

公告本

申請日期	2000. 6. 20
案 號	89112087
類 別	B23K26/06, 26/02, G3H1/22

A4
C4

494043

(以上各欄由本局填註)

TP13915

發明專利說明書

一、發明 名稱	中 文	雷射開孔加工裝置
	英 文	LASER NOLE-DRILLING MACHINERY DEVICE
二、發明 創作人	姓 名	布施敬司
	國 籍	日本
	住、居所	大阪府大阪市此花區島屋1丁目1番3號 住友電氣工業株式會社大阪製作所內
三、申請人	姓 名 (名稱)	住友電氣工業股份有限公司 (住友電氣工業株式會社)
	國 籍	日本
	住、居所 (事務所)	大阪府大阪市中央區北浜四丁目5番33號
	代 表 人 姓 名	岡山紀男

(由本局填寫)

承辦人代碼：
大類：
I P C分類：

A6
B6

本案已向：

國（地區） 申請專利，申請日期： 案號：，☒有 ☐無主張優先權
日 本

- ① 1999年 6月23日 特願平 11-177376號
- ② 2000年 5月25日 特願 2000-154514號

有關微生物已寄存於：，寄存日期：，寄存號碼：

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄）

裝

訂

線

五、發明說明 (1)

[發明所屬領域]

本發明係關於印刷基板的雷射開孔加工裝置。在電子機器的印刷基板上可安裝多數 IC 等微小的電子電路元件。因此鑽有多數的針孔。現在係實施使細小鑽頭回轉下降，推壓於基板而逐一開孔的加工。機械上以鑽頭開孔的方法具有靈活性。適合於少量製作配置有多樣孔的基板。雖然鑽頭加工到現在仍然是主流，但由於逐一開孔因此具有所謂速度慢的問題。

而且，因為上述問題和基板的高密度化，多層化，所以逐漸要求直徑小的孔。而且封裝的開孔也逐漸需要微小徑多孔的開孔。例如需要 0.15mm 以下的孔徑。這種細徑以鑽頭行機械鑽孔有困難。因為鑽頭強度有問題。對於這種細徑鑽孔者而言，依雷射光束以光學方式鑽孔者成為有力的對象。本發明想提供因應這種要求可適用細徑的孔，針對少品種大量生產的高速開孔加工裝置。

[習知技術]

以由鑽頭鑽孔的高效率方法而言提案組合雷射和檢流計鏡和透鏡的方法。檢流計鏡反射二氧化碳雷射的脈衝光，以透鏡聚光而接觸基板而依熱瞬間開孔者。使用在兩個不同軸的周圍擺動的兩個鏡朝正交雷射光束的雙向振動以便雷射光束掃描印刷基板上。由於雷射產生脈衝光因此可在規定的部位實施非連續的鑽孔。而且，由於依光燒掉基板因此可開細孔。較依鑽頭可以更高速開多數更細徑的孔。這是具有將來性的新穎鑽孔方法。

五、發明說明 (2)

重視為聚光的透鏡問題。通常的透鏡具有使平行光在從透鏡到僅隔離焦點距離的平面像面上成像的作用。通過透鏡中心的光以不彎曲抵達像面而成像。對於透鏡光軸僅傾斜 θ 的光束在從像面的中心僅離開 $f \tan \theta$ 的地方造像。因為來自像面的中心的距離是 $f \tan \theta$ ，所以在這裡假定暫時表現為 $f \tan \theta$ 透鏡。

依檢流計鏡朝 x 方向， y 方向掃描 1 條光束時，擺動角度形成一定。由於孔的分佈也保持一定的節距，因此以擺動角 θ 和其光束在像面裝作的來自像面中心的距離必需成比例。亦即，需要所謂像位置來到朝透鏡入射角 θ 和焦點距離 f 的積 $f \theta$ 相同點的透鏡。它叫做 $f \theta$ 透鏡。由於此透鏡和通常的透鏡不同，呈特殊的形狀因此要求特別的設計法。

另外一種是賦與所謂光束必需和基板垂直的條件。垂直入射基板之後才能開和基板正交的孔。入射光束對於透鏡光軸傾斜，通過透鏡非中心部時從該透鏡出來的光束必需和基板垂直。這在通常的透鏡是相當困難的條件。即使將這樣傾斜的光束入射於透鏡非中心位置而自透鏡出來時也會變成垂直光束的性質，叫做遠心性 (telecentric)。在檢流計鏡方式時，其聚光透鏡需要 $f \theta$ 性和遠心性。

[發明欲解決之課題]

在印刷基板，IC封裝等的雷射開孔加工，如果使用屬於新技術的檢流計鏡和 $f \theta$ 透鏡，據說可在 1 秒鐘之內

五、發明說明 ()

鑽 500 個孔。第 1 圖表示其概念圖。雷射光束 1 由 x 軸掃描鏡 2 而反射。由 y 軸掃描鏡 3 再反射。x 軸掃描鏡在軸周圍擺動。所以反射光束也朝左右擺動。y 軸掃描鏡 3 也在軸周圍擺動，而其反射光束朝軸直角方向擺動。

雙重反射的光束在透鏡 4 上朝縱橫掃描。由透鏡 4 被聚光的光束照射於印刷基板 5。由於光束朝 x 軸、y 軸方向掃描由雷射器發出脈衝光，因此可以非常快的速度朝縱橫排列的鑽許多孔 6。較鑽孔機械鑽孔更進步。因檢流計、檢流計鏡也被製造成實用的產品，且也設計有紅外光用透鏡所以正急速地實用化。

但，有提出較其更高速鑽孔的要求。例如在 1 秒鐘一舉鑽數千個以上的孔。不限於印刷基板也有封裝的鑽孔等用途。這種高速度的鑽孔要求以現在的技術似乎不可能完成。依檢流計鏡機械式揮動光束還是不合需求。

所以提出將一條雷射光束分割為擁有所希望空間分佈的多數光束的所謂繞射型光學零件 (DOE)。依第 3 圖、第 4 圖、第 5 圖說明 DOE。第 3 圖係全體的平面圖，第 4 圖係一個單位參數的圖，第 5 圖係第 4 圖 L-L 剖面圖。DOE 對於對象光將透明的板分割為朝縱橫排列的多數單位模型 9 (第 4 圖)，再將單位模型 9 分割為多數的畫素 10，將畫素 10 的厚度改為 $2m$ 條 ($m=1、2、3、--$)。這是將穿透 DOE 之光線的 1 波長份的厚度分割為 $2m$ 條。因此，這種厚度分佈係形成相位分佈使穿透的光線調光相位。第 5 圖表示分 2 階段改變 ($m=1$) 厚度的例。具有厚的畫素

五、發明說明 (4)

11和薄的畫素12。兩種畫素具有此波長光的半波長份之厚度的差(相位差)。此分佈決定繞射的分佈。依重複單位模型的畫素分佈使雷射光束繞射，使產生所希望分佈的多數光束。

多數的單位模型9擁有相同的畫素結構。單位模型9的一邊變成周期 Λ 。為使引起繞射其重複是不可缺少的，需要單位模型的重複。周期 Λ 決定繞射角的擴展。如果 Λ 大即繞射角小。如果 Λ 小即增大繞射角。

DOE的模型內的相位(亦即厚度)的分佈變成控制變數。藉使相位差由以二次元分佈，可製造出擁有二次元擴展的繞射光束。單位模型屬正方形時($\Lambda \times \Lambda$)，朝x、y兩方向繞射的光束一次平均的角度可設定為相同，長方形時($\Lambda_x \times \Lambda_y$)可將那些設定為不同者。藉由決定DOE的畫素規格或厚度分佈(相位分佈)可獲得任意的繞射光分佈。由於DOE一舉製造出M條光束，因此並不是如檢流計鏡動作，儘管是靜止，也可瞬間鑽多數的孔。將雷射光束射入DOE以製造出多數的分割光束。再依透鏡將此光束聚光以後照射於印刷基板，封裝。

通常的透鏡係 $f \tan \theta$ 透鏡。於檢流計鏡時，不適合 $f \tan \theta$ 透鏡，而使用 $f \theta$ 透鏡。檢流計鏡片已經決定擺動角的節距(最小單位)，擺動角係最小單位 Δ 的整數倍 $m \Delta$ 。所以如欲鑽排成等間隔的孔，最適合的透鏡是 $f \theta$ 透鏡。

$f \theta$ 透鏡為實現 $f \theta$ 性，遠心性(Telecentric)，和繞射

五、發明說明 (5)

界限的聚光而組合 5 片， 4 片等的透鏡。最低也需要 2 片的透鏡。第 2 圖表示 2 片組的 $f\theta$ 透鏡的例。組合第 1 的透鏡 L1 和第 2 的透鏡 L2。L1 的入射光側面係 S1，出射側面係 S2。L2 的前面係 S3，後面係 S4。L1 係球面透鏡。L2 係前面 S3 為球面，後面 S4 為非球面。在較透鏡後方擁有中心的球面時將曲率半徑定義為正。非球面的面高度 $Z(r)$ 的值係下列作為以半徑 r 的函數所提供。參數係 c 、 k 、 α_j 。 j 為從 1 至適當的自然數 s 為止。在不能獲得規定的性能時一直加 j 的上限 s 。在此處形成 $s=5$ 。

$$Z(r) = \frac{cr^2}{1 + \left\{1 - (1+k)c^2r^2\right\}^{\frac{1}{2}}} + \sum_{j=1}^s \alpha_j r^{2j} \quad (1)$$

五、發明說明 (6)

[表 1]

f θ 透鏡的數據

透鏡編號	面編號	曲率半徑 (mm)	厚度、間隔 (mm)	折射率
L1	S1	-32.473	6.184	2.403
	S2	-37.790	62.114	
L2	S3	-3848.615	11.702	2.403
	S4	表 2	158.588	

所謂厚度係指包括透鏡的厚度和透鏡間の間隔，透鏡和像面間隔的概念。所謂 62.114mm 係指 L1 透鏡的 S2 面和 L2 透鏡的 S3 面的間隔。158.588mm 係指 L2 之 S4 面和像面 I 的間隔。由於使用二氧化碳雷射光 (10.6 μ m) 因此對於紅外線光以透明的鋅硒多晶為基材。其折射率係指對此波長的光線者。

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂 線

五、發明說明 (7)

[表 2]

f θ 透鏡 的非球面數據

面 編 號	S 4	非 球 面 係 數	
1 / c (m m)	- 1 6 9 . 8 3 7	α_2	1.217×10^{-9}
k	- 1 . 0 6 0	α_3	-2.529×10^{-12}
		α_4	1.383×10^{-15}
		α_5	-2.550×10^{-19}

由 f θ 透鏡使來自 DOE 的繞射光聚光於像面 I 上。由 DOE 分割的各光束收束於像面 I 上的各位置。該位置由被分割的各光束的傾斜角（繞射角）決定。

但，本發明者注意到對於 DOE 並不一定適合 f θ 透鏡。

茲說明其理由如下：DOE 係以一定周期定義畫素依畫素的高度（厚度），藉由調變穿透光相位以製造出繞射光。並不是依無秩序的厚度排排而使繞射，而是變成具有一定周期性的排列，因此會受到某種的限制。

考慮使平行光垂直入射 DOE。因為分歧的多數繞射光也是全部平行光所以照這樣並不能收束，因此在 DOE 的後面放置透鏡，使各次數的繞射光聚光於後側焦點位置

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

訂 線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 (8)

。因為係平行光束所以在後面 f 的位置其所有次數的光束收束在相同面上。雷射光束通過 DOE 產生分歧繞射光。此繞射光由透鏡 L 聚光在像面 I 上製造光點。

假定雷射光的波長為 λ ，DOE 的模型周期為 Λ 。假定繞射次數為 n 。假定形成 n 次繞射光束的光軸角度為 θ_n 。則繞射條件公式係

$$\Lambda \sin \theta_n = n \lambda \quad (2)$$

而 n 次繞射光的傾斜角 (繞射角) θ_n 係依

$$\theta_n = \sin^{-1} (n \lambda / \Lambda) \quad (3)$$

所提供。因為以其角度入射於透鏡，所以自透鏡背後的畫素面的中心至 n 次繞射像點的距離 h_n 形成如下：

(1) 通常的 $f \tan \theta$ 透鏡時

$$h_n = f \tan \theta \{ \sin^{-1} (n \lambda / \Lambda) \} \quad (4)$$

(2) 用於檢流計鏡的 $f \theta$ 透鏡時

$$h_n = f \sin^{-1} (n \lambda / \Lambda) \quad (5)$$

無論如何，繞射次數 n 和在畫像面的中心、像點距離 h_n 並不是線性。線性關係偏離多少呢？

$$\tan(\sin^{-1} x) = x + (x^3 / 2) + (3x^5 / 8) \quad (6)$$

$$\sin^{-1} x = x + (x^3 / 6) + (3x^5 / 40) \quad (7)$$

來自線性關係的偏離，從 x 的三次方以上項目顯現出。所以 x 變得相當大之後才能顯在化。雖是 $x = n \lambda / \Lambda$ ，但 Λ 較大，如果 n 不太大，因為 x 小因此來自線性的偏移可以忽視。但，如果 Λ 小，或 n 大 (繞射次數高)，即增大 n 次繞射角 θ ，不能忽視來自線性的偏離。

五、發明說明 (9)

如果比較兩種透鏡， $f\theta$ 透鏡方面較 $f\tan\theta$ 偏移小約 $1/3$ 。儘管說 $f\theta$ 透鏡良好但並不是最佳。照舊流用以檢流計鏡方式開發的 $f\theta$ 透鏡還是不能說最適合。最佳的是，將透鏡入射角 θ 的光束在像面，設定以使自中心至像點的距離 h_n 和 $\sin\theta_n$ 形成正比例的透鏡。如果按照表列的方法說也許可表現「 $f\sin\theta$ 」。假定能夠製作這種透鏡，如下的合適關係應該成立。

③ 假定使用本發明初次提案的 $f\sin\theta$ 透鏡時形成

$$h_n = f \sin\{\sin^{-1}(n\lambda/\Lambda)\} \quad (8)$$

$$= fn\lambda/\Lambda \quad (9)$$

如果能夠製作，這是最適合的透鏡。如果可製作這種透鏡，不管鄰接的繞射點距離 $d_n = h_n - h_{n-1}$ 的次數都形成一定。

$$d_n = f\lambda/\Lambda \quad (10)$$

以上研究有關三個透鏡繞射模型的距離的線性性質。如果僅處理近軸光線，無論 $f\tan\theta$ 透鏡， $f\theta$ 透鏡， $f\sin\theta$ 透鏡任何一種都幾乎不會偏移點的位置。僅為如果 θ 特別小，即以下之近似公式成立

$$\sin\theta_n = \tan\theta_n = \theta_n \quad (11)$$

例如使用 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 的二氧化碳雷射，將焦點距離 f 設定為 $f = 127\text{mm}$ ， $\Lambda = 2.688\text{mm}$ ，雖然 $d = 0.5\text{mm}$ ，但此時7次繞射光也是 $\theta_7 = 1.6^\circ$ 。特別近似近軸光線特別有效。因此繞射角小時還可以，但如果變成更大即通常的 $f\tan\theta$ 透鏡誤差已經過大。 $f\theta$ 透鏡的誤差也仍然大。可利用

五、發明說明 (10)

至高次的繞射而繞射角大時仍然提供有效的裝置是本發明的目的。

[為解決課題之手段]

本發明的雷射開孔加工裝置，包括雷射器，和一定空間周期的同一重複模型，或調變一定空間周期之同一模型的重複模型，由繞射雷射光產生多數光束的繞射型光學零件，和用來將從繞射型光學零件出來的多數分歧光束聚光的 $f \sin \theta$ 透鏡所成。

亦即，具有功率大的雷射和周期性模型，藉由繞射雷射光產生分割多數的繞射型光學零件，和由將從繞射型光學零件出來的分割光束聚光的 $f \sin \theta$ 透鏡所成，一舉在印刷基板或 IC 封裝上鑽多數的孔。

第 11 圖表示概略的結構。來自雷射器的平行入射光束 I 依 DOE8 被分割為擁有二次元擴展的繞射光束 13。這是平行光束。平行繞射光束因聚光透鏡 14 形成聚光分割光束 17。在像面放置的封裝 15 照射聚光分割光束 17 而一舉鑽多數的孔 16。作為聚光透鏡而言重要的是使用 $f \sin \theta$ 。所謂 $f \sin \theta$ 雖在此處雖初次提案，但在透鏡以 θ 的傾斜角入射的光束在像面中具有從中心至 $f \sin \theta$ 的位置成像性質的透鏡。如果使用相同的定義則通常的透鏡最合適於 $f \tan \theta$ 透鏡，檢流計鏡的鏡片可叫做 $f \theta$ 透鏡。

如果依繞射型光學零件繞射雷射光束即可一舉製作多數的分割光束。那是非常方便的性質。但，由於繞射型光學零件是一定不變，因此依一繞射型光學零件而可製

五、發明說明 (11)

作分割光束的模型被固定繞射型光學零件生產性雖然沒有缺點但不具有靈活性。那是令人困擾的事情，不能充份響應想鑽幾個不同模型孔的要求。

為設法提供通用性靈活性，於是本發明者，想到製作多數不同繞射型光學零件以安裝於具有多數窗的回轉圓板上藉由轉動圓板以便形成可瞬間更換繞射型光學零件的改良。假定在擁有 G 個窗的回轉圓板上安裝 I 個繞射型零件 ($G > I$)，即可以高效率容易地鑽 I 種類的孔模型。

為提供另一種靈活性，本發明者考慮組合檢流計鏡和繞射型光學零件。因檢流計鏡可以較機械的鑽頭更高速鑽孔。而且檢流計鏡方式具有較其本身繞射型光學零件優良的靈活性。原因是具有自由度。雖然是使兩個鏡擺動，但擺動的速度或振幅可能變成可調整的變數。脈衝雷射的脈衝間隔也可能變成變數。藉由改變這種變數，形成可鑽空間周期不同的孔模型。而且也可因應基板的大小。如果設定為組合檢流計鏡和繞射型光學零件的混合方式即可獲得廣泛的自由度。可獲得可因應任何孔排列的靈活性。

混合方式的本發明的雷射開孔加工裝置，包括雷射器，和反射雷射光的兩片以上搖動的檢流計鏡，和一定空間周期的同一重複模型，或調變一定空間周期模型的重複模型，由繞射雷射光產生多數光束的繞射型光學零件，和用來將從檢流計鏡或繞射型光學零件出來的多數分歧光束聚光的 $f \sin \theta$ 透鏡，和將繞射型光學零件插入雷

五、發明說明 (¹²)

射光束光路內，或使脫離的機構所成。使用檢流計鏡時從光路使繞射型光學零件脫離。使用繞射型光學零件時使檢流計鏡預先停止於中立位置。

混合型時，將繞射型光學零件插入光束系統任何地方都可以。例如，設定使插入或脫離2片檢流計鏡的中間位置。

或在具有多數窗的回轉圓板的窗上安裝多數的繞射型光學零件，形成定位一個繞射型光學零件放置於由檢流計鏡反射的光束中，使可轉換依圓板回轉而繞射光束的繞射型光學零件。

並且，將具有多數窗的回轉圓板至少一個作為開窗留下，在其他窗上安裝繞射型光學零件，在由檢流計鏡反射的光束中形成定位放置一個繞射型光學零件或開窗，可以擇一方式轉換繞射光束的繞射型光學零件和檢流計鏡。第12圖表示概略結構。在檢流計鏡的x方向掃描鏡2，和y方向掃描鏡3的中間光束18的半途裝設回轉圓板19。回轉圓板19的周圍裝設幾個窗20。在窗20上安裝不同的DOE 8a、8b、8c。窗20中幾個係以開口的狀態被保留。這是為依檢流計鏡要擺動光束時而為者。使用DOE（繞射型光學零件）8時，使檢流計鏡停止於中立位置。

或更進一步，將調整雷射光束發散角的裝置裝設於較繞射型光學零件接近雷射器側，增減入射繞射型光學零件的雷射光束，而且藉由朝雷射器側或透鏡側移動繞射

五、發明說明 (13)

型光學零件，也可實施應加工的孔模型放大，縮小。對於調整雷射光束發散角的裝置而言，只要採用透鏡或光束擴展器即可。如果使用具有較長的負焦點距離的透鏡，即可增大入射光束的發散角。或只要是正的焦點距離透鏡，即可使減少發散角。並且也可作為收束光。由於光束擴展器係由兩片以上的透鏡所成，因此藉由變更其間隔可以增減雷射光束的發散角。

儘管說運用檢流計鏡的靈活性，和繞射型光學零件的高效率，但不能單純組合先前的檢流計鏡，和繞射型光學零件。因為透鏡不同。如之前說明，在檢流計鏡的場合，由於使鏡片左右擺動因此容易製造時間上具有一定者角度變化者。如果想穿透一定周期的孔則如其距離和 θ 形成正比例的 $f\theta$ 透鏡最適合。但，繞射型光學零件時的聚光透鏡，如在本發明初次指摘其必要性， $f\sin\theta$ 最適合。遺憾的是不存在所謂和檢流計鏡及繞射型光學零件共通的合適透鏡。

於是本發明將最適合繞射型光學零件的 $f\sin\theta$ 透鏡作為聚光透鏡採用。對於繞射型光學零件雖然沒有靈活性，但檢流計鏡時具有各種可調整的參數。如果將擺動的角加速度設定為一定，雖然 $f\theta$ 透鏡最適合，但使擺動的角加速度不一定，以 $\cos\theta$ 之比使稍增減。這是有可能的。只要對於正弦波增加高諧波即可。如果設定擺動角速度 θ 在 0 附近快，隨著偏離 0 而變慢的話，即由 $f\sin\theta$ 透鏡，可以等分佈鑽孔。本來 θ 小時因為 $f\theta$ 和

五、發明說明 (14)

$f \sin \theta$ 的差別很少，所以調波成份只要一些即可。

而且，以像面的特定位置為目標時，只要以較 $f \theta$ 透鏡時略大的角度擺動檢流計鏡即可。假定 $f \theta$ 透鏡時之檢流計鏡的擺動角為 α ，即在 $f \sin \theta$ 透鏡提供 $\alpha' = \sin^{-1} \alpha$ 的擺動角。因此如果控制檢流計鏡的擺動角或角速度儘管是 $f \sin \theta$ 透鏡仍可做高精度的掃描。

說明到這裡的所謂繞射型光學零件係指僅具有光束分歧功能的夫琅和費型。但也可由具有有限焦點距離的菲涅爾型繞射型光學零件構成本發明的裝置。菲涅爾型 DOE 的優點，在於可遮斷 0 次光及放大縮小的幅度廣泛。
[發明之實施例]

茲說明有關 $f \sin \theta$ 透鏡的設計方法。為考慮來自繞射型光學零件的各次數繞射光，在透鏡的面前放置繞射格子。假定繞射格子的格子周期為 Λ 。假定入射之波長 λ 的單色光繞射。在光線追蹤，假定以入射角 θ_i 入射於繞射格子的光線，入射於繞射格子經 n 次繞射偏向朝繞射角 θ_n 的方向出射時，即成立下列公式。 n 次繞射光係由繞射型光學零件提供波長的 n 倍光路差。所以在 θ_i 和 θ_n 之間具有如下列的簡明關係，

$$\Lambda (\sin \theta_n - \sin \theta_i) = n \lambda \quad (12)$$

尤其是垂直入射時，形成

$$\Lambda \sin \theta_n = n \lambda \quad (13)$$

為設計透鏡，在這裡採用依評估函數的方法。依評估函數的光學零件的設計方法本身係公知。選擇幾個變數

五、發明說明 (¹⁵)

，對於所設計的零件追蹤光線計算變數的實際值，求出其誤差的二次方，累計此誤差者就是評估函數。評估函數大表示誤差大，朝使減少評估函數的方向變更變數值終於發現最適合的變數組。

作為設計透鏡的評估函數，採用如光線像差。當然，將波面像差將其他的光學誤差採用於評估函數也可以。最好在像面應收斂於1點的光線群，如果對於透鏡具有像差，即弄散抵達像面。於是採取在各光線像面的偏移(距離)二次方的和，將此和作為評估函數。在像面的光線偏移就是光線像差，因為採取誤差二次方的和所以說將光線像差作為評估函數採用。

第9圖係表示入射瞳孔(entrance pupil)上光線分佈的例。在這裡，入射瞳孔可考慮為入射於透鏡的光線剖面。入射瞳孔中的一點，表示一條光線。在任意的瞳孔上位置(P_x 、 P_y)採取希望數量的光線也可以。 $(P_x$ 、 $P_y)$ 表示瞳孔上的座標。瞳孔的大小已被標準化以半徑為1單位之圓表示，為提高計算的精度，光線的數量多，使廣泛分佈於瞳孔全體較良好。但如欲減少計算量迅速實行計算，光線少較合適。第9圖係採取18條光線的例。

從瞳孔的中心採取以放射狀延伸的6條直線(和 P_x 軸形成的角度0度、60度、120度、180度、240度、300度的方向)，並且採取大小不同的三個環。三個環的半徑分別 $R=0.3357$ ， 0.707 ， 0.9420 單位。這6條放

五、發明說明 (16)

射線和 3 個環的交叉點具有 18 個。決定將光線採取 18 點。各光線的分量設定黑圈 (12 條) $w_j = 0.048481$, 白黑圈 (6 條) $w_j = 0.07757$ 。

如果計算各光線在畫面分散於任何位置抵達, 即可求出其偏位 Δx 、 Δy 。 Δx 、 Δy 係來自全光線重心位置的偏移 x 成份和 y 成份。

依 j ($=1, 2, \dots, 18$), 繞射次數 n ($=0, 1, 2, 3$) 表示各光線, 對於每光線的分量 w_j 和各繞射次數乘以分量 w_n 獲得有關光線像差的評估函數 $E\Lambda$ 。

$$E\Lambda = \sum \sum w_n w_j (\Delta x_{nj}^2 + \Delta y_{nj}^2) \quad (14)$$

使變數變動以便此評估函數加以最小化。

上述評估函數, 可依透鏡評估光的收斂特性。但只有這些還是不夠。在 $f \sin \theta$ 透鏡的設計, 對於其他重要的特性而言, 還有 $f \sin \theta$ 彎曲特性, 像側的遠心性 (telecentric)。必需可評估彎曲特性遠心性 (telecentric)。藉由設定可評估彎曲特性, 遠心性 (telecentric), 可謀求因應各繞射次數的焦點位置精度, 或如改善其聚光垂直性的最佳化。

例如, 為評估 $f \sin \theta$ 性而採用如下的評估函數。如第 10 圖提供適合繞射格子的周期 Λ , 如果採取 0 次、1 次、2 次、3 次、4 次、5 次的 5 個繞射次數, 在像面上的各焦點位置 h_n ($n=0, 1, 2, 3, 4, 5$), 藉由對於當時的光學系統參數實施光線追蹤而依計算可求出。如果決定主光線的座標即可。從繞射格子的周期 Λ 和透鏡的

五、發明說明 (17)

焦點距離 f ，由

$$g_n = n \lambda f / \Lambda \quad (15)$$

提供各焦點位置的理想值 g_n (在這裡將物點當做位於前方無限遠處)。將此值作為目標值，可依

$$E_D = \sum (g_n - h_n)^2 \quad (16)$$

提供為評估 $f \sin \theta$ 的評估函數 E_D 。並且，增大周期 Λ ，將繞射設定為大於 5，可詳細地評估 $f \sin \theta$ 性。

而且，對於遠心性 (telecentric)，在各繞射次數，追蹤主光線，可求出入射於像面的角度 θ_n 。由於所謂遠心性 (telecentric) 係要求此性接近 0，因此可考慮入射角度的二次方提供誤差。對於評估函數 E_T 而言，採用

$$E_T = \sum (\theta_n^2) \quad (17)$$

使遠心性 (telecentric) 含於評估函數。和公式 (14) 同時將變數值加以最適化使公式 (16)，(17) 的評估函數加以最小化。這些就是設計的前提條件。具體上藉由提供理想的焦點距離，透鏡厚度等，可決定更具體的評估函數。

將焦點距離 f 決定為 127mm 時，對於評估函數而言，採取

$$e_1 = (f - 127)^2 \quad (18)$$

藉由使含有此評估函數可設定焦點距離 f 接近 127mm 的數值。透鏡厚度如焦點距離決定唯一的目標有困難。指定某範圍設定在其範圍。例如，想將透鏡厚度 t 設定為

五、發明說明 (18)

3.5mm 以上 15mm 以下時，可採取所謂如

$$e_2 = \alpha (t - 3.5)^2 + \beta (t - 15)^2 \tag{19}$$

的評估函數。但係數 α 在 $t > 3.5\text{mm}$ 時係 $\alpha = 0$ ， $t \leq 3.5\text{mm}$ 時規定擁有所謂 $\alpha = 1$ 的數值。同樣地，係數 β 在 $t < 15\text{mm}$ 時規定採取 $\beta = 0$ 、 $t \geq 15\text{mm}$ 時的 $\beta = 1$ 數值。所以 t 在 $3.5\text{mm} \sim 15\text{mm}$ 時變成 $e_2 = 0$ 。 t 不在其範圍時為將 t 叫入此範圍的評估函數。

藉由提供這種限制條件的評估函數 e_c (e_1 、 e_2 、--) 乘以適當量 w 互相加起來整理成所有有關拘束條件的評估函數 E_c 。成為

$$E_c = \sum W_c e_c \tag{20}$$

採取以上所述四個評估函數 (14)、(16)、(17)、(20) 的總和使完成評估函數。乘以適當的分量 W_A 、 W_D 、 W_T 、 W_C 而取總和。成為

$$E = W_A E_A + W_D E_D + W_T E_T + W_C E_C \tag{21}$$

這就是全體的評估函數。決定分量 W_A 、 W_D 、 W_T 、 W_C ，以便使 E_A 、 E_D 、 E_T 、 E_C 的評估函數平衡良好地最小化。在此處單純設置 $W_A = W_D = W_C = W_T = 1$ ，設定為

$$E = E_A + E_D + E_T + E_C \tag{22}$$

實施變數的最適化計算以便將此全體的評估函數加以最小化。藉由求出最適當的解，可求出對於在各繞射次數的光像差， $f \sin \theta$ ，遠心性 (telecentric)，限條件個別成為最良好的參數值。

[從遠心性 (telecentric) 偏離時]

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 (19)

假定如第 6 圖具有 DOE 和 $f \sin \theta$ 透鏡 L，像面 I。如果 DOE 在透鏡的前焦點，以 DOE 分歧的各光束，如果僅觀察主光線，即由透鏡被准直成平行光線，形成相當於垂直像面。此時簡單地具有遠心性 (telecentric)。透鏡和前焦點的距離係 f 。後面焦點和透鏡的距離也是 f 。假定透鏡至像面距離的距離為 a 。如果 DOE 在前焦點即具有遠心性 (telecentric)，但假定從此焦點朝雷射器僅偏移 Δ 。此時考慮在像面的繞射光束的大小。第 7 圖表示 DOE 從前焦點朝前方僅偏移 Δ 的狀態。

假定 DOE 和透鏡的距離為 $a' (= \Delta + f)$ 。假定從 DOE 對於光軸以 θ 出現的光束依透鏡折射在光軸 b' 的位置交叉。假定交叉角為 θ' 。假定 h 為其光束和後面焦點面交叉點的高度。

從薄厚度透鏡的公式

$$\tan \theta' = h / (b' - f) \tag{23}$$

成立

$$(\Delta + f) - x + b' - 1 = f - 1 \tag{24}$$

從這裡形成

$$\Delta (b' - f) = f^2 \tag{25}$$

$$\tan \theta' = \Delta h / f^2 \tag{26}$$

由於沒有遠心性 (telecentric)，DOE 從前焦點偏離，因此在像面的高度 h' 從具有遠心性 (telecentric) 時的高度偏離。計算出偏離為其目的。後面焦點面和光束的交叉點，和 DOE 在前焦點時的後面焦點面和光束的交叉

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明()

點相同。此點雖然有些不容易明白，但從繞射零件朝相同角度方向出來的光線與後面焦點面交叉時全部通過相同點。所以在高度 h 點通過後面焦點面。從這裡像面僅朝 $(b-f)$ 後面偏離由於光束角度係 θ' ，因此形成

$$h' = h - (b-f) \tan \theta' \quad (27) \text{ 屬於}$$

$$h' = h \{ 1 - (b-f) \Delta / f^2 \} \quad (28)$$

它表示使 DOE 從前焦點僅 Δ 移動於物點側時，像的大小 h' 比起將 DOE 放在焦點時 ($\Delta = 0$) 的像大小 h 變較小。相反地如果使 DOE 較前焦點接近透鏡側即像 h' 增大。

在上面雖僅考慮主光線，但如果考慮具備繞射角 θ 從 DOE 出來的光束， h 或 h' 即表示 DOE 在前焦點時，和從前焦點僅移動 Δ 時的點位置。假定 j 次繞射光的的角度為 θ_j ，假定 $j+1$ 次繞射光的的角度為 θ_{j+1} ，點的間隔 d 本身也做和 (28) 完全相同的動作。

$$d_j' = d_j \{ 1 - (b-f) \Delta / f^2 \} \quad (29)$$

這表示如果將 DOE 從前焦點 ($\Delta = 0$) 朝雷射器側偏移即可減少孔間隔，如果朝透鏡側偏移即可增加孔間隔。

由於雷射光束的發散角通常不會太大，因此 a 變成非常大， b 變成接近 f 的數值。所以，公式 (29) 右邊的 $(b-f)$ 接近 0，僅管使 Δ 變化 d_j' 仍然不太會變化。此時，必需增大雷射光束的發散角。如果給與增大發散角，即減少 a ，增大 $(b-f)$ ，因此可使 Δ 變化而調整 d_j' 。

對於調整雷射光束發散角的裝置而言，單純者係透鏡。如果使用具有長的負焦點距離的透鏡，可使增大入射

五、發明說明 (21)

光束的發散角。相反地，如果是正的焦點距離的透鏡，即可使減少發散角。並且，也可作為收束光線。

對於其他裝置而言，也有光束擴展器。光束擴展器如伽里略式者係由負的焦點距離的透鏡和正的焦點距離的透鏡兩片所成。第13圖表示光束擴展器的一例。假定負透鏡的焦點距離為 $-f_1$ ，正透鏡的焦點距離為 $+f_2$ ，假定透鏡間距離為 $d=(f_2 - f_1)$ 。入射的平行光束經以 f_2/f_1 的比例放大而出射平行光束。

此時，如果將 d 設定小於 $(f_2 - f_1)$ ，出射光束即變成發散光束(第14圖)。相反地如果將 d 設定大於 $(f_2 - f_1)$ 即變成收束光束(第15圖)。因此，藉由變更透鏡間隔，可增減雷射光束的發散角。假定出射光束的半徑為 R ，透鏡間距離的變化部份為 $\delta = d - (f_2 - f_1)$ 則出射光束的發散角 Θ (半角)即由

$$\tan \Theta = R \delta / f_1 f_2 \quad (30)$$

表示。

如果，設定 $R=5\text{mm}$ ， $f_1=50\text{mm}$ ， $f_2=100\text{mm}$ ，即以 $d=50$ 變成 $f_2/f_1=2$ 倍的光束擴展器，形成

$$\tan \Theta = 0.001 \times \delta \quad (31)$$

因此，如果以 $\pm 10\text{mm}$ 的範圍調整 δ ，即可使光束的發散角以 $\pm 10\text{mrad}$ 的範圍變化。如果將從光束擴展器的出口至透鏡的距離設定為 100mm ， a 即變成 -1000mm 以下或 1000mm 以上，如果設定為 $f=100\text{mm}$ ， $(b-f)$ 即變成 $-9.1\text{mm} \sim 11.1\text{mm}$ 。因此，假定在 $\Delta=10\text{mm}$ 的範圍調整DOE的位

五、發明說明 (22)

置，即依公式(29)形成可使點間隔變化的1%。此時遠心性(telecentric)假定 $h < 25\text{mm}$ ，即依公式(26)變成 $\tan \theta' < 0.025$ ，大約以 ± 1.4 度以下充份維持遠心性(telecentric)。

對於另一個方法而言，也有設定為屏蔽轉錄光學系統的方法。如第16圖，將雷射光束入射於針孔屏蔽，依透鏡將其轉錄像成像於像面I。此時， a 變成從針孔屏蔽至透鏡的距離。這種光學系統的轉錄倍率形成 $M = b/a$ 。所以以針孔徑的 M 倍大小將點形成於像面。

同樣地，如果將DOE放在透鏡的前側焦點，被分歧的各光束即在透鏡被聚光，以既定的孔模型可實現開孔加工。依轉錄倍率 $M = b/a = f/(a-f) = (b-f)/f$ ，公式(29)的點間隔的公式可換寫為如下：

$$d_j' = d_j (1 - M \Delta / f) \quad (32)$$

例如， $a = 1100\text{mm}$ ， $f = 100\text{mm}$ 時，由於變成 $M = 0.1$ ；因此如果將針孔的直徑選擇 $\phi 1\text{mm}$ ，即可開 $\phi 0.1\text{mm}$ 的孔。此時，如果以 $\pm 10\text{mm}$ 調整 Δ ，即可以 $\pm 1\%$ 的範圍調整點的間隔。而且如果以 10mm 固定 Δ ，以 $1000 \sim 1200\text{mm}$ 的範圍移動 a ，由於倍率 M $0.11 \sim 0.09$ 變化，因此可以大約 $\pm 1\%$ 的範圍調整點的間隔。此時，孔的大小變成 $\pm 1\%$ 程度。如果想避免這種事情，只要調整針孔的孔徑即可。

對於繞射型光學零件雖可使擁有各種功能，但迄今所述的繞射型光學零件係擁有使入射光束成多數分歧的功能。由於只是分歧，因此只要入射光束是平行光即被分

五、發明說明()

岐的各光束也是平行光，只要入射光束是發散光即分歧光束也是具有相同發散角的發散光。由於照這樣即不能將分歧光束聚光於像面因此使用透鏡。亦即，分別由繞射型光學零件分擔分歧的功能而透鏡分擔聚光功能。這種繞射型光學零件的光學特性（像面的強度分佈等的分歧特性），繞射也可以所謂夫琅和費的理論記述，DOE的相位分佈和像面上的振幅分佈成立所謂以傅里葉變換表示的重要關係。因此，將這種DOE叫做夫琅和費型，或傅里葉變換型等。

但在僅具有分歧功能的夫琅和費型（傅里葉變換型）DOE具有兩個缺點。茲簡單說明有關此缺點如下：

一個是0次光的問題。也就是在DOE未被分歧而和入射光束朝同一方向進行的光線。也叫做0次繞射光（ $n=0$ ）。儘管在設計階段沒有問題，但製作成的DOE會具有製造誤差，其影響作為0次光顯著出現。為簡單起見，考慮光束點在像面上以等間隔排在一直線上的一次元分歧的情形。

假定從像面的中心以對稱方式排列奇數個點。此時，從中心依序0次繞射光， ± 1 次光， ± 2 次光---連續點。亦即，中央點是0次光。可設計DOE以便各點具有相同強度。但，如果實的DOE具有製造誤差（段差的深度誤差，模型的寬度誤差等），尤其是作為0次光的強度增減，大量出現其影響。因為想以相同的能量鑽同等大小的孔，所以0次光的強度變動成為問題。

五、發明說明 (²⁴)

一方面，被分歧的光束數係偶數時，本來不能在光軸上成點。而如同 ± 1 次光， ± 3 次光， ± 5 次光脫離中心（光軸上之點），形成間隔為2的排列點。所謂0次光係指在像面中央形成的點。等於因製造誤差而本來不應該存在的點出現。

想在印刷基板開孔時，如上述的偶數分歧，可能引起在光軸中心開不需要的孔。但，如果說開多餘的孔也無妨的話，即使用迄今所述的夫琅和費型（傅里葉變換型）的DOE也無妨。又，如上述的奇數分歧，對於0次光的位置也被開孔時，因強度的差異而孔徑具有一些差別的可能性。此時，如果說這樣不妨礙，只要使用迄今所述的夫琅和費型DOE即可。但，如果說任何孔徑均欲製成均勻且鑽不需要的孔會造成困擾時，如上述以0次光會發生問題的夫琅和費型（傅里葉變換型）DOE可以說還不夠。

另一個缺點是放大縮小的自由度低度。如依第7圖所述，在夫琅和費型DOE仍藉由從透鏡前焦點使DOE朝前後變位而可放大縮小在像面的模型。但，那是因為如看公式(29)即可明白， $(b-f)$ 不太大。或因為在公式(32) M 小。如前雖可以擴展器的調整來增大 $(b-f)$ ，或以變更屏蔽的位置來增大 M ，但對於實際的光學系統而言具有限度。而且，如果過於增大DOE的變位 (Δ) 即等於破壞遠心性（telecentric）。因此，在琅和費型DOE時，不能大幅度地的放大縮小。

五、發明說明()

於是為了消除 0 次光的問題及擴大放大縮小的自由度，並不使用夫琅和費型（傅里葉變換型），而是使用佛涅爾型的 DOE 變成有用。

在這裡，說明有關佛涅爾型 DOE。它也許可以說是夫琅和費型 DOE 上追加聚光透鏡的功能。當然實際上並不是具有聚光透鏡，而是在 DOE 的功能中編入透鏡的作用。由於具有透鏡功能因此 DOE 並不是單純地分歧（焦點距離無限大），而是產生以有限焦點距離收束或發散的繞射光。亦即，所謂有限焦點距離的 DOE 就是佛涅爾型 DOE 的特性。

第 18 圖係說明通常夫琅和費型 DOE 繞射的圖。由於入射光束係平行光，因此所有次數的繞射光以平行光從 DOE 出現。為簡單起見，在這裡只描寫三個繞射光，但實際上以外也出現繞射光。對於僅分歧平行的入射光束，重要的各分歧光束也是平行光。

第 19 圖係說明佛涅爾型 DOE 繞射的圖。雖然收束光（正功率），發散光（負功率）任何一種都可以，但在這裡說明收束光的情形。在此佛涅爾型 DOE 所有的次數繞射光並不是平行光而是形成收束光。收束點在垂直於光軸的共同的平面（聚焦平面）上。此平面和光軸的交叉點就是焦點。

即是不是透鏡或鏡片卻具有焦點也許會覺得奇怪，但在所謂繞射光收束之點的意義上仍然可以說明焦點。不僅是擁有如此折射力的情形也可能有具備發散型負折射力

五、發明說明 (26)

的佛涅爾型 DOE。

所謂有限焦點距離的繞射型光學零件也許不容易思考，但後面會說明。首先茲說明有關如果使用有限焦點距離的 DOE 即可解決剛才所述的問題。

因為 DOE 本身擁有有限的焦點距離（無論正或負均可） f_1 ，所以被分歧的 1 次、2 次、-----、 n 次的各光束即在 DOE 的後方 f_1 的位置收束。如果將銀幕放在 DOE 的後方 f_1 的地方，0 次繞射光， ± 1 次， ± 2 次，-----的繞射光將等間隔點形成於像面。任何次數的繞射光至收束點的距離都是相同 f_1 。但由於 0 次光（由於上述分歧的 0 次繞射光被繞射而收束，因此和在這裡所謂 0 次光不同）本來未被 DOE 繞射因此和入射光相同照舊是平行光。亦即焦點距離處於無限遠。0 次光不會成像於 f_1 的銀幕。所以 0 次光不形成點。這就是和以透鏡聚光的傅里葉型 DOE 時的 0 次光絕對不同之點。而用於印刷基板的鑽孔時，0 次光不具備燒掉基板之集中的功率。所解決 0 次光的問題，這種情形僅使用 DOE 可成立使用透鏡也相同成立。總之 0 次光都不會造成問題。

較 0 次光問題，另外佛涅爾型 DOE 優良之點，在於增加放大縮小的自由度。以單獨 DOE 而言不會產生這種自由度。但藉由組合透鏡而可達成放大縮小。假定 DOE 的焦點距離為 f_1 ，假定組合此距離的透鏡焦點距離為 f_2 。

在第 20 圖表示組合佛涅爾型 DOE 和 $f \sin \theta$ 透鏡的光學系統。如果以這種配置裝設 DOE 和透鏡，藉由改變透鏡

五、發明說明 (27)

，DOE 間的時間可達成放大縮小。在第 20 圖假定 DOE 和 $f \sin \theta$ 透鏡的距離為 $f_2 - \Delta$ 。假定 $f \sin \theta$ 透鏡和像面的距離為後焦點 B_f 。

在這裡依第 21 圖對於 2 透鏡系統（薄厚度透鏡）的焦點，焦點距離，主點等說明一般的定義。第 1 透鏡 L_1 假定擁有焦點距離 f_1 。前焦點係 F_1 後焦點係 F_1' 。如果假定 L_1 的透鏡中心（由於薄厚度的透鏡因此前側，後側都相同）為 O_1 ，即形成 $O_1 F_1 = O_1 F_1' = f_1$ 。假定第 2 透鏡 L_2 擁有焦點距離 f_2 。前焦點係 F_2 後焦點係 F_2' 。假定 L_2 透鏡中心為 O_2 ，即形成 $O_2 F_2 = O_2 F_2' = f_2$ 。假定在光軸 $O_1 O_2$ 上透鏡 L_1 、 L_2 僅離開距離 e 則光軸 $O_1 O_2$ 上的物體 S_1 因 L_1 而成像在 S_2 。假定 S_2 因 L_2 產生的像產生 S_3 。在透鏡 L_1 ，假定從前焦點 F_1 至物點 S_1 的距離為 u ，假定從後焦點 F_1' 至像點 S_2 的距離為 v 。在透鏡 L_2 ，假定從前焦點 F_2 至像點 S_2 的距離為 u' ，假定從後焦點 F_2' 至像點 S_3 的距離為 v' 。 L_1 的後焦點 F_1' 和 L_2 的前焦點 F_2 的距離假定 δ 。即形成 $\delta + f_1 + f_2 = e$ 。

從薄厚度透鏡的公式形成

$$(u + f_1)^{-1} + (v + f_1)^{-1} = f_1^{-1} \quad (33)$$

因此形成

$$uv = f_1^2 \quad (34)$$

從焦點測定的距離乘積和焦點距離的二次方相同是熟知的性質。同樣地對於第 2 透鏡 L_2 也具有所謂

五、發明說明 (28)

$$u'v' = f_2^2 \quad (35)$$

的性質。並且賦與拘束條件。

$$v + u' = \delta \quad (36)$$

假定合成兩個透鏡時的前焦點為 P_1 。這是藉由通過 P_1 ，通過 L_1 ， L_2 的出射光束在無限遠 (v' 無限大) 成像而定義。由於從公式 (35) 變成 $u' = 0$ ，因此從公式 (36) 形成當時 $v = \delta$ 。從公式 (34) 前焦點 P_1 (假定 U_1) 形成

$$u_1 = f_2^2 / \delta \quad (37)$$

假定合成兩個透鏡時的後焦點為 P_2 。和光軸平行的光束 (從無限遠來的光束) 通過 L_1 、 L_2 再通過光軸上的點 P_2 時將此點叫做後焦點。由於從公式 (34) 形 $V = 0$ ，因此從公式 (36) 形成當時 $u' = \delta$ 。從公式 (35) 後焦點 P_2 (假定 v_1') 係

$$v_1' = f_2^2 / \delta \quad (38)$$

在複合透鏡系統定義所謂主面，透鏡中心 H 。這是假定存在於該處的物體成像的倍率定義為 1 的點。這種事情也許略不容易明白但因為係焦點距離的定義所需要的概念而必需理解。依 L_1 的像倍率是 f_1 / u 。

因為，依公式 (34) 而形成

$$\text{倍率 } (f_1 + v) / (f_1 + u) = v / f_1 = f_1 / u \quad (39)$$

依 L_2 的像倍率係 v' / f_2 。乘以此倍率者係兩個透鏡的倍率以在透鏡中心 H ，主面而言由於將此倍率定義為 1，因此形成

五、發明說明 (29)

$$f_1 v_H' / f_2 u_H = 1 \quad (40)$$

後端附加的 H 表示所謂透鏡中心。從公式 (34)、(35)、(36),

$$v_H' = f_2 (f_1 + f_2) / \delta \quad (41)$$

$$u_H = f_1 (f_1 + f_2) / \delta \quad (42)$$

在兩個透鏡的合成系統，焦點距離 Φ ，被定義為從前透鏡中心至前焦點的距離（從後透鏡中心至後焦點也是同值）。

$$\Phi = u_1 - u_H = \frac{f_1^2}{\delta} - \frac{f_1(f_1 + f_2)}{\delta} = -\frac{f_1 f_2}{\delta} \quad (43)$$

在此處係 $\delta = e - f_1 - f_2$ 。透鏡的間隔係 e 。以下的話也許具有這種準備才能理解。

在第 20 圖假定 DOE 和透鏡的前側透鏡中心的距離為 d 。這距離和 e 相同。只要 DOE、透鏡的間隔 d 是 f_2 ($e = f_2$) 整個系統的焦點距離即和透鏡的焦點距離 f_2 相同。因為 $e = f_2$ ，所以 $\delta = -f_1$ ，公式 (43) 的 Φ 變成 f_2 。

但 DOE、透鏡間的距離並非剛好是 f_2 ，而是假定 $f_2 - \Delta$ 。亦即 DOE 不是 f_2 ，假定較它僅 Δ 接近透鏡。因為 $e = f_2 - \Delta$ ，所以形成 $\delta = -f_1 - \Delta$ 。將它代入公式 (43) 則合成焦點距離 f (取代 Φ 寫成 f) 變成

$$f = f_1 f_2 / (f_1 + \Delta) \quad (44)$$

(A) 如果是 $\Delta = 0$ 即是 $f = f_2$ 。它表示 DOE 在透鏡前側焦點的情形。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 (30)

(B) $\Delta > 0$ 時，亦即使 DOE 接近透鏡時，

如果是 $f_1 > 0$ (正透鏡) 即是 $f < f_2$ (45)

如果是 $f_1 < 0$ (負透鏡) 即是 $f > f_2$ (46)

(C) $\Delta < 0$ 時，亦即從透鏡離開 DOE 時，

如果是 $f_1 > 0$ (正透鏡) 即是 $f > f_2$ (47)

如果是 $f_1 < 0$ (負透鏡) 即是 $f < f_2$ (48)

因此藉由從 f_2 偏移 DOE 和透鏡的間隔，變化 f 。如果變化 f 即放大縮小在像面的模型。亦即依 f 決定倍率，但可依 f 的變化使模型的倍率變化。

例如，假定 $f_1 = 500\text{mm}$ ， $f_2 = 100\text{mm}$ 。

如果是 $\Delta = 0\text{mm}$ ，即是 $f = 100\text{mm}$ (49)

如果是 $\Delta = +10\text{mm}$ ，即是 $f = 98\text{mm}$ (50)

如果是 $\Delta = -10\text{mm}$ ，即是 $f = 102\text{mm}$ (51)

由於整個系統的焦點距離改變 $\pm 2\%$ ，因此等於倍率也變動 $\pm 2\%$ 。此時如果使用後述公式 (52) 計算後焦點，即僅變動 0.8mm 。由於像面的移動這麼微小，因此透鏡的工件面的距離調整 (調整焦點) 一些即可。

想在這裡說明使用透鏡時的 0 次光的問題。在第 20 圖將透鏡的後側透鏡中心和像面 (工件面：例如印刷基板的面) 的距離叫做後焦點 B_f 。因為平行光進入第 1 透鏡所以像面變成後焦點 v_1' (公式 38)。因為它是從 f_2 測定而得所以如果從第 2 透鏡的後側透鏡中心測定即變成 $v_1' + f_2 = B_f$ 。即是

$$B_f = f_2 \{ 1 - f_2 / (f_1 + \Delta) \}$$
 (52)

五、發明說明 (31)

透鏡使 0 次光 (平行光) 聚光於後方的 f_2 位置。但使繞射光聚光於 B_f 的位置。繞射光和 0 次光在前後僅偏離

$$s = f_2 - B_f = f_2^2 / (f_1 + \Delta) \quad (53)$$

亦即表示繞射光和 0 光在前後分離。

如果將像面亦即工件 (例如印刷基板) 面調整於 B_f 的位置, 0 次光即被它朝後方僅偏離 s 。因為 0 次光不會在像面成像所以幾乎沒有功率。亦即不在 0 次的位置產生點。例如假定 $f_1 = 1000\text{mm}$, $f_2 = 100\text{mm}$, 在 $\Delta = -10\text{mm} \sim +10\text{mm}$ 的範圍, 變成 $s = 10\text{mm}$ 。

本發明的新穎點在於組合 DOE 和 $f \sin \theta$ 透鏡開印刷基板孔之處。對於 DOE 本身也有進行研究, 也就是利用佛涅爾型 DOE。必需弄明白和傅里葉型 (夫琅和費型) 的 DOE 有什麼差別。首先說明夫琅和費型 DOE。

在第 18 圖, 假定從左邊入射波長 λ 的單色平面波 $a(x, y) \exp(jkz - j\omega t)$ 。所謂平面波係依 $\exp(jkz - j\omega t)$ 所表現。假定進行方向為 z 方向時, 在任意的 xy 面的相位相同的波。因為相位在 xy 面相同所以波面當然和 xy 面平行。振幅 $a(x, y)$ 當然不包括 z 或 t 。 k 係叫做波數其為 $2\pi / \lambda$ 。 ω 係角振動數, 而 $\omega = 2\pi f = 2\pi c / \lambda$ 。

DOE 係平板形其穿透率的絕對值雖是 1 但穿透的波相位以 $2\pi / 2^m$ (m 係整數) 刻度形成局部不同。DOE 可以說是調變穿透光相位的元件。於是依 $t(x, y)$ 表現穿透光的相位調變分佈。那是如所謂 $t(x, y) = \exp(j\phi(x, y))$ 的函數。絕對值雖是 1 但僅改變相位。因為平面波朝 z

五、發明說明 (32)

方向筆直前進所以穿透 DOE 時的 (x、y) 面的波動函數 Ψ (x、y) 變成

$$\Psi(x, y) = a(x, y) t(x, y) \quad (54)$$

傅里葉型 DOE 時通常在 $t(x, y)$ 包括規則正確的重複要素。形成以實際空間周期 Λ 重複相同的模型。

假定在 DOE 的正後面放置中心厚度 D ，焦點距離 f 的聚光透鏡。假定聚光透鏡為 (x、y) 面厚度為 $q(x, y)$ ，因透鏡筆直前進的相位變化等於 $kD + k(n-1)q(x, y)$ 。 n 係透鏡折射率。亦即如果以波動函數來說即表示乘以 $\exp[jkD] \exp\{jk(n-1)q(x, y)\}$ 。

如果屬於球面透鏡即可依焦點距離 f 簡單置換 $q(x, y)$ 。假定在透鏡前面，後面的物界側以凸為正的曲率半徑為 $\rho_1 - \rho_2$ 時，雖然是

$$f^{-1} = (n-1)(\rho_1^{-1} - \rho_2^{-1}) \quad (55)$$

但從幾何學的研究看來，應形成

$$q(x, y) = (\rho_1^2 - r^2)^{1/2} + (\rho_2^2 - r^2)^{1/2} - \rho_1 + \rho_2 + D \quad (56)$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (57)$$

但 D 係在中心 $r=0$ 的透鏡厚度。

在所謂 r/ρ_1 、 r/ρ_2 更小於 1 的近似範圍 $q(x, y)$

形成

$$q(x, y) = D - (r^2/2) \{ (1/\rho_1) + (-1/\rho_2) \} \quad (58)$$

結果從公式 (55) 形成

$$kD + k(n-1)q(x, y) = knD - kr^2/2f = knD - k(x^2 + y^2)/2f \quad (59)$$

五、發明說明 (33)

亦即將聚光透鏡放在 DOE 的後面表示對於 (x、y) 的波面提供相位延遲。在透鏡面的相位 $U(x、y)$

$$\begin{aligned} U(x,y) &= \Psi(x,y)\exp[jkD]\exp\{jk(n-1)q\} \\ &= a(x,y)t(x,y)\exp[jknD]\exp\left\{-\frac{jk(x^2+y^2)}{2f}\right\} \end{aligned} \quad (60)$$

將像面 (工件) 放在 DOE 的後面 f 的距離。為和在透鏡 x 、 y 有所區別將像面的 (x、y) 座標假定 (ξ 、 η)。

依惠亨斯的原理，依在 (x、y) 的波動函數，對於在像面 (ξ 、 η) 之點的波動函數的貢獻，係乘以 $\exp\{jks\}$ 和面積 $dx dy$ 除以 $j\lambda f$ 者。但 s 係透鏡面 (x、y) 和像面 (ξ 、 η) 的距離。

$$\frac{U(x,y)\exp(jks)dx dy}{j\lambda f} \quad (61)$$

s 係透鏡面的一點和像面的一點之距離，雖然是

$$s^2 = f^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 \quad (62)$$

但因為 f 方面較 x 、 y 方向的長度長，所以可設近似

$$s = f + \frac{x^2 + y^2}{2f} + \frac{\xi^2 + \eta^2}{2f} - \frac{x\xi + y\eta}{f} \quad (63)$$

由於在像面 (ξ 、 η) 點的波動函數 (ξ 、 η) 依 x 、 y 藉由在透鏡面積分而可獲得，因此變成

$$\begin{aligned} V(\xi,\eta) &= \frac{1}{j\lambda f} \iint U(x,y)\exp(jks)dx dy \\ &= \frac{1}{j\lambda f} \iint a(x,y)t(x,y)\exp\left\{-\frac{jk(x^2+y^2)}{2f}\right\}\exp\left\{jk\left(f + \frac{x^2+y^2}{2f} + \frac{\xi^2+\eta^2}{2f} - \frac{x\xi+y\eta}{f}\right)\right\}dx dy \\ &= \frac{1}{j\lambda f} \exp\left\{\frac{jk(\xi^2+\eta^2)}{2f}\right\} \iint a(x,y)t(x,y)\exp\left\{-\frac{jk(x\xi+y\eta)}{f}\right\}dx dy \end{aligned} \quad (64)$$

五、發明說明 (34)

(省略公式 (60) 的 $\exp[jknD]$ 的項目) 而公式 (64) 表示傅里葉變換。亦即假定任意的函數 $n(x、y)$ 的傅里葉變換為 $H(\xi、\eta)$ 如果定義如下，即變成所謂

$$H(\xi,\eta)=\frac{1}{j\lambda f}\iint h(x,y)\exp\left\{\frac{-2\pi j(\xi x+\eta y)}{\lambda f}\right\}dxdy \tag{65}$$

$$V(\xi,\eta)=\left[\exp\left\{\frac{jk(\xi^2+\eta^2)}{2f}\right\}\right]\left\{AT\left(\frac{\xi}{\lambda f},\frac{\eta}{\lambda f}\right)\right\} \tag{66}$$

所謂 AT 係指 at 的乘積的傅里葉變換 (它變成 a 的傅里葉變換和 t 的傅里葉變換的結合式) 。

雖將強力的脈衝雷射作為光源使用，但所謂 $a(x、y)$ 係指在高斯頻響光束之強度的 $(x、y)$ 面的變化。由於它較 DOE 模型 $t(x、y)$ 變化率小，因此在 DOE 的積分的範圍可假定所謂 $a(x、y)=1$ 。在實際的設計只要加入光束的強度分佈計算即可。因為在這裡的目的是大略說明 DOE，所以將計算簡化。在這種簡易的假定，變成

$$V(\xi,\eta)=\left[\exp\left\{\frac{jk(\xi^2+\eta^2)}{2f}\right\}\right]\left\{T\left(\frac{\xi}{\lambda f},\frac{\eta}{\lambda f}\right)\right\} \tag{67}$$

V 雖是振幅分佈，但如開孔時，重要的是強度分佈。公式 (67) 的絕對值二次方提供強度分佈。如果計算二次方即公式 (67) 的 [...] 部份消失。那是

$|V(\xi,\eta)|^2=|T(k\xi/f,k\eta/f)|^2$ 。亦即在像面的強度模型，等於以 $t(x、y)$ 的傅里葉變換求出。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

五、發明說明 (35)

由於在 DOE 的函數 $t(x, y)$ 具有周期構造因此如所謂 $\pm n$ 次繞射 ($n=0, 1, 2, \dots$) 光束被分歧。假定 x 方向擁有空間周期 Λ_x , y 方向也有空間周期 Λ_y , 即要求所謂

$$t(x, y) = t(x + m\Lambda_x, y + l\Lambda_y) \quad (68)$$

$$m, l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (69)$$

但在以後的積分或計算因為可獨立實施所以不會有 Λ_x 、 y 混合之虞, 為將公式形態略加以單純化因此省略後端附加之 x, y 來表示。有時 Λ_x 和 Λ_y 相同有時不相同。但以皆為寫成 Λ 。但並不是說相同。

結果 $t(x, y)$ 的傅里葉變換, 變成

$$\begin{aligned} T(\xi, \eta) &= \frac{1}{j\lambda f} \iint t(x, y) \exp\left\{\frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f}\right\} dx dy \\ &= \frac{1}{j\lambda f} \sum \sum \exp\left\{\frac{-2\pi j(\xi m\Lambda + \eta l\Lambda)}{\lambda f}\right\} \int' \int' t(x, y) \exp\left\{\frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f}\right\} dx dy \quad (70) \end{aligned}$$

但 Σ 表示對於 m, l 係將有關模型的重複數全部加入。所謂 $\int' \int'$ 表示僅一個基本模型 ($\Lambda \times \Lambda$) 的內部 $\int$ 。假定它為 $s(\xi, \eta)$ 。

$$s(\xi, \eta) = \frac{1}{j\lambda f} \int' \int' t(x, y) \exp\left\{\frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f}\right\} dx dy \quad (71)$$

它因模型的設計而具有多樣的變化。所謂 DOE 的設計盡在其中。亦即, 繞射本身雖和相位分佈全體關聯而引起, 但在傅里葉變換型時, 因基本模型形成重複多次的重複結構, 因此僅對於其一同步部的相位分佈的傅里葉變換 $s(\xi, \eta)$ 的計算可加以單純化。

$$T(\xi, \eta) = \sum \sum \exp\{-j2\pi(\xi m\Lambda + \eta l\Lambda) / \lambda f\} s(\xi, \eta) \quad (72)$$

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 (36)

假定基本模型 ($\Lambda \times \Lambda$) 僅在 x 方向有 k , y 方向有 H ,
即和 s (ξ 、 η) 無關係可累計 , 因此變成

$$T(\xi, \eta) = \frac{s(\xi, \eta) \sin\left(\frac{\pi K \xi \Lambda}{\lambda f}\right) \sin\left(\frac{\pi H \eta \Lambda}{\lambda f}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \xi \Lambda}{\lambda f}\right) \sin\left(\frac{\pi \eta \Lambda}{\lambda f}\right)} \quad (73)$$

它表現離散的繞射點。那是為什麼呢？
對於 x 方向 , ξ 不是 $\lambda f / \Lambda$ 的整數倍時 , $|\sin(\pi k \xi \Lambda / \lambda f) / \sin(\pi \xi \Lambda / \lambda f)|$ 的數值較 k 只是變成小值。但 ξ 係 $\lambda f / \Lambda$ 的整數倍時此值即變成 k 。對於 y 方向也是
僅 η 在 $\lambda f / \Lambda$ 的整數倍時 $|\sin(\pi H \eta \Lambda / \lambda f) / \sin(\pi \eta \Lambda / \lambda f)|$ 才變成 H 。這表示 T (ξ 、 η) 係在 ξ 為 $\lambda f / \Lambda$ 的
整數倍 , η 係僅 $\lambda f / \Lambda$ 的整數倍點 (ξ 、 η) 才擁有有限
值 , 以外幾乎都是 0 。它表示以在傅里葉變換型 DOE 相
位分佈被重複。

藉由將印刷基板的孔間隔決定為 $\lambda f / \Lambda$ 可依雷射光同
時鑽多數的孔。

以上的話係關於傅里葉變換型 (夫琅和費型) DOE 。
茲說明有關佛涅爾型 DOE 如下 :

第 19 圖表示佛涅爾型 DOE 。假定平面波的振幅為 a (x 、
y) , 假定依 DOE 穿透後的振幅為 t (x 、 y) 。和公式 (54)
相同通過 DOE 後的光線波動函數 Ψ (x 、 y) 依這些積所提
供。

五、發明說明 (37)

$$\Psi(x, y) a(x, y) t(x, y) \quad (74)$$

由於 DOE 本身具有聚光作用因此不放置聚光透鏡。結果僅 f 在後方像面的波動函數 (ξ, η) ，變成

$$V(\xi, \eta) = \frac{1}{j\lambda f} \iint \Psi(x, y) \exp(jks) dx dy \quad (75)$$

s 係 DOE 背後的 (x, y) 和像面的 (ξ, η) 的距離。

$$s^2 = f^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 \quad (76)$$

$$\begin{aligned} V(\xi, \eta) &= \frac{1}{j\lambda f} \iint a(x, y) t(x, y) \exp\left\{jk\left(f + \frac{x^2 + y^2}{2f} + \frac{\xi^2 + \eta^2}{2f} - \frac{x\xi + y\eta}{f}\right)\right\} dx dy \\ &= \frac{1}{j\lambda f} \left[\exp\left\{\frac{jk(\xi^2 + \eta^2)}{2f}\right\} \right] \iint a(x, y) t(x, y) \exp\left\{\frac{jk(x^2 + y^2)}{2f}\right\} \exp\left\{-\frac{jk(x\xi + y\eta)}{f}\right\} dx dy \quad (77) \end{aligned}$$

與傅里葉型比較因為佛涅爾型時沒有透鏡，所以 $\exp\{jk(x^2 + y^2)/2f\}$ 的項目額外包括於積分中。

在這裡也為簡單說明如果事先設置 $a(x, y) = 1$ ，即假定 $t(x, y) \exp\{jk(x^2 + y^2)/2f\}$ 的傅里葉變換為 $T(\xi/\lambda f, \eta/\lambda f, f)$ 變成

$$V(\xi, \eta) = \left[\exp\left\{\frac{jk(\xi^2 + \eta^2)}{2f}\right\} \right] \left\{ T\left(\frac{\xi}{\lambda f}, \frac{\eta}{\lambda f}\right) \right\} \quad (78)$$

但 $t(x, y) \exp\{jk(x^2 + y^2)/2f\}$ 的傅里葉變換如欲擁有周期構造，即不能用夫琅和費型 DOE 的所謂

$$t(x, y) = t(x + m\Lambda_x, y + l\Lambda_y) \quad (68)$$

$$m, l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (69)$$

的單純周期構造。包括 $\exp\{jk(x^2 + y^2)/2f\}$ 者必需擁有周期構造。雖然有些不容易瞭解，但是這種事情。

五、發明說明 (38)

取代公式 (68)，成立

$$t(x, y) \exp \left\{ \frac{jk(x^2 + y^2)}{2f} \right\} \\ = t(x + m\Lambda_x, y + l\Lambda_y) \exp \left[\frac{jk \left\{ (x + m\Lambda_x)^2 + (y + l\Lambda_y)^2 \right\}}{2f} \right] \quad (79)$$

$$m, l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (80)$$

結果 $t(x, y) \exp \{jk(x^2 + y^2)/2f\}$ 的傅里葉變換 $s(\xi, \eta)$ 等於

$$S(\xi, \eta) = \frac{1}{j\lambda f} \iint t(x, y) \exp \left\{ \frac{jk(x^2 + y^2)}{2f} \right\} \exp \left\{ \frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f} \right\} dx dy \\ = \frac{1}{j\lambda f} \sum \sum \exp \left\{ \frac{-2\pi j(\xi m\Lambda_x + \eta l\Lambda_y)}{\lambda f} \right\} \iint t(x, y) \exp \left\{ \frac{jk(x^2 + y^2)}{2f} \right\} \exp \left\{ \frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f} \right\} dx dy \quad (81)$$

$\int' \int'$ 係在單位模型內的積分。變成所謂

$$\sigma(\xi, \eta) = \frac{1}{j\lambda f} \int' \int' t(x, y) \exp \left\{ \frac{jk(x^2 + y^2)}{2f} \right\} \exp \left\{ \frac{-2\pi j(\xi x + \eta y)}{\lambda f} \right\} dx dy \quad (82)$$

$$S(\xi, \eta) = \frac{\sigma(\xi, \eta) \sin \left(\frac{\pi K \xi \Lambda_x}{\lambda f} \right) \sin \left(\frac{\pi H \eta \Lambda_y}{\lambda f} \right)}{\sin \left(\frac{\pi \xi \Lambda_x}{\lambda f} \right) \sin \left(\frac{\pi \eta \Lambda_y}{\lambda f} \right)} \quad (83)$$

單位模型內的傅里葉變換 $s(\xi, \eta)$ ，變成 $\sigma(\xi, \eta)$ 是容易理解的事情。但由於 DOE 要求如公式 (79) 的周期條件因此佛涅爾型 DOE 的設計，較夫琅和費型 DOE 變成

五、發明說明 (39)

困難。亦即從公式 (79) 對於任意的整數 m 、 l 要求如所謂

$$\begin{aligned} & t(x+m\Lambda_x, y+l\Lambda_y) \\ &= t(x,y)\exp\left\{-\frac{jk(mx\Lambda_x+ly\Lambda_y)}{f}\right\}\exp\left\{-\frac{jk(\Lambda_x^2m^2+\Lambda_y^2l^2)}{2f}\right\} \end{aligned} \quad (84)$$

的不規則周期條件。因為這不是相同模型的重複所以 DOE 的製作也變成困難。但在佛涅爾型 DOE 具有所謂避免 0 次光問題，及擴展像放大縮小範圍的作用。

但在 DOE 沒有所謂靈活性的難題，在佛涅爾型 DOE 也相同。

因為這樣，和檢流計鏡方式混合的本發明方式才能靈活地因應廣泛用途。這是兼備高速性，靈活性的卓越發明。如第 12 圖，依回轉圓板實施 DOE 和檢流計鏡之兩種方式的轉換時，如果採用佛涅爾型 DOE，於轉換為檢流計鏡時設定和佛涅爾型 DOE 同一焦點距離的透鏡。

[實施例]

[實施例 1 (夫琅和費型 (傅里葉型) DOE)]

在這裡，表示夫琅和費型 DOE 的實施例。這是僅具有分歧功能的 DOE。因為以夫琅和費型繞射理論上可以處理所以叫做夫琅和費型。因為那是 DOE 的相位分佈的傅里葉變換可以定型化所以也叫做傅里葉型。如果特地考慮所謂 DOE 的焦點距離因為其焦點距離是無限大，所以不可缺少透鏡。首先說明作為聚光透鏡的 DOE 時 $f \sin \theta$ 透鏡最適合。於是在這裡使用 $f \sin \theta$ 透鏡。因為 $f \sin \theta$ 透鏡本身新穎所以不能使用市售的 $f \sin \theta$ 透鏡。因為沒

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

五、發明說明 (⁴⁰)

有那樣的東西所以不必需從 $f \sin \theta$ 透鏡的設計開始。

[DOE 的設計]

周期 $192.308 \mu m$ ，繞射次數 $n=0、1、2、3、4、5$

在放置於焦點位置的印刷基板上如以 $5mm$ 間隔開 5 個孔的模型。

[$f \sin \theta$ 透鏡的設計]

(A) 初期透鏡設定

○ 透鏡片數 2 片 材質 鋅 硒 (折射率 2.403)

第 1 透鏡 第 1 面、第 2 面均球面

第 2 透鏡 第 1 面球面、第 2 面非球面

○ 波長 $10.6 \mu m$

○ 入射瞳孔位置 自第 1 透鏡第 1 面起至物界面 $50mm$

○ F 編號 6

○ 繞射格子 周期 $192.308 \mu m$ ，繞射次數 $n=0、1、2、3、4、5$

○ 出射角度 0 度，遠心性 (Telecentric)

(B) 變數設定

假定各面的曲率半徑，厚度 (間隔)，非球面係數，像面位置為變數。

(C) 限制條件

○ 焦點距離 $f_2 = 127mm$

○ 透鏡厚度 $3.5mm$ 以上 $15mm$ 以下

五、發明說明 (41)

[表 3]

$f \sin \theta$ 透鏡的數據

透鏡編號	面編號	曲率半徑 (mm)	厚度、間隔 (mm)	折射率
L1	S1	-31.119	5.650	2.403
	S2	-35.100	65.255	
L2	S3	392.630	9.504	2.403
	S4	表 4	147.661	

[表 4]

$f \sin \theta$ 透鏡的非球面數據

面編號	S4	非球面係數	
1/c (mm)	-351.089	α_2	5.876×10^{-9}
k	-4.352	α_3	2.959×10^{-12}
		α_4	-1.466×10^{-15}
		α_5	2.702×10^{-19}

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂線

五、發明說明()

42

使用此透鏡和前述 $f\theta$ 透鏡從事在印刷基板鑽 5mm 間隔孔的實驗。低次繞射的孔間隔雖是 5mm，但在 $f\theta$ 透鏡如果變成高次即增大孔間隔因此 5 次的孔位置變成 25.26mm。一方面， $f\sin\theta$ 透鏡時，係 25.00mm。在印刷基板的孔間隔所要求的精度係 $\pm 20\mu\text{m}$ 。在 5 次的誤差具有 $260\mu\text{m}$ 的 $f\theta$ 透鏡不能利用。在 $f\sin\theta$ 透鏡時可利用於未滿 $\pm 20\mu\text{m}$ ，高次繞射光的開孔。

[表5]

由 $f\theta$ 透鏡和 $f\sin\theta$ 透鏡使 DOE 繞射光繞射時依
5 次繞射光在像面的孔位置

	目標值	$f\theta$ 透鏡時之場合	$f\sin\theta$ 透鏡時之場合
孔位置	25mm	25.26mm	25.00mm
誤差	—	$+260\mu\text{m}$	$0\mu\text{m}$

第 8 圖係表示假定點間隔為 0.5mm 時測定從前焦點朝雷射器側僅偏離 DOE Δ 時的間隔變化結果的圖。在此處係 $a=3302\text{mm}$ ， $b=132\text{mm}$ ， $f=127\text{mm}$ ， $M=0.04$ 。橫軸係 Δ (mm)，縱軸表示間隔 (mm)。雖是微小的範圍，但可微調孔間

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

五、發明說明 (⁴³)

隔。只要以不破壞遠心性 (Telecentric) 的程度進行調整即可。

[實施例 2 (佛涅爾型 DOE)]

對於僅具有分歧功能的夫琅和費型，使具備聚光功能 (有限的焦點距離) 的 DOE 也被重新創作。它叫做佛涅爾型的 DOE。亦即如以一個 DOE 實施在傅里葉型的通常繞射零件上組合透鏡作用的元件。使用這種 DOE 的優點如已經說明具有兩點。一點是可消除 0 次光的影響。另一點是調整 DOE 的位置可實施像的放大縮小。

因為 DOE 本身擁有有限的焦點距離所以即使沒有聚光透鏡，仍可將繞射像映出於放在其焦點距離位置的銀幕。但，因為只有這些不能在加工區內實施統一開孔加工 (也必需是遠心性 (Telecentric))，所以佛涅爾型 DOE 時也在正後面設置聚光透鏡。此時的透鏡用 $f \sin \theta$ 透鏡最適合。

雖然如此，但和在夫琅和費型 DOE 最適合的 $f \sin \theta$ 不同。由於佛涅爾型 DOE 產生收束性 (f 正) 或發散性 (f 負) 的繞射光束，因此如果使用適合夫琅和費型的 $f \sin \theta$ 即發生像面彎曲而不理想。佛涅爾型 DOE 時必需設計因 DOE 的焦點距離 f_1 而異的新穎 $f \sin \theta$ 。

以檢流方式使用此 $f \sin \theta$ 透鏡時，取代佛涅爾型 DOE 使用 and 它相同焦點距離 f_1 的透鏡。

[DOE 的設計]

DOE 係將焦點距離設定為 $f_1 = -500 \text{ mm}$ 的負功率。

五、發明說明 (⁴⁴)

周期 $192.308 \mu m$ ，繞射次數 $n=0、1、2、3、4、5$

如在放置於焦點位置的印刷基板上以 $5mm$ 間隔開 5 個孔的模型。

[$f \sin \theta$ 透鏡的設計]

(A) 初期透鏡設定

○ 透鏡片數 2 片 材質 鋅 硒 (折射率 2.403)

第 1 透鏡 第 1 面 非球面、第 2 面 球面

第 2 透鏡 第 1 面 球面、第 2 面 非球面

○ 波長 $10.6 \mu m$

○ 入射瞳孔位置 自第 1 透鏡第 1 面起至物界側 $50mm$

○ F 編號 6

○ 繞射格子 周期 $192.308 \mu M$ ，繞射次數 $n=0、1、2、3、4、5$

○ 出射角度 0 度，遠心性 (Telecentric)

(B) 變數設定

假定各面的曲率半徑，厚度 (間隔)，非球面係數，像面位置為變數。

(C) 限制條件

○ 焦點距離 $f_2 = 127mm$

○ 透鏡厚度 $3.5mm$ 以上 $15mm$ 以下

(D) 設計結果

五、發明說明 (45)

[表 6]

$f \sin \theta$ 透鏡的數據

透鏡編號	面編號	曲率半徑 (mm)	厚度、間隔 (mm)	折射率
L1	S1	表 7	5.478	2.403
	S2	-37.034	68.782	
L2	S3	1962.525	10.740	2.403
	S4	表 8	179.560	

[表 7]

$f \sin \theta$ 透鏡的非球面數據

面編號	S1	非球面係數	
1/c (mm)	-33.041	α_2	1.855×10^{-7}
k	0.059	α_3	-1.974×10^{-10}
		α_4	6.943×10^{-13}
		α_5	-1.716×10^{-16}

[表 8]

$f \sin \theta$ 透鏡的非球面數據

面編號	S4	非球面係數	
1/c (mm)	-204.464	α_2	-1.024×10^{-8}
k	-1.717	α_3	-3.485×10^{-12}
		α_4	1.877×10^{-15}
		α_5	-3.008×10^{-19}

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂 線

五、發明說明 (46)

使用此透鏡和前述 $f\theta$ 透鏡從事在印刷基板上鑽 5mm 間隔孔的實驗。第 17 圖表示依佛涅爾型 DOE $f\sin\theta$ 透鏡的實驗系統。

低次繞射的孔間隔雖是 5mm，但在 $f\theta$ 透鏡如果達到高次即增大孔間隔因此次的孔位置變成 25.26mm。一方面， $f\sin\theta$ 透鏡時，係 25.00mm。在印刷基板的孔間隔所要求的精度係 $\pm 20\mu m$ 。在 5 次的誤差具有 $+260\mu m$ 的 $f\sin\theta$ 透鏡不能利用。 $f\sin\theta$ 透鏡時可利用於未滿 $\pm 20\mu m$ ，高次開孔的繞射光。

[表 9]

由 $f\theta$ 透鏡和 $f\sin\theta$ 透鏡使 DOE 繞射光繞射時依
5 次繞射光在像面的孔位置

	目標值	$f\theta$ 透鏡時之場合	$f\sin\theta$ 透鏡時之場合
孔位置	25mm	25.26mm	25.00mm
誤差	—	$+260\mu m$	$0\mu m$

到這裡為止和使用夫琅和費型 DOE 的實施例 1 相同。
使用佛涅爾型 DOE 的實施例具有超過它的兩種效果。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

五、發明說明 (47)

[放大縮小範圍的增大]

在這裡由於DOE本身擁有所謂 $f_1 = -500\text{mm}$ 的發散性，因此可按照如下的方式放大縮小像。DOE和透鏡的合成焦點距離 f ，變成

$$f = f_1 f_2 / (f_1 + \Delta) \quad (85)$$

Δ 係從DOE的偏移和透鏡前焦點的偏移。偏移 $\Delta > 0$ ，如果是 $f_1 < 0$ 即變成 $f > f_2$ 。相反地 $\Delta < 0$ 時，如果是 $f_1 < 0$ 即變成 $f < f_2$ 。在夫琅和費型時由於 f_1 係實質的無限大因此上式經常變成 $f = f_2$ ，不容許 f 的變化。但在實施例2因為使用佛涅爾型DOE而擁有有限的 f_1 所以因 Δ 的變化而可引起 f 的變動。

在實施例2，因為 $f_1 = -500\text{mm}$ ， $f_2 = 127\text{mm}$ ，所以變成

$$F = 500 \times 127 / (500 - \Delta) \quad (86)$$

例如變成

$$\Delta = 15\text{mm時} \quad f = 130.9\text{mm} \quad (87)$$

$$\Delta = 15\text{mm時} \quad f = 123.3\text{mm} \quad (88)$$

點模型的放大縮小，和焦點距離形成大致成比例。在這裡，對於 Δ 之 $\pm 15\text{mm}$ 的變化其焦點距離會變動3%。因此藉由改變 Δ 可達成將近 $\pm 3\%$ 的模型放大縮小。使用實施例1的傅里葉型DOE時放大縮小的範圍係 $\pm 1\%$ 。在實施例2可達成將近其3倍的放大縮小。亦即可縮小至孔模型的97%，可放大至103%。

[0次光的排除]

如第17圖所示0次光的焦點在像面的前面。因為0次

五、發明說明 ()

光不會在像面上對焦所以不會出現 0 次光的影響。可排除 0 次光的問題。如果說 0 次光焦點從像面隔離多少程度？對於 $\Delta = -15\text{mm} \sim +15\text{mm}$ ，變成

$$f_2^2 / (f_1 + \Delta) = 127^2 / (-500 + \Delta) \quad (89)$$
$$= -31.3\text{mm} \sim 33.0\text{mm} \quad (90)$$

儘管 Δ 從 0 偏離其 0 次光焦點仍較像面經常朝前方離開 30mm 以上。0 次光在像面變成模糊，其在像面只是變成微弱的雜訊。沒有燒掉印刷基板程度的功率，亦即可完全排除 0 次光。

[像面的調整]

如果從透鏡前焦點使 DOE 僅偏移 Δ 即會變化焦點距離 f 因此像面的位置也必需變更。但那是微小的距離而容易調整。在本實施例因為 $f_1 = -500\text{mm}$ ， $f_2 = 127\text{mm}$ ，所以後焦點 B_f 係依

$$B_f = f_2 \{ 1 - f_2 / (f_1 + \Delta) \} \quad (91)$$
$$= 127 \times \{ 1 + 127 / (500 - \Delta) \} \quad (92)$$

而計算。 $\Delta = -15\text{mm} \sim +15\text{mm}$ 時，形成

$$B_f = 160.3\text{mm} \sim 158.3\text{mm} \quad (93)$$

其寬度只是 2mm。因為該程度的短距離，所以可調整增減透鏡，像面(工件)間的距離經常將像面對準焦點的位置。

[發明效果]

由 DOE 將雷射光束分歧為傾斜角不同的多數光束再依 $f \sin \theta$ 透鏡將等間隔的點形成於像面。可一面保持高位

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂
線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明()

置精度一面可實行多點高速統一鑽孔。因為使用 $f \sin \theta$ 透鏡所以不會所引起在高次繞射光的位置偏移而可利用至高次繞射光。因為也可利用高次的繞射光而可統一鑽多數的孔。

假定組合檢流計鏡和 DOE，即形 DOE 的高速統一性和檢流計鏡的靈活性互補的容易使用又優良的開孔裝置。

如果將 DOE 放置於兩個檢流計鏡的中間，即可將透鏡的遠心性 (Telecentric) 運用至最大限度。

如果在具有幾個窗的回轉圓板上安裝多數的 DOE 而使回轉而轉換 DOE，即可以高速轉換多種的統一模型加工。而且將回轉圓板的一個窗預先開口 (夫琅和費型 DOE 時)，或預先設定和 DOE 相同焦點距離的透鏡 (佛涅爾型)，即可將光束穿過開口而實施檢流計鏡方式的運轉。可容易轉換檢流計鏡方式和 DOE 方式。

藉由以透鏡或光束擴展器等調整入射雷射光的發散角，和使繞射型光學零件朝前後移動，可實施孔間的擴大，縮小。因此，可達成微小孔間隔的修正。也可實施應加工的孔擴大，縮小。或藉由使雷射入射於針孔屏蔽，設定為屏蔽轉錄光學系統，即依針孔屏蔽的位置調整和繞射型光學零件的移動，同樣地可實施孔間隔的擴大，縮小。

對於 DOE 而言，可使用夫琅和費型 (焦點距離無限大)，也可使用佛涅爾型。使用任何 DOE 都藉由改變透鏡和 DOE 的距離而可擴大縮小模型。尤其是如果利用佛涅爾

五、發明說明 ()

型 DOE，即可擴展擴大縮小的範圍。

而且，如果使用佛涅爾型 DOE，即可消除 0 次光的影響。

[圖式簡單說明]

第 1 圖係檢流計鏡方式的雷射開孔裝置的概略斜視圖。

第 2 圖係依適合檢流計鏡方式的 $f\theta$ 透鏡，說明將 DOE 光束聚光於像面 I 時追蹤光線的圖。表示 0 次、1 次、2 次繞射光束。

第 3 圖係繞射型光學零件 (DOE) 的概略平面圖。

第 4 圖係繞射型光學零件 (DOE) 的單位模型的平面圖。

第 5 圖係第 4 圖的 L-L-剖面圖。

第 6 圖係說明由透鏡將來自 DOE 的繞射光聚光作為點照射於像面 I 的構成圖。

第 7 圖係為說明藉由從透鏡的前焦點將 DOE 朝前方僅偏移 Δ 其在像面的繞射光的間隔如何變化的構成圖。

第 8 圖係表示 DOE 在前焦點時的雷射繞射光照射點的間隔在 0.50mm 的光學系統，使 DOE 朝前方偏移時，其 DOE 朝前方的偏移量，和雷射繞射光照射點間隔關係的曲線圖。

第 9 圖係說明依光線追蹤法為使光線的偏移的二次方和包括於評估函數，在透鏡面 (入射瞳孔) 所採取光線的分佈和份量的圖。

第 10 圖係表示由 $f\sin\theta$ 透鏡將來自 DOE 的繞射光聚光，使成像於像面 I 的光線圖，表示 0 次、1 次、2 次、

五、發明說明 (51)

3 次、4 次、5 次繞射光。

第 11 圖係表示依 DOE 使雷射光束繞射作為多數的繞射光束，依 $f \sin \theta$ 透鏡，將點狀的繞射像形成於像面而在封裝等鑽多數孔的本發明雷射開孔加工裝置的斜視圖。

第 12 圖係為說明組合依繞射型光學零件而產生多數繞射光束，和依檢流計鏡產生擺動光束方式之混合方式的斜視圖。

第 13 圖係組合負焦點距離透鏡和正焦點距離透鏡，使負透鏡的前焦點和正透鏡的前焦點一致將平行入射光束轉換為直徑不同之出射光束的光束擴展器的概略圖。

第 14 圖係組合負焦點距離透鏡和正焦點距離透鏡，使負透鏡的前焦點和正透鏡的前焦點偏移將平行入射光束轉換為發散出射光束的擴展器的概略圖。

第 15 圖係組合負焦點距離透鏡和正焦點距離透鏡，使負透鏡的前焦點和正透鏡的前焦點偏移將平行入射光束轉換為收束出射光束的擴展器的概略圖。

第 16 圖係屏蔽轉錄系統的概略構成圖。

第 17 圖係組合佛涅爾型 DOE 和 $f \sin \theta$ 透鏡的第 2 實施例的光學系統的概略構成圖。

第 18 圖係表示依繞射將光束分歧為多數的夫琅和費型 DOE (傅里葉型) 折射的說明圖。

第 19 圖係表示產生具有有限焦點距離繞射光的佛涅爾型 DOE 之繞射的說明圖。

第 20 圖係表示 DOE， $f \sin \theta$ 透鏡，像面之關係的說明

五、發明說明 (52)

圖。

第 21 圖係為說明 2 透鏡系統的焦點距離，焦點，倍率，像位置計算的說明圖。

[符 號 之 說 明]

1	雷射光束
2	x 軸掃描鏡
3	y 軸掃描鏡
4	f θ 透鏡
5	印刷基板
6	孔
8	DOE
9	單位模型
10	畫素
11	厚畫素
12	薄畫素
13	繞射光束
14	f sin θ 透鏡
15	封裝
16	孔
17	聚光分割光束
18	光束
19	回轉圓板
20	窗

四、中文發明摘要 (發明之名稱：雷射開孔加工裝置)

[課題]對於封裝，印刷基板等一舉鑽多數的細孔。

[解決裝置]由DOE使雷射光束繞射，使產生多數的光束，依 $f \sin \theta$ 透鏡在像面作為等間隔點使成像。形成和檢流計鏡組合，以便可擇一使用檢流計鏡方式和DOE方式。

英文發明摘要 (發明之名稱：

LASER NOLE-DRILLING MACHINERY DEVICE

A device for simultaneously drilling a plurality of tiny holes regarding packages and printed circuit substrates.

A laser beam diffracts through DOE to generate a plurality of beams which produce images based on an $f \sin \theta$ lens is combined with a galvanometer lens so as to use alternatively either the galvanometer lens method or the DOE method.



六、申請專利範圍

第 89112087 號「雷射開孔加工裝置」專利案

(90 年 10 月 11 日修正)

六 申請專利範圍：

1. 一種雷射開孔加工裝置，其特徵為包括：雷射器；繞射型光學零件，其包含有一定空間周期的同一重複模型，或調變一定空間周期之同一模型的重複模型而將雷射光繞射以產生多數光束；和 $f \sin \theta$ 透鏡，用來將從繞射型光學零件出來的多數分歧光束聚光者所成。

2. 如申請專利範圍第 1 項之雷射開孔加工裝置，其中繞射型光學零件為具有有限焦點距離 f 的佛涅爾型，具有調變同一模型的重複模型，而重複模型係由在面內位置 (x, y) 的複數穿透率 $t(x, y)$ 而表現，假定光線的波數為 k ，假定 x 方向的空間周期為 Λ_x ，假定 y 方向的空間周期為 Λ_y ， f 為焦點距離， m, l 假定為重複數以下的任意整數 (j 係虛數單位)， $t(x, y)$ 係具有所謂

$$t(x + m\Lambda_x, y + l\Lambda_y) = t(x, y) \exp \{ -jk(m\Lambda_x + l\Lambda_y) / f \} \exp [\{ -jk(\Lambda_x^2 m^2 + \Lambda_y^2 l^2) \} / 2f]$$

的關係者。

3. 如申請專利範圍第 1 項之雷射開孔加工裝置，其中繞射型光學零件為具有無限大焦點距離的夫琅和費型，規定重複同一模型，假定光的波數為 k ， x

六、申請專利範圍

方向的空間周期為 Λ_x ， y 方向的空間周期為 Λ_y ，
 f 為焦點距離， m, l 為重複數以下的任意整數，
 $t(x, y)$ 具有所謂

$$t(x+m\Lambda_x, y+l\Lambda_y)=t(x, y)$$

的關係者。

4. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中任一項之雷射開孔加工裝置，其中在具有多數窗之回轉圓盤的窗上安裝多數的繞射型光學零件，形成定位一個繞射型光學零件放置於雷射光束中，藉由使回轉圓板回轉，以便可轉換繞射型光學零件者。
5. 一種雷射開孔加工裝置，其特徵為包括由：雷射器；
 2 片以上之反射雷射光之擺動的檢流計鏡，繞射型光學零件，其包含有一定空間周期的同一重複模型，或調變一定空間周期之同一模型的重複模型，而將雷射光繞射以產生多數光束； $f \sin \theta$ 透鏡，用來將從檢流計鏡或繞射型光學零件出來的多數分歧光束聚光；和將繞射型光學零件插入雷射光束光路內，或使脫離的機構，所成者。
6. 如申請專利範圍第 5 項之雷射開孔加工裝置，其中將繞射型光學零件插入 2 片檢流計鏡的中間位置，或使脫離者。
7. 如申請專利範圍第 6 項之雷射開孔加工裝置，其中在具有多數窗之回轉圓板的窗上安裝多數的繞射型

六、申請專利範圍

光學零件，形成定位一個繞射型光學零件放置於由檢流計鏡反射的光束中，以便可轉換繞射光束的繞射型光學零件者。

- 8.如申請專利範圍第 7 項之雷射開孔加工裝置，其中將具有多數窗的回轉圓板的至少一個窗作為開窗留下，在其他窗上安裝繞射型光學零件，形成定位一個繞射型光學零件或開窗，放在由檢流計鏡反射的光束中，以便可擇一轉換繞射光束的繞射型光學零件和檢流計鏡者。
- 9.如申請專利範圍第 7 項之雷射開孔加工裝置，其中具有繞射型光學零件為佛涅爾型，在具有多數窗的回轉圓板的至少一個窗上，裝設擁有和繞射型光學零件相同焦點距離的透鏡，在其他窗安裝繞射型光學零件，形成一個繞射型光學零件或透鏡定位放置於由檢流計鏡反射的光束中，以便可擇一轉換繞射光束的繞射型光學零件和檢流計鏡者。
- 10.如申請專利範圍第 1 項之雷射開孔加工裝置，其中藉由朝雷射器側或透鏡側移動繞射型光學零件，以便實施應加工的孔模型的擴大、縮小者。
- 11.如申請專利範圍第 1 項之雷射開孔加工裝置，其中將調整雷射光束發散角的裝置裝設於較繞射型光學零件接近雷射器側，增減入射於繞射型光學零件的雷射光束的發散角，而且藉由朝雷射器側或透鏡

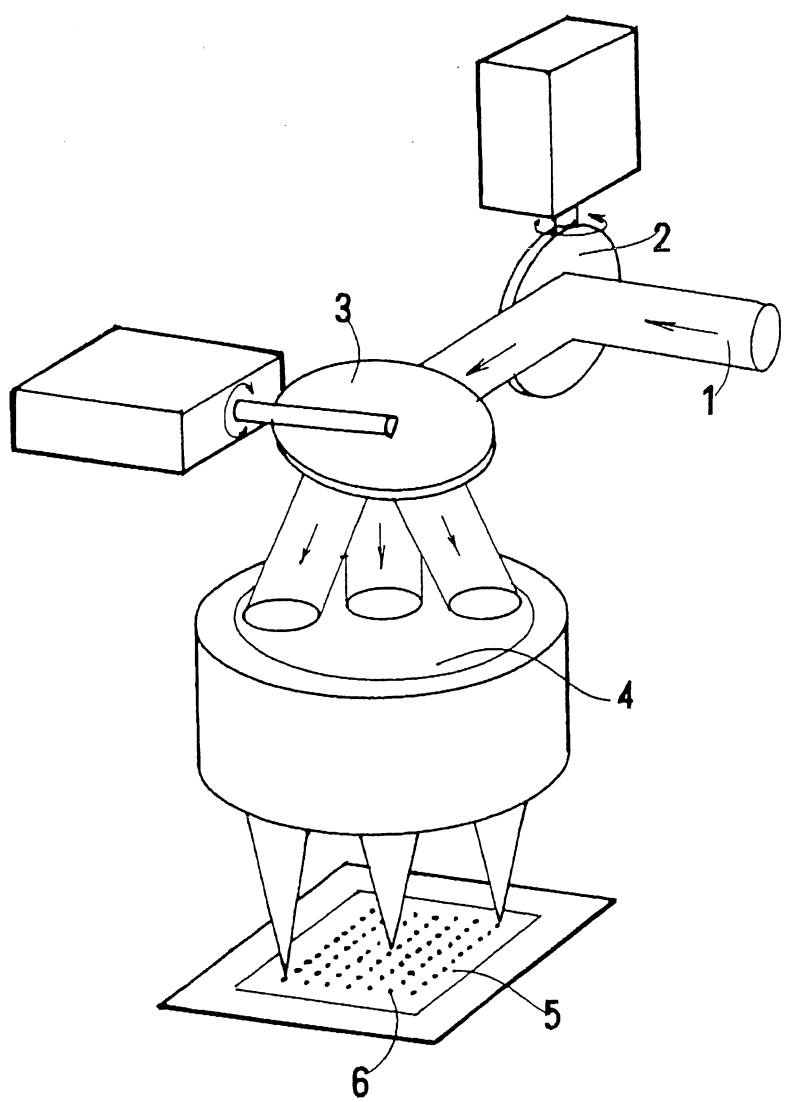
六、申請專利範圍

側移動繞射型光學零件，以便實應施加工的孔模型擴大、縮小者。

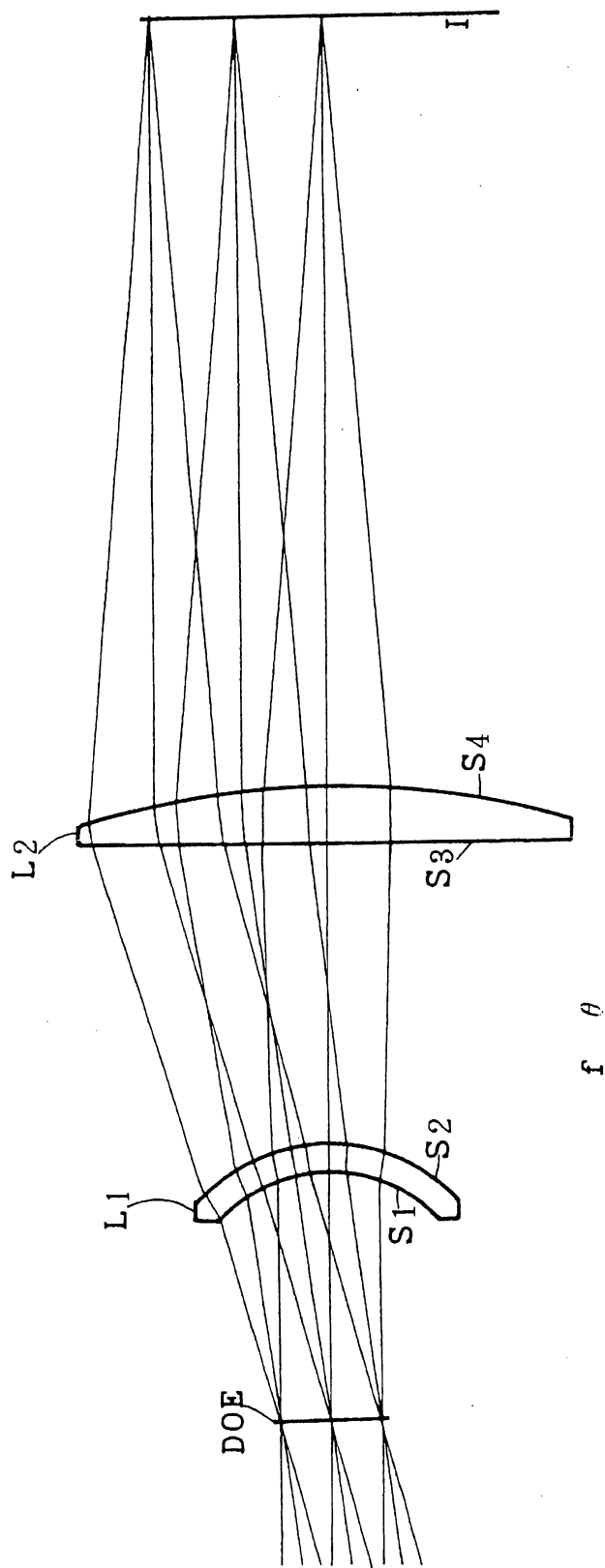
12.如申請專利範圍第 11 項之雷射開孔加工裝置，其中作為雷射光束的發散角調整裝置係採用光束擴展器，藉由變更光束擴展器的透鏡間隔以調整雷射光束的發散角者。

13.如申請專利範圍第 1 項之雷射開孔加工裝置，其中在雷射器和繞射型光學零件之間裝設針孔屏蔽，朝雷射器側或繞射型光學零件側移動針孔屏蔽，增減光學系統的倍率，而且藉由朝針孔屏蔽側或透鏡側移動繞射型光學零件，以便實應施加工的孔模型擴大、縮小者。

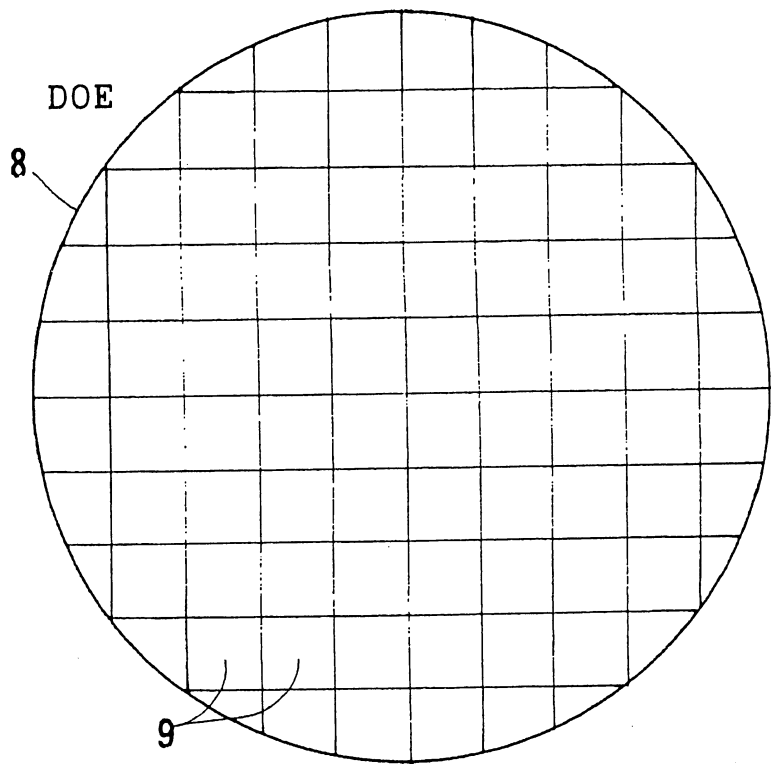
89112087



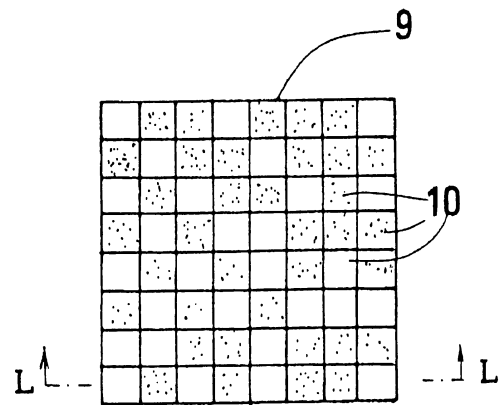
第1圖



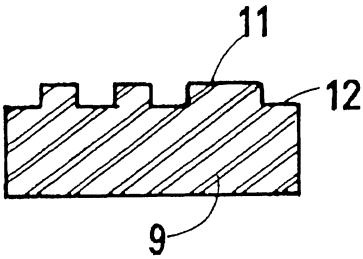
第2圖



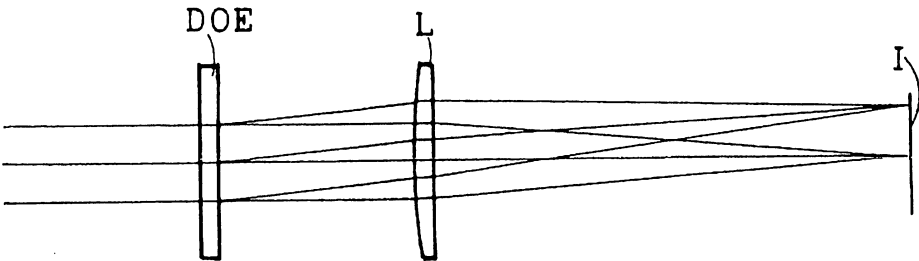
第3圖



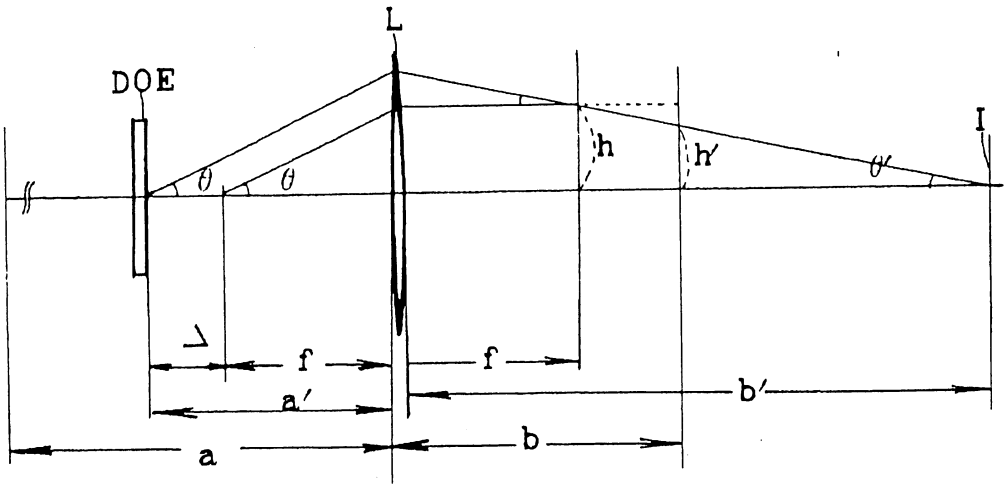
第4圖



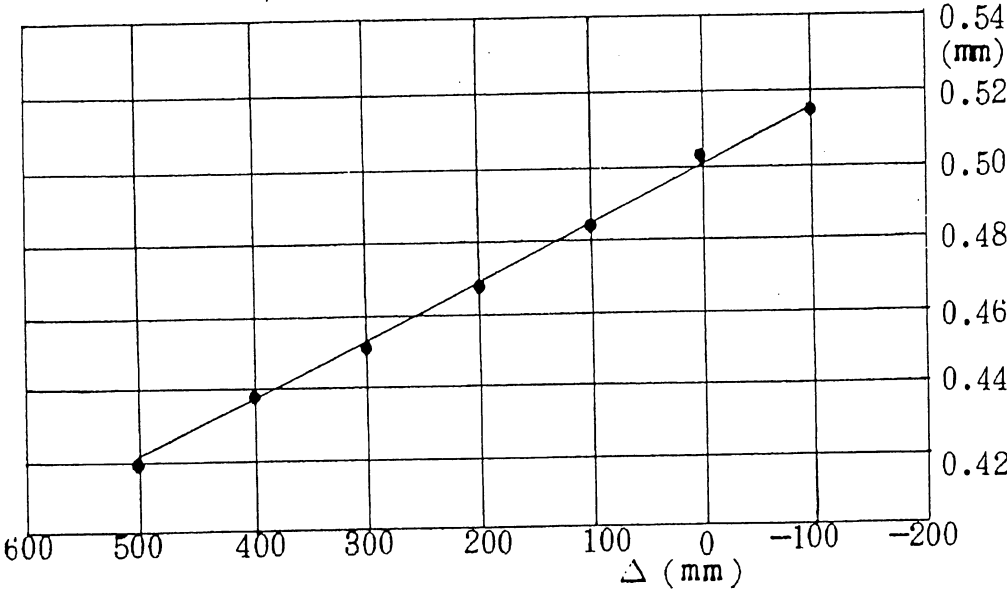
第5圖



第6圖



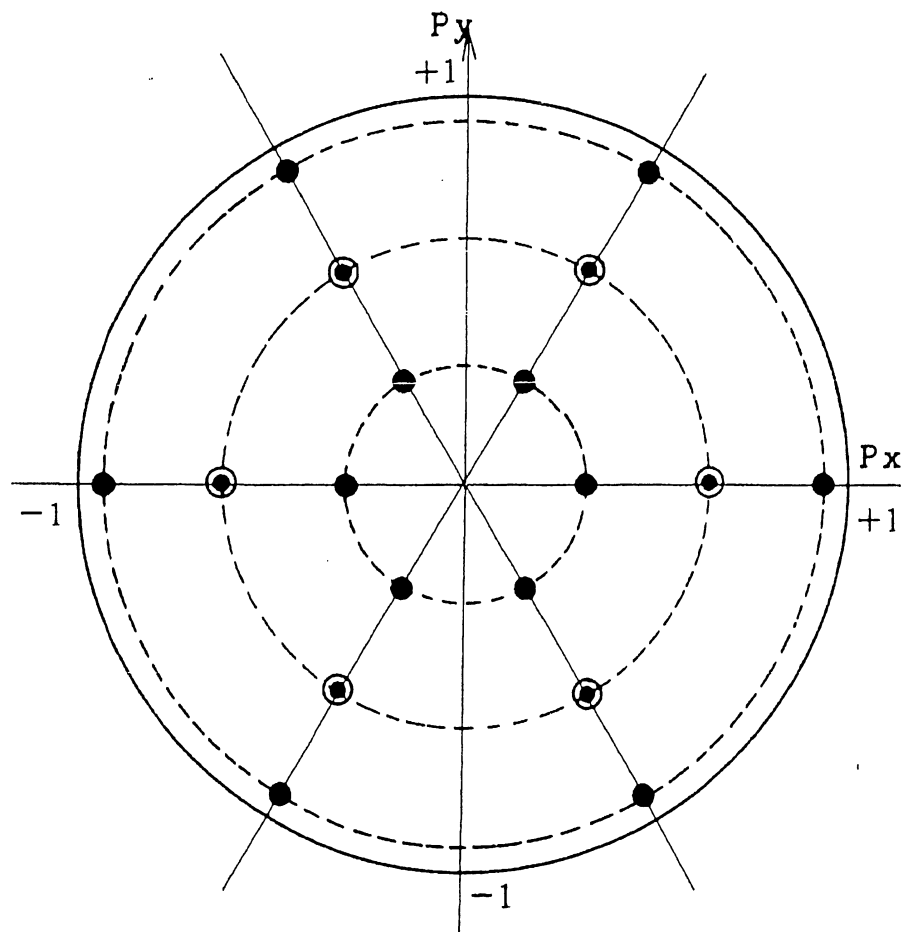
第7圖



第8圖

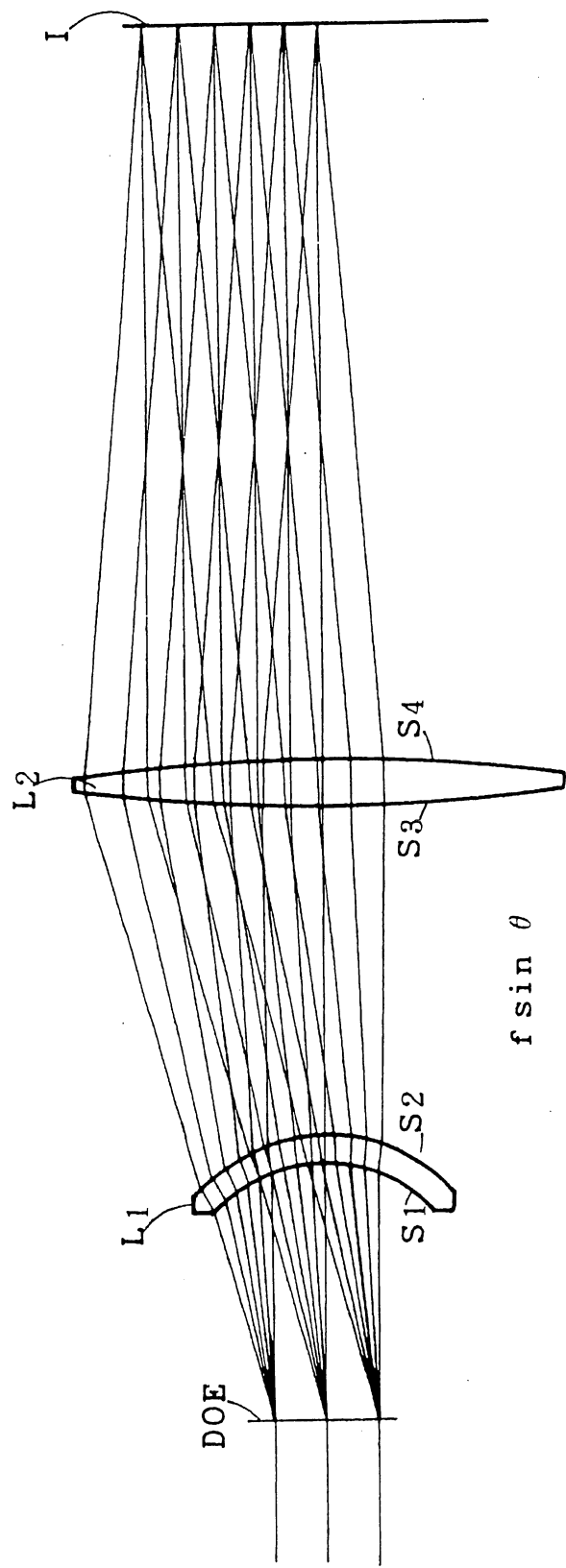
3 Rings $R=0.3357, 0.7071, 0.9420$

6 Arms $\theta=0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$
 $180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$

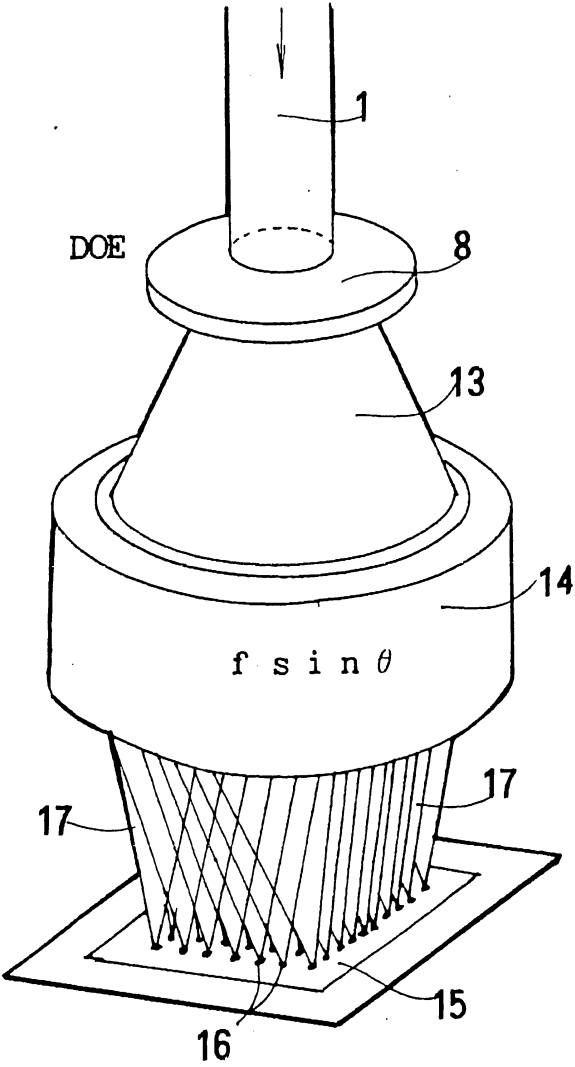


- $w_j=0.048481$ 12
- ⊙ $w_j=0.07757$ 6

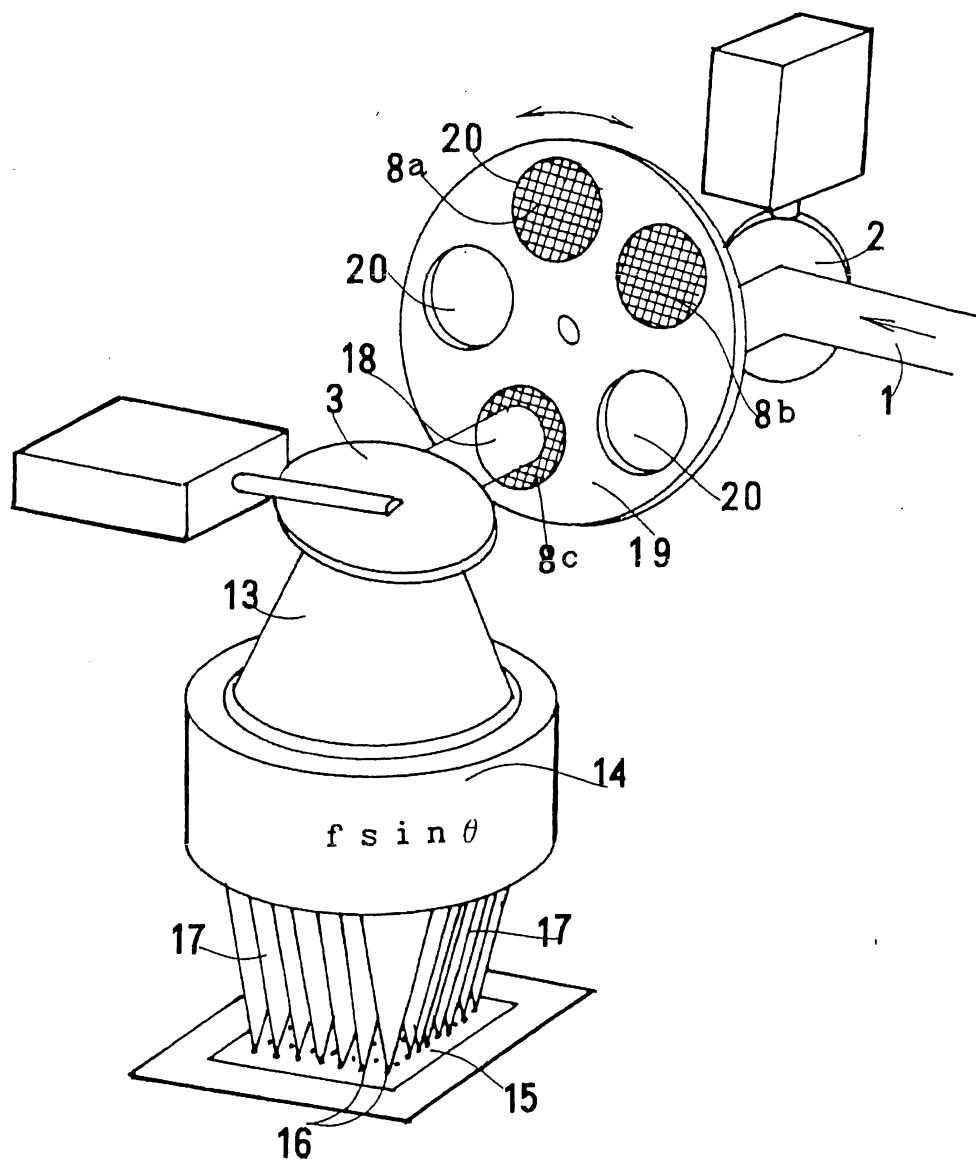
第9圖



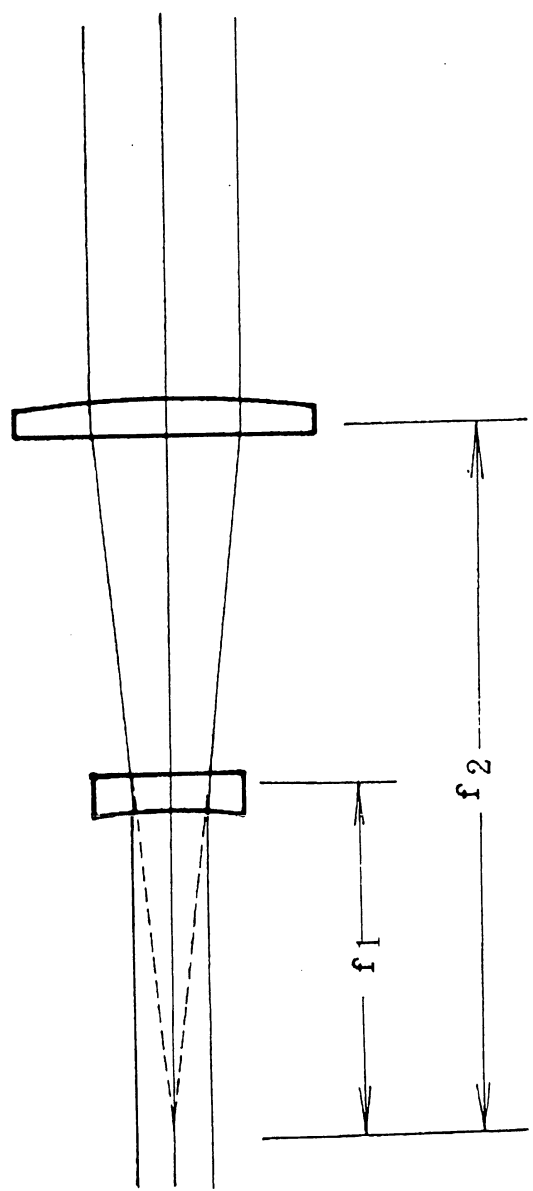
第10圖



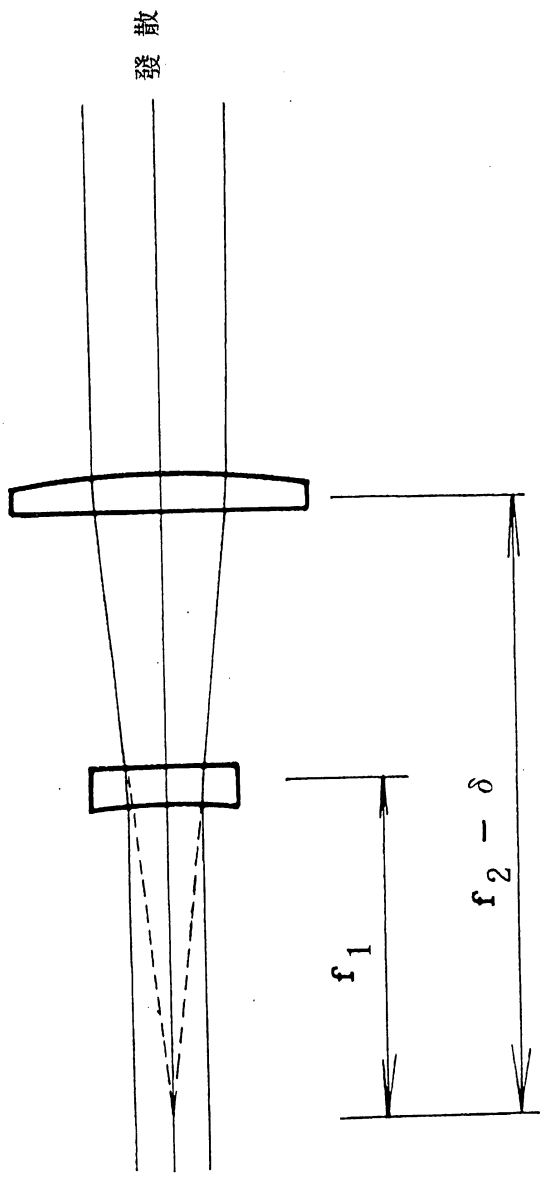
第11圖



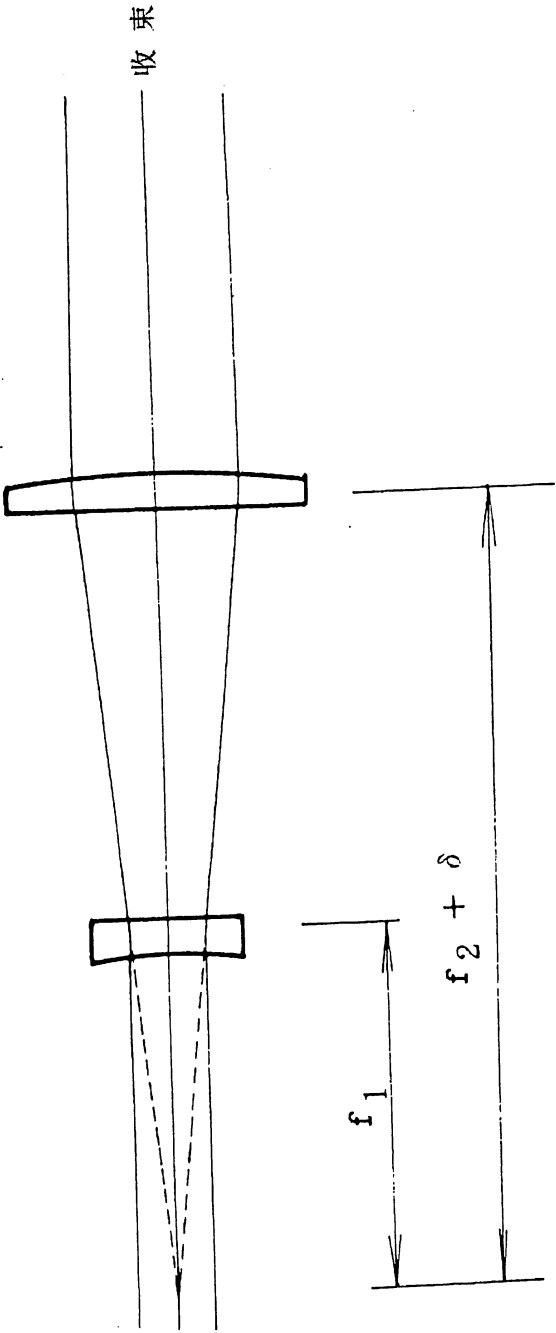
第12圖



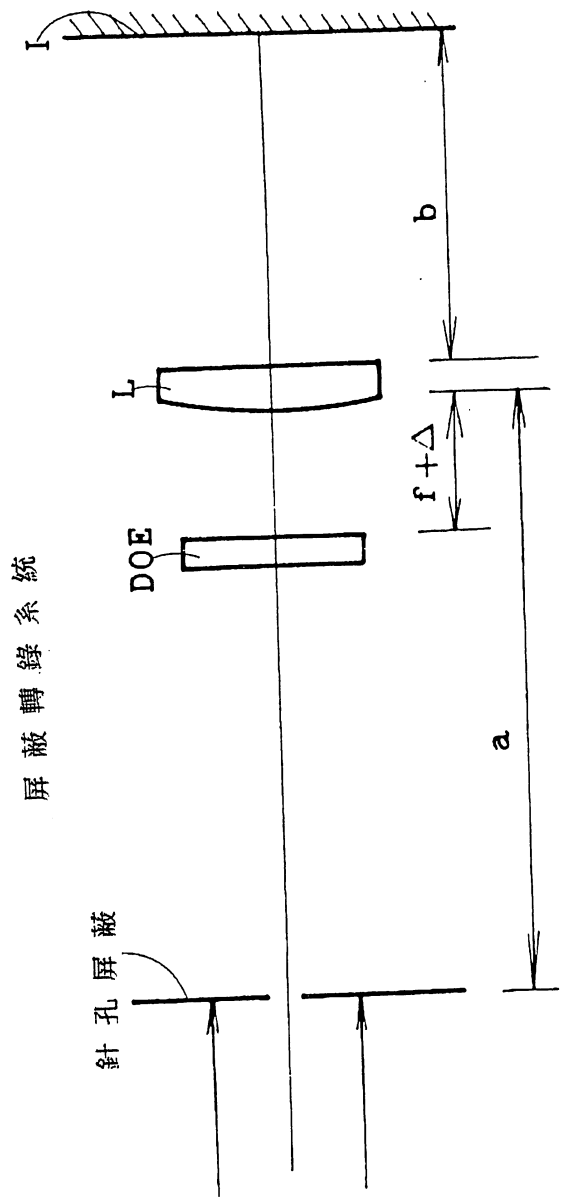
第13圖



第14圖

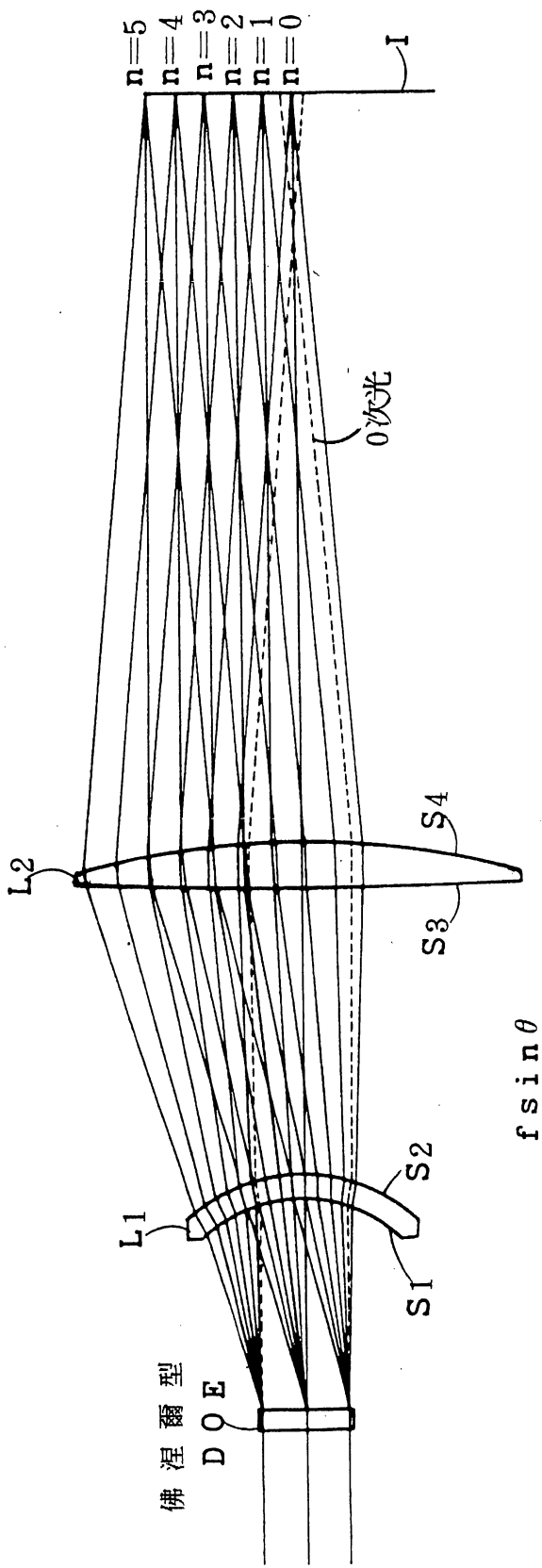


第15圖

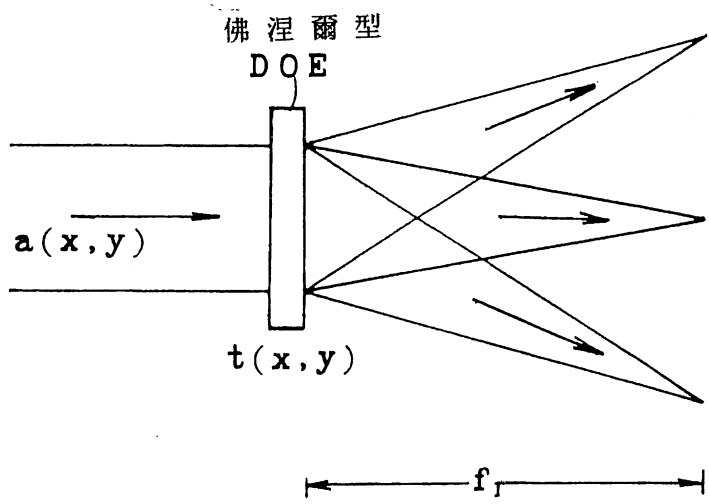
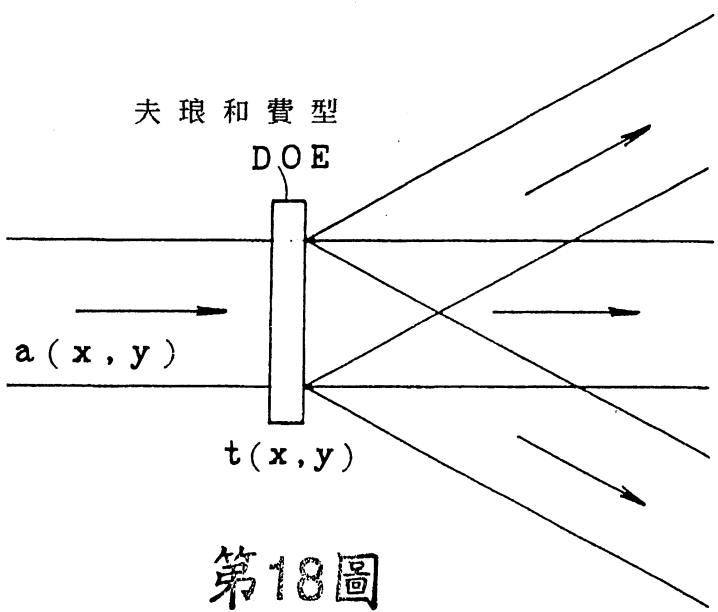


屏蔽轉錄系統

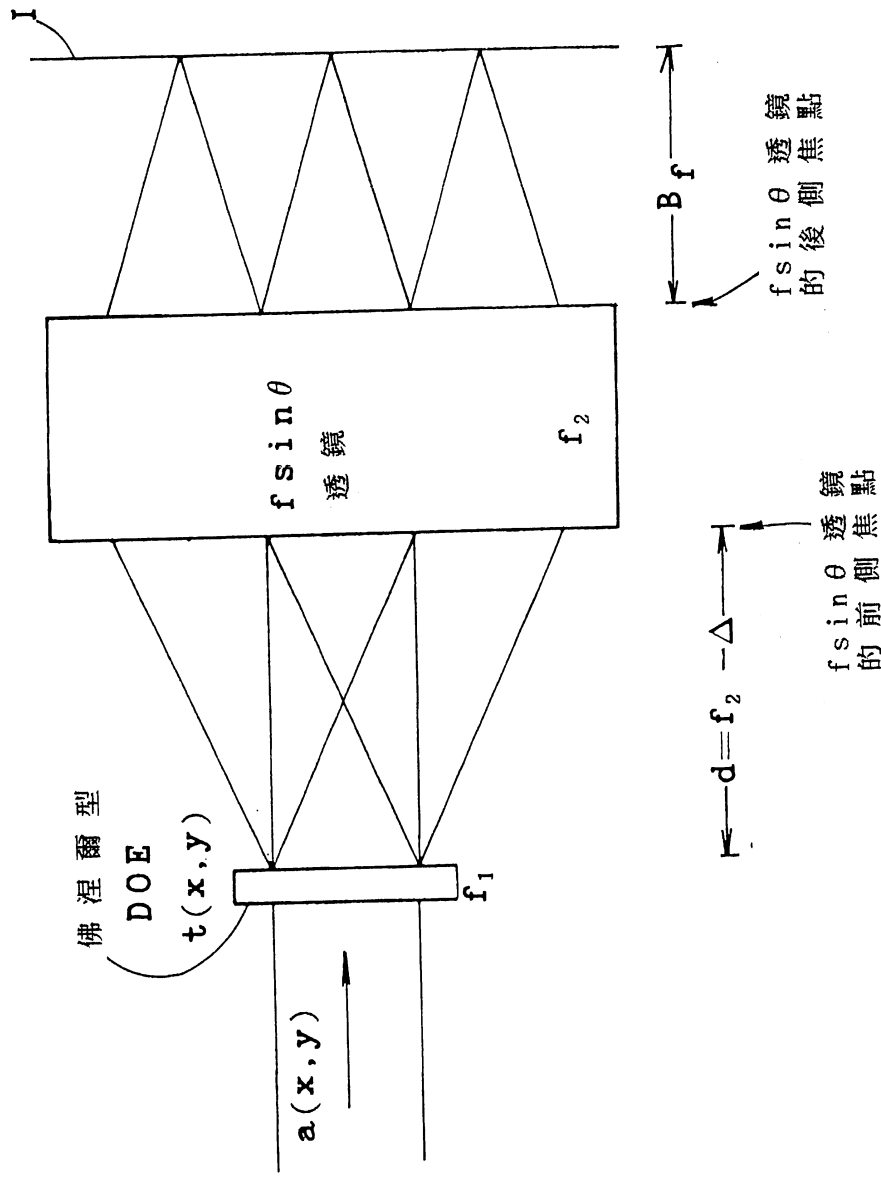
第16圖



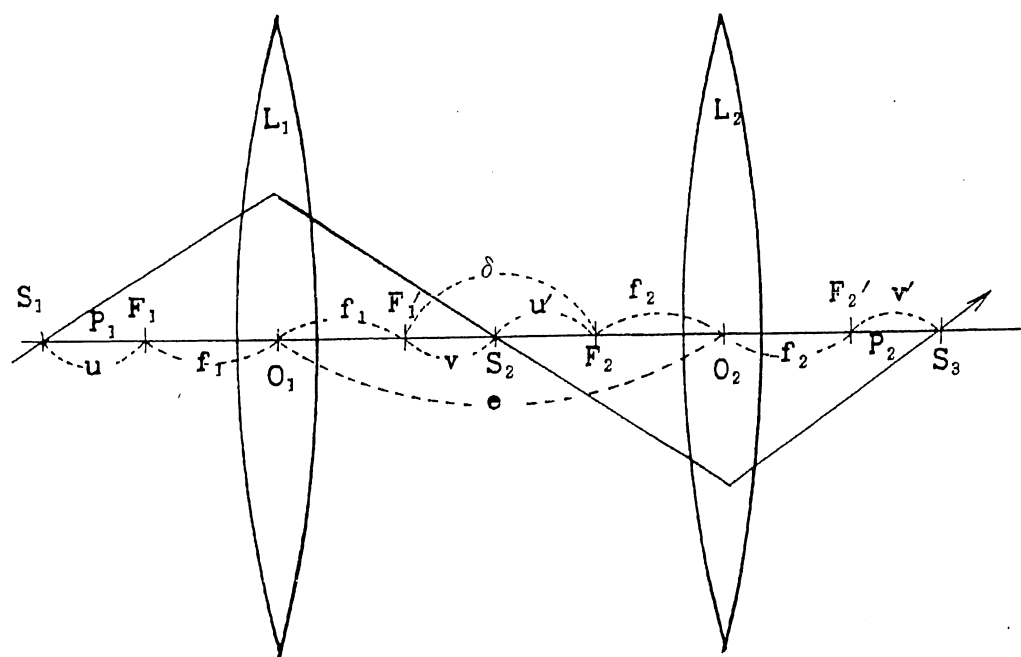
第17圖



第19圖



第20圖



第21圖