN 1547681A

JP 5-206003A

JP 2001-230179A

JP 2010-109186A

審查人員：林永昌

申請專利範圍項數：16 項 圖式數：25 共 73 頁

(54)名稱

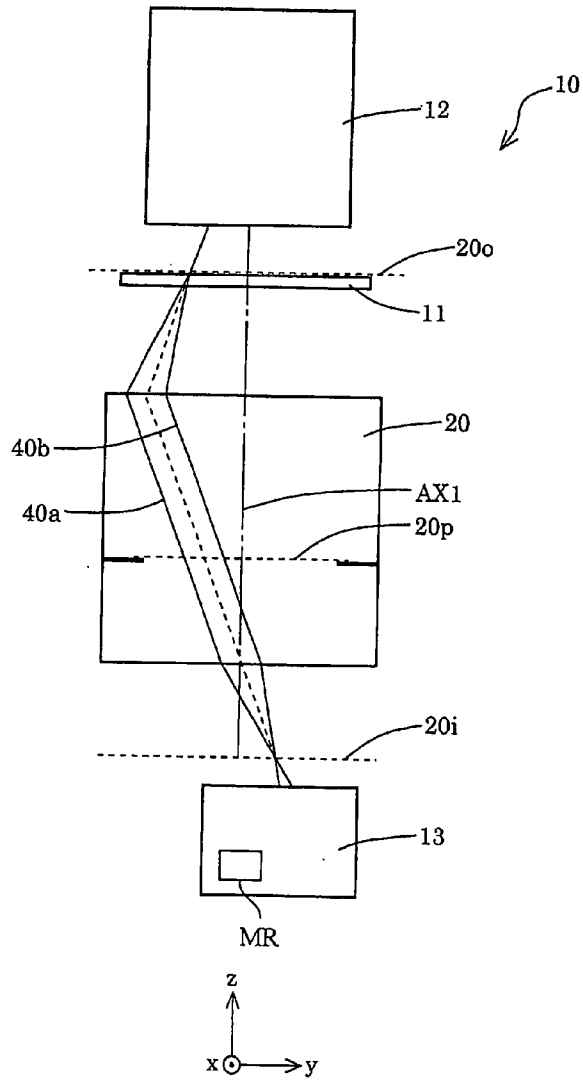
光瞳透射率分布之測定方法、程式、電腦可讀取之媒體、曝光裝置之控制方法、曝光方法及曝光裝置、以及元件製造方法

(57)摘要

本發明係關於以高精度且較低負荷迅速地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定裝置等。測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定裝置，具備：繞射光柵，能設置於與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之第 1 面；照明光學系統，以經由繞射光柵而生成之+1 次繞射光通過光瞳之有效區域內之第 1 光瞳部分區域且經由繞射光柵而生成之-1 次繞射光通過第 2 光瞳部分區域之方式使相對光軸傾斜之光束射入第 1 面之既定位置；以及測量部，測量經由第 1 光瞳部分區域及被檢測光學系統之+1 次繞射光之強度與經由第 2 光瞳部分區域及被檢測光學系統之-1 次繞射光之強度；根據+1 次繞射光之強度之測量值及-1 次繞射光之強度之測量值，求出在第 1 光瞳部分區域之光瞳透射率與在第 2 光瞳部分區域之光瞳透射率之比。

指定代表圖：

圖1



符號簡單說明：

10 . . . 測定裝置

11 . . . 繞射光柵

12 . . . 照明光學系統

13 . . . 測量部

20 . . . 成像光學系統

20i . . . 像面

20o . . . 物體面

20p . . . 光瞳

40a . . . +1 次繞射光

40b . . . -1 次繞射光

AX1 . . . 光軸

MR . . . 記憶體

發明摘要

※ 申請案號：104138470 (由100105040分割)

※ 申請日：100216

※ IPC 分類：G01M 11/02 (2006.01)

G03F 7/60 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

光瞳透射率分布之測定方法、程式、電腦可讀取之媒體、曝光裝置之控制方法、曝光方法及曝光裝置、以及元件製造方法

【中文】

本發明係關於以高精度且較低負荷迅速地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定裝置等。測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定裝置，具備：繞射光柵，能設置於與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之第 1 面；照明光學系統，以經由繞射光柵而生成之 +1 次繞射光通過光瞳之有效區域內之第 1 光瞳部分區域且經由繞射光柵而生成之 -1 次繞射光通過第 2 光瞳部分區域之方式使相對光軸傾斜之光束射入第 1 面之既定位置；以及測量部，測量經由第 1 光瞳部分區域及被檢測光學系統之 +1 次繞射光之強度與經由第 2 光瞳部分區域及被檢測光學系統之 -1 次繞射光之強度；根據 +1 次繞射光之強度之測量值及 -1 次繞射光之強度之測量值，求出在第 1 光瞳部分區域之光瞳透射率與在第 2 光瞳部分區域之光瞳透射率之比。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10	測定裝置
11	繞射光柵
12	照明光學系統
13	測量部
20	成像光學系統
20i	像面
20o	物體面
20p	光瞳
40a	+1 次繞射光
40b	-1 次繞射光
AX1	光軸
MR	記憶體

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

光瞳透射率分布之測定方法、程式、電腦可讀取之媒體、曝光裝置之控制方法、曝光方法及曝光裝置、以及元件製造方法

【技術領域】

本發明係關於光瞳透射率分布之測定方法及測定裝置、曝光方法及曝光裝置、以及元件製造方法。更詳言之，本發明係關於搭載於曝光裝置(例如在微影製程製造半導體元件或液晶顯示元件等元件時所使用)之投影光學系統之光瞳透射率分布之測定。

【先前技術】

在製造半導體元件等之微影製程中，係使用將光罩(或標線片)之圖案像經由投影光學系統投影曝光至感光性基板(塗布有光阻之晶圓、玻璃板等)上之曝光裝置。近年，為了謀求經由投影光學系統而形成之圖案像之對比提升，係提出了一種在搭載於曝光裝置之狀態下隨時測定投影光學系統之光瞳透射率分布之方法(參照例如非專利文獻 1)。

非專利文獻 1 所揭示之測定方法中，係使較細之平行光垂直射入於設置於被檢測光學系統即投影光學系統之物體面之明暗型繞射光柵之既定位置，在投影光學系統之像面附近檢測經由繞射光柵而生成之 0 次光及 ± 1 次繞射光。接著，根據 0 次光之強度之檢測結果及 ± 1 次繞射光之強度之檢測結果，測定投影光學系統之光瞳透射率分布。此外，「光學系統之光瞳透射率分布」，係就通過光瞳之有效區域內之任意位置之光，該光之射入前之強度與射出後之強度之比，在於光瞳位置配置有透射率濾光器之理想光學狀態與實際之光學系統之狀態之間彼此一致之情形下，意指該透射率濾

光器之透射率分布。

[專利文獻 1]歐洲發明專利公開第 779530 號公報(對應日本特表平 10-503300 號公報)

[專利文獻 2]美國發明專利第 6,900,915 號公報(對應日本特開 2004-78136 號公報)

[專利文獻 3]美國發明專利第 7,095,546 號公報(對應日本特表 2006-524349 號公報)

[專利文獻 4]日本特開 2006-113437 號公報

[專利文獻 5]美國發明專利公開第 2008/0030707A1 號公報

[專利文獻 6]美國發明專利公開第 2008/0252876A1 號公報(對應日本特表 2008-502126 號公報)

[專利文獻 7]美國發明專利公開第 2002/0001088A1 號

[專利文獻 8]美國發明專利公開第 2005/0078287A1 號公報

[專利文獻 9]日本特開 2004-304135 號公報

[專利文獻 10]美國發明專利公開第 2007/0296936 號公報(對應國際公開第 2006/080285 號小冊子)

[專利文獻 11]國際公開第 WO99/49504 號小冊子

[專利文獻 12]日本特開平 6-124873 號公報

[專利文獻 13]日本特開平 10-303114 號公報

[專利文獻 14]美國公開公報第 2006/0170901 號

[專利文獻 15]美國公開公報第 2007/0146676 號

[非專利文獻 1] Kazuya Sato et al., "Measurement of transmittance variation of projection lenses depending on the light paths using a grating-pinhole mask", Proceedings of SPIE Vol. 4346 379-386, 2001

【發明內容】

發明者群，針對習知之光瞳透射率分布之測定方法研究後之結果，發現了如下之課題。亦即，非專利文獻 1 所揭示之測定方法中，由於經由明暗型繞射光柵而生成之繞射光中之 ± 1 次繞射光成分之強度顯著地小於 0 次光成分，因此需使用非常寬廣之動態範圍檢測各成分，進而難以進行光瞳透射率分布之高精度之測定。又，為了檢測通過涵蓋光瞳有效區域整體而分布之複數個位置之 ± 1 次繞射光成分，由於需準備明暗圖案之間距彼此不同之複數個繞射光柵，並一邊使間距方向變化、一邊反覆使用了各繞射光柵之測定，因此測定所花費之負荷較高而難以迅速地測定。

本發明係為了解決上述課題而完成者，其目的在於提供能以高精度且較低負荷迅速地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定方法及測定裝置。又，本發明之目的在於能提供使用高精度且迅速地測定所搭載之投影光學系統之光瞳透射率分布之測定方法及測定裝置，形成對比較高之圖案像之曝光裝置、曝光方法、以及元件製造方法。

為了解決前述課題，本實施形態係提供測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定方法。該測定方法之一態樣具備光束供給步驟、光束繞射步驟、區域通過步驟、強度測量步驟、以及透射率比算出步驟。光束供給步驟中，對與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之第 1 面上之既定位置供給第 1 光束。光束繞射步驟中，藉由對經由第 1 面上之第 1 相位區域之光賦予第 1 相位值，且對經由與第 1 相位區域相鄰之第 2 相位區域之光賦予與第 1 相位值相異之第 2 相位值，以使第 1 光束繞射。區域通過步驟中，使經由使第 1 光束繞射之動作而生成之 $+1$ 次繞射光通過光瞳之有效區域內之第 1 光瞳部分區域，且使經由使第 1 光束繞射之動作而生成之 -1 次繞射光通過在有效區域內與第 1 光瞳部分區域分離之第 2 光瞳部分區域。強度測量步驟中，測量經由第 1 光瞳部分區域及被檢測光學系統

之+1次繞射光之強度與經由第2光瞳部分區域及被檢測光學系統之前述-1次繞射光之強度。透射率比算出步驟，根據+1次繞射光之強度之測量值及-1次繞射光之強度之測量值，求出在第1光瞳部分區域之光瞳透射率與在第2光瞳部分區域之光瞳透射率之比。

本實施形態所提供之測定方法之其他形態亦具備光束供給步驟、光束繞射步驟、區域通過步驟、強度測量步驟、以及透射率比算出步驟。光束供給步驟中，對與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之第1面上之既定位置供給相對前述被檢測光學系統之光軸傾斜之第1光束。光束繞射步驟中，使第1光束繞射。區域通過步驟中，使經由使第1光束繞射之動作而生成之+1次繞射光通過前述光瞳之有效區域內之第1光瞳部分區域，且使經由使第1光束繞射之動作而生成之-1次繞射光通過在有效區域內與第1光瞳部分區域分離之第2光瞳部分區域。強度測量步驟中，測量經由第1光瞳部分區域及被檢測光學系統之+1次繞射光之強度與經由第2光瞳部分區域及被檢測光學系統之-1次繞射光之強度。透射率比算出步驟中，根據+1次繞射光之強度之測量值及-1次繞射光之強度之測量值，求出在第1光瞳部分區域之光瞳透射率與在第2光瞳部分區域之光瞳透射率之比。

本實施形態，係提供使處理裝置執行上述任一態樣之測定方法之程式。又，本實施形態，係提供儲存此種程式之記錄媒體。

本實施形態係提供曝光裝置之控制方法。該曝光裝置之控制方法，係控制具備照明既定圖案之照明光學系統與將前述既定圖案之像形成於感光性基板上之投影光學系統之曝光裝置。具體而言，該控制方法，係根據使用上述任一態樣之測定方法測定之投影光學系統之光瞳透射率分布之測定結果，變更照明既定圖案之照明條件。

本實施形態係提供曝光方法。該曝光方法之一態樣，具備照明既定圖

案之動作與使用投影光學系統將既定圖案曝光於感光性基板之動作。具體而言，該曝光方法之一態樣，係根據使用上述任一態樣之測定方法測定之前述投影光學系統之光瞳透射率分布之測定結果，變更照明既定圖案之照明條件。

本實施形態所提供之曝光方法之其他態樣，亦具備照明既定圖案之動作與使用投影光學系統將既定圖案曝光於感光性基板之動作。具體而言，該曝光方法之其他態樣，係使用根據使用上述任一態樣之測定方法測定之前述投影光學系統之光瞳透射率分布之測定結果而作成之圖案。

● 本實施形態係提供使用上述任一態樣之曝光方法之元件製造方法。該元件製造方法，具備曝光步驟、光罩層形成步驟、加工步驟。曝光步驟中，使用上述任一態樣之曝光方法將既定圖案曝光於感光性基板。光罩層形成步驟中，使轉印有既定圖案之感光性基板顯影，以將與既定圖案對應之形狀之光罩層形成於感光性基板表面。加工步驟中，透射光罩層對感光性基板表面加工。

● 本實施形態係提供測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之測定裝置。該測定裝置具備繞射光柵、照明光學系統、測量部。繞射光柵，係能設置於與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之第 1 面之光學元件。照明光學系統，以經由設置於第 1 面之繞射光柵而生成之 +1 次繞射光通過光瞳之有效區域內之第 1 光瞳部分區域，且經由繞射光柵而生成之 -1 次繞射光通過在前述有效區域內與第 1 光瞳部分區域分離之第 2 光瞳部分區域之方式，使相對被檢測光學系統之光軸傾斜之光束射入第 1 面之既定位置。測量部，測量經由第 1 光瞳部分區域及被檢測光學系統之 +1 次繞射光之強度與經由第 2 光瞳部分區域及被檢測光學系統之 -1 次繞射光之強度。特別是，根據 +1 次繞射光之強度之測量值及 -1 次繞射光之強度之測量值，求出在第 1 光瞳部分區域之光瞳透射率與在第 2 光瞳部分區域之

光瞳透射率之比。

本實施形態，提供具備照明既定圖案之照明光學系統與將既定圖案之像形成於感光性基板上之投影光學系統之曝光裝置。該曝光裝置之一態樣，具備：控制部，係根據藉由上述任一態樣之測定方法測定之投影光學系統之光瞳透射率分布之測定結果，為了切換既定圖案之照明條件而控制照明光學系統。

本實施形態所提供之曝光裝置之其他態樣，亦具備照明既定圖案之照明光學系統與將既定圖案之像形成於感光性基板上之投影光學系統。該曝光裝置之其他態樣，具備用以測定投影光學系統之光瞳透射率分布之上述測定裝置。

本實施形態係提供使用上述任一態樣之曝光裝置之元件製造方法。該元件製造方法，具備曝光步驟、光罩層形成步驟、加工步驟。曝光步驟中，使用上述任一態樣之曝光裝置將既定圖案曝光於感光性基板。光罩層形成步驟中，使轉印有既定圖案之感光性基板顯影，以將與既定圖案對應之形狀之光罩層形成於感光性基板表面。加工步驟中，透射光罩層對感光性基板表面加工。

本實施形態，係提供在實施上述任一測定方法時所使用之標線片。第 1 相位區域及第 2 相位區域形成於該測定用標線片之表面上。

本實施形態，係提供在實施上述其他態樣之測定方法時所使用之孔徑光闌。該孔徑光闌具備：開口部，為了形成在供給第 1 光束之照明光學系統之光路中且係與光瞳在光學上共軛之第 1 共軛面局部存在於與照明光學系統之光軸分離之位置之光強度分布，而形成於該分離之位置。

本實施形態，係提供在實施上述其他態樣之測定方法時所使用之空間光調變器。該空間光調變器，為了形成在供給第 1 光束之照明光學系統之光路中且係與光瞳在光學上共軛之第 1 共軛面局部存在於與照明光學系統

之光軸分離之位置之光強度分布，而對射向第 1 共軛面之光束賦予角度分布。

本實施形態，係提供在實施上述其他態樣之測定方法時所使用之空間光調變器之控制方法。該空間光調變器之控制方法，為了形成在供給第 1 光束之照明光學系統之光路中且係與光瞳在光學上共軛之第 1 共軛面局部存在於與照明光學系統之光軸分離之位置之光強度分布，而控制空間光調變器以對射向第 1 共軛面之光束賦予角度分布。

本實施形態，係提供使處理裝置執行上述空間光調變器之控制方法之程式。又，本實施形態，係提供儲存此種程式之記錄媒體。

此外，本發明之各實施形態，可藉由以下之詳細說明及附圖而更為充分理解。此等實施形態僅係例示，不應認為係限定本發明。

又，本發明之進一步應用範圍，能從以下之詳細說明可清楚理解。然而，詳細之說明及特定之事例雖顯示本發明之較佳實施形態，但其僅為例示，對發明所屬技術領域者而言，當然可根據此詳細說明進行在本發明之範圍內之各種變形及改良。

依據本實施形態之一態樣之測定裝置，由於經由相位繞射光柵(設置於與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之物體面)而生成之繞射光中作為測定對象之 ± 1 次繞射光成分之強度彼此相等，因此在測量部使用較狹窄之動態範圍仍能進行各繞射光成分之高精度之檢測，進而能高精度地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布。又，由於僅使往固定設置於被檢測光學系統之物體面之相位繞射光柵射入之測定光束之射入角度變化，即能使各繞射光成分通過被檢測光學系統之光瞳之區域變化，因此能以較低負荷迅速地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布。

【圖式簡單說明】

圖 1 係概略顯示第 1 實施形態之光瞳透射率分布之測定裝置構成之圖。

圖 2 係概略顯示圖 1 之相位型繞射光柵構成之圖。

圖 3 係概略顯示圖 1 之照明光學系統之內部構成之圖。

圖 4 係概略顯示圖 1 之測量部之內部構成之圖。

圖 5 係顯示於測量部之物鏡光學系統之射入平面形成有校正用相位繞射光柵等之樣子之圖。

圖 6 係顯示孔徑光闌配置於照明光瞳之位置之樣子之圖。

圖 7 係顯示經由繞射光柵而生成之 ± 1 次繞射光通過成像光學系統之光瞳之一對光瞳部分區域之圖。

圖 8 係顯示使一對光束同時傾斜射入繞射光柵上之既定位置而生成第 1 之 ± 1 次繞射光與第 2 之 ± 1 次繞射光之樣子之圖。

圖 9 係說明檢測因測量部之物鏡光學系統之光瞳透射率分布導致之測定結果之誤差分之方法之圖。

圖 10 係概略顯示 PDI/LDI 型測量部之內部構成之圖。

圖 11 係顯示於圖 10 之測量部之光透射性基板之射入平面形成有校正用相位繞射光柵等之樣子之圖。

圖 12 係概略顯示利用錯位干涉儀之測量部之要部構成之圖。

圖 13 係顯示於圖 12 之測量部之光透射性基板之射入平面形成有校正用相位繞射光柵等之樣子之圖。

圖 14 係概略顯示本發明之曝光裝置之構成之圖。

圖 15 係概略顯示圖 14 之照明光學系統之內部構成之圖。

圖 16 係顯示第 2 實施形態之投影光學系統之光瞳透射率分布之測定狀態之圖。

圖 17 係顯示測定用孔徑光闌配置於照明光瞳之位置之樣子之圖。

圖 18 係概略顯示形成於圖 14 之測定用標線片之相位光柵之圖。

圖 19 係顯示從測定用孔徑光闌之一個開口部經由測定用標線片而生成之 ± 1 次繞射光通過投影光學系統之光瞳之四個光瞳部分區域之圖。

圖 20 係顯示從測定用孔徑光闌之九個開口部經由測定用標線片而生成之 ± 1 次繞射光通過投影光學系統之光瞳之三十六個光瞳部分區域之圖。

圖 21 係顯示從測定用孔徑光闌之一個開口部經由測定用標線片而生成之 ± 1 次繞射光及 ± 3 次繞射光通過投影光學系統之光瞳之十六個光瞳部分區域之圖。

圖 22 係顯示從測定用孔徑光闌之相鄰兩個開口部經由測定用標線片而生成之 ± 1 次繞射光及 ± 3 次繞射光通過投影光學系統之光瞳之三十二個光瞳部分區域之圖。

圖 23 係說明補齊投影光學系統之光瞳透射率分布之相對比資訊之方法之圖。

圖 24 係顯示半導體元件製程之流程圖。

圖 25 係顯示液晶顯示元件等亦晶圓件之製程之流程圖。

【實施方式】

根據附圖說明本發明之實施形態。圖 1 係概略顯示第 1 實施形態之光瞳透射率分布之測定裝置之構成之圖。亦即，第 1 實施形態係適用於測定作為被檢測光學系統之成像光學系統 20 之光瞳透射率分布之測定裝置 10。圖 1 中，係於成像光學系統 20 之像面 20i 之法線方向設定 z 軸，在像面 20i 中於與圖 1 之紙面平行之方向設定 y 軸，在像面 20i 中於與圖 1 之紙面垂直之方向設定 x 軸。

第 1 實施形態之測定裝置 10，具備能設置於成像光學系統 20 之物體面 20o 之相位型繞射光柵 11、使測定光射入物體面 20o 之既定位置（進而為繞射光柵 11 之既定位置）之照明光學系統 12、測量經由成像光學系統 20 之

測定光之強度之測量部 13。繞射光柵 11 係如圖 2 所示，具有沿一方向交互配置有第 1 相位區域 11a 與第 2 相位區域 11b 之形態，該第 1 相位區域 11a 係對透射光賦予第 1 相位值，該第 2 相位區域 11b 係對透射光賦予與第 1 相位值相異 π 值之第 2 相位值。

以下說明中，繞射光柵 11 係設置成相位區域 11a, 11b 之間距方向與 y 方向一致且繞射光學面與物體面 20o 一致。又，成像光學系統 20 與照明光學系統 12 係沿其光軸 AX1 及 AX2 (參照圖 3) 沿延伸於 z 方向之一條直線共軸配置。照明光學系統 12 係如圖 3 所示，具備根據來自光源 21 之光於照明光瞳 12p 形成既定之光強度分布之空間光調變器 12a 及第 1 中繼光學系統 12b、於照明光瞳 12p 能對照明光路進行插卸之孔徑光闌 12c、將經由孔徑光闌 12c 之光導往成像光學系統 20 之物體面 20o 之第 2 中繼光學系統 12d。

光源 21 係供給例如成像光學系統 20 之使用光。作為空間光調變器 12a 能使用繞射光學元件、反射鏡陣列等。反射鏡陣列係具有排列於既定面內且能個別控制之複數個鏡要素之空間光調變器，其構成及作用揭示於例如上述專利文獻 1~4。照明光瞳 12p 與成像光學系統 20 之物體面 20o 在光學上為傅立葉變換關係，且位於與成像光學系統 20 之光瞳 20p 在光學上共軛之位置。此處，係將上述專利文獻 1~4 之揭示作為參照而援用。

測量部 13 如圖 4 所示，具備：物鏡光學系統 13a，係形成與成像光學系統 20 之像面 20i 在光學上為傅立葉變換關係之面 13p；以及光電檢測器 13b，具有沿面 13p 配置之檢測面 13ba，構成為能沿 xy 平面一體移動。亦即，物鏡光學系統 13a 配置於與成像光學系統 20 之光瞳 20p 在光學上共軛之面 13p 與成像光學系統 20 之間之光路中，光電檢測器 13b 之檢測面 13ba 沿物鏡光學系統 13a 之光瞳面 13p 配置。作為光電檢測器 13b，能使用例如 CCD 影像感測器或 CMOS 影像感測器等固態攝影元件或攝像管等。

於物鏡光學系統 13a 之最靠成像光學系統 20 之側，配置有具有沿成像

光學系統 20 之像面 20i 之平面之平凸透鏡 13aa。於平凸透鏡 13aa 之入射平面 13i 上，如圖 5 所示形成有以例如鉻或氧化鉻形成之遮光部 13e、測量用開口部 13f、用以校正波面像差測量結果之校正用針孔 13g、以及用以校正光瞳透射率分布測量結果之校正用相位繞射光柵 13h。測量部 13 之構成中去除校正用相位繞射光柵 13h 之部分，揭示於例如上述專利文獻 5。此處，係將上述專利文獻 5 之揭示作為參照而援用。此外，測量部 13 亦可係具有記憶體 MR 等記錄媒體之處理裝置(電腦)，於此記憶體 MR 儲存使該處理裝置執行本實施形態之測定方法、曝光裝置或空間光調變器 12a 之控制方法之程式。

以下，為了使測定裝置 10 之作用容易理解，舉最單純之例，考量如圖 6 所示使用形成有單一圓形之開口部 31 之孔徑光闌 12c 之情形。圖 6 中，以光軸 AX2 為中心之虛線所示之圓，係顯示照明光瞳 12p 之有效區域。孔徑光闌 12c 設置成開口部 31 之中心從光軸 AX2 往 $-y$ 方向側分離之位置，於孔徑光闌 12c，光束係射入包含開口部 31 之所需區域。此情形下，孔徑光闌 12c 係發揮形成圓形之局部光束之局部光束形成部之功能，該局部光束具有在與成像光學系統 20 之光瞳 20p 在光學上共軛之照明光瞳 12p 中與光軸 AX2 分離之位置局部存在之光強度分布。

經由孔徑光闌 12c 之開口部 31 之光束，係經由第 2 中繼光學系統 12d，成為相對成像光學系統 20 之光軸 AX1(進而相對照明光學系統 12 之光軸 AX2)為傾斜之光束射入繞射光柵 11 之既定位置(進而為成像光學系統 20 之物體面 20o 之既定位置)。對繞射光柵 11 之傾斜光束之入射位置，係藉由例如配置於第 2 中繼光學系統 12d(具有複數個透鏡)之光路中與物體面 20o 在光學上共軛之位置或其附近之視野光闌(不圖示)、或配置於緊鄰物體面 20o 前方之位置之視野光闌(不圖示)等而可變動地被決定。

以下，為使說明單純化，照明光學系統 12 之照明光瞳 12p 與成像光學

系統 20 之光瞳 20p，係在 x 方向及 y 方向處於將照明光瞳 12p 之正立像形成於光瞳 20p 之共軛關係。參照圖 1 及圖 7 可知，傾斜射入繞射光柵 11 而生成之繞射光中之 +1 次繞射光 40a(或 40b)係通過成像光學系統 20 之光瞳 20p 之有效區域 20pe 內之光瞳部分區域 41a，-1 次繞射光 40b(或 40a)係通過在光瞳有效區域 20pe 內與光瞳部分區域 41a 分離之光瞳部分區域 41b，而分別從成像光學系統 20 射出。光瞳部分區域 41a 及 41b 與開口部 31 同樣為圓形，具有彼此相同之大小。

光瞳部分區域 41a 與 41b，位於光瞳有效區域 20pe 中隔著通過光軸 AX1 而延伸於 y 方向之直線上之一點 41c 而對稱之位置。此處，點 41c 係在經由繞射光柵 11 而暫時產生 0 次光(圖 1 中以虛線所示)時該 0 次光通過光瞳 20p 之區域之中心。亦即，光瞳部分區域 41a 與 41b 之中心位置 41c 係取決於孔徑光闌 12c 之開口部 31 之位置。光瞳部分區域 41a 及 41b 之大小取決於孔徑光闌 12c 之開口部 31 之大小。光瞳部分區域 41a 與 41b 之中心間距離取決於繞射光柵 11 中之相位區域 11a, 11b 之間距。

參照圖 1、圖 3 及圖 5 可知，經由光瞳部分區域 41a 及成像光學系統 20 之 +1 次繞射光 40a、以及經由光瞳部分區域 41b 及成像光學系統 20 之 -1 次繞射光 40b，係經由測量部 13 之測量用開口部 13f 射入物鏡光學系統 13a。經由物鏡光學系統 13a 之 1 次繞射光 40a, 40b，係在配置於物鏡光學系統 13a 之光瞳面 13p 之檢測面 13ba 中被光電檢測器 13b 檢測出。此外，圖 1 中，為使圖面更為清楚，係顯示從成像光學系統 20 之像面 20i 往下側隔著間隔配置有測量部 13 之樣子。

以下，為使說明單純化，經由繞射光柵 11 而生成之 +1 次繞射光 40a 之強度與 -1 次繞射光 40b 之強度為彼此相同，且到達成像光學系統 20 之像面 20i 時之 +1 次繞射光 40a 與 -1 次繞射光 40b 之強度比係一致於在測量部 13 之檢測面 13ba 被檢測出之 +1 次繞射光 40a 與 -1 次繞射光 40b 之

強度比。換言之，測量部 13 能不受物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響等而正確地測量到達成像光學系統 20 之像面 20i 時之 +1 次繞射光 40a 與 -1 次繞射光 40b 之強度比

此情形下，測定裝置 10，係根據 +1 次繞射光 40a 之強度之測量值及 -1 次繞射光 40b 之強度之測量值，求出光瞳部分區域 41a 中之光瞳透射率與光瞳部分區域 41b 中之光瞳透射率之比，進而針對光瞳部分區域 41a 及 41b 測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。此外，待在測定裝置 10 測定之光瞳透射率分布，並非在光瞳有效區域 20pe 之光瞳透射率之絕對值分布，而係光瞳透射率分布之相對比資訊，例如係將在光瞳有效區域 20pe 中心(光軸 AX1 之位置)之光瞳透射率設為 1 時之經規格化之分布。

測定裝置 10，在針對隔著間隔之一對光瞳部分區域 41a 及 41b 測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布時，於連結光瞳部分區域 41a 中心與光瞳部分區域 41b 中心之線段之中點 41c 在光學上對應之位置配置有開口部 31。此點係意指藉由一邊使孔徑光闌 12c 沿 xy 平面步進移動以將開口部 31 配置於待在光瞳有效區域 20pe 測定之一對光瞳部分區域所對應之位置，一邊反覆測量部 13 之測量，而能取得在任意一對光瞳部分區域之光瞳透射率之比之集合，進而能針對依據所欲分布之所欲數目之光瞳部分區域測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。

具體而言，一邊使孔徑光闌 12c 沿 xy 平面步進移動，進而一邊使射入繞射光柵 11 之測定光之入射角度變化，同時依序求出在任意一對光瞳部分區域之光瞳透射率之比，而能取得涵蓋光瞳有效區域 20pe 整體而分布之所欲數目之光瞳部分區域間之光瞳透射率之相對資訊。接著，藉由將在光瞳有效區域 20pe 之此等離散光瞳透射率之相對值分布予以例如冊尼克擬合(zernike fitting)，而能直接取得成像光學系統 20 之二維光瞳透射率分布作為函數化分布。此外，將離散測量值之分布予以冊尼克擬合以取得函數化分

布之方法，能參照以波面像差為對象之一般冊尼克擬合，能以線性最小二乘法算出。

此外，測定裝置 10 中，經由繞射光柵 11 亦會產生因繞射光柵之製造誤差導致之 0 次光、 ± 3 次繞射光、 ± 5 次繞射光等。此情形下，只要將 ± 3 次繞射光、 ± 5 次繞射光等排除於測定對象外，且設定為 ± 3 次繞射光、 ± 5 次繞射光等在成像光學系統 20 之光瞳 20p 不會與測定對象即 ± 1 次繞射光疊合即可。不過，現實中， ± 5 次繞射光(及其以上之高次繞射光)之強度係顯著小於測定對象即 ± 1 次繞射光之強度而能忽視。將 0 次光與 ± 3 次繞射光設定為在被檢測光學系統之光瞳不會與 ± 1 次繞射光疊合之方法，將在第 2 實施形態中具體說明。

如以上所述，測定裝置 10 中，繞射光柵 11 係能設置於與被檢測光學系統即成像光學系統 20 之光瞳 20p 在光學上為傅立葉變換關係之物體面 20o。照明光學系統 12，以經由設置於物體面 20o 之繞射光柵 11 而生成之 +1 次繞射光 41a 通過光瞳有效區域 20p 內之光瞳部分區域 41a，且經由繞射光柵 11 而生成之 -1 次繞射光 40b 通過在光瞳有效區域 20pe 內與光瞳部分區域 41a 分離之光瞳部分區域 41b 之方式，使相對成像光學系統 20 之光軸 AX1 傾斜之光束(不過不排除包含垂直射入之光束)射入物體面 20o 之既定位置。測量部 13，測量經由光瞳部分區域 41a 及成像光學系統 20 之 +1 次繞射光 40a 之強度與經由光瞳部分區域 41b 及成像光學系統 20 之 -1 次繞射光 40b 之強度。

第 1 實施形態之測定裝置 10 中，由於使用交互配置有兩種類之相位區域 11a 與 11b 之相位繞射光柵 11，因此經由繞射光柵 11 而生成之繞射光中作為測定對象之 ± 1 次繞射光成分之強度彼此相等。其結果，能在測量部 13 之光電檢測器 13b 使用較狹窄之動態範圍進行各繞射光成分之高精度之檢測，進而能高精度地測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。又，由於使

用交互配置有具有 π 之相位差之兩種類之相位區域 11a 與 11b 之相位繞射光柵 11，因此不會有非測定對象之 0 次光產生而對 ± 1 次繞射光成分之強度之測量造成影響，而能進行各成分之高精度檢測。

又，在不使繞射光柵 11 之姿勢變化(變化間距方向)或與特性相異(間距相異)之其他繞射光柵交換之情形下，僅使具有單一開口部 31 之孔徑光闌 12c 以所需次數沿 xy 平面步進移動，即能以較低負荷迅速地測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。換言之，在將繞射光柵 11 固定設置之狀態下，僅使孔徑光闌 12c 之開口部 31 沿 xy 平面步進移動且使對繞射光柵 11 射入之測定光之入射角度變化，即能以較低負荷迅速地測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。

第 1 實施形態之測定裝置 10 中，為了正確地檢測出各繞射光成分之強度，光瞳部分區域 41a 與 41b 彼此分離這點係重要，為了正確地測定光瞳透射率分布，將光瞳部分區域 41a, 41b 之大小(進而為開口部 31 之大小)抑制為小至某程度這點係重要。亦即，即使不將與孔徑光闌 12c 之開口部 31 在光學上對應之一對光瞳部分區域 41a, 41b 之中心間距離設定為過度大亦可，因此無需將在繞射光柵 11 之相位區域 11a 與 11b 之間距設定為過度小，進而使繞射光柵 11 之製作容易。

此外，上述關於第 1 實施形態之說明中，係一邊使設有單一開口部 31 之孔徑光闌 12c 步進移動一邊反覆測量部 13 之測量。然而，並不限定於此，亦能使用設有複數個開口部之孔徑光闌，以減少其步進移動之次數進而減少測量部之測量次數，藉此能更迅速地測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。作為一例，圖 8 係顯示經由照明光瞳 12p 中隔著光軸 AX2 於 y 方向對稱配置之一對開口部之第 1 光束與第 2 光束同時傾斜射入繞射光柵 11 之既定位置，而生成相對第 1 光束之第 1 之 ± 1 次繞射光與相對第 2 光束之第 2 之 ± 1 次繞射光之樣子。

或者，亦能使用具有依據所需分布而配置之複數個開口部之孔徑光闌 12c，將與開口部相同數目之光束同時供給至繞射光柵 11 上之既定位置，並根據依各光束生成之 ± 1 次繞射光一次測定成像光學系統 20 之光瞳透射率分布。此情形下，由於無需使孔徑光闌 12c 步進移動，測量部 13 之測量亦僅一次，因此能最迅速地進行光瞳透射率分布之測定。使用具有複數個開口部之孔徑光闌一次測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之方法，將在第 2 實施形態中具體說明。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，孔徑光闌 12c 係發揮形成一個圓形之局部光束之局部光束形成部之功能，該局部光束具有在照明光瞳 12p 中與光軸 AX2 分離之位置局部存在之光強度分布。然而，並不限定於此，針對形成於照明光瞳之局部光束之數目、形狀、大小、位置等能有各種形態。具體而言，例如亦可為了形成多角形狀之局部光束而設置多角形狀之開口部，或於光軸 AX2 之位置亦配置開口部以包含局部存在於光軸 AX2 位置之局部光束。

又，亦能取代孔徑光闌 12c(或除了孔徑光闌 12c 以外進一步地)使空間光調變器 12a 發揮局部光束形成部之功能。此情形下，作為局部光束形成部之空間光調變器 12a，為了形成在照明光瞳 12p 中與光軸 AX2 分離之位置局部存在之至少一個光強度分布，係對射向照明光瞳 12p 之光束賦予角度分布。具體而言，作為空間光調變器 12a，亦可僅使用繞射光學元件，或僅使用反射鏡陣列，或併用繞射光學元件與反射鏡陣列。

僅使用繞射光學元件之情形，需準備特性相異之複數個繞射光學元件，並視往繞射光柵 11 射入之光束所需之入射角度將所需之繞射光學元件設定於照明光路中。僅使用反射鏡陣列之情形，只要視往繞射光柵 11 射入之光束所需之入射角度將複數個鏡要素個別控制即可。具體而言，可藉由個別控制反射鏡陣列之複數個鏡要素，一邊使入射角度變化、一邊使一條

或複數條光束依序射入繞射光柵 11，或亦可使具有各種入射角度之複數條光束同時射入繞射光柵 11。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，係使用於一方向交互配置有具有 π 之相位差之兩種類之相位區域 11a 與 11b 之形態之相位繞射光柵，作為繞射光柵 11。然而並不限定於此，針對繞射光柵之具體構成亦能有各種形態。例如，亦能使用於一方向交互配置有具有 π 以外之適當相位差之兩種類之相位區域之形態之繞射光柵。此情形下，雖會產生 0 次光，但只要將此 0 次光排除於測定對象外，且設定為 0 次光在成像光學系統 20 之光瞳 20p 不會與 ± 1 次繞射光疊合即可。

又，亦能使用例如配置成兩種類之矩形相位區域形成方格旗圖案之繞射光柵、亦即能使用兩種類之矩形相位區域配置成棋盤格子狀之形態之繞射光柵。此情形下，係相對射入繞射光柵之一個光束生成一對之 +1 次繞射光與一對之 -1 次繞射光。使用具有 π 之相位差之兩種類矩形相位區域配置成棋盤格子狀之形態之繞射光柵測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布之方法，將在第 2 實施形態中具體說明。

又，亦能取代相位型之繞射光柵 11 使用明暗型之繞射光柵。此情形下，能一邊使射入繞射光柵(固定設置於與被檢測光學系統之光瞳在光學上為傅立葉變換關係之位置)之測定光之入射角度變化，一邊以較低負荷迅速地測定被檢測光學系統之光瞳透射率分布。亦即，亦可準備明暗圖案之間距互異之複數個繞射光柵，而不反覆一邊使間距方向變化一邊使用各繞射光柵之測定。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，係假定測量部 13 不受物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響而能正確地測量 +1 次繞射光 40a 與 -1 次繞射光 40b 之強度比者。不過，當物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響非小至能忽視之程度時，能依據以下之方法，檢測出因物鏡光學系統

13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分，以校正成像光學系統 20 之光瞳透射率分布之測定結果。

首先，在進行因物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分之檢測動作(亦即測量部 13 之校正動作)時，係如圖 9 所示，取代繞射光柵 11 而將例如具有與繞射光柵 11 相同厚度且相同折射率之平行平板 14 設置於成像光學系統 20 之物體面 20o。接著，從開口部 31 往平行平板 14 上之既定位置(與對繞射光柵 11 之測定光束之入射位置相同位置)射入而經由成像光學系統 20 之光係以通過校正用相位繞射光柵 13h 之方式將測量部 13 沿 xy 平面定位。校正用相位繞射光柵 13h 與繞射光柵 11 同樣地，具有沿 y 方向交互配置有具有 π 之相位差之兩種類之相位區域之形態。

此情形下，從例如圖 6 所示設置之孔徑光闌 12c 之開口部 31 射出而通過平行平板 14 及成像光學系統 20 之校正光束(不被平行平板 14 繞射之光束)係被校正用相位繞射光柵 13h 繞射。經由校正用相位繞射光柵 13h 而生成之 +1 次繞射光 42a(或 42b)及 -1 次繞射光 42b(或 42a)，係經由物鏡光學系統 13a 而到達配置於其光瞳面 13p 之光電檢測器 13b 之檢測面 13ba。

測量部 13 係測量 +1 次繞射光 42a 之強度及 -1 次繞射光 42b 之強度。此處，校正用相位繞射光柵 13h，構成為 +1 次繞射光 42a 對應於參照圖 1 而說明之 +1 次繞射光 40a 且 -1 次繞射光 42b 對應於 -1 次繞射光 40b。其結果，測量部 13 係使用 +1 次繞射光 42a 及 -1 次繞射光 42b 之強度之測量值校正在一對光瞳部分區域 41a, 41b 之光瞳透射率之比之算出結果。進而，藉由一邊使具有開口部 31 之孔徑光闌 12c 沿 xy 平面步進移動、一邊反覆測量部 13 之測量，來校正在成像光學系統 20 之光瞳有效區域 20pe 內任意一對光瞳部分區域之光瞳透射率之比之算出結果。如此，檢測出因物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分，而能校正成像光學系統 20 之光瞳透射率分布之測定結果。

此外，使用設有複數個開口部之孔徑光闌時，藉由減少其步進移動之次數、進而減少測量部之測量之次數，而能更迅速地檢測出因物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分。或者，在使用具有依據所需分布配置之複數個開口部之孔徑光闌時，能將與開口部相同數目之光束同時供給至平行平板 14 上之既定位置，針對各光束，根據經由校正用相位繞射光柵 13h 而生成之 ± 1 次繞射光而一次檢測出因物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分。

能依據使用於成像光學系統 20 之光瞳透射率分布之測定之繞射光柵 11 之構成，使用例如沿一方向交互配置有具有 π 以外之適當相位差之兩種類之相位區域與之形態之繞射光柵，作為校正用相位繞射光柵 13h。又，亦能使用例如配置成兩種類之矩形相位區域形成方格旗圖案之繞射光柵、亦即能使用兩種類之矩形相位區域配置成棋盤格子狀之形態之繞射光柵，作為校正用相位繞射光柵 13h。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，測量部 13 具有物鏡光學系統(測量光學系統)13a、在物鏡光學系統 13a 之光瞳面(與成像光學系統 20 之光瞳 20p 在光學上共軛之面)13p 將 ± 1 次繞射光成分光電轉換而檢測出之光電檢測器 13b。然而，關於測量部之具體構成可為各種形態。例如，如圖 10 所示，亦能使用利用 PDI(Point Diffraction Interferometer(點繞射干涉儀))或 LDI(Line Diffraction Interferometer(線繞射干涉儀))之測量部 13A。

此種 PDI/LDI 型之測量部 13A，具備：具有平面狀入射面 13Ai 之光透射性基板 13Aa、具有配置成與光透射性基板 13Aa 之平面狀射出面 13Aj 接觸之檢測面 13ba 之光電檢測器 13b。於光透射性基板 13Aa 之入射面 13Ai，如圖 11 所示，形成有以例如鉻或氧化鉻形成之遮光部 13Ae、測量用開口部 13Af、球面基準波產生用針孔 13Ag、用以校正光瞳透射率分布測量結果之校正用相位繞射光柵 13Ah。測量部 13A 之構成中去除校正用相位繞射光柵

13Ah 之部分，揭示於例如日本特表 2008-502126 號公報及對應該公報之美國發明專利第 2008/0252876A1 號公報之圖 3。

測量部 13A，係使通過測量用開口部 13Af 之來自被檢測光學系統之波面與從球面基準波產生用針孔 13Ag 產生之球面波干涉，而於光電檢測器 13b 之檢測面 13ba 上形成干涉紋。此干涉紋包含有被檢測光學系統之波面像差之資訊。此處，只要光僅射入測量用開口部 13Af，即於檢測面 13ba 上形成與被檢測光學系統之光瞳透射率分布對應之光強度分布。接著，只要光僅射入校正用相位繞射光柵 13Ah，即能檢測出因光透射性基板 13Aa 之透射率分布導致之測量結果之誤差分。此外，光電檢測器 13b 之檢測面 13ba 為了接收 NA 超過 1 之光束而接觸於光透射性基板 13Aa 之射出面 13Aj。

又，例如圖 12 所示，亦能使用利用剪切干涉儀之測量部 13B。測量部 13B 與測量部 13A 同樣地，具備：具有平面狀入射面 13Bi 之光透射性基板 13Ba、具有配置成與光透射性基板 13Ba 之平面狀射出面 13Bj 接觸之檢測面 13ba 之光電檢測器 13b。於光透射性基板 13Ba 之入射面 13Bi，如圖 13 所示，形成有以例如鉻或氧化鉻形成之遮光部 13Be、測量用開口部 13Bf、波面測量用繞射光柵 13Bg、用以校正光瞳透射率分布測量結果之校正用相位繞射光柵 13Bh。測量部 13B 之構成中去除測量用開口部 13Bf 及校正用相位繞射光柵 13Bh 之部分，揭示於例如上述專利文獻 6 之圖 2 或圖 5、上述專利文獻 7~8 等。此處，係將上述專利文獻 6~8 之揭示作為參照而援用。

測量部 13B 中，來自被檢測光學系統之波面係藉由波面測量用繞射光柵 13Bg 而橫向錯開，彼此橫向錯開之波面彼此干涉而於光電檢測器 13b 之檢測面 13ba 上形成干涉紋。此干涉紋包含有被檢測光學系統之波面像差之資訊。此處，只要光僅射入測量用開口部 13Bf，即於檢測面 13ba 上形成與被檢測光學系統之光瞳透射率分布對應之光強度分布。接著，只要光僅射入校正用相位繞射光柵 13Bh，即能檢測出因光透射性基板 13Ba 之透射率分

布導致之測量結果之誤差分。此外，光電檢測器 13b 之檢測面 13ba 為了接收 NA 超過 1 之光束而接觸於光透射性基板 13Ba 之射出面 13Bj。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，雖未言及對繞射光柵 11 供給之測定光束之偏光狀態，但有時被檢測光學系統即成像光學系統 20 之光瞳透射率分布係較大地依存於入射光之偏光狀態。此情形下，例如只要使用以偏光於 x 方向之直線偏光狀態對繞射光柵 11 射入之測定光測定與 x 方向直線偏光相關之成像光學系統 20 之光瞳透射率分布，使用以偏光於 y 方向之直線偏光狀態對繞射光柵 11 射入之測定光測定與 y 方向直線偏光相關之成像光學系統 20 之光瞳透射率分布即可。

又，上述關於第 1 實施形態之說明中，係根據具有第 1 入射角度之第 1 測定光束經由繞射光柵 11 而生成之 ± 1 次繞射光求出在第一對之光瞳部分區域之光瞳透射率之比，根據具有第 2 入射角度之第 2 測定光束經由繞射光柵 11 而生成之 ± 1 次繞射光求出在第二對之光瞳部分區域之光瞳透射率之比。然而，由於在第 1 對之光瞳部分區域之光瞳透射率比與在第二對之光瞳部分區域之光瞳透射率比並不一定以同一條件測量，因此必須正確地求出在第一對之光瞳部分區域之光瞳透射率與在第二對之光瞳部分區域之光瞳透射率之比。

因此，視需要在第 1 測定光束及第 2 測定光束之測量之前或後，使第 3 測定光束射入繞射光柵 11 之既定位置，藉此能求出在第一對之光瞳部分區域之光瞳透射率與在第二對之光瞳部分區域之光瞳透射率之比，並根據此光瞳透射率比補齊光瞳透射率分布之相對比資訊。此時，第 3 測定光束，係以經由繞射光柵 11 而生成之 $+1$ 次繞射光通過包含第一對之光瞳部分區域之第 1 包含區域內之光瞳部分區域、經由繞射光柵 11 而生成之 -1 次繞射光通過包含第二對之光瞳部分區域之第 2 包含區域內之光瞳部分區域之方式，以所需角度往繞射光柵 11 射入。關於如上述補齊光瞳透射率分布之

相對比資訊之方法，將在第 2 實施形態中具體說明。

圖 14 係概略顯示第 2 實施形態之曝光裝置之構成之圖。亦即，第 2 實施形態適用於具備測定裝置(測定作為被檢測光學系統之投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布)之曝光裝置。圖 14 中，係沿感光性基板即晶圓 W 之表面(轉印面)之法線方向設定 Z 軸，在晶圓 W 之表面內與圖 1 之紙面平行之方向設定 Y 軸，在晶圓 W 之表面內與圖 1 之紙面垂直之方向設定 X 軸。

參照圖 14 可知，第 2 實施形態之曝光裝置中，係從光源 LS 供給曝光用光(照明光)。作為光源 LS，能使用例如供給 193nm 之波長之光之 ArF 準分子雷射光源或供給 248nm 之波長之光之 KrF 準分子雷射光源等。從光源 LS 射出之光，係經由照明光學系統 IL 照明形成有待轉印圖案之光罩(標線片)M。當為步進重複方式之曝光裝置之情形，照明光學系統 IL 係照明光罩 M 之矩形圖案區域整體。在為步進掃描方式之曝光裝置之情形，照明光學系統 IL 係照明矩形圖案區域中沿與掃描方向即 Y 方向正交之 X 方向為細長之矩形區域。

從光源 LS 射出之光束，係如圖 15 所示射入具有周知構成之光束送光系統 51。射入光束送光系統 51 之光束，在被整形為具有既定矩形剖面之光束後，經由光束形狀可變部 52 射入微複眼透鏡(或複眼透鏡)53。光束送光系統 51 具有一邊將入射光束轉換為具有適切大小及形狀之剖面之光束，一邊往光束形狀可變部 52 導引，且主動地修正射入光束形狀可變部 52(進而為微複眼透鏡 53)之光束之位置變動及角度變動之功能。

光束形狀可變部 52 包含空間光調變器 52a、中繼光學系統等，具有使形成於微複眼透鏡 53 之入射面之照野之大小及形狀變化、進而使形成於微複眼透鏡 53 之後側焦點面之實質面光源之大小及形狀變化之功能。作為空間光調變器 52a，能使用例如依據來自控制部 CR 之控制訊號而能對照明光路進行更換之複數個繞射光學元件。繞射光學元件，係將入射光束之剖面

形狀轉換為相異剖面形狀之光學元件。一般而言，繞射光學元件，係藉由於基板形成具有曝光用光(照明光)之波長程度之間距之段差而構成，具有將入射光束繞射成所欲角度之作用。

此外，控制部 CR 亦可係具有記憶體 MR 等記錄媒體之處理裝置(電腦)，於此記憶體 MR 儲存使該處理裝置執行本實施形態之測定方法、曝光裝置或空間光調變器 52a 之控制方法之程式。

作為空間光調變器 52a，亦能使用例如對照明光路固定設置之反射鏡陣列。反射鏡陣列如前所述，係具有排列於既定面內且能個別控制之複數個鏡要素之空間光調變器。反射鏡陣列中，係依據例如來自控制部 CR 之控制訊號將複數個鏡要素分別設定成既定面向，藉由複數個鏡要素而分別以既定角度反射之光於微複眼透鏡 53 之入射面形成具有所欲大小及形狀之照野。作為空間光調變器 52a，亦能併用繞射光學元件與反射鏡陣列。

微複眼透鏡 53，例如係由排列成縱橫且稠密之多數個具有正折射力之微小透鏡構成之光學元件，藉由對平行平板施以蝕刻處理而形成微小透鏡群而構成。微複眼透鏡中，與由彼此隔絕之透鏡元件構成之複眼透鏡不同地，係多數個微小透鏡(微小折射面)彼此不隔絕地一體形成。然而，在縱橫配置有透鏡要素方面，微複眼透鏡係與複眼透鏡同樣地係波面分割型光學積分器。

在微複眼透鏡 53 之作為單位波面分割面之矩形微小折射面，係與待在光罩 M 形成之照野之形狀(進而為待在晶圓 W 上形成之曝光區域之形狀)相似之矩形狀。此外，作為微複眼透鏡 53，亦能使用例如圓柱微複眼透鏡。圓柱微複眼透鏡之構成及作用，揭示於例如美國發明專利第 6913373 號說明書。

射入微複眼透鏡 53 之光束被多數個微小透鏡分成二維，於其後側焦點面或其附近之照明光瞳 ILp，形成具有與形成於入射面之光強度分布大致相

同之光強度分布之二次光源(由多數個小光源構成之實質之面光源：光瞳強度分布)。來自形成於緊鄰微複眼透鏡 53 後之照明光瞳 IL_p 之二次光源之光束，係射入照明孔徑光闌 54。照明孔徑光闌 54，配置於微複眼透鏡 53 之後側焦點面或其附近，具有與二次光源對應之形狀之開口部(光透射部)。

照明孔徑光闌 54，構成為可對照明光路插卸自如，且構成為能與具有大小及形狀相異之開口部之複數個孔徑光闌切換。作為照明孔徑光闌 54 之切換方式，能使用例如周知之轉盤方式或滑動方式等。照明孔徑光闌 54，配置於與後述之投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 在光學上共軛之位置，規定有助於二次光源之照明之範圍。此外，亦能省略照明孔徑光闌 54 之配置。

被照明孔徑光闌 54 限制之來自二次光源之光，經由聚光光學系統 55 重疊地照明光罩遮板 56。如此，於作為照明視野光闌之光罩遮板 56 形成與微複眼透鏡 53 之矩形微小折射面之形狀及焦距對應之矩形照野。經由光罩遮板 56 之矩形開口部(光透射部)之光束，在受到照明成像光學系統 57 之聚光作用後，重疊地照明形成有既定圖案之光罩 M。亦即，照明成像光學系統 57 係將光罩遮板 56 之矩形開口部之像形成於光罩 M 上。

透射過光罩 M 之圖案面之光，經由例如具有縮小倍率之投影光學系統 PL 於塗布有光阻之晶圓(感光性基板)W 之單位曝光區域形成光罩 M 之圖案像。亦即，以與在光罩 M 上之照明區域光學對應之方式，在晶圓 W 之單位曝光區域中於與光罩 M 之圖案區域整體相似之矩形區域或於 X 方向為細長之矩形區域(靜止曝光區域)形成光罩圖案像。

光罩 M，係在光罩載台 MS 上與 XY 平面平行地保持成其圖案面與投影光學系統 PL 之物體面 PL_o 一致。於光罩載台 MS 組裝有使光罩 M 移動於 X 方向、Y 方向、Z 方向、以及繞 Z 軸之旋轉方向之機構。於光罩載台 MS 設有省略了圖示之移動鏡，使用此移動鏡之光罩雷射干涉儀 MIF 係即時測量光罩載台 MS(進而為光罩 M)之 X 方向之位置、Y 方向之位置、以及繞 Z 軸

之旋轉方向之位置。

晶圓 W，係在基板載台 WS 上與 XY 平面平行地保持成其表面(轉印面)與投影光學系統 PL 之像面 PLi 一致。於基板載台 WS 組裝有使晶圓 W 移動於 X 方向、Y 方向、Z 方向、以及繞 Z 軸之旋轉方向之機構。於基板載台 WS 設有省略了圖示之移動鏡，使用此移動鏡之基板雷射干涉儀 WIF 係即時測量基板載台 WS (進而為晶圓 W)之 X 方向之位置、Y 方向之位置、以及繞 Z 軸之旋轉方向之位置。

光罩雷射干涉儀 MIF 之輸出及基板雷射干涉儀 WIF 之輸出被供給至控制部 CR。控制部 CR 係根據光罩雷射干涉儀 MIF 之測量結果，進行光罩 M 之 X 方向之位置、Y 方向之位置、以及繞 Z 軸之旋轉方向之位置之控制。亦即，控制部 CR 係對組裝於光罩載台 MS 之機構發送控制訊號，並藉由此機構根據控制訊號使光罩載台 MS 移動，來進行光罩 M 之 X 方向之位置、Y 方向之位置、以及繞 Z 軸之旋轉方向之位置之調整。

控制部 CR 係藉由自動聚焦方式控制晶圓 W 之 Z 方向之位置(聚焦位置)之控制，以使晶圓 W 之表面與投影光學系統 PL 之像面 PLi 一致。又，控制部 CR 係根據基板雷射干涉儀 WIF 之測量結果，進行晶圓 W 之 X 方向之位置、Y 方向之位置、以及繞 Z 軸之旋轉方向之位置之控制。亦即，控制部 CR 係對組裝於基板載台 WS 之機構發送控制訊號，並藉由此機構根據控制訊號使基板載台 WS 移動，來進行晶圓 W 之 X 方向、Y 方向及繞 Z 軸之旋轉方向之位置之調整。

以步進重複方式對縱橫設定於晶圓 W 上之複數個單位曝光區域中之一個單位曝光區域一次曝光光罩 M 之圖案像。其後，控制部 CR 係藉由使基板載台 WS 沿 XY 平面步進移動，而將晶圓 W 之另一單位曝光區域相對投影光學系統 PL 定位。如此，反覆將光罩 M 之圖案像一次曝光至晶圓 W 之單位曝光區域之動作。

步進掃描方式中，控制部 CR 係一邊以與投影光學系統 PL 之投影倍率對應之速度比使光罩載台 MS 及基板載台 WS 移動於 Y 方向，一邊將光罩 M 之圖案像掃描曝光至晶圓 W 之一個單位曝光區域。其後，控制部 CR 係藉由使基板載台 WS 沿 XY 平面步進移動，將晶圓 W 之另一單位曝光區域相對投影光學系統 PL 定位。如此，反覆將光罩 M 之圖案像掃描曝光至晶圓 W 之單位曝光區域之動作。

亦即，步進掃描方式中，係一邊進行光罩 M 及晶圓 W 之位置控制，一邊沿矩形之靜止曝光區域之短邊方向即 Y 方向使光罩載台 MS 與基板載台 WS、進而使光罩 M 與晶圓 W 同步移動(掃描)，而於晶圓 W 上，對具有與靜止曝光區域之長邊相等之寬度且具有與晶圓 W 之掃描量(移動量)對應之長度之區域掃描曝光光罩圖案。以下，被檢測光學系統即投影光學系統 PL 與照明光學系統 IL，其光軸 AXp 及 AXi 係沿延伸於 Z 方向之一條直線共軸配置。

第 2 實施形態中，係以藉由微複眼透鏡 53 形成之二次光源為光源，對配置於照明光學系統 IL 之被照射面之光罩 M 進行科勒照明。因此，形成二次光源之位置係與投影光學系統 PL 之孔徑光闌 AS 之位置(進而為投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 之位置)在光學上共軛，能將二次光源之形成面稱為照明光學系統 IL 之照明光瞳面。典型者為，相對照明光瞳面被照射面(配置光罩 M 之面、或包含投影光學系統 PL 而考量為照明光學系統時係配置晶圓 W 之面)為光學傅立葉變換面。

所謂光瞳強度分布，係照明光學系統 IL 之照明光瞳面或與該照明光瞳面在光學上共軛之面之光強度分布(亮度分布)。微複眼透鏡 53 之波面分割數較大時，形成於微複眼透鏡 53 之入射面之整體光強度分布與二次光源整體之整體光強度分布(光瞳強度分布；光瞳亮度分布)係顯示高相關。因此，針對微複眼透鏡 53 之入射面及與該入射面在光學上共軛之面之光強度分布

亦能稱為光瞳強度分布。

第 2 實施形態之曝光裝置，具備測量投影光學系統 PL 之波面像差之測量裝置 13。測量裝置 13 具有與第 1 實施形態之測量裝置 13 相同之構成，以圖 1 之 x 座標、y 座標及 z 座標分別與圖 14 之 X 座標、Y 座標及 Z 座標分別對應之方式安裝於基板載台 WS。第 2 實施形態之測定裝置 10' (參照圖 16) 中，為了謀求透過投影光學系統 PL 而形成之圖案像之對比之提升，係在搭載於曝光裝置之狀態下隨時測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。

在測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布時，如圖 16 所示，係取代照明光學系統 IL 中之照明孔徑光闌 54 (當省略照明孔徑光闌 54 之設置時係於其位置) 設置測定用孔徑光闌 54a，並取代光罩 M 而設置測定用標線片 TR。再者，係依據來自控制部 CR 之指令使基板載台 WS 移動，將測量裝置 13 定位成平凸透鏡 13aa 之入射平面 13i 一致於投影光學系統 PL 之像面 PLi 且測量用開口部 13f 配置於像面 PLi 上之既定位置 (經由投影光學系統 PL 之測定光射入像面 PLi 之位置)。測定裝置 10' 具備：包含設置於照明光瞳 ILp 之測定用孔徑光闌 54a 之照明光學系統 IL、測定用標線片 TR、以及測量部 13。

測定用孔徑光闌 54a，作為較單純之一例，係如圖 17 所示，具有九個開口部 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69。以下，為使說明單純，各開口部 61~69 為圓形，且彼此具有相同大小。開口部 61~64, 66~69，排列成其中心點與以中央之開口部 65 為中心之正方形頂點或各邊之中點一致。測定用孔徑光闌 54a，配置成開口部 65 之中心點與照明光學系統 IL 之光軸 AXi 一致。

具體而言，能將開口部 61~69 之間距 Ppi 設定為開口部 61~69 之直徑 Dpi 之十倍程度。若開口部 61~69 之直徑 Dpi 過大，則經由各開口部 61~69 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之 ± 1 次繞射光通過投影光學系統

PL 之光瞳 PLp 之光瞳部分區域(形成於光瞳 PLp 之繞射點像)彼此則會局部重疊。關於開口部 61~69 之間距 Ppi，雖其絕對值有任意性，但如後所述，能限制成與測定用標線片 TR 之相位格子之間距 Pr 滿足既定之相對關係。不過，若開口部 61~69 之間距 Ppi 過大，則雖能容易地避免光瞳部分區域彼此局部重疊，但在不使測定用孔徑光闌 54a 沿 XY 平面步進移動而一次測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布時，光瞳透射率分布資訊之橫分析會被犧牲。

於測定用標線片 TR 之表面，如圖 18 所示形成有相位格子(相位圖案)，該相位格子係沿彼此正交之兩方向交互配置有對透射光賦予第 1 相位值之矩形之第 1 相位區域 11c 與對透射光賦予與第 1 相位值相異 π 值之第 2 相位值之矩形之第 2 相位區域 11d。換言之，測定用標線片 TR 之相位格子具有配置成兩種類之矩形相位區域 11c, 11d 形成方格旗圖案之形態(亦即兩種類之矩形相位區域 11c, 11d 配置成棋盤格子狀之形態)。

以下說明中，各相位區域 11c, 11d 為正方形且彼此具有相同大小。又，測定用標線片 TR 係設置成相位區域 11c, 11d 之間距方向與 X 方向及 Y 方向一致且繞射光學面與投影光學系統 PL 之物體面 PLo 一致。關於相位區域 11c, 11d 之間距 Pr，如後所述，能限制成與設於孔徑光闌 54a 之開口部 61~69 之間距 Ppi 滿足既定之相對關係。

光束係射入孔徑光闌 54a 中包含開口部 61~69 之所需區域(例如包含開口部 61~69 之圓形區域)。此情形下，經由中央之開口部 65 之光束係從照明光學系統 IL 射出，並垂直射入(與投影光學系統 PL 之光軸 AXp 平行地射入)測定用標線片 TR 之相位格子上之既定位置(進而為投影光學系統 PL 之物體面 PLo 之既定位置)。經由除開口部 65 以外之其他開口部 61~64, 66~69 之光束、亦即圓形之局部光束(具有在與投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 光學共軛之照明光瞳 ILp 中與光軸 AXi 分離之位置局部存在之光強度分布)，

係從照明光學系統 IL 射出，成為相對光軸 AXp(進而相對光軸 AXi)傾斜之八個光束對測定用標線片 TR 之相位格子上之既定位置射入。

對測定用標線片 TR 之九個光束之射入位置，係藉由例如光罩遮板 56 之作用而可變地被決定。或者，藉由配置於光罩遮板 56 附近之視野光闌(未圖示)、或配置於緊鄰物體面 PLo 前方之位置之視野光闌(未圖示)等而可變地被決定。如此，來自開口部 61~69 之九個光束，係同時對測定用標線片 TR 之相位格子上之相同位置射入。以下，為使說明單純，照明光學系統 IL 之照明光瞳 ILp 與投影光學系統 PL 之光瞳 PLp，係處於在 X 方向及 Y 方向將照明光瞳 ILp 之正立像形成於光瞳 PLp 之共軛關係。

若著眼於對測定用標線片 TR 射入之一個光束，經由測定用標線片 TR 之相位格子而生成之繞射光中為測定對象之一對+1次繞射光及一對-1次繞射光，係如圖 19 所示，通過投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 之有效區域內之四個光瞳部分區域 60a 而分別從投影光學系統 PL 射出。四個光瞳部分區域 60a 係與開口部 61~69 同樣地為圓形，具有彼此相同之大小。四個光瞳部分區域 60a 之各中心，位於被以點 60c 為中心延伸於 X 方向及 Y 方向之四個邊規定之正方形頂點位置。

點 60c 係在經由測定用標線片 TR 之相位格子而暫時產生 0 次光時該 0 次光通過光瞳 PLp 之區域 60d 之中心。亦即，四個光瞳部分區域 60a 之中心位置 60c 係取決於孔徑光闌 54a 所該當之開口部之位置。光瞳部分區域 60a 之大小取決於孔徑光闌 54a 之各開口部 61~69 之大小。光瞳部分區域 60a 之間距 Ppp 取決於測定用標線片 TR 之相位格子中相位區域 11c, 11d 之間距 Pr。

具體而言，光瞳部分區域 60a 之間距 Ppp，在將光之波長設為 λ 、將投影光學系統 PL 之入射側(物體側)之數值孔徑設為 NAo 時，係以次式(1)表示。又，光瞳部分區域 60a 之中心與點 60c 之距離 Lpc 係以次式(2)表示。此

外，式(1)及式(2)中，係將間距 P_r 以射入投影光學系統 PL 之光束之數值孔徑 NA_o 規格化。

$$P_{pp} = (2 \times \lambda / P_r) / NA_o \quad \dots \quad (1)$$

$$L_{pc} = (\sqrt{2} \times \lambda / P_r) / NA_o \quad \dots \quad (2)$$

經由孔徑光闌 54a 之九個開口部 61~69 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之 ± 1 次繞射光，係如圖 20 所示通過投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 之有效區域 PL_{pe} 內之三十六個(=4x9)光瞳部分區域 61a~69a，並從投影光學系統 PL 分別射出。三十六個光瞳部分區域 61a~69a 之排列圖案，可藉由圖 17 所示之孔徑光闌 54a 之九個開口部 61~69 之排列圖案與如圖 19 所示對一個光束產生之 ± 1 次繞射光通過投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 之四個光瞳部分區域 60a 之排列圖案之卷積而取得。

如後所述，為了避免在投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 中測定對象外之 ± 3 次繞射光與測定對象之 ± 1 次繞射光疊合，圖 20 中三十六個光瞳部分區域 61a~69a 被排列成對應一個光束之四個光瞳部分區域與對應其他光束而相鄰之四個光瞳部分區域之 X 方向間隔及 Y 方向間隔成為四個光瞳部分區域之間距 P_{pp} 之一半之值(亦即 $P_{pp}/2$)。此情形下，四個光瞳部分區域之中心與相鄰與此之四個光瞳部分區域之中心之距離(亦即與開口部之間距 P_{pi} 在光學上對應之距離)成為四個光瞳部分區域之間距 P_{pp} 之 $3/2$ 倍之值。

經由三十六個光瞳部分區域 61a~69a 及投影光學系統 PL 之 ± 1 次繞射光，係經由測量部 13 之測量用開口部 13f 射入物鏡光學系統 13a。經由物鏡光學系統 13a 之 ± 1 次繞射光，係在配置於光瞳面 13p 之檢測面 13ba 被光電檢測器 13b 檢測出。其結果，在檢測面 13ba 亦形成與投影光學系統 PL 之光

瞳 PLp 中之三十六個光瞳部分區域 61a~69a 之排列圖案同樣地離散分布之三十六個圓形光入射區域(未圖示)。

以下，為使說明單純，經由測定用標線片 TR 之相位格子而生成之三十六個 ± 1 次繞射光之強度彼此相同，且到達投影光學系統 PL 之像面 PLi 時之三十六個 ± 1 次繞射光彼此之強度比係一致於在測量部 13 之檢測面 13ba 檢測出之三十六個 ± 1 次繞射光彼此之強度比。換言之，測量部 13 能幾乎不受物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響等正確地測量到達投影光學系統 PL 之像面 PLi 時之三十六個 ± 1 次繞射光彼此之強度比。

此情形下，測定裝置 10' 係使用具有依據所需分布排列之九個開口部 61~69 之孔徑光闌 54a，將與開口部 61~69 相同數目之九個光束同時供給至測定用標線片 TR 之相位格子上之既定位置，藉由測量部 13 測量針對各光束而生成之合計三十六個 ± 1 次繞射光之強度。測定裝置 10' 係根據其測量值，求出涵蓋投影光學系統 PL 之光瞳有效區域 PLpe 整體分布之三十六個光瞳部分區域 61a~69a 中之光瞳透射率之相對比，進而針對三十六個光瞳部分區域 61a~69a 一次測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。

其結果，能得到涵蓋投影光學系統 PL 之光瞳有效區域 20pe 整體分布之三十六個光瞳部分區域間之光瞳透射率之相對資訊，藉由將此等離散光瞳透射率之相對值分布予以例如冊尼克擬合，而能直接取得投影光學系統 PL 之二維光瞳透射率分布作為函數化分布。如此，第 2 實施形態之測定裝置 10' 中，由於不需使孔徑光闌 54a 步進移動，測量部 13 之測量亦僅一次，因此能在搭載於曝光裝置之狀態下高精度地且迅速地隨時測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。

如以上所述，第 2 實施形態之測定裝置 10' 中，由於使用設有相位格子(配置成兩種類之相位區域 11c, 11d 形成方格旗圖案)之測定用標線片 TR，因此經由測定用標線片 TR 之相位格子而生成之繞射光中作為測定對

象之 ± 1 次繞射光成分之強度彼此相等。其結果，能在測量部 13 之光電檢測器 13b 使用較狹窄之動態範圍進行各繞射光成分之高精度之檢測，進而能高精度地測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。又，由於使用設有相位格子(具有 π 之相位差之兩種類之相位區域 11c 與 11d 交互配置)之測定用標線片 TR，因此不會產生非測定對象之 0 次光而對 ± 1 次繞射光成分之強度測量造成影響，能進行各成分之高精度檢測。

又，不需使測定用標線片 TR 之姿勢變化或與特性相異之其他測定用標線片交換，僅將具有複數個開口部 61~69 之孔徑光闌 54a 固定設置於照明光路，即能一次測定、亦即以非常低之負荷迅速地測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。換言之，能在固定設置測定用標線片 TR 及孔徑光闌 54a 之狀態下，根據測量部 13 之一次測量結果，以非常低之負荷迅速地測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。

第 2 實施形態之測定裝置 10' 中，為了正確檢測出各繞射光成分之強度而三十六個光瞳部分區域 61a~69a 彼此分離一事非常重要，為了正確檢測光瞳透射率分布而將光瞳部分區域 61a~69a 之大小(進而為開口部 61~69 之大小)抑制為小至某程度一事亦屬重要。亦即，由於只要不將與孔徑光闌 54a 之開口部 61~69 在光學上對應之各光瞳部分區域 61a~69a 之中心間距離設定成過度大即可，因此無需將測定用標線片 TR 之相位格子中之相位區域 11c 與 11d 之間距 P_r 設定成過度小，進而測定用標線片 TR 之製造係容易。

第 2 實施形態之曝光裝置中，控制部 CR 係根據藉由測定裝置 10' (使用測定裝置 10' 之測定方法)測定之投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布之測定結果，變更照明光罩 M 之圖案之照明條件來進行所欲之曝光。具體而言，控制部 CR 係參照光瞳透射率分布之測定結果，例如對包含空間光調變器 52a 之光束形狀可變部 52 供給控制訊號，並藉由空間光調變器 52a 等之作用變更在形成於光罩 M 之圖案面之照明區域之照度分布、及/或在照明

光瞳 IL_p 之光瞳亮度分布，以使透過投影光學系統 PL 而形成之圖案像之對比提升。

又，第 2 實施形態之曝光裝置中，亦可取代照度分布及／或光瞳亮度分布之變更，或除了照度分布及／或光瞳亮度分布之變更以外進一步地，使用具有圖案(根據藉由測定裝置 10' 測定之投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布之測定結果而作成)之光罩 M，亦能謀求透過投影光學系統 PL 而形成之圖案像之對比提升。第 2 實施形態之曝光裝置，亦可例如依據既定之程式，使作為資訊處理裝置之控制部 CR 執行測定裝置 10' 之測定方法。

此外，第 2 實施形態之測定裝置 10' 亦與第 1 實施形態之測定裝置 10 同樣地，會透過測定用標線片 TR 之相位格子而產生 ± 3 次繞射光、 ± 5 次繞射光等。此情形下，只要將 ± 3 次繞射光、 ± 5 次繞射光等排除於測定對象外，且忽視強度係顯著小於測定對象即 ± 1 次繞射光之 ± 5 次繞射光(及其以上之高次繞射光)，並將 ± 3 次繞射光設定為在投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 不會與 ± 1 次繞射光疊合即可。以下，說明第 2 實施形態中將 ± 3 次繞射光設定為在投影光學系統 PL 之光瞳有效區域 PL_{pe} 內不會與 ± 1 次繞射光疊合之方法。

若著眼於對測定用標線片 TR 射入之一個光束，則經由測定用標線片 TR 之相位格子而生成之繞射光中為非測定對象之 ± 3 次繞射光，係如圖 21 所示在投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 中通過十二個光瞳部分區域 60e，而從投影光學系統 PL 分別射出。十二個光瞳部分區域 60e，與關於 ± 1 次繞射光之四個光瞳部分區域 60a 同樣地為圓形且彼此具有相同大小。十二個光瞳部分區域 60e 之各中心，係位於被以點 60c 為中心延伸於 X 方向及 Y 方向之四個邊規定之正方形頂點位置、以及將各邊三等分之點之位置。

十二個光瞳部分區域 60e 中於 X 方向, Y 方向相鄰之兩個中心間距離，係與四個光瞳部分區域 60a 中於 X 方向, Y 方向相鄰之兩個中心間距離即間距 P_{pp} 相等。接著，連結十二個光瞳部分區域 60e 之各中心而形成之正方形

之邊，具有連結四個光瞳部分區域 60a 之各中心而形成之正方形之邊之三倍長度(=3×Ppp)。

因此，經由在孔徑光闌 54a 於 Y 方向相鄰之兩個開口部 64, 65 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之±3 次繞射光，係如圖 22 所示在投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 中通過二十四個(=12×2)光瞳部分區域 64e, 65e，而從投影光學系統 PL 分別射出。圖 22 中，為了使圖示更清楚，係省略與經由其他開口部 61~63, 66~69 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之±1 次繞射光及±3 次繞射光對應之光瞳部分區域之圖示。

然而，參照圖 22 可知，由於與測定對象即±1 次繞射光對應之三十六個光瞳部分區域 61a~69a 被設定成呈圖 20 所示排列圖案，因此可容易地推測出，在投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 中±3 次繞射光與±1 次繞射光為最難疊合之關係。此處，參照圖 19~圖 22，考量與±1 次繞射光對應之三十六個光瞳部分區域 61a~69a 呈圖 20 所示排列圖案時應滿足之條件。

與±1 次繞射光對應之光瞳部分區域(60a; 61a~69a)之間距 Ppp 係以前述式(1)表示。四個光瞳部分區域(例如 64a)之中心與相鄰於此之。四個光瞳部分區域(例如 65a)之中心之距離 Ppp、亦即在投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 中與開口部 61~69 之間距 Ppi 在光學上對應之距離 Ppe，與間距 Ppp 之 3/2 倍之值(=3×(λ/pr)/NAo)相等。另一方面，距離 Ppe，係使用開口部 61~69 之間距 Ppi 與投影光學系統 PL 之光瞳有效區域 PLpe 之半徑 Ra，以次式(3)表示。

$$P p e = P p i / R a \quad \cdots \quad (3)$$

因此，當滿足次式(4)所示關係時，與測定對象即±1 次繞射光對應之三

十六個光瞳部分區域 61a~69a 呈如圖 20 所示之排列圖案，進而在投影光學系統 PL 之光瞳 PLp 中 ± 3 次繞射光與 ± 1 次繞射光成為最難疊合。現實中，藉由設定成大致滿足式(4)所示關係，即能在不受 ± 3 次繞射光之影響之情形下進行光瞳透射率分布之高精度測定。

$$P_{pi} / R_a = 3 \times (\lambda / P_r) / NA_o \quad \dots \quad (4)$$

此外，上述關於第 2 實施形態之說明中，係使用具有依據所欲分布而配置之複數個開口部之孔徑光闌 54a，將與開口部相同數目之光束同時供給至測定用標線片 TR 之相位格子上之既定位置，並根據依各光束生成之 ± 1 次繞射光一次測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。然而並不限定於此，亦能藉由作為空間光調變器 52a 之反射鏡陣列之作用，依序照明孔徑光闌 54a 之各開口部，將經由各開口部之光束依序供給至測定用標線片 TR 之相位格子上之既定位置，並根據依各光束依序生成之 ± 1 次繞射光測定投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布。再者，亦能省略孔徑光闌 54a 之設置，藉由反射鏡陣列之作用同時或依序形成與各開口部對應之局部光束。

又，上述關於第 2 實施形態之說明中，係假定測量部 13 不受物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響而能正確地測量 ± 1 次繞射光彼此之強度比者。不過，當物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布之影響非小至能忽視之程度時，能關於第 1 實施形態所說明之前述方法，檢測出因測量部 13 之物鏡光學系統 13a 之光瞳透射率分布導致之測量結果之誤差分，以校正投影光學系統 PL 之光瞳透射率分布之測定結果。又，亦可取代測量部 13 而使用 PDI/LDI 型之測量部 13A 或利用剪切干涉儀之測量部 13B。

又，上述關於第 2 實施形態之說明中，係假定對應一個光束之四個光

瞳部分區域中之光瞳透射率比與對應其他光束之四個光瞳部分區域中之光瞳透射率比以彼此相同之條件測量者。然而，當此假定不成立時，即使能正確地求出例如四個光瞳部分區域 64a 中之光瞳透射率比，且能正確地求出其他四個光瞳部分區域 65a 中之光瞳透射率比，亦無法正確地求出光瞳部分區域 64a 中之光瞳透射率與光瞳部分區域 65a 中之光瞳透射率之比。

此情形下，係將孔徑光闌 54a 如圖 17 所示地配置並在將進行之測定前或後，例如在使孔徑光闌 54a 往 +X 方向移動 $P_{pi}/3$ 且往 +Y 方向移動 $P_{pi}/3$ 之狀態下進行測定。其結果，經由孔徑光闌 54a 之開口部 64 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之 ± 1 次繞射光係如圖 23 所示，在投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 中通過四個光瞳部分區域 64m1, 64m2, 64m3, 64m4，並從投影光學系統 PL 分別射出。此時，四個光瞳部分區域 64m1~64m4，係位於投影光學系統 PL 之光瞳 PL_p 中從四個光瞳部分區域 64a 往 +X 方向移動 $P_{pe}/3$ 且往 +Y 方向移動 $P_{pe}/3$ 之位置。

其結果，光瞳部分區域 64m1 位於包含對應一個光束之四個光瞳部分區域 64a 之包含區域 64r 內，光瞳部分區域 64m2 位於包含對應其他光束之四個光瞳部分區域 65a 之包含區域 65r 內。如此，能求出例如光瞳部分區域 64m1 中之光瞳透射率與光瞳部分區域 64m2 中之光瞳透射率之比，並根據此光瞳透射率比針對光瞳部分區域 64a 及 65a 補齊光瞳透射率分布之相對比資訊。圖 23 中，為了使圖示更清楚，係省略與經由孔徑光闌 54a 之其他開口部 61~63, 66~69 及測定用標線片 TR 之相位格子而生成之 ± 1 次繞射光對應之光瞳部分區域之圖示。然而，參照圖 23，可容易地推測出能針對光瞳部分區域 61a~69a 補齊光瞳透射率分布之相對比資訊。

又，上述關於第 2 實施形態之說明中，由於係以使用透射型光罩 M 之曝光裝置為對象，因此能取代透射型光罩 M 而使用透射型測定用標線片 TR。然而，在為使用例如反射型光罩之曝光裝置之情形，則取代反射型光

罩而使用反射型測定用標線片。又，上述第 2 實施形態亦與第 1 實施形態同樣地，測定用標線片之具體構成、測量部之具體構成、形成於照明光瞳之局部光束之數目、形狀、大小、位置等能有各種形態。具體而言，例如亦可為了形成多角形狀之局部光束而設置多角形狀之開口部 31，或於光軸 AX2 之位置亦配置開口部以包含局部存在於光軸 AX2 位置之局部光束。

又，上述第 2 實施形態中，雖係以用於曝光裝置之投影光學系統作為被檢測光學系統，但只要係成像光學系統，不論係何種光學系統均能作為被檢測光學系統。又，當例如以傅立葉變換光學系統等非成像光學系統作為被檢測光學系統時，只要將該被檢測光學系統與光瞳透射率分布為已知之傅立葉變換光學系統等組合而構成成像光學系統，並從此成像光學系統之光瞳透射率分布之測量結果減去如上述組合之光學系統之光瞳透射率分布之部分，即能取得非成像光學系統之光瞳透射率分布之測量結果。

又，上述實施形態中，亦可使用根據既定電子資料來形成既定圖案的可變圖案形成裝置以取代光罩。若使用此種可變圖案形成裝置，則圖案面即使是縱置亦可將對同步精度所造成之影響減少至最低限度。此外，可變圖案形成裝置可使用例如 DMD(Digital Micro-Mirror Device：數位微鏡元件)，其係包含根據既定電子資料來驅動的複數個反射元件。使用 DMD 之曝光裝置已揭示於例如上述專利文獻 9 及 10。又，除了如 DMD 之非發光型反射型空間光調變器以外，亦可使用透射型空間光調變器，或亦可使用自發光型影像顯示元件。此處，將上述專利文獻 10 之教示作為參照援用。

上述實施形態之曝光裝置，係藉由組裝包含本案申請專利範圍所列舉之各構成元件的各種次系統，以能保持既定之機械精度、電氣精度、光學精度之方式所製造。為確保此等各種精度，於此組裝前後係對各種光學系統進行用以達成光學精度之調整、對各種機械系統進行用以達成機械精度之調整、對各種電氣系統進行用以達成電氣精度之調整。從各種次系統至

曝光裝置之組裝製程，係包含各種次系統彼此之機械連接、電路之配線連接、氣壓迴路之配管連接等。當然，從各種次系統至曝光裝置之組裝製程前，係有各次系統個別之組裝製程。當各種次系統至曝光裝置之組裝製程結束後，即進行綜合調整，以確保曝光裝置整體之各種精度。此外，曝光裝置之製造可在溫度及真空度等皆受到管理之無塵室進行。

其次，針對使用上述實施形態之曝光裝置的元件製造方法作說明。圖 24 係表示半導體元件之製造步驟的流程圖。如圖 24 所示，半導體元件之製造步驟中，係將金屬膜蒸鍍於構成半導體元件之基板的晶圓 W(步驟 S40)，並將感光性材料即光阻塗布於該蒸鍍後之金屬膜上(步驟 S42)。接著，使用上述實施形態之投影曝光裝置，將形成於光罩(標線片)M 之圖案轉印至晶圓 W 上之各照射區域(步驟 S44：曝光步驟)，並進行完成該轉印後之晶圓 W 的顯影，亦即進行轉印有圖案之光阻的顯影(步驟 S46：顯影步驟)。

之後，藉由步驟 S46 以產生於晶圓 W 表面之光阻圖案為光罩，對晶圓 W 表面進行蝕刻等加工(步驟 S48：加工步驟)。此處，所謂光阻圖案，係指生成與藉由上述實施形態之投影曝光裝置所轉印之圖案對應之形狀之凹凸之光阻層，且其凹部係貫通光阻層者。步驟 S48 中，係透過該光阻圖案來進行晶圓 W 表面之加工。於步驟 S48 所進行之加工中，包含例如晶圓 W 表面之蝕刻或金屬膜等之成膜中之至少一者。此外，步驟 S44 中，上述實施形態之投影曝光裝置，係以塗布有光阻之晶圓 W 為感光性基板亦即板片 P 來進行圖案之轉印。

圖 25 係表示液晶顯示元件等液晶元件之製造步驟的流程圖。如圖 25 所示，液晶元件之製造步驟中，係依序進行圖案形成步驟(步驟 S50)、彩色濾光片形成步驟(步驟 S52)、單元組裝步驟(步驟 S54)、以及模組組裝步驟(步驟 S56)。步驟 S50 之圖案形成步驟中，係使用上述實施形態之投影曝光裝置，將電路圖案及電極圖案等既定圖案形成於塗布有光阻之玻璃基板上作

為板片 P。於該圖案形成步驟中，包含曝光步驟，係使用上述實施形態之投影曝光裝置於光阻層進行圖案轉印；顯影步驟，進行轉印有圖案之板片 P 的顯影亦即進行玻璃基板上之光阻層的顯影，以產生對應圖案之形狀的光阻層；以及加工步驟等，透過該顯影後之光阻層來進行玻璃基板表面之加工。

步驟 S52 之彩色濾光片形成步驟中，係形成彩色濾光片，該彩色濾光片係將多數個對應 R(Red)、G(Green)、及 B(Blue)之 3 個點之組排列成矩陣狀，或將複數個 R、G、B 之 3 條條紋之濾光片之組排列於水平掃描方向。步驟 S54 之單元組裝步驟中，係使用藉由步驟 S50 形成有既定圖案之玻璃基板與藉由步驟 S52 所形成之彩色濾光片來組裝液晶面板(液晶單元)。具體而言，例如係將液晶注入於玻璃基板與彩色濾光片之間，藉此形成液晶面板。步驟 S56 之模組組裝步驟中，係對藉由步驟 S54 所組裝之液晶面板安裝使該液晶面板進行顯示動作之電路及背光等各種零件。

又，本發明並不限於適用在半導體元件製造用之曝光裝置，亦可廣泛適用於例如形成於方形玻璃板之液晶顯示元件或電漿顯示器等顯示裝置用的曝光裝置、或用以製造攝影元件(CCD 等)、微型裝置、薄膜磁頭、以及 DNA 晶片等各種元件的曝光裝置。再者，本發明亦可適用於使用光微影步驟製造形成有各種元件之光罩圖案之光罩(光罩、標線片等)時的曝光步驟(曝光裝置)。

此外，上述實施形態中，雖使用 ArF 準分子雷射光(波長：193nm)或 KrF 準分子雷射光(波長：248 nm)作為曝光用光，但並不限定於此，對其他適當之雷射光源，例如供應波長為 157nm 之雷射光的 F₂雷射光源等亦可適用於本實施形態。

又，上述實施形態中，亦可適用所謂液浸法，其係以具有折射率大於 1.1 之介質(典型為液體)來充滿投影光學系統與感光性基板間之光路中的方

法。此情形下，將液體充滿於投影光學系統與感光性基板間之光路中的方法，可採用以下諸方法，亦即如上述專利文獻 11 所揭示之局部充滿液體之方法、如上述專利文獻 12 所揭示之使保持曝光對象之基板的載台在液槽之中移動之方法、或如上述專利文獻 13 所揭示之將既定深度之液體槽形成於載台上並將基板保持於其中之方法。此處，將上述專利文獻 11~13 之教示作為參照援用。又，上述實施形態中，亦能適用上述專利文獻 14 及圖 15 所揭示之所謂偏光照明方法。此處，將上述專利文獻 14 及 15 之教示作為參照援用。

【符號說明】

10	測定裝置
11	繞射光柵
11a	第 1 相位區域
11b	第 2 相位區域
11c	第 1 相位區域
11d	第 2 相位區域
12	照明光學系統
12a	空間光調變器
12b	第 1 中繼光學系統
12c	孔徑光闌
12d	第 2 中繼光學系統
12p	照明光瞳
13	測量部
13A	測量部
13Aa	光透射性基板
13Ae	遮光部

13Af	測量用開口部
13Ag	球面基準波產生用針孔
13Ah	校正用相位繞射光柵
13Ai	入射面
13Aj	射出面
13a	物鏡光學系統
13aa	平凸透鏡
13B	測量部
13Ba	光透射性基板
13Be	遮光部
13Bf	測量用開口部
13Bg	波面測量用繞射光柵
13Bh	校正用相位繞射光柵
13Bi	入射面
13Bj	射出面
13b	光電檢測器
13ba	檢測面
13e	遮光部
13f	測量用開口部
13g	校正用針孔
13h	校正用相位繞射光柵
13i	入射平面
13p	面
14	平行平面板
20	成像光學系統

20i	像面
20o	物體面
20p	光瞳
20pe	光瞳有效區域
21	光源
31	開口部
40a	+1 次繞射光
40b	-1 次繞射光
41a, 41b	光瞳部分區域
41c	中點
42a	+1 次繞射光
42b	-1 次繞射光
51	光束送光系統
52	光束形狀可變部
52a	空間光調變器
52b	中繼光學系統
53	微複眼透鏡
54	照明孔徑光闌
54a	測定用孔徑光闌
55	聚光光學系統
56	光罩遮板
57	照明成像光學系統
60a	光瞳部分區域
60c	點
60d	區域

60e	光瞳部分區域
61~69	開口部
61a~69a	光瞳部分區域
64e, 65e	光瞳部分區域
64m1~64m4	光瞳部分區域
64r	包含區域
AS	孔徑光闌
AX1, AX2, AXi, AXp	光軸
CR	控制部
IL	照明光學系統
ILp	照明光瞳
LS	光源
PL	投影光學系統
PLi	像面
PLo	物體面
PLp	光瞳
M	光罩
MIF	光罩雷射干涉儀
MR	記憶體
MS	光罩載台
TR	測定用標線片
WIF	基板雷射干涉儀
W	晶圓
WS	基板載台

申請專利範圍

- 1.一種光學系統之測定方法，其包含：
 - 沿著光軸配置第 1 光學系統與第 2 光學系統之動作；
 - 從前述第 1 光學系統射出相對該光軸傾斜方向行進之第 1 光束之動作；
 - 改變從前述第 1 光學系統射出之前述第 1 光束之行進方向而作為第 2 光束射入前述第 2 光學系統之動作；
 - 測量透過前述第 2 光學系統之前述第 2 光束之強度之動作；
 - 從前述第 1 光學系統射出相對前述光軸傾斜方向行進之第 3 光束後射入前述第 2 光學系統之動作；以及
 - 測量透過前述第 2 光學系統之前述第 3 光束之強度之動作。
- 2.如申請專利範圍第 1 項之光學系統之測定方法，其中，使用前述第 2 光束之強度測定前述第 2 光學系統之光學系統特性。
- 3.如申請專利範圍第 2 項之光學系統之測定方法，其中，改變從前述第 1 光學系統射出之前述第 1 光束之行進方向而作為第 2 光束射入前述第 2 光學系統之動作，係包含使從前述第 1 光學系統射出之前述第 1 光束繞射之動作。
- 4.如申請專利範圍第 3 項之光學系統之測定方法，其中，前述繞射後之前述第 1 光束包含 +1 次繞射光與 -1 次繞射光。
- 5.如申請專利範圍第 1 項之光學系統之測定方法，其中，相對於前述第 1 光學系統與前述第 2 光學系統之間的位置在光學上為傅立葉變換關係之位置，測量前述第 1 光束之強度及前述第 2 光束之強度。
- 6.如申請專利範圍第 3 項之光學系統之測定方法，其中，使從前述第 1 光學系統射出之前述第 1 光束射入前述第 2 光學系統之動作，係不改變前述第 1 光束之行進方向而射入前述第 2 光學系統。
- 7.一種程式，係使處理裝置執行申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光

學系統之測定方法。

8.一種電腦可讀取之媒體，其儲存使電腦執行申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光學系統之測定方法之電腦程式。

9.一種曝光裝置之控制方法，該曝光裝置具備照明位於第 1 面之既定圖案之照明光學系統與將前述既定圖案之像形成於基板上之投影光學系統，其特徵在於，包含：

使用藉由申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光學系統之測定方法所得之測定結果，變更照明前述既定圖案之照明條件之動作。

10.如申請專利範圍第 9 項之曝光裝置之控制方法，其中，前述照明條件，係前述照明光學系統在前述第 1 面之照度分布及在前述照明光學系統之光瞳之光瞳亮度分布中之至少一者。

11.如申請專利範圍第 9 或 10 項之曝光裝置之控制方法，其中，前述測定結果，係前述投影光學系統之光瞳透射率分布。

12.一種曝光方法，包含照明既定圖案之動作與使用投影光學系統將前述既定圖案曝光於基板之動作，其特徵在於，包含：

使用申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光學系統之測定方法所得之測定結果，變更照明前述既定圖案之照明條件之動作。

13.如申請專利範圍第 12 項之曝光方法，其中，前述測定結果，係前述投影光學系統之光瞳透射率分布。

14.一種曝光方法，包含照明既定圖案之動作與使用投影光學系統將前述既定圖案曝光於基板之動作，其特徵在於，包含：

使用一圖案之動作，該圖案係使用申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光學系統之測定方法所獲得之測定結果所作成。

15.一種元件製造方法，其包含：

使用申請專利範圍第 12 至 14 項中任一項之曝光方法將前述既定圖案曝

光於前述基板之動作；

使轉印有前述既定圖案之前述基板顯影，將與前述既定圖案對應之形狀之光罩層形成於前述基板表面之動作；以及

透過前述光罩層對前述基板表面加工之動作。

16. 一種圖案之作成方法，其係於使用投影光學系統將基板曝光之際所使用，其特徵在於，包含：

藉由申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項之光學系統之測定方法而獲得測定結果之動作；以及

使用該測定結果作成前述圖案之動作。

圖式

圖1

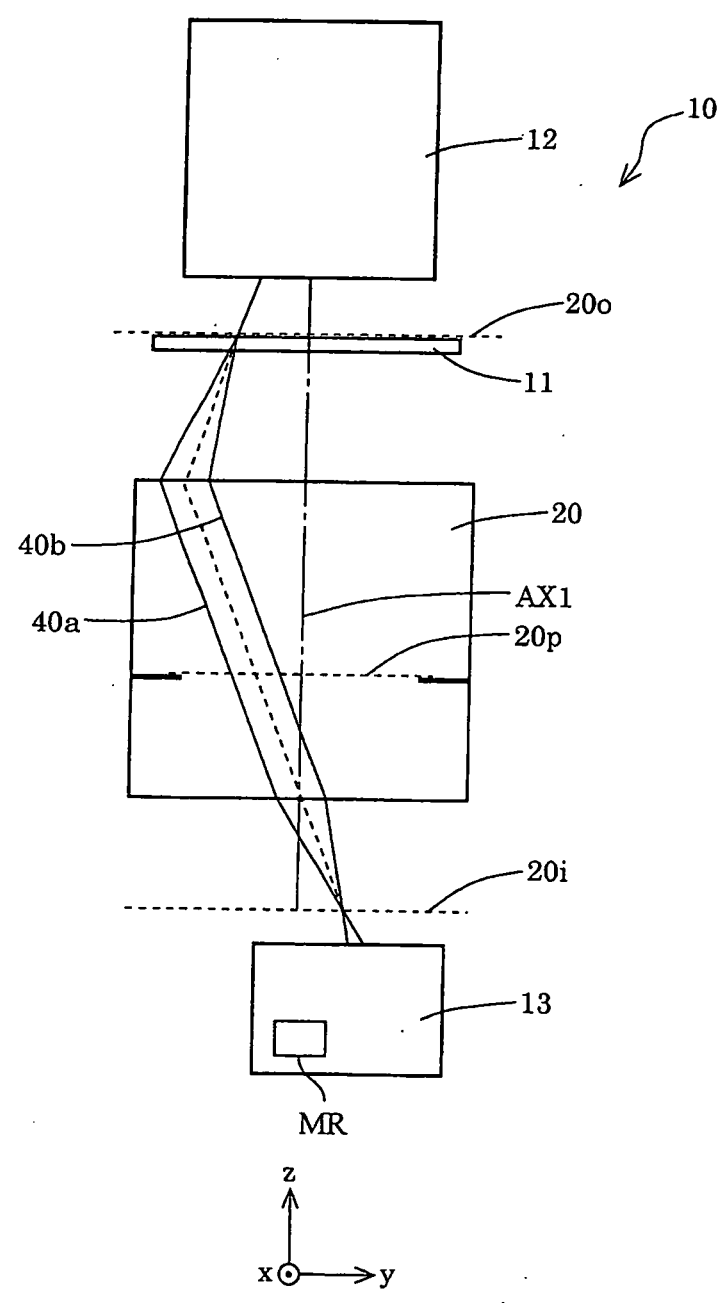


圖2

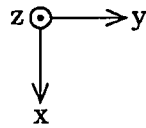
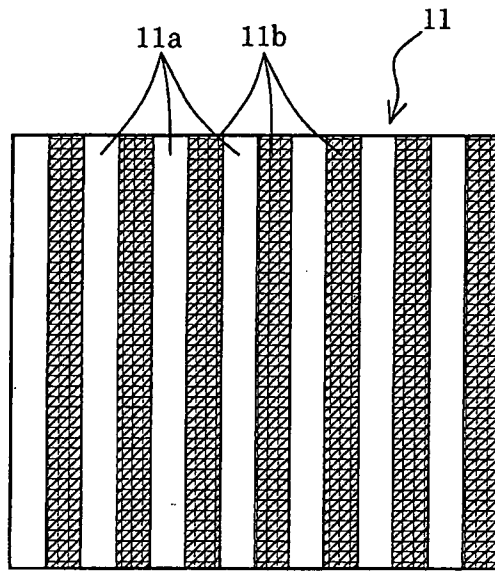


圖 3

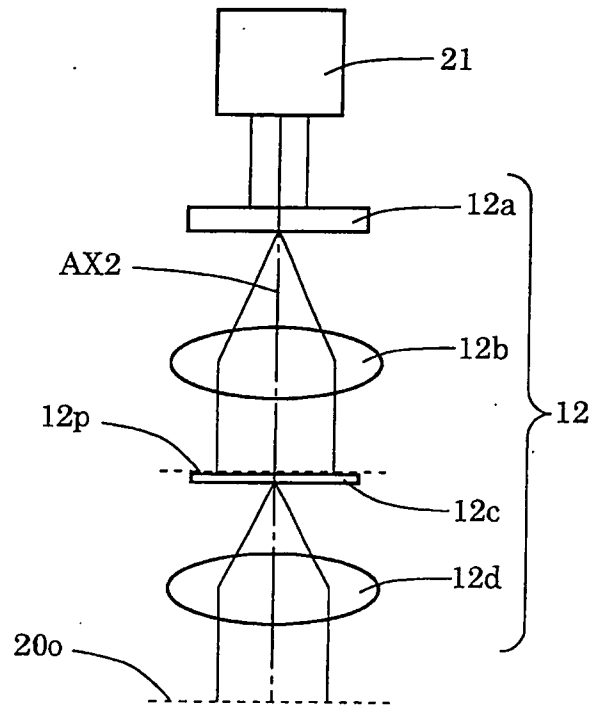


圖4

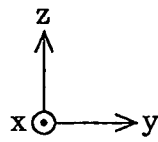
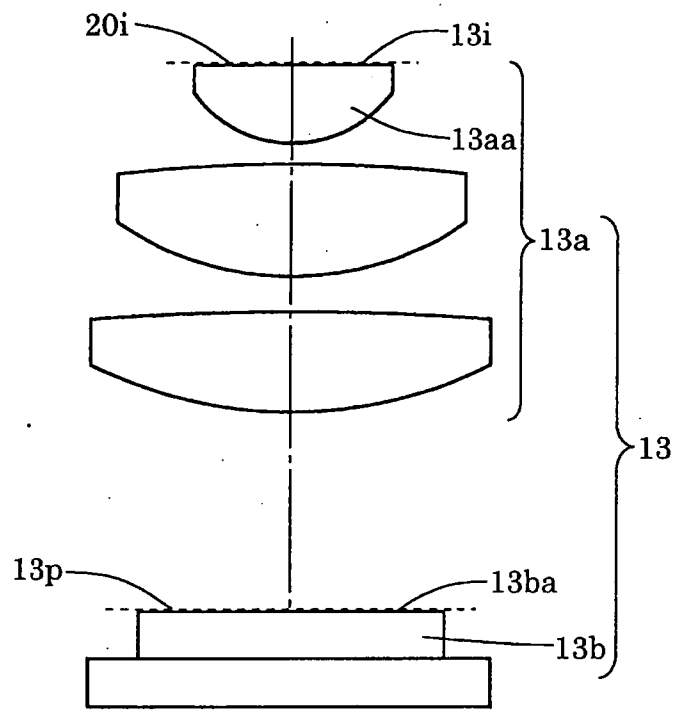


圖5

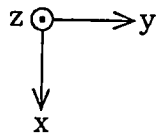
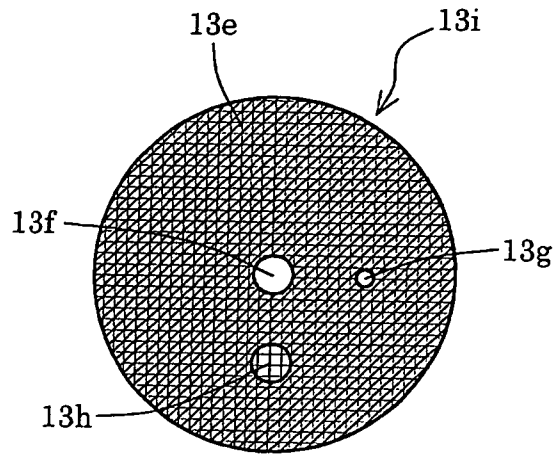


圖6

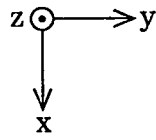
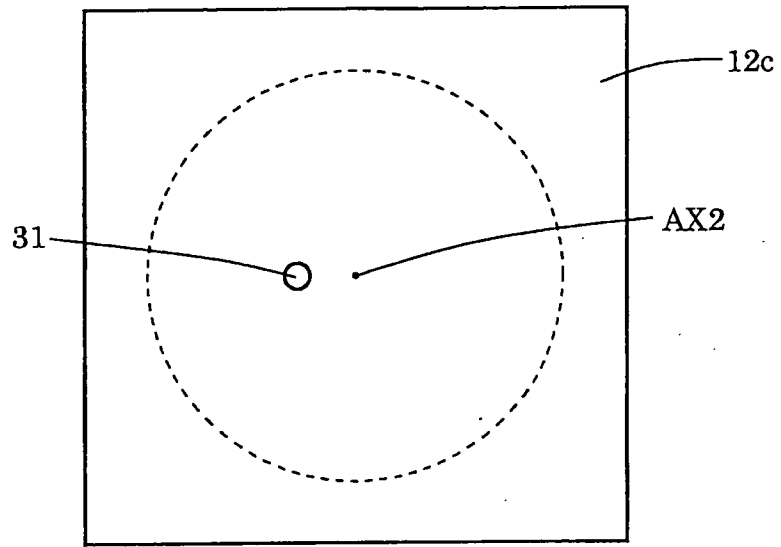


圖 7

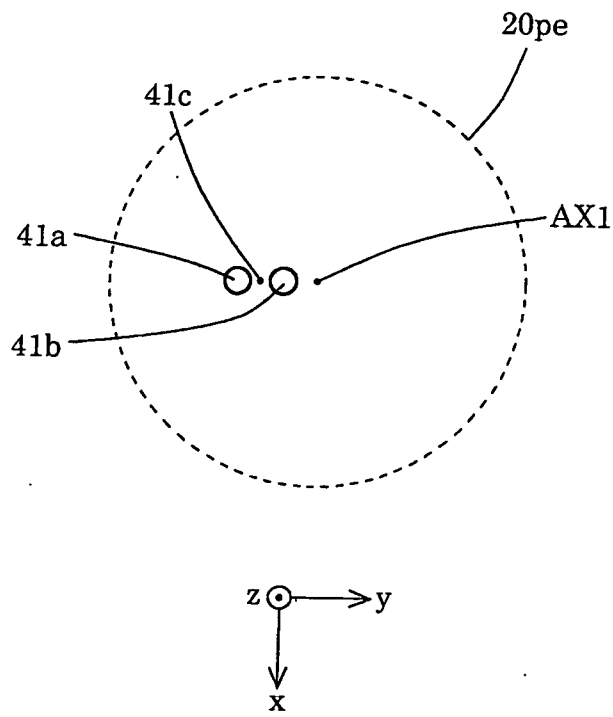


圖8

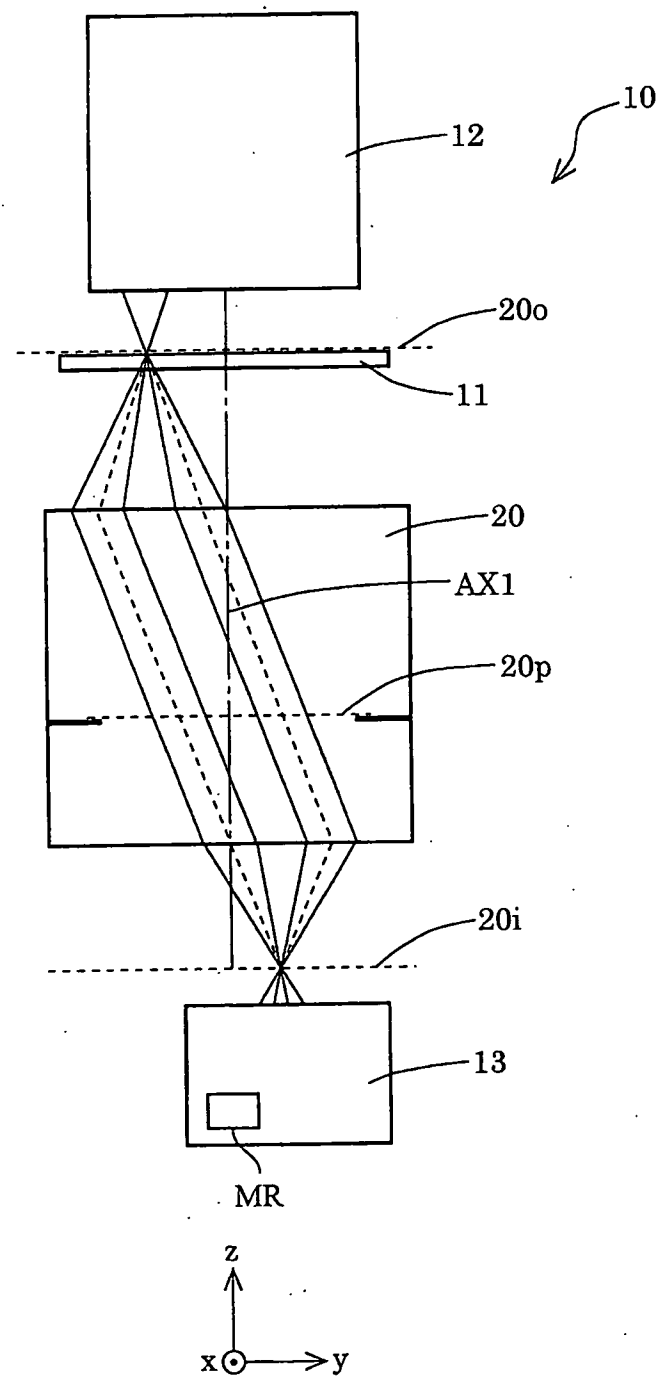


圖9

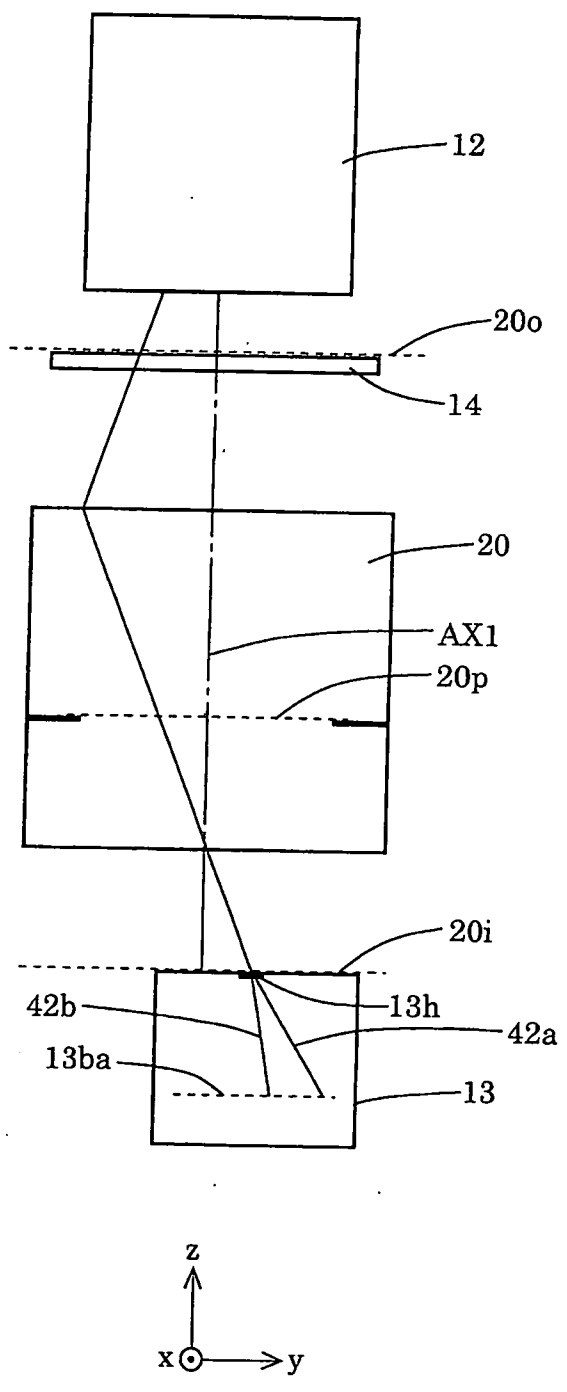


圖10

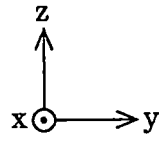
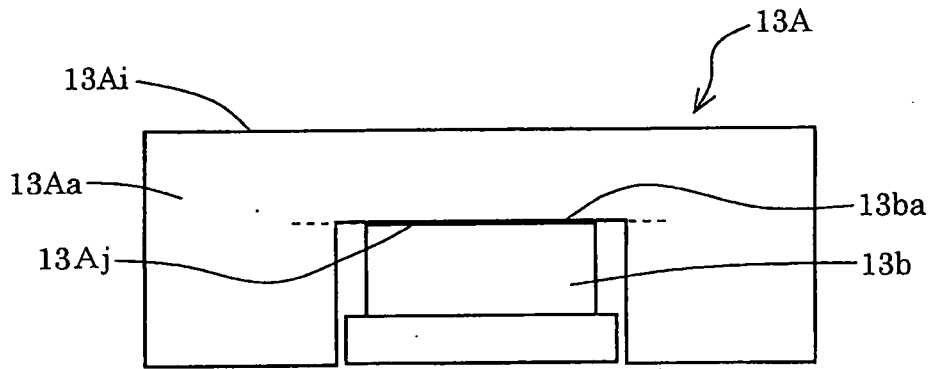


圖 11

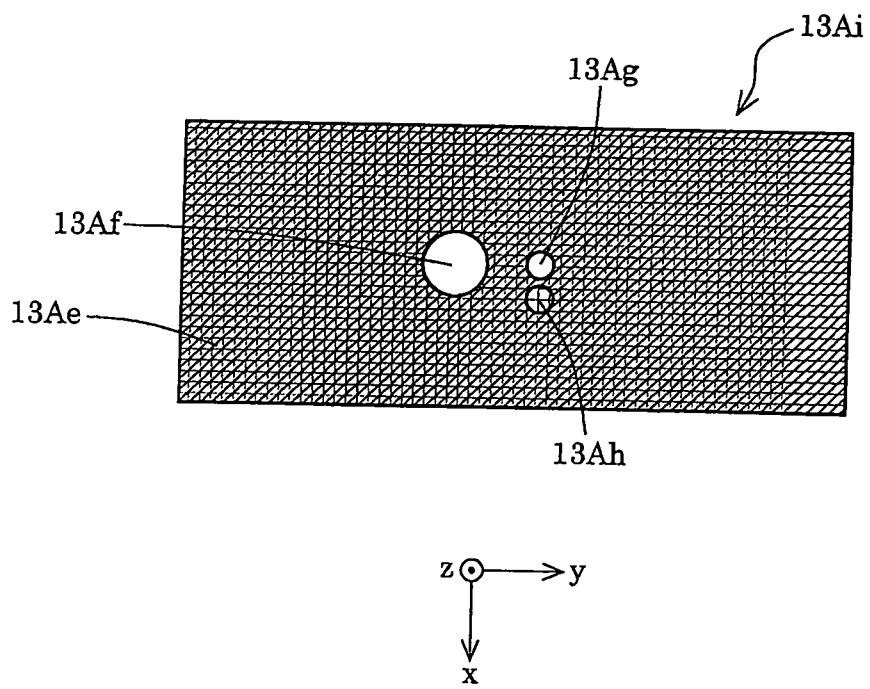


圖12

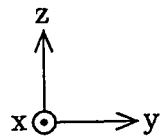
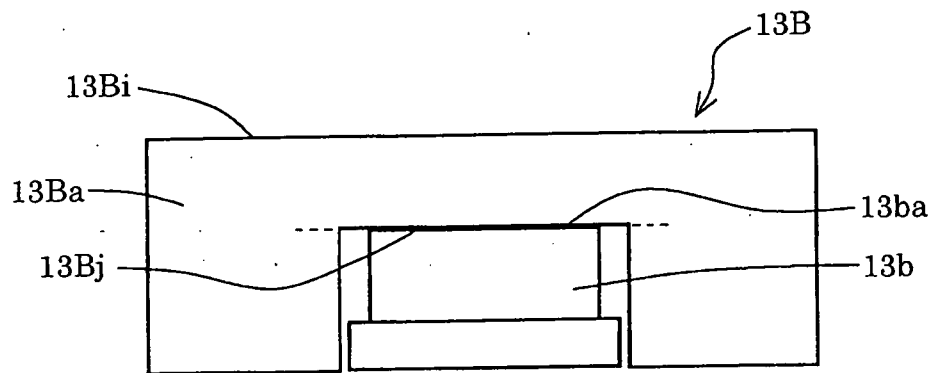


圖 13

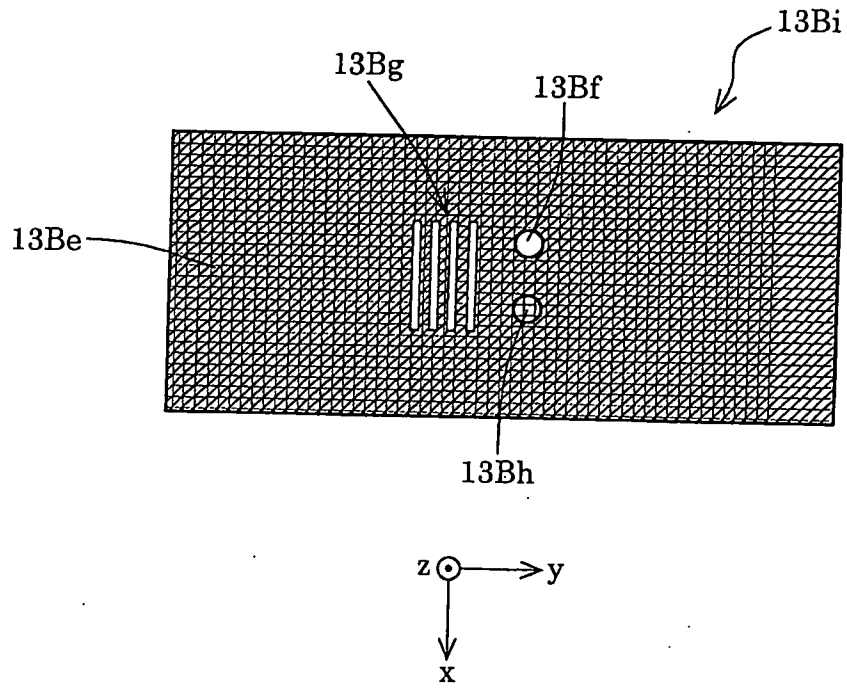


圖14

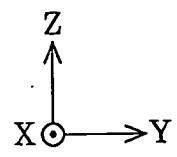
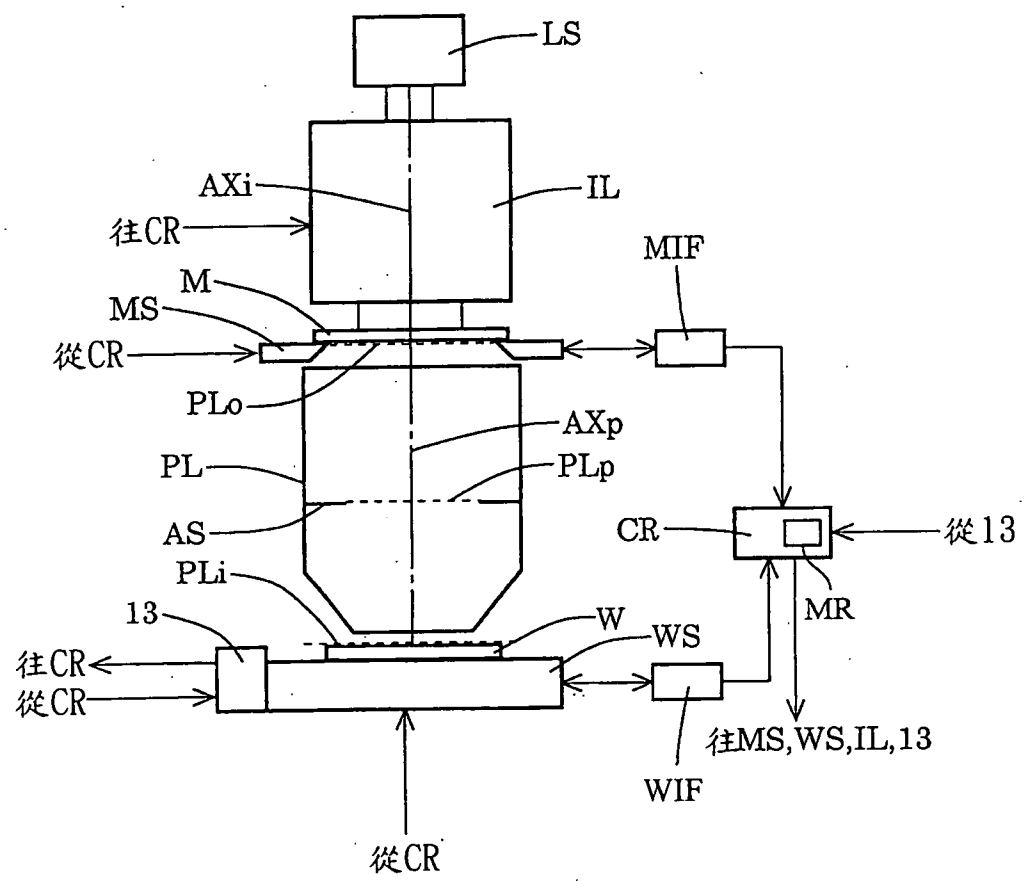


圖 15

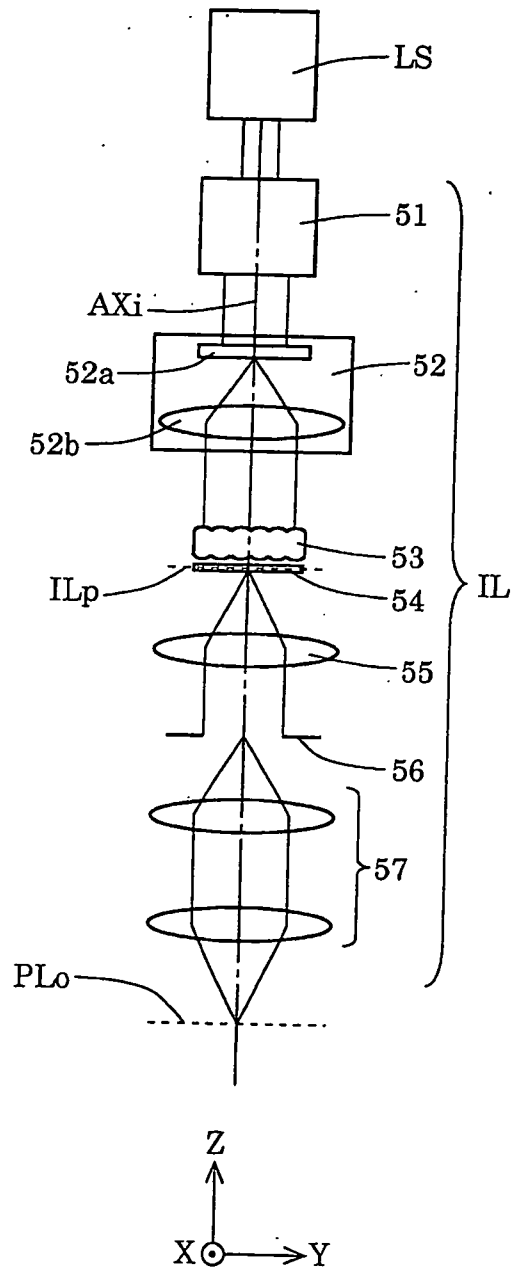


圖 16

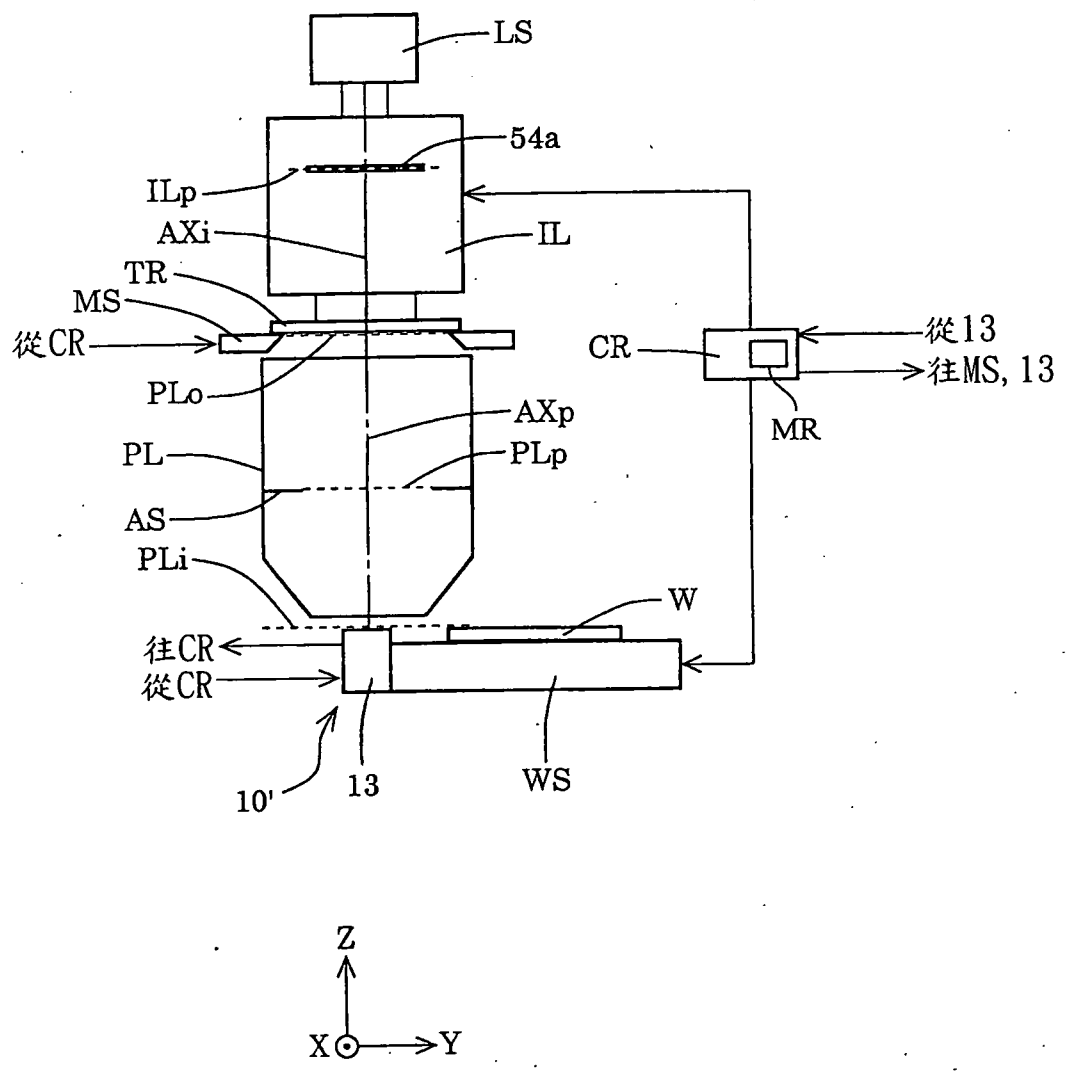


圖 17

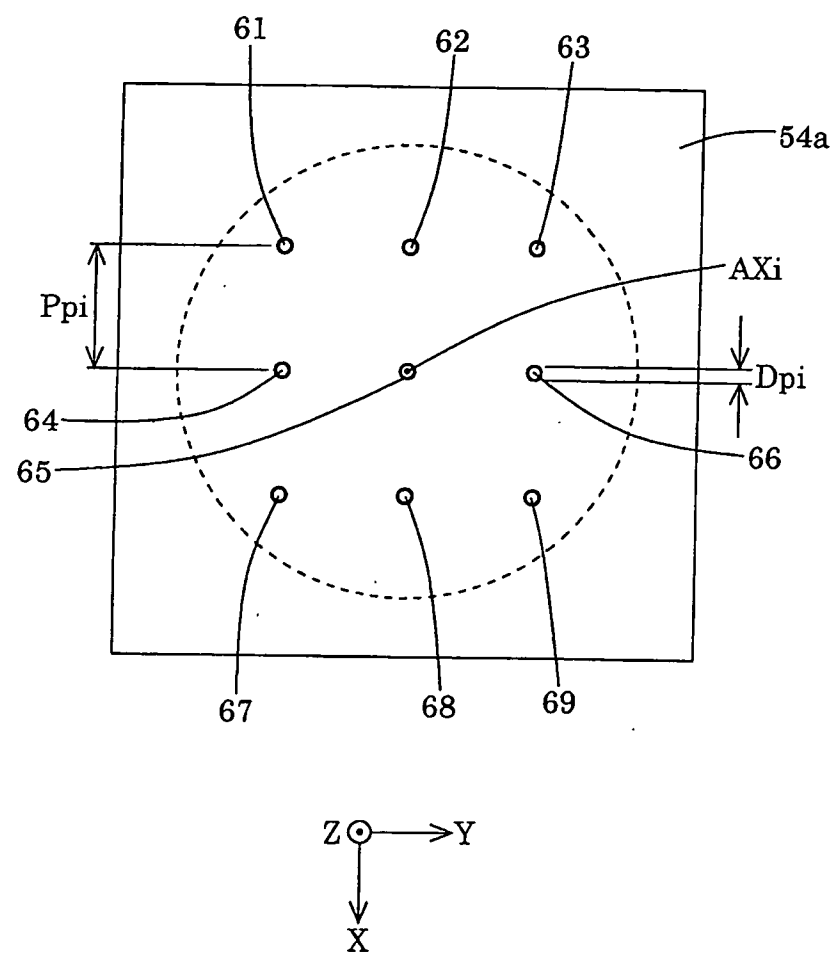


圖18

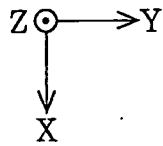
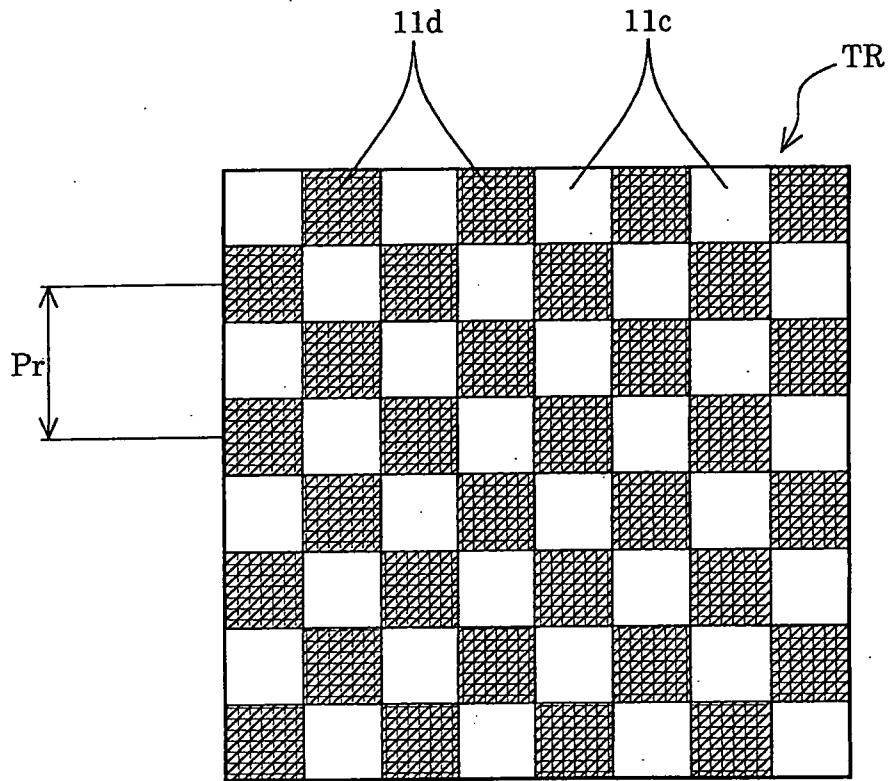


圖 19

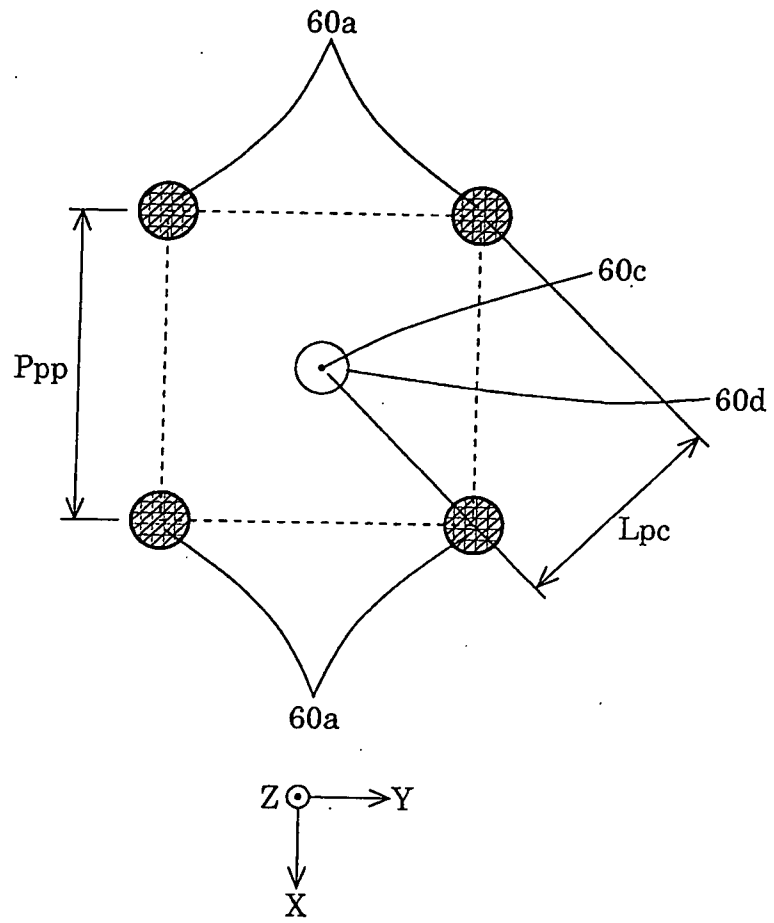


圖 20

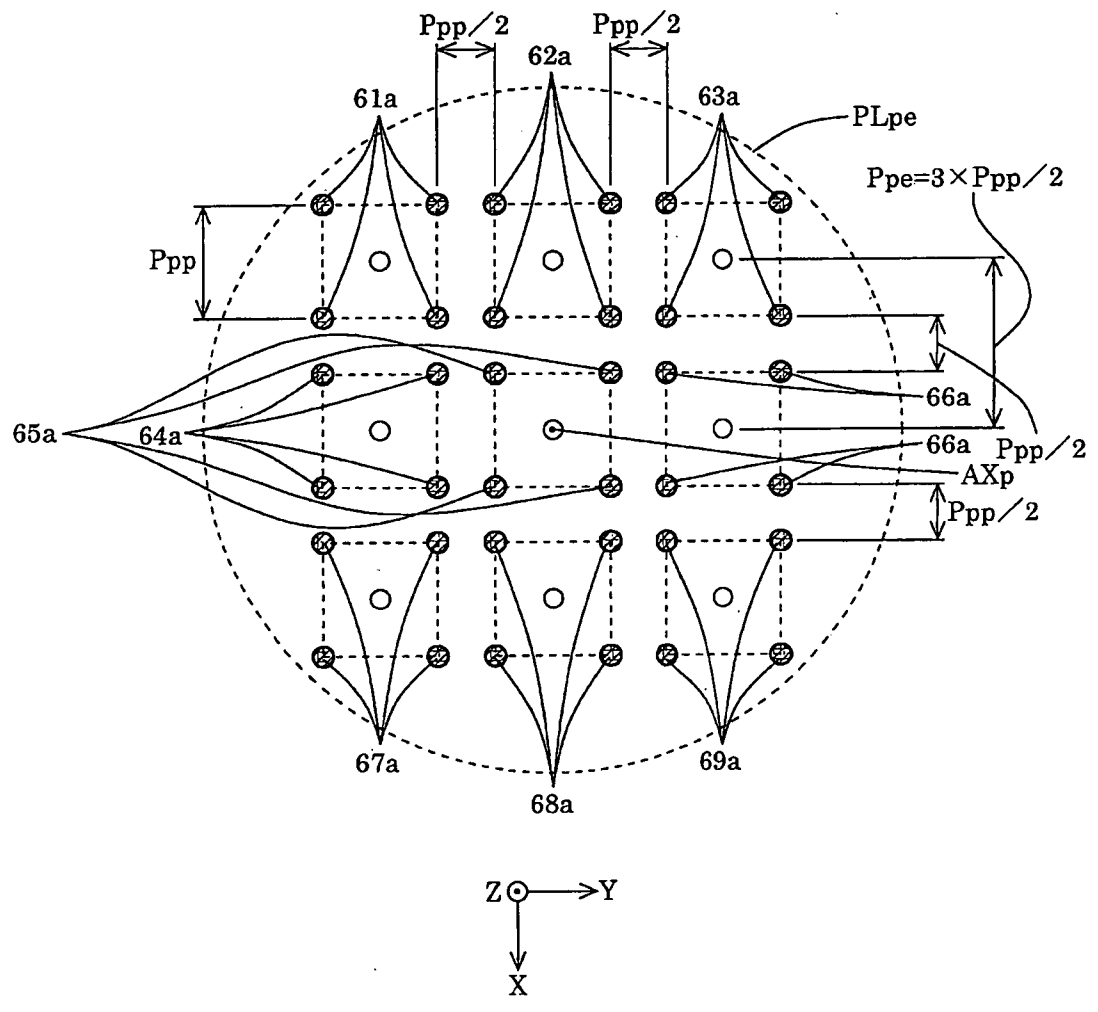


圖21

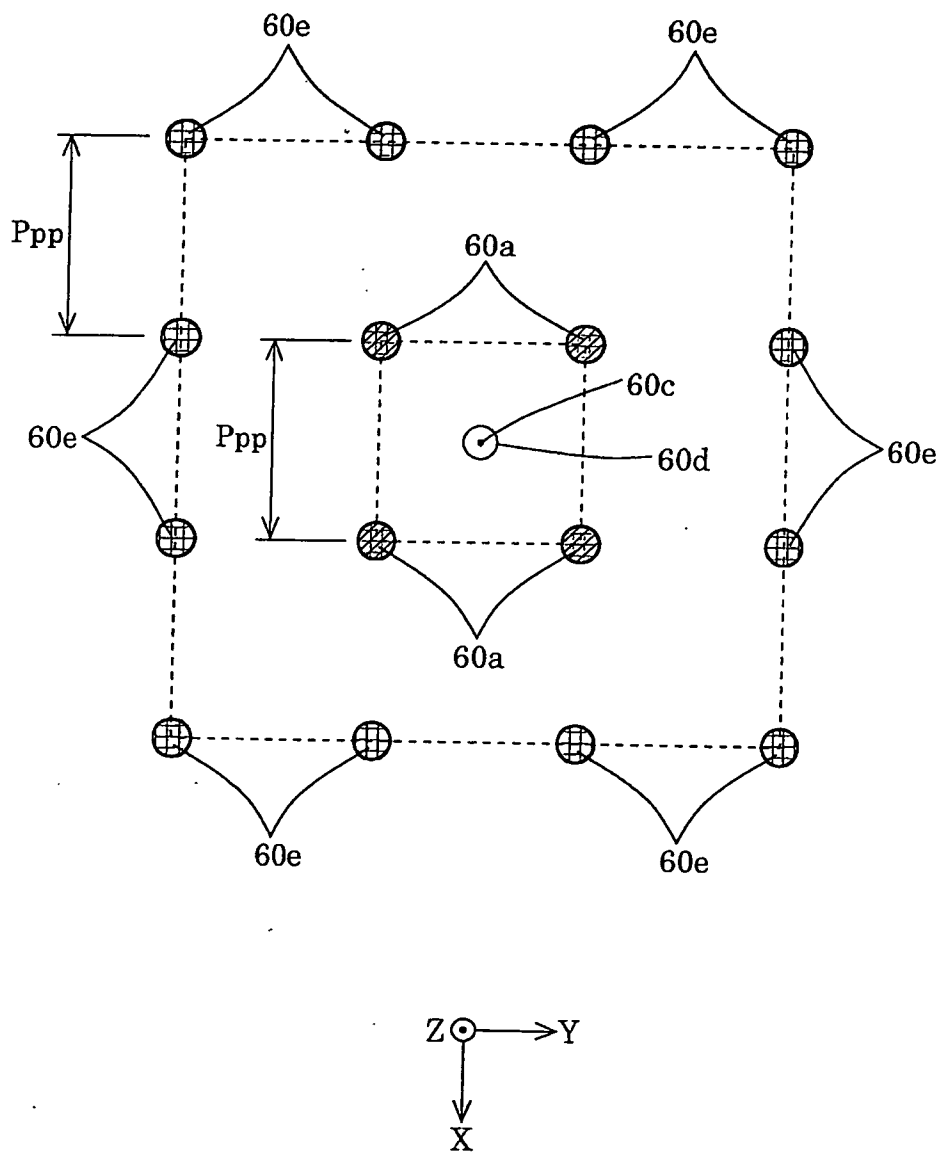


圖 22

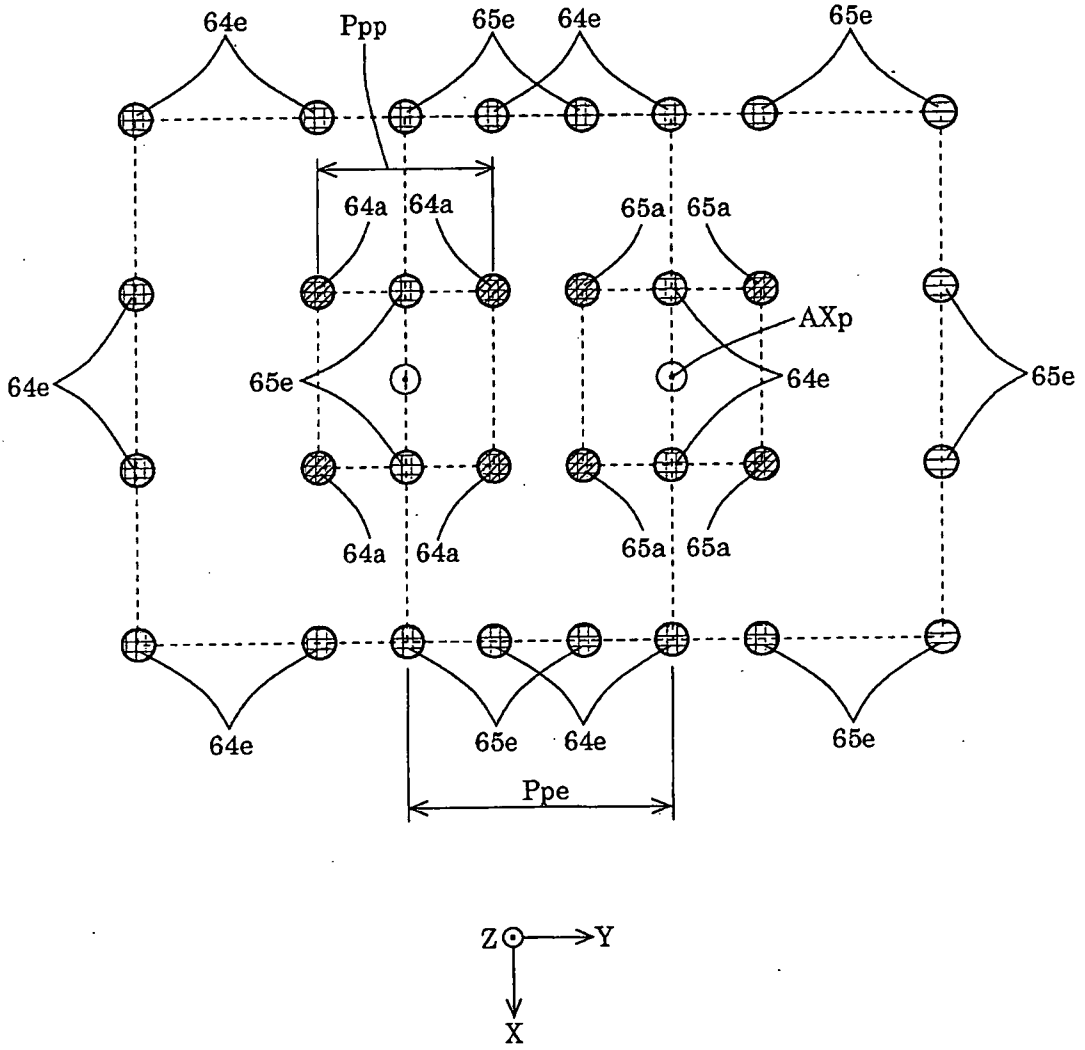


圖 23

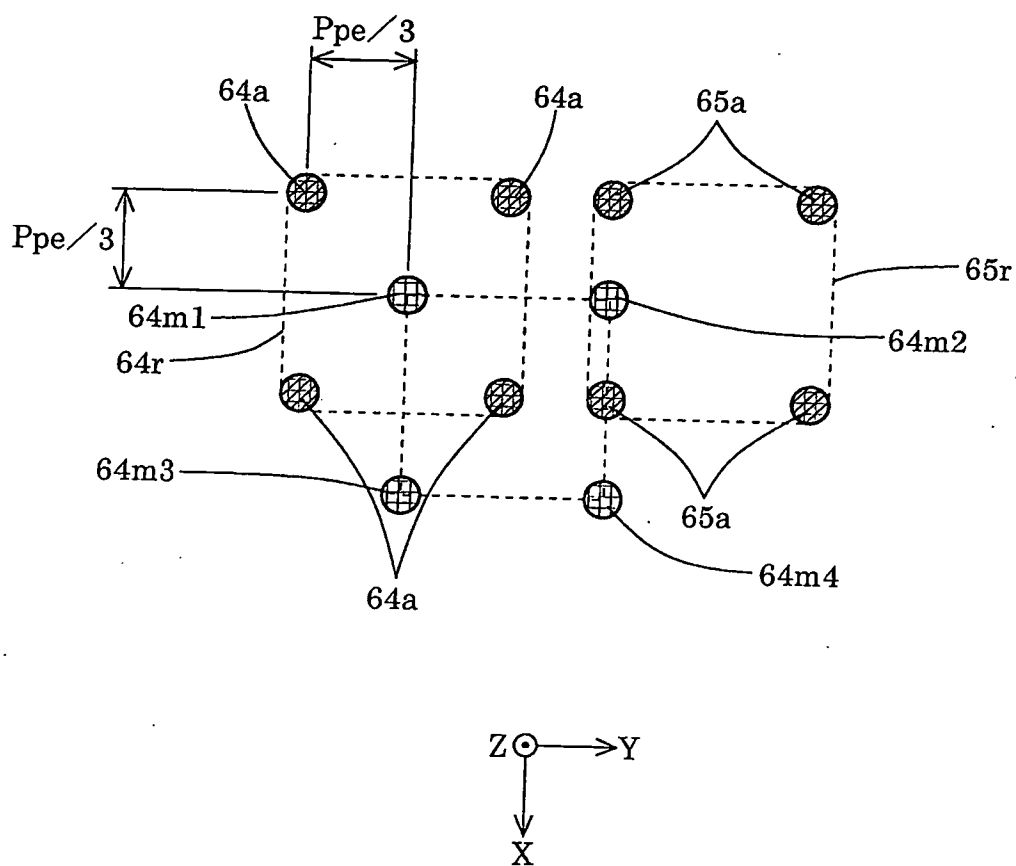


圖24

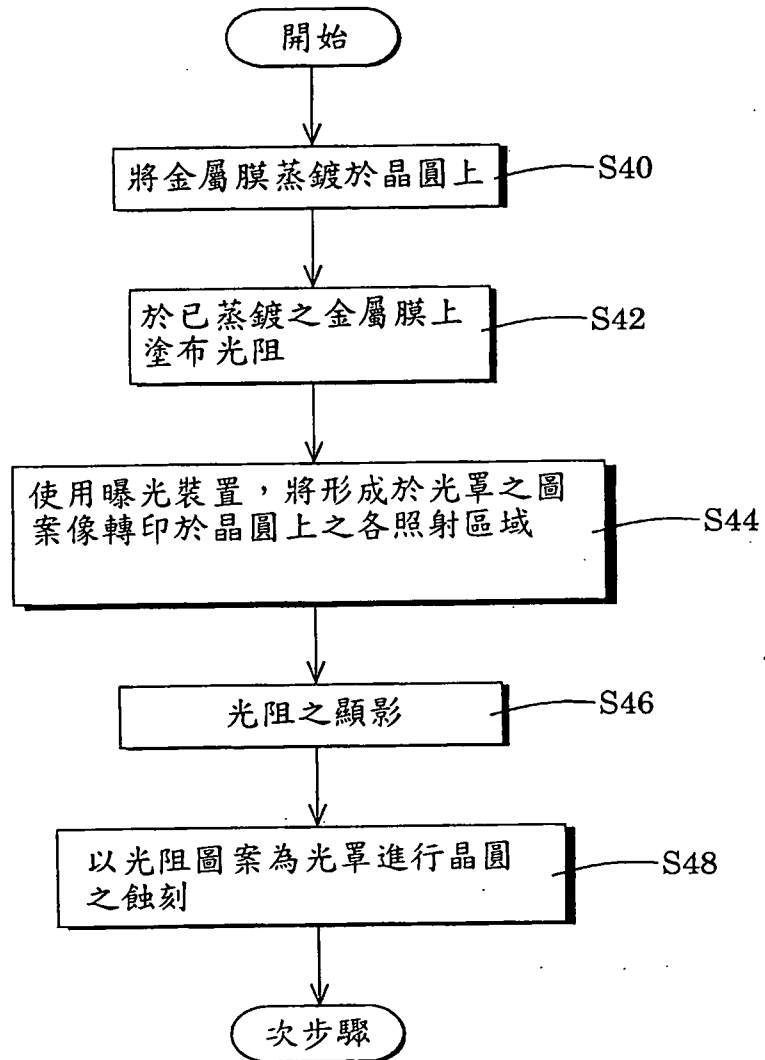


圖25

