I494594

(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 I494594 B**

(45)公告日： 中華民國 104 (2015) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：103111873 (22)申請日： 中華民國 103 (2014) 年 03 月 28 日

(51)Int. Cl.： *G02B17/06 (2006.01)* *G02B27/00 (2006.01)*

(30)優先權：2014/03/05 中國大陸 201410077861.X

(71)申請人：鴻海精密工業股份有限公司 (中華民國) HON HAI PRECISION INDUSTRY CO., LTD. (TW)

新北市土城區自由街 2 號

(72)發明人：朱鈞 ZHU, JUN (CN) ；楊通 YANG, TONG (CN) ；金國藩 JIN, GUO-FAN (CN) ；范守善 FAN, SHOU-SHAN (CN)

(56)參考文獻：

TW 201418769A TW 201418789A

CN 103246053A CN 103592749A

薛棟林,鄭立功,張峰,基於光學自由曲面的離軸三反光學系統,光學 精密工程,2011,19(12),2813-2820.

審查人員：闕榮慶

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：6 共 26 頁

(54)名稱

自由曲面離軸三反光學系統

OFF-AXIAL THREE-MIRROR OPTICAL SYSTEM WITH FREEFORM SURFACES

(57)摘要

本發明涉及一自由曲面離軸三反光學系統，包括：一主鏡，設置在光線的出射光路上；一次鏡，設置在主鏡的反射光路上；一三鏡，設置在次鏡的反射光路上；以及一探測器，設置在三鏡的反射光路上，以主鏡的空間定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)；以次鏡的空間定義一第二三維直角坐標系，該第二三維直角坐標系為所述第一三維直角坐標系沿 Z 軸反方向平移得到；以及以三鏡的空間定義一第三三維直角坐標系，該第三三維直角坐標系為所述第二三維直角坐標系沿 Z 軸方向平移得到，所述主鏡、次鏡以及三鏡的反射面為一 5 次的 XY 多項式曲面。

The present invention relates to an off-axial three-mirror optical system with freeform surfaces including a primary mirror, a secondary mirror, a tertiary mirror and an image sensor. The secondary mirror is located on the reflecting optical path of the primary mirror. The tertiary mirror is located on the reflecting optical path of the secondary mirror. The image sensor is located on the reflecting optical path of the tertiary mirror. A first triangular rectangular coordinates system(X,Y,Z) is defined by the location of the primary mirror. A second triangular rectangular coordinates system is defined by the location of the secondary mirror. The second triangular rectangular coordinates system is obtained by moving the first triangular rectangular coordinates system in the opposite direction along the Z axis. And a third triangular rectangular coordinates system is defined by the location of the tertiary mirror. The third triangular rectangular coordinates system is obtained by moving the first triangular rectangular coordinates system along the Z axis. The primary mirror, the secondary mirror, and the tertiary mirror are fifth polynomial freeform surfaces about XY.

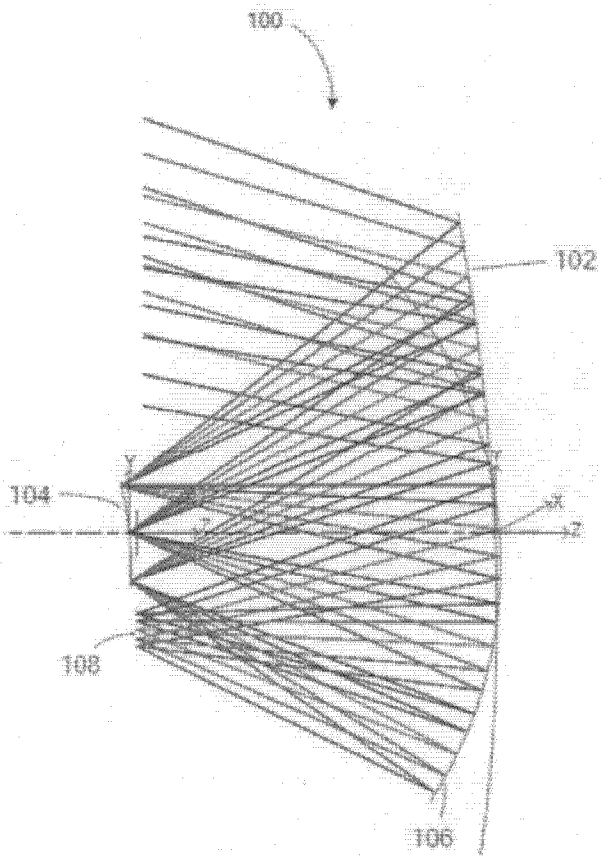


圖 1

100・・・自由曲面離軸三反光學系統

102・・・主反射鏡

104・・・次反射鏡

106・・・第三反射鏡

108・・・探測器

I494594 專利案號：103111873

104年 04月 07日 修正替換頁

公告本 申請日：103.3.28

IPC分類：G02B 17/06(2006.01)

G02B 27/00(2006.01)

【發明摘要】

【中文發明名稱】自由曲面離軸三反光學系統

【英文發明名稱】OFF-AXIAL THREE-MIRROR OPTICAL SYSTEM WITH FREEFORM SURFACES

【中文】

本發明涉及一自由曲面離軸三反光學系統，包括：一主鏡，設置在光線的出射光路上；一次鏡，設置在主鏡的反射光路上；一三鏡，設置在次鏡的反射光路上；以及一探測器，設置在三鏡的反射光路上，以主鏡的空間定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)；以次鏡的空間定義一第二三維直角坐標系，該第二三維直角坐標系爲所述第一三維直角坐標系沿Z軸反方向平移得到；以及以三鏡的空間定義一第三三維直角坐標系，該第三三維直角坐標系爲所述第二三維直角坐標系沿Z軸方向平移得到，所述主鏡、次鏡以及三鏡的反射面爲一5次的XY多項式曲面。

【英文】

The present invention relates to an off-axial three-mirror optical system with freeform surfaces including a primary mirror, a secondary mirror, a tertiary mirror and an image sensor. The secondary mirror is located on the reflecting optical path of the primary mirror. The tertiary mirror is located on the reflecting optical path of the secondary mirror. The image sensor is located on the reflecting optical path of the tertiary mirror. A first triangular rectangular coordinates system(X,Y,Z) is defined by the location of the primary mirror. A second triangular rectangular coordinates system is defined by the location of the secondary mirror. The

second triangular rectangular coordinates system is obtained by moving the first triangular rectangular coordinates system in the opposite direction along the Z axis. And a third triangular rectangular coordinates system is defined by the location of the tertiary mirror. The third triangular rectangular coordinates system is obtained by moving the first triangular rectangular coordinates system along the Z axis. The primary mirror, the secondary mirror, and the tertiary mirror are fifth polynomial freeform surfaces about XY.

104年 04月 07日 修正替換頁

【指定代表圖】 第（ 1 ）圖

【代表圖之符號簡單說明】

自由曲面離軸三反光學系統：100

主反射鏡：102

次反射鏡：104

第三反射鏡：106

探測器：108

【特徵化學式】

無

104年 04月 07日 修正替換頁

【發明說明書】

【中文發明名稱】 自由曲面離軸三反光學系統

【英文發明名稱】 OFF-AXIAL THREE-MIRROR OPTICAL SYSTEM WITH FREEFORM SURFACES

【技術領域】

【0001】 本發明涉及一種自由曲面離軸三反光學系統，尤其涉及一種可以實現小F數、大視場的自由曲面離軸三反光學系統。

【先前技術】

【0002】 自由曲面係指無法用球面或非球面系數來表示的非傳統曲面，通常係非回轉對稱的，結構靈活，變數較多，爲光學設計提供了更多的自由度，可以大大降低光學系統的像差，減小系統的體積、重量與鏡片數量，可以滿足現代成像系統的需要，有著廣闊的發展應用前景。由於自由曲面有非對稱面並提供了更多的設計自由度，他們常被用在離軸非對稱系統中。

【0003】 然而，現有的自由曲面離軸三反光學系統主要適用於小視場角，大F數的線視場，對於具有大視場角，小F數視場的應用範圍受限。而且離軸自由曲面系統的加工裝調十分複雜。因此如果可以提供一種可以實現大視場，小F數，且加工裝調簡單的自由曲面離軸三反光學系統，將非常有意義。

【發明內容】

【0004】 有鑒於此，確有必要提供一種可以實現大視場，小F數的自由曲面離軸三反光學系統。

【0005】 一種自由曲面離軸三反光學系統，包括：一主反射鏡，該主反射

鏡設置在光線的出射光路上，用於將所述光線反射，形成一第一反射光，以所述主反射鏡的頂點爲第一原點定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)；一次反射鏡，該次反射鏡設置在所述主反射鏡的反射光路上，用於將所述第一反射光二次反射，形成一第二反射光，該次反射鏡爲一光闌面，以所述次反射鏡的頂點爲第二原點定義一第二三維直角坐標系，且該第二三維直角坐標系爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿Z軸反方向平移得到；一第三反射鏡，該第三反射鏡設置在所述次反射鏡的反射光路上，用於將所述第二反射光再次反射，形成一第三反射光，以所述第三反射鏡的頂點爲第三原點定義一第三三維直角坐標系，且該第三三維直角坐標系爲所述第二三維直角坐標系沿Z軸方向平移得到；以及一探測器，該探測器位於所述第三反射鏡的反射光路上，用於接收所述第三反射光；在所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)中，所述主反射鏡的反射面；在所述第二三維直角坐標系中，所述次反射鏡的反射面；以及在所述第三三維直角坐標系中，所述第三反射鏡的反射面均爲一5次的xy多項式自由曲面。

【0006】 與現有技術比較，本發明提供的自由曲面離軸三反光學系統可以實現較小F數、較大視場的成像，且成像品質良好，其中，F數可達1.48，視場角可達到8°×9°；該自由曲面離軸三反光學系統的主反射鏡與第三反射鏡在Z軸方向的位置非常接近且近似連續，有利於將其加工在一塊元件上，從而有利於系統的加工和裝調；該自由曲面反射鏡使用的XY多項式自由曲面的次數較低，比較容易加工，易於批量生產。

【圖式簡單說明】

【0007】 第1圖係本發明實施例一提供的自由曲面離軸三反光學系統的結構示意圖。

【0008】 第2圖係本發明實施例一提供的自由曲面離軸三反光學系統的光路示意圖。

【0009】 第3圖係本發明實施例一提供的自由曲面離軸三反光學系統在長波紅外波段下部分視場角的調製傳遞函數MTF曲線。

【0010】 第4圖係本發明實施例二提供的自由曲面離軸三反光學系統的結構示意圖。

【0011】 第5圖係本發明實施例二提供的自由曲面離軸三反光學系統的光路示意圖。

【0012】 第6圖係本發明實施例二提供的自由曲面離軸三反光學系統在長波紅外波段下部分視場角的調製傳遞函數MTF曲線。

【實施方式】

【0013】 下面將結合附圖及具體實施例，對本發明提供的自由曲面離軸三反光學系統做進一步的詳細說明。

【0014】 請參閱圖1-2，本發明第一實施例提供一種自由曲面離軸三反光學系統100，包括：一主反射鏡102、一次反射鏡104、一第三反射鏡106，以及一探測器108。所述次反射鏡104位於主反射鏡102的反射光路上，所述第三反射鏡106位於次反射鏡104的反射光路上，所述探測器108位於第三反射鏡106的反射光路上。所述主反射鏡102、次反射鏡104、以及第三反射鏡106均爲自由曲面，且所述次反射鏡104的反射面爲一光闌面。

【0015】 所述自由曲面離軸三反光學系統100工作時的光路如下：光線首先入射到所述主反射鏡102的反射面上，經該主反射鏡102的反射面反射後形成一第一反射光，該第一反射光入射到所述次反射鏡104的反射面上，經該次反射鏡104的反射面反射後形成一第二反射光，該第二反射光入射到所述第三反射鏡106的反射面上，經該第三反射鏡106的反射面反射後形成一第三反射光被所述探測器108接收到。

【0016】 爲了描述方便，本實施例一中，將所述主反射鏡102所處的空間定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)、次反射鏡104所處的空間定義一第二三維直角坐標系、第三反射鏡106所處的空間定義一第三三維直角坐標系。

【0017】 規定所述主反射鏡102的頂點爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的原點，通過主反射鏡102頂點的一條水準方向的直線爲Z軸，向左爲負向右爲正，Y軸在圖1所示的平面內，垂直於Z軸向上爲正向下爲負，X軸垂直於YZ平面，垂直YZ平面向裏爲正向外爲負。所述第二三維直角坐標系爲將所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿Z軸反方向平移約164.115mm獲得，該第二三維直角坐標系的原點爲所述次反射鏡104的頂點。所述第三三維直角坐標系爲將所述第二三維直角坐標系沿Z軸方向平移約166.115mm獲得，且該第三三維直角坐標系的原點爲所述第三反射鏡106的頂點。即，所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的原點到所述第二三維直角坐標系的原點的距離約爲164.115mm，且所述第三三維直角坐標系的原點到所述第二三維直角坐標系的原點的距離約爲166.115mm。

【0018】 所述主反射鏡102、次反射鏡104以及第三反射鏡106的反射面在

其所在坐標系下，均爲xy多項式自由曲面，xy多項式曲面的一般運算式爲：

【0019】

$$z(x,y)=\frac{c\left(x^2+y^2\right)}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)c^2\left(x^2+y^2\right)}}+\sum_{i=1}^{N}A_i x^m y^n$$

【0020】 其中，z爲曲面向量高，c爲曲面曲率，k爲二次曲面系數，A_i係多項式中第i項的系數。由於所述自由曲面離軸三反光學系統100關於YZ平面對稱，自由曲面可以僅保留x的偶次項。同時，由於高次項會增加系統的加工難度。優選的，所述主反射鏡102、次反射鏡104以及第三反射鏡106的反射面均採用含有x的偶次項的最高次爲5次的xy多項式自由曲面，該xy多項式的方程式可表達爲：

【0021】

$$z(x,y)=\frac{c\left(x^2+y^2\right)}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)c^2\left(x^2+y^2\right)}}+A_2y+A_3x^2+A_5y^2+A_7x^2y+A_9y^3$$
$$+A_{10}x^4+A_{12}x^2y^2+A_{14}y^4+A_{16}x^4y+A_{18}x^2y^3+A_{20}y^5$$

【0022】 所述主反射鏡102、次反射鏡104、以及第三反射鏡106反射面的xy多項式中曲率c、二次曲面系數κ以及各項系數的值請分別參見表1、表2和表3。可以理解，曲率c、二次曲面系數κ以及各項系數的值也不限於表1-表3中所述，本領域具有通常知識者可以根據實際需要調整。

【0023】 表1主反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0024】

曲率c	0.00001
二次曲面系数 Conic Constant(k)	0
A_2	-4.479404465E-02
A_3	-3.329547026E-04
A_5	-5.089175666E-04
A_7	-2.875421153E-07
A_9	3.905997414E-07
A_{10}	-9.187067977E-10
A_{12}	-1.386345655E-09
A_{14}	-9.595336907E-10
A_{16}	3.312490128E-13
A_{18}	1.068840597E-14
A_{20}	2.981424695E-15

【0025】 表2次反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0026】

曲率c	-0.00560716
二次曲面系数 Conic Constant(k)	3.771722555
A_2	-9.495795402E-02
A_3	5.206118939E-04
A_5	8.321411971E-05
A_7	-7.590923035E-06
A_9	-3.672849665E-06
A_{10}	9.194444332E-09
A_{12}	-1.436477579E-08
A_{14}	-2.518497282E-08
A_{16}	-8.518009935E-10
A_{18}	-1.448729163E-09
A_{20}	-5.742544243E-10

【0027】 表3第三反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0028】

曲率c	-0.006942447
二次曲面系数 Conic Constant(k)	-0.571866727
A2	-7.401456903E-02
A3	1.109934670E-03
A5	1.074553500E-03
A7	-9.865942866E-07
A9	-7.966880396E-07
A10	2.467079544E-09
A12	4.292670106E-09
A14	1.670677609E-09
A16	-1.728289480E-11
A18	-3.271768197E-11
A20	-1.448168246E-11

【0029】 所述主反射鏡102、次反射鏡104和第三反射鏡106的材料不限，只要保證其具有較高的反射率即可。所述主反射鏡102、次反射鏡104和第三反射鏡106可選用鋁、銅等金屬材料，也可選用碳化矽、二氧化矽等無機非金屬材料。爲了進一步增加所述主反射鏡

102、次反射鏡104和第三反射鏡106的反射率，可在其各自的反射面鍍一增反膜，該增反膜可爲一金膜。所述主反射鏡102、次反射鏡104和第三反射鏡106的形狀和尺寸不限。

【0030】 所述探測器108的尺寸爲13.3毫米x15毫米。所述探測器108平行於所述第三三維直角坐標系的YX平面，且該探測器108到所述第三三維直角坐標系的YX平面的距離約爲162.385mm。

【0031】 所述自由曲面離軸三反光學系統100的等效入瞳直徑爲64毫米。

【0032】 所述主反射鏡102、次反射鏡104和第三反射鏡106本身均沒有旋轉角度，而係在Y軸方向上採用了離軸視場。所述自由曲面離軸三反光學系統100的視場角爲8°x9°，其中，在X軸方向的角度爲-4°至4°，在Y軸方向的角度爲-10°至-19°。

【0033】 所述自由曲面離軸三反光學系統100的等效焦距爲94.71mm。

【0034】 所述自由曲面離軸三反光學系統100的工作波長範圍爲8μm到12μm。當然，所述自由曲面離軸三反光學系統100的工作波長並不限於本實施例，本領域具有通常知識者可以根據實際需要調整。

【0035】 所述自由曲面離軸三反光學系統100的相對孔徑大小D/f爲0.676，F數爲相對孔徑大小D/f的倒數，即F數爲1.48。

【0036】 請參閱圖3，爲自由曲面離軸三反光學系統100在長波紅外波段下部分視場角的調製傳遞函數MTF，從圖中可以看出，各視場MTF曲線都達到了繞射極限，表明該自由曲面離軸三反光學系統100具有很高的成像品質。

【0037】 請參閱圖4-5，本發明第二實施例提供一種自由曲面離軸三反光

學系統200，包括：一主反射鏡202、一次反射鏡204、一第三反射鏡206，以及一探測器208。所述次反射鏡204位於主反射鏡202的反射光路上，所述第三反射鏡206位於次反射鏡204的反射光路上，所述探測器208位於第三反射鏡206的反射光路上。所述主反射鏡202、次反射鏡204、以及第三反射鏡206均爲自由曲面，且所述次反射鏡204的反射面爲一光闌面。

【0038】 所述自由曲面離軸三反光學系統200工作時的光路如下：光線首先入射到所述主反射鏡202的反射面上，經該主反射鏡202的反射面反射後形成一第一反射光，該第一反射光入射到所述次反射鏡204的反射面上，經該次反射鏡204的反射面反射後形成一第二反射光，該第二反射光入射到所述第三反射鏡206的反射面上，經該第三反射鏡206的反射面反射後形成一第三反射光被所述探測器208接收到。

【0039】 爲了描述方便，本實施例中，將所述主反射鏡202所處的空間定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)、次反射鏡204所處的空間定義一第四三維直角坐標系、第三反射鏡206所處的空間定義一第五三維直角坐標系。

【0040】 規定所述主反射鏡202的頂點爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的原點，通過主反射鏡202頂點的一條水準方向的直線爲Z軸，向左爲負向右爲正，Y軸在圖4所示的平面內，垂直於Z軸向上爲正向下爲負，X軸垂直於YZ平面，垂直YZ平面向裏爲正向外爲負。所述第四三維直角坐標系爲將所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿Z軸反方向平移約169.524mm獲得，該第四三維直角坐標系的原點爲所述次反射鏡204的頂點。所述第五三維直角坐標系爲將所

述第四三維直角坐標系沿Z軸方向平移約166.524mm獲得，且該第五三維直角坐標系的原點爲所述第三反射鏡206的頂點。即，所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的原點到所述第四三維直角坐標系的原點的距離約爲169.524mm，且所述第五三維直角坐標系的原點到所述第四三維直角坐標系的原點的距離約爲166.524mm。

【0041】 所述主反射鏡202、次反射鏡204以及第三反射鏡206的反射面在其所處的直角坐標系中，均爲一xy多項式自由曲面，xy多項式曲面的一般運算式爲：

【0042】

$$z(x,y)=\frac{c\left(x^2+y^2\right)}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)c^2\left(x^2+y^2\right)}}+\sum_{i=1}^{N}A_i x^m y^n$$

【0043】 其中，z爲曲面向量高，c爲曲面曲率，k爲二次曲面系數，A_i係多項式中第i項的系數。優選的，所述主反射鏡202、次反射鏡204以及第三反射鏡206的反射面均採用含有x的偶次項的最高次爲5次的xy多項式自由曲面，該xy多項式的方程式可表達爲：

【0044】

$$z(x,y)=\frac{c\left(x^2+y^2\right)}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)c^2\left(x^2+y^2\right)}}+A_2y+A_3x^2+A_5y^2+A_7x^2y+A_9y^3$$
$$+A_{10}x^4+A_{12}x^2y^2+A_{14}y^4+A_{16}x^4y+A_{18}x^2y^3+A_{20}y^5$$

【0045】 所述主反射鏡202、次反射鏡204、以及第三反射鏡206反射面面形的XY多項式中曲率c、二次曲面系數κ以及各項系數的值請分別參見表4、表5和表6。可以理解，曲率c、二次曲面系數κ以及各項系數的值也不限於表4、表5和表6中所述，本領域具有通常知識者可以根據實際需要調整。

【0046】 表4主反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0047】

曲率c	0
二次曲面系數 Conic Constant(k)	0
A_2	-5.364677289E-02
A_3	-2.802389614E-04
A_5	-4.917279604E-04
A_7	-2.743858983E-07
A_9	3.731785913E-07
A_{10}	-8.176179189E-10
A_{12}	-1.230682638E-09
A_{14}	-8.892692680E-10
A_{16}	6.549420181E-35
A_{18}	5.584623337E-34
A_{20}	0

【0048】 表5次反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0049】

曲率c	-0.00544243
二次曲面系數 Conic Constant(k)	3.600757791
A_2	-9.014206275E-02
A_3	5.974521478E-04
A_5	3.781771968E-05
A_7	-6.538853200E-06
A_9	-2.999353070E-06
A_{10}	6.461501718E-09
A_{12}	-2.122881499E-08
A_{14}	-3.237190787E-08
A_{16}	-6.611697570E-10
A_{18}	-1.127245302E-09
A_{20}	-4.249403507E-10

【0050】 表6第三反射鏡的反射面的xy多項式中的各系數的值

【0051】

曲率c	-0.005299011
二次曲面系數 Conic Constant(k)	-0.192915447
A_2	-6.673790345E-02
A_3	3.181341995E-04
A_5	2.685200967E-04
A_7	-8.674466513E-07
A_9	-6.837474152E-07
A_{10}	8.911014429E-11
A_{12}	-4.855329097E-10
A_{14}	-6.382272150E-10
A_{16}	-1.294202378E-11
A_{18}	-2.407155556E-11
A_{20}	-9.626719602E-12

【0052】 本實施例二所述主反射鏡202、次反射鏡204、第三反射鏡206以及探測器208的材料和尺寸要求與實施例一中相同。

【0053】 所述探測器208平行於所述第五三維直角坐標系的YX平面，且該探測器208到所述第五三維直角坐標系的YX平面的距離約爲163.657mm。

【0054】 所述自由曲面離軸三反光學系統200的等效入瞳直徑爲64毫米。

【0055】 所述主反射鏡202、次反射鏡204和第三反射鏡206本身均沒有旋轉角度，而係在Y軸方向上採用了離軸視場。所述自由曲面離軸三反光學系統200的視場角爲8°×9°，其中，在X軸方向的角度爲-4°至4°，在Y軸方向的角度爲-10°至-19°。

【0056】 所述自由曲面離軸三反光學系統200的等效焦距爲94.71mm。

【0057】 所述自由曲面離軸三反光學系統200的工作波長範圍爲8μm到12μm。當然，所述自由曲面離軸三反光學系統200的工作波長並不限於本實施例，本領域具有通常知識者可以根據實際需要調整。

【0058】 所述自由曲面離軸三反光學系統200的相對孔徑大小D/f爲0.676，F數爲相對孔徑大小D/f的倒數，即F數爲1.48。

【0059】 請參閱圖6，爲自由曲面離軸三反光學系統200在長波紅外波段下部分視場角的調製傳遞函數MTF，從圖中可以看出，各視場MTF曲線都達到了繞射極限，表明該自由曲面離軸三反光學系統200具有很高的成像品質。

【0060】 本發明實施例提供的自由曲面離軸三反光學系統100及200採用離軸三反光學系統，該系統相比於同軸反射光學系統具有更大的視場角，進而使該系統有較大的視場，成像範圍較大；三個反射鏡的反射面的面形均採用自由曲面，相對於球面或非球面系統具有更多的可控制變數，更有利於校正像差，獲得更好的像質；所述

自由曲面離軸三反光學系統100及200的F數較小，相對孔徑較大，可以使更多的光進入系統，使該系統具有更高的輸入能量與極限解析度；該系統的主反射鏡與第三反射鏡在Z軸方向位置非常接近且近似連續，有利於將其加工在同一塊元件上，從而有利於系統的加工和裝調；該系統中的自由曲面反射鏡均使用的xy多項式曲面次數較低，比較容易加工，易於批量生產。

【0061】 綜上所述，本發明確已符合發明專利之要件，遂依法提出專利申請。惟，以上所述者僅爲本發明之較佳實施例，自不能以此限制本案之申請專利範圍。舉凡熟悉本案技藝之人士援依本發明之精神所作之等效修飾或變化，皆應涵蓋於以下申請專利範圍內。

【符號說明】

【0062】 自由曲面離軸三反光學系統：100，200

【0063】 主反射鏡：102，202

【0064】 次反射鏡：104，204

【0065】 第三反射鏡：106，206

【0066】 探測器：108，208

【主張利用生物材料】

【0067】 無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種自由曲面離軸三反光學系統，包括：

一主反射鏡，該主反射鏡設置在光線的出射光路上，用於將所述光線反射，形成一第一反射光，以所述主反射鏡的頂點爲第一原點定義一第一三維直角坐標系(X,Y,Z)；

一次反射鏡，該次反射鏡設置在所述主反射鏡的反射光路上，用於將所述第一反射光二次反射，形成一第二反射光，該次反射鏡爲一光闌面，以所述次反射鏡的頂點爲第二原點定義一第二三維直角坐標系，且該第二三維直角坐標系爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿該第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的Z軸反方向平移得到；以及

一第三反射鏡，該第三反射鏡設置在所述次反射鏡的反射光路上，用於將所述第二反射光再次反射，形成一第三反射光，以所述第三反射鏡的頂點爲第三原點定義一第三三維直角坐標系，且該第三三維直角坐標系爲所述第二三維直角坐標系沿該第二三維直角坐標系的Z軸方向平移得到；

一探測器，該探測器位於所述第三反射鏡的反射光路上，用於接收所述第三反射光；以及

在所述第一三維直角坐標系中(X,Y,Z)，所述主反射鏡的反射面；在所述第二三維直角坐標系中，所述次反射鏡的反射面；以及在所述第三三維直角坐標系中，所述第三反射鏡的反射面均爲一5次的xy多項式自由曲面。

【第2項】 如請求項第1項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述主反射鏡、次反射鏡以及第三反射鏡的反射面均爲一含有x的偶次項的5次的x多項

式自由曲面，該xy多項式自由曲面的方程式爲：

$$z(x,y)=\frac{c\left(x^2+y^2\right)}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)c^2\left(x^2+y^2\right)}}+A_2y+A_3x^2+A_5y^2+A_7x^2y$$
$$+A_9y^3+A_{10}x^4+A_{12}x^2y^2+A_{14}y^4+A_{16}x^4y+A_{18}x^2y^3+A_{20}y^5$$

，

其中，c係曲率，κ係二次曲面系數，A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別係各項系數的值。

【第3項】 如請求項第2項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述第二三維直角坐標系爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿該第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的Z軸反方向平移164.115mm；所述第三三維直角坐標系爲所述第二三維直角坐標系沿該第二三維直角坐標系的Z軸方向平移166.115mm。

【第4項】 如請求項第3項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述主反射鏡的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	0.00001
二次曲面系數 Conic Constant(k)	0
A_2	-4.479404465E-02
A_3	-3.329547026E-04
A_5	-5.089175666E-04
A_7	-2.875421153E-07
A_9	3.905997414E-07
A_{10}	-9.187067977E-10
A_{12}	-1.386345655E-09
A_{14}	-9.595336907E-10
A_{16}	3.312490128E-13
A_{18}	1.068840597E-14
A_{20}	2.981424695E-15

。

【第5項】 如請求項第3項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述次反射鏡的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	-0.00560716
二次曲面系數 Conic Constant(k)	3.771722555
A_2	-9.495795402E-02
A_3	5.206118939E-04
A_4	8.321411971E-05
A_7	-7.590923035E-06
A_9	-3.672849665E-06
A_{10}	9.194444332E-09
A_{12}	-1.436477579E-08
A_{14}	-2.518497282E-08
A_{16}	-8.518009935E-10
A_{18}	-1.448729163E-09
A_{20}	-5.742544243E-10

。

【第6項】 如請求項第3項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述第三反射鏡的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	-0.006942447
二次曲面系數 Conic Constant(k)	-0.571866727
A2	-7.401456903E-02
A3	1.109934670E-03
A5	1.074553500E-03
A7	-9.865942866E-07
A9	-7.966880396E-07
A10	2.467079544E-09
A12	4.292670106E-09
A14	1.670677609E-09
A16	-1.728289480E-11
A18	-3.271768197E-11
A20	-1.448168246E-11

。

【第7項】 如請求項第3項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述探測器到所述第三三維直角坐標系的YX平面的距離爲162.385mm。

【第8項】 如請求項第2項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，爲所述第二三維直角坐標系爲所述第一三維直角坐標系(X,Y,Z)沿該第一三維直角坐標系(X,Y,Z)的Z軸反方向平移169.524mm；所述第三三維直角坐標系爲所述第二三維直角坐標系沿該第二三維直角坐標系的Z軸方向平移166.524mm。

【第9項】 如請求項第8項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述主反射鏡

的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	0
二次曲面系數 Conic Constant(k)	0
A_2	-5.364677289E-02
A_3	-2.802389614E-04
A_5	-4.917279604E-04
A_7	-2.743858983E-07
A_9	3.731785913E-07
A_{10}	-8.176179189E-10
A_{12}	-1.230682638E-09
A_{14}	-8.892692680E-10
A_{16}	6.549420181E-35
A_{18}	5.584623337E-34
A_{20}	0

。

【第10項】 如請求項第8項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述次反射鏡的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	-0.00544243
二次曲面系數 Conic Constant(k)	3.600757791
A_2	-9.014206275E-02
A_3	5.974521478E-04
A_5	3.781771968E-05
A_7	-6.538853200E-06
A_9	-2.999353070E-06
A_{10}	6.461501718E-09
A_{12}	-2.122881499E-08
A_{14}	-3.237190787E-08
A_{16}	-6.611697570E-10
A_{18}	-1.127245302E-09
A_{20}	-4.249403507E-10

。

【第11項】 如請求項第8項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述第三反射鏡的反射面的xy多項式的方程式中，曲率c、二次曲面系數κ以及系數A_2、A_3、A_5、A_7、A_9、A_{10}、A_{12}、A_{14}、A_{16}、A_{18}以及A_{20}分別爲：

曲率c	-0.005299011
二次曲面系數 Conic Constant(k)	-0.192915447
A_2	-6.673790345E-02
A_3	3.181341995E-04
A_5	2.685200967E-04
A_7	-8.674466513E-07
A_9	-6.837474152E-07
A_{10}	8.911014429E-11
A_{12}	-4.855329097E-10
A_{14}	-6.382272150E-10
A_{16}	-1.294202378E-11
A_{18}	-2.407155556E-11
A_{20}	-9.626719602E-12

。

【第12項】 如請求項第8項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述探測器到所述第三三維直角坐標系的YX平面的距離爲163.657mm。

【第13項】 如請求項第1項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述自由曲面離軸三反光學系統的視場角爲8°×9°。

【第14項】 如請求項第13項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述自由曲面離軸三反光學系統的視場角在X軸方向爲-4°到4°，在Y軸方向爲-10°到-19°。

【第15項】 如請求項第1項所述之自由曲面離軸三反光學系統，其中，所述自由曲面離軸三反光學系統的F數爲1.48。

【發明圖式】

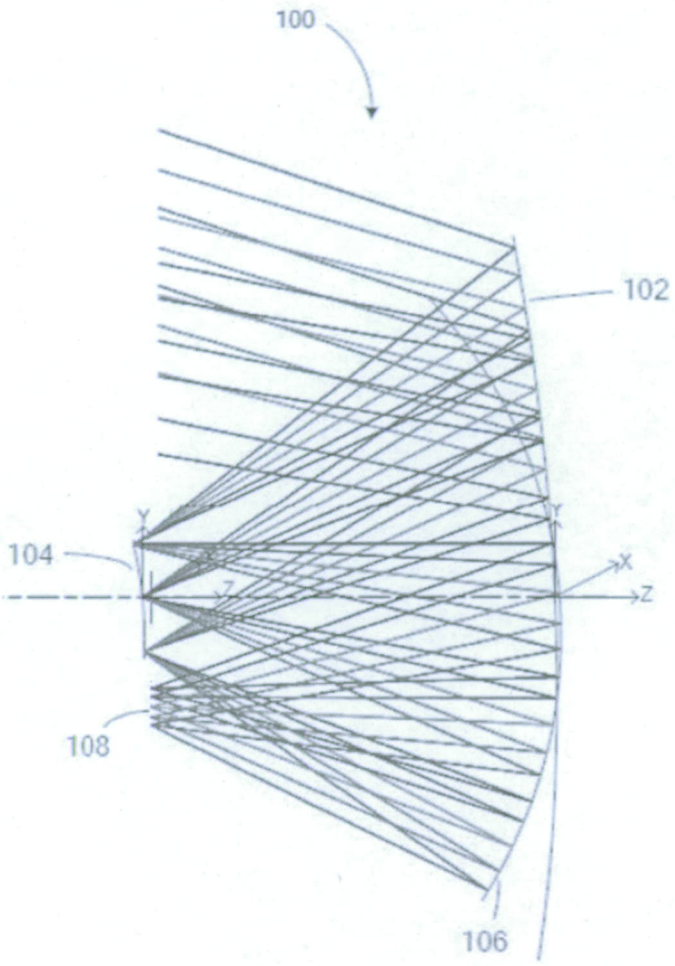


圖 1

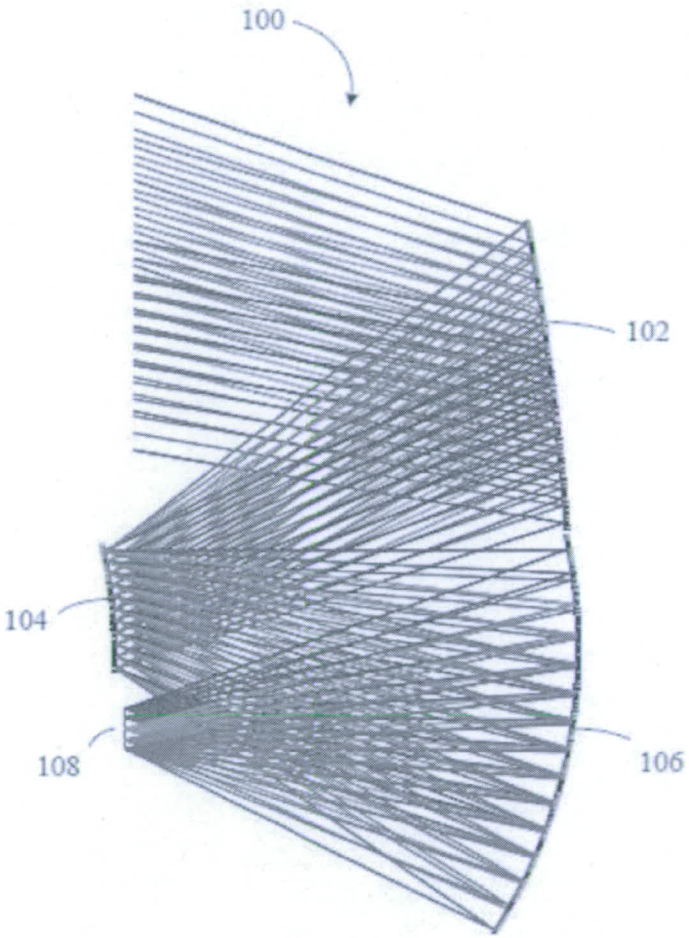


圖 2

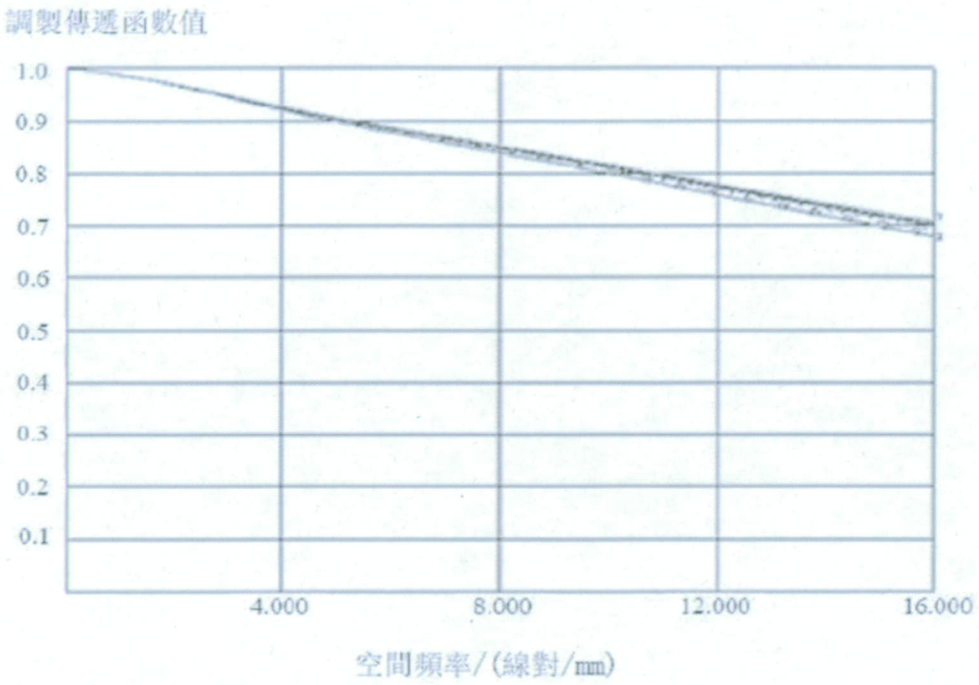

調製傳遞函數值
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
4.000
8.000
12.000
16.000
空間頻率/(線對/mm)

圖 3

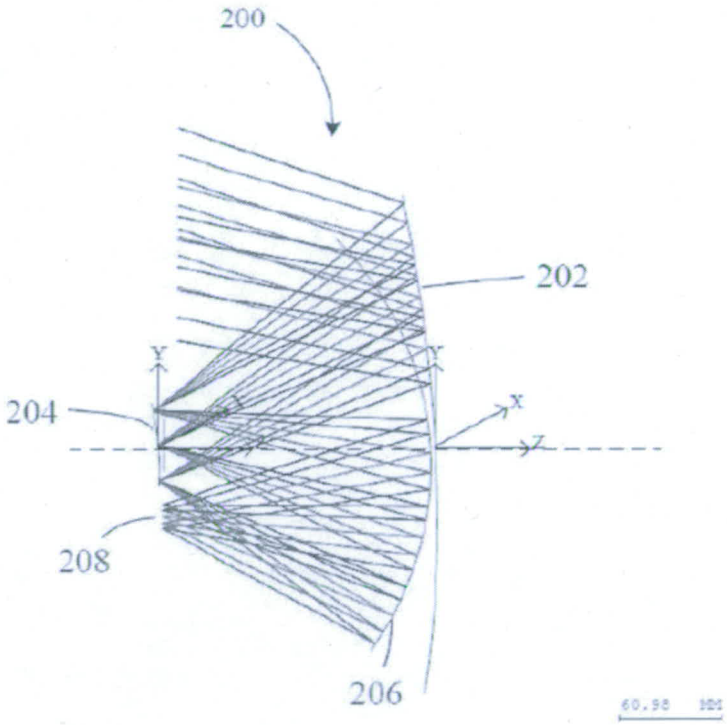


圖 4

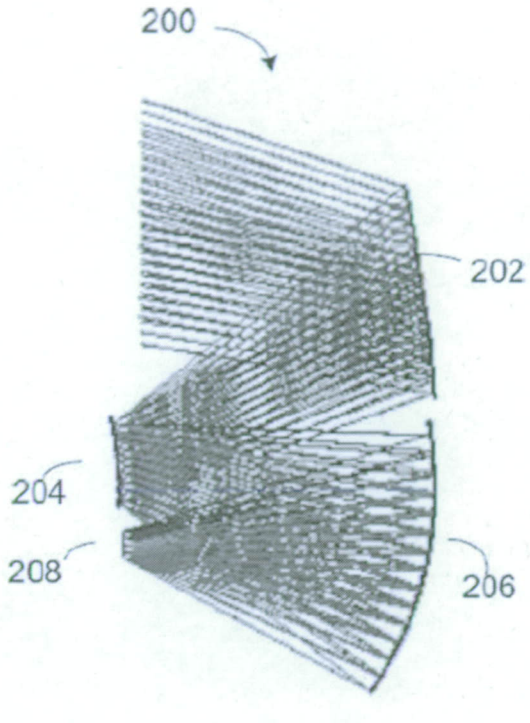


圖 5

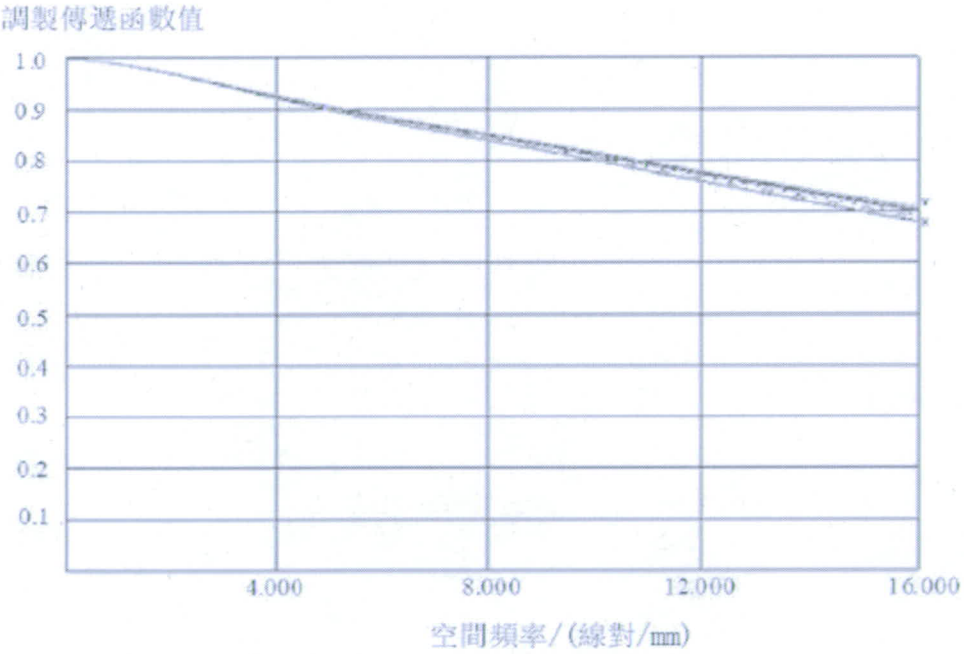

調製傳遞函數值
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
4.000
8.000
12.000
16.000
空間頻率/(線對/mm)

圖 6