



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0024985

(51)⁷ G02B 13/14

(13) B

(21) 1-2018-03322

(22) 27/07/2018

(45) 25/08/2020 389

(43) 25/10/2018 367A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân Đội (VN)

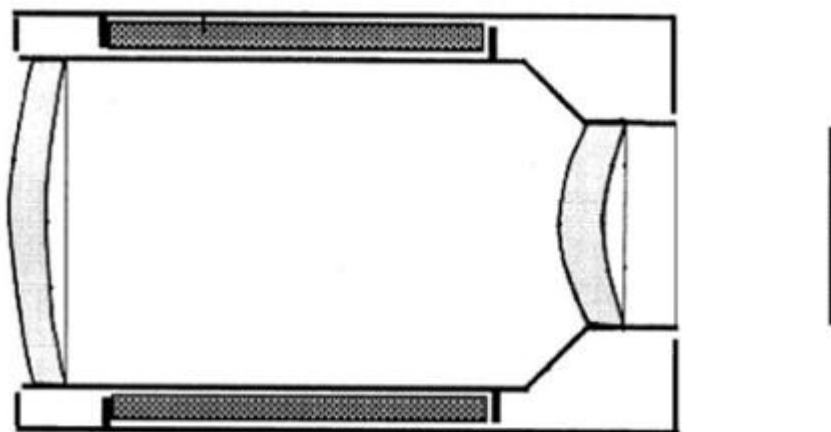
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội.

(72) VŨ VĂN TUẤN (VN); QUẾ ĐẠI CƯỜNG (VN); ĐẶNG XUÂN DU (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACI CO., LTD)

(54) CƠ CẤU ỐNG KÍNH HỒNG NGOẠI BÙ NHIỆT QUANG - CƠ THỤ ĐỘNG

(57) Sáng chế đề xuất bản thiết kế cơ cấu ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động. Ống kính hoạt động trong dải bước sóng 8-12 μm , có kết cấu gọn nhẹ, có khả năng thuận tiện cho việc tích hợp trên các sản phẩm cầm tay, có thể hoạt động tốt trong dải nhiệt độ môi trường biến thiên lớn từ -10°C đến 65°C . Ống kính được thiết kế bao gồm hai hệ cơ cấu: cơ cấu quang học và cơ cấu cơ học; trong đó, cơ cấu quang học gồm hai thấu kính, cơ cấu cơ học gồm vỏ ngoài, vỏ trong, côn và hoặc trụ bù nhiệt.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thiết kế cơ cấu ống kính hồng ngoại bù nhiệt quang-cơ thụ động hoạt động trên dải bước sóng hồng ngoại dài (LWIR) có khả năng tự động lấy nét khi nhiệt độ môi trường thay đổi trong dải lớn.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trên thực tế, chiết suất của vật liệu dùng chế tạo thấu kính hồng ngoại thường nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ môi trường. Do đó khi nhiệt độ môi trường thay đổi dẫn đến điểm ảnh nhận được sau ống kính bị dịch chuyển về phía trước hoặc sau mặt cảm biến, hiện tượng trên dẫn đến giảm chất lượng ảnh hay giá trị hàm truyền độ phân giải MTF bị suy giảm. Để giải quyết hiện tượng trên, dạng ống kính bù nhiệt được đưa ra trong thiết kế quang học. Đặc điểm của các ống kính này là có thể đưa điểm ảnh trở lại mặt cảm biến khi nhiệt độ môi trường thay đổi bằng phương pháp chủ động hoặc bị động. Có 3 dạng ống kính bù nhiệt chính:

bù nhiệt bằng quang thụ động;

bù nhiệt bằng cơ thụ động;

bù nhiệt bằng điện-cơ chủ động.

Mỗi phương pháp bù nhiệt có ưu và nhược điểm về đặc tính, chi phí và độ phức tạp kết cấu khác nhau. Nhìn chung, đối với phương pháp bù quang, ống kính được thiết kế dựa vào sử dụng các bộ vật liệu hồng ngoại đảm bảo giá trị tiêu cự, khử quang sai và giảm sự ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến tính chất quang của ống kính. Phương pháp này có nhược điểm là sử dụng nhiều phần tử thấu kính. Đối với phương pháp bù cơ, sử dụng phương pháp dịch chuyển một thấu kính hoặc dịch chuyển hệ thấu kính (sử dụng vỏ và cơ cấu dịch chuyển có hệ số giãn nở nhiệt khác nhau) một lượng để bù lại sự thay

đổi tiêu cự do biến thiên nhiệt độ môi trường gây ra, phương pháp này khá đơn giản, có độ chính xác cao và dễ tích hợp. Đối với phương pháp bù điện-cơ chủ động sẽ sử dụng cảm biến nhiệt độ để nhận biết sự thay đổi nhiệt độ môi trường, qua đó động cơ điện sẽ được điều khiển để dịch chuyển hệ quang với mục đích đưa điểm ảnh trở lại mặt cảm biến. Phương pháp này thường sử dụng cho các hệ quang phức tạp như hệ thấu kính zoom liên tục hoặc các hệ quang đã sử dụng động cơ điện. Ưu điểm của phương pháp trên là chủ động thay đổi hệ quang thích ứng với thay đổi nhiệt độ, tuy nhiên phương pháp này thường phức tạp, cồng kềnh, khối lượng lớn, giá thành sản xuất cao và phải sử dụng thêm nguồn điện phục vụ động cơ điện.

Để đảm bảo ống kính có tính gọn nhẹ cho việc tích hợp trên các sản phẩm cầm tay, do đó sáng chế này đưa ra thiết kế cơ cấu ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động. Các phần tử thấu kính được chế tạo bằng vật liệu truyền thống và vật liệu tổng hợp với các bề mặt phi cầu và nhiễu xạ nhằm tối ưu hóa số lượng phần tử sử dụng trong ống kính. Ống kính được tích hợp cơ cấu bù nhiệt trong đó có thành phần côn hoặc trụ bù nhiệt được làm bằng vật liệu có hệ số giãn nở nhiệt ≥ 4 lần hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu làm vỏ thấu kính. Ống kính hoạt động tốt trong dải nhiệt độ -10°C đến 65°C , phù hợp với điều kiện môi trường hoạt động tại Việt Nam.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất cơ cấu ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động có khả năng lấy lại sự mất tiêu cự do thay đổi nhiệt độ gây ra bằng cách sử dụng kết hợp cơ cấu quang học và cơ cấu cơ học. Thiết kế với kết cấu gọn nhẹ phù hợp cho việc tích hợp lên các sản phẩm cầm tay như kính ngắm ảnh nhiệt và trình sát ảnh nhiệt. Ống kính có thể tích hợp lên các hệ thống camera giám sát tầm gần.

Để đạt được mục đích nêu trên, đối với cơ cấu quang học, thiết kế sử dụng thấu kính với vật liệu truyền thống và vật liệu tổng hợp có chiết suất kém nhạy với thay đổi nhiệt độ môi trường (bù quang); đối với cơ cấu cơ học, thiết kế sử dụng côn hoặc trụ bù nhiệt bằng vật liệu có hệ số giãn nở nhiệt ≥ 4 lần hệ số giãn nở nhiệt làm vỏ ống kính, với

mục tiêu dịch chuyển tiêu cự của ống kính trở lại màn cảm biến (bù cơ) khi nhiệt độ môi trường bị thay đổi. Chiều dài côn hoặc trụ bù nhiệt (L_{BN}) có mối liên hệ với chiều dài ống kính (L_{OK}) thỏa mãn: $0,37 \leq \frac{L_{BN}}{L_{OK}} \leq 0,42$ để đảm bảo điểm ảnh luôn nằm trong giới hạn độ sâu trường ảnh.

Do chỉ sử dụng 2 phần tử thấu kính với các bề mặt thấu kính phi truyền thống (phi cầu và nhiễu xạ), do đó, kết cấu ống kính bù nhiệt rất gọn nhẹ. Các bề mặt phi truyền thống giúp giảm tối đa quang sai cho hệ thấu kính. Ống kính sử dụng ít nhất 1 bề mặt nhiễu xạ và 2 bề mặt phi cầu. Vật liệu gia công thấu kính được sử dụng bằng vật liệu tổng hợp và vật liệu truyền thống có chiết suất ít nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ môi trường. Ống kính được thiết kế tương thích với cảm biến không làm lạnh có độ phân giải 640×480 và kích thước pixel $17\mu\text{m}$. Sáng chế đã đưa ra 2 mẫu ống kính có tiêu cự 60 mm $F/\#1,25$ và tiêu cự 35 mm $F/\#1,17$, các ống kính này phù hợp cho việc tích hợp trên sản phẩm kính ngắm ảnh nhiệt và trình sát ảnh nhiệt. Cơ cấu ống kính bù nhiệt được thiết kế và chế tạo theo sáng chế có chất lượng ảnh đảm bảo giá trị hàm truyền độ phân giải MTF tại 30 cy/mm luôn $\geq 0,36$ khi nhiệt độ môi trường thay đổi trong dải từ -10°C đến 25°C .

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: kết cấu tổng quát của ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động.

Hình 2: mối quan hệ giữa giá trị sag (hay Z) và khoảng cách (y) từ một điểm trên bề mặt thấu kính đến trục quang của thấu kính.

Hình 3: hệ quang học cho ống kính bù nhiệt mẫu 1.

Hình 4: hàm truyền độ phân giải (MTF) của ống kính mẫu 1 tại nhiệt độ môi trường 25°C .

Hình 5: đồ thị mức tập trung năng lượng trên pixel cảm biến của ống kính mẫu 1 tại nhiệt độ môi trường 25°C .

Hình 6: hệ quang học cho ống kính bù nhiệt mẫu 2.

Hình 7: hàm truyền độ phân giải (MTF) của ống kính mẫu 2 tại nhiệt độ môi trường 25°C.

Hình 8: đồ thị mức tập trung năng lượng trên pixel cảm biến của ống kính mẫu 2 tại nhiệt độ môi trường 25°C.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tham chiếu hình 1, cơ cấu ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động 2 phần tử có cấu tạo gồm 2 phần chính:

cơ cấu quang học: thấu kính thứ nhất L01 và thấu kính thứ hai L02;

cơ cấu cơ học: côn hoặc trụ bù nhiệt, vỏ trong V1 và vỏ ngoài V2.

Ở cơ cấu quang học, hai thấu kính thứ nhất L01 và thấu kính thứ hai L02 có đặc điểm như sau:

Thấu kính thứ nhất L01 là một thấu kính hội tụ bao gồm mặt lồi M01 và mặt lõm M02. Mặt M01 có dạng mặt cầu hoặc phi cầu trong khi mặt M02 có dạng mặt phi cầu hoặc nhiều xạ. Việc sử dụng dạng bề mặt phi cầu và nhiều xạ có tác dụng giảm các thành phần quang sai cầu, quang sai coma, loạn thị và sắc sai, đồng thời giảm tối đa số phần tử thấu kính sử dụng. Vật liệu làm thấu kính thứ nhất L01 là vật liệu hồng ngoại có hằng số nhiệt-quang (γ_T) thỏa mãn:

$$\gamma_T \leq 20 [K^{-1}]$$

Thấu kính thứ hai L02 có thể là thấu kính hội tụ hoặc thấu kính phân kì, trong đó có mặt M03 và M04 dạng mặt phi cầu hoặc nhiều xạ. Thấu kính thứ hai L02 được làm bằng vật liệu có hệ số nhiệt-quang thỏa mãn:

$$20 \leq \gamma_T \leq 130 [K^{-1}]$$

Tham chiếu vào Hình 2, các bề mặt phi cầu và nhiễu xạ được xác định theo công thức (1) và (2). Đối với bề mặt nhiễu xạ Binary 2, giá trị $Z = \text{sag}(y)$ của bề mặt thấu kính bao gồm 2 thành phần phi cầu ($Z_{\text{phi cầu}}$) và thành phần nhiễu xạ ($Z_{\text{nhiễu xạ}}$).

$$Z_{\text{phi cầu}} = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)c^2y^2}} + \sum_{i=1}^4 A_{2i}y^{2i} \quad (1)$$

$$Z_{\text{nhiễu xạ}} = \frac{1}{N-1} \sum_i C_{2i}y^{2i} + \frac{\lambda}{N-1} \left[\text{int} \frac{1}{\lambda} (\sum_i C_{2i}y^{2i}) \right] \quad (2)$$

Trong đó, $c=1/R$ với R là bán kính cong mặt phi cầu, y là chiều cao dọc trục tính từ trục quang, K là hệ số conic của mặt phi cầu, λ là bước sóng trung tâm, N là chiết suất thấu kính, A_{2i} lần lượt là hệ số phi cầu bậc chẵn 2, 4, 6, 8, 10, 12. C_{2i} là tham số mặt nhiễu xạ Binary 2.

Thấu kính thứ nhất L01 và thấu kính thứ hai L02 được gắn cố định giữa vỏ trong V1 và vỏ ngoài V2. Vỏ ngoài cùng của ống kính bù nhiệt V2 làm cùng loại vật liệu với vỏ trong V1.

Ống kính được thiết kế tương thích với cảm biến không làm lạnh có độ phân giải 640×480 với kích thước pixel $17 \mu\text{m}$.

Ở cơ cấu cơ học, bao gồm côn hoặc trụ bù nhiệt, nằm giữa vỏ trong V1 và vỏ ngoài V2. Côn hoặc trụ bù nhiệt này được làm từ vật liệu có hệ số giãn nở nhiệt lớn hơn 4 lần hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu làm vỏ V1 và vỏ V2, vật liệu làm côn bù nhiệt có hệ số giãn nở nhiệt lớn so với vật liệu vỏ để đảm bảo có thể bù được sự dịch chuyển điểm ảnh do vỏ trong V1, vỏ ngoài V2 giãn/co lại, và sự dịch chuyển điểm ảnh do thay đổi chiết suất thấu kính. Nếu hệ số giãn nở nhiệt của côn bù nhiệt nhỏ hơn 4 lần hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu vỏ V1 và vỏ V2 sẽ dẫn đến việc phải tăng chiều dài côn/trụ bù nhiệt làm cho kết cấu phức tạp khó tích hợp vào ống kính. Chiều dài côn/trụ bù nhiệt được tối ưu giúp ống kính không bị mất tiêu cự khi nhiệt độ thay đổi từ -10°C đến 65°C .

Cụ thể, côn hoặc trụ bù nhiệt được tối ưu kích thước chiều dài để đảm bảo dịch chuyển điểm ảnh nằm trong độ sâu trường ảnh (Δz) thỏa mãn: $\Delta z = \pm 2\lambda(F\#)^2$ với λ là bước sóng hoạt động, $F\#$ là tỉ số giữa đường kính đồng tử vào và tiêu cự của ống kính.

Sáng chế này dùng cho thiết kế các ống kính bù nhiệt có tỉ số chiều dài ống kính (L_{OK}) trên tiêu cự F thỏa mãn $0,8 \leq \frac{L_{OL}}{F} \leq 0,93$. Để côn hoặc trụ bù nhiệt có thể đẩy hoặc kéo vỏ V1 cùng hệ thấu kính sao cho ảnh nằm trên màn cảm biến thì chiều dài L_{BN} phải đảm bảo mối liên hệ với chiều dài ống kính như sau:

$$0,37 \leq \frac{L_{BN}}{L_{OK}} \leq 0,42$$

Với việc lựa chọn cặp vật liệu thấu kính thứ nhất L01, thấu kính thứ hai L02, côn/trụ bù nhiệt và tỉ số L_{BN}/L_{OK} như trên, giá trị hàm truyền độ phân giải MTF của ống kính có thể $\geq 0,36$ khi nhiệt độ môi trường thay đổi từ -10°C đến 65°C trong các thiết kế ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động như Bảng 1.

Với thiết kế cơ cấu quang học và cơ học như vậy, cơ cấu ống kính bù nhiệt có kết cấu gọn nhẹ, có khả năng thuận tiện cho việc tích hợp trên các sản phẩm cầm tay. Đồng thời, cơ cấu có thể hoạt động tốt trong dải nhiệt độ có biến đổi lớn từ -10°C đến 65°C mà vẫn đảm bảo điểm ảnh luôn nằm trong giới hạn độ sâu trường ảnh. cụ thể ống kính bù nhiệt được thiết kế và chế tạo theo sáng chế có chất lượng ảnh đảm bảo giá trị hàm truyền độ phân giải MTF tại 30 cy/mm luôn $\geq 0,36$ khi nhiệt độ môi trường thay đổi trong dải từ -10°C đến 65°C . Thiết kế khắc phục được nhược điểm hệ thống cồng kềnh của phương pháp bù nhiệt quang thụ động nhờ sử dụng chỉ hai thấu kính.

Trong quá trình hoạt động, thấu kính với hệ quang-cơ được hoạt động như sau:

Tại nhiệt độ phòng 25°C ảnh của vật thể qua ống kính sẽ nằm trên mặt phẳng cảm biến.

Khi nhiệt độ môi trường lớn hơn 25°C, chiết suất của vật liệu làm thấu kính tăng, vỏ trong V1 và vỏ ngoài V2 có xu hướng bị giãn ra làm điểm ảnh dịch về phía trước màn cảm biến. Tuy nhiên với kết cấu trên, côn trụ bù nhiệt sẽ đẩy vỏ V1 cùng hệ thấu kính theo chiều ngược lại dịch chuyển điểm ảnh trở lại mặt phẳng cảm biến.

Khi nhiệt độ môi trường nhỏ hơn 25°C, chiết suất vật liệu thấu kính giảm, vỏ trong V1 và vỏ ngoài V2 có xu hướng bị co lại làm điểm ảnh dịch về phía sau màn cảm biến. Trong trường hợp này côn hoặc trụ bù nhiệt bị co lại kéo vỏ V1 và hệ thấu kính về phía trước làm cho điểm ảnh dịch lại mặt cảm biến.

Thực tế khi nhiệt độ môi trường thay đổi, điểm ảnh không hoàn toàn nằm trên mặt phẳng cảm biến. Tuy nhiên côn hoặc trụ bù nhiệt được tối ưu kích thước để đảm bảo dịch chuyển điểm ảnh nằm trong độ sâu trường ảnh (Δz) thỏa mãn: $\Delta z = \pm 2\lambda(F\#)^2$. Trong đó λ là bước sóng hoạt động, $F\#$ là tỉ số giữa đường kính đồng tử vào và tiêu cự của ống kính.

Phương án thực hiện của sáng chế được mô tả trên đây được cụ thể hóa dựa vào hai ví dụ thực hiện sáng chế được thể hiện theo mô tả và trên các hình vẽ, bảng kèm theo sau đây.

Bảng 1 đưa ra các tham số bậc 1 của hai ví dụ về mẫu ống kính bù nhiệt thỏa mãn các điều kiện trên.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật ống kính bù nhiệt thụ động cho 2 mẫu 1 và 2

	Tham số	Mẫu 1	Mẫu 2
Tham số bậc 1 của ống kính và chiều dài côn hoặc trụ bù nhiệt	Bước sóng	8-12	8-12
	Tiêu cự	35	60
	$F\#$	1,17	1,25
	L_{OK}/F	0,92	0,87
	L_{BN}/L_{OK}	0,42	0,38

Giá trị hàm truyền độ phân giải (MTF)	-10°C	$\geq 0,36$	$\geq 0,37$
	25°C	$\geq 0,42$	$\geq 0,44$
	65°C	$\geq 0,38$	$\geq 0,39$

Ví dụ 1: Hình 3, Bảng 2, Bảng 3 và Bảng 4 biểu diễn các tham số kỹ thuật chi tiết cho hệ quang học, vật liệu và các thông số dạng bề mặt của ống kính bù nhiệt theo ví dụ thứ nhất.

Ống kính này chỉ sử dụng 2 phần tử thấu kính làm bằng vật liệu tổng hợp IRG202. Các bề mặt phi cầu M1, nhiễu xạ M2, phi cầu M3 và nhiễu xạ M4 được sử dụng với mục tiêu giảm tối đa số phần tử thấu kính xuống 2 phần tử. Ống kính trên có chất lượng ảnh tốt với giá trị hàm truyền độ phân giải MTF tại 30 cy/mm đều lớn hơn 0,36 khi nhiệt độ môi trường thay đổi từ -10°C đến 65°C. Giá trị MTF và độ tập trung năng lượng trên pixel của ống kính tại nhiệt độ 25°C được biểu diễn trên Hình 4 và Hình 5.

Bảng 2. Thông số kích thước ống kính theo ví dụ 1

Mặt	Bán kính cầu (r)	Độ dày trục (t)	Vật liệu	Đường kính thông quang
M1- Phi cầu	21,87	13,8	IRG202	16,285
M2- Nhiễu xạ	18,45	t_2		10,098
M3- Phi cầu	-73,08	9,5	IRG202	9,964
M4- Nhiễu xạ	32,7	13,2		11,423

Bảng 3. Bảng thông số mặt phi cầu M1, M2, M3 và M4 của ống kính theo ví dụ 1

Mặt	K	A_4
M1	0,247	-1,534E-7
M2	1,59	3,807E-6
M3	30,081	-2,455E-5
M4	0,679	-1,116E-5

Bảng 4. Bảng thông số mặt nhiễu xạ Binary 2 của bề mặt M2 và M4 ống kính theo ví dụ 1.

Mặt	C_2	C_4
M2	-5,3567E-4	C_{02}
M4	-4,6478E-5	C_{03}

Ví dụ 2: Hình 6, Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7 biểu diễn các tham số kỹ thuật chi tiết cho hệ quang học, vật liệu và các thông số dạng bề mặt của ống kính bù nhiệt theo ví dụ thứ hai.

Mẫu ống kính 2 được biểu diễn như trên Hình 6, hệ quang học sử dụng 02 thấu kính sử dụng cặp vật liệu thấu kính IRG202 và Germanium, cụ thể L01 được làm từ vật liệu IRG202, thấu kính thứ hai L02 được làm từ vật liệu Germanium. Trong đó sử dụng mặt cầu M5, nhiễu xạ M6, phi cầu M7 và M8. Ống kính trên có chất lượng ảnh tốt với giá trị hàm truyền độ phân giải MTF tại 30 cy/mm đều lớn hơn 0,37 trong dải nhiệt độ môi trường thay đổi từ -10°C đến 65°C.

Giá trị MTF và độ tập trung năng lượng trên pixel của ống kính được biểu diễn trên Hình 7 và Hình 8.

Bảng 5. Thông số kích thước hệ quang học cho ống kính ví dụ 2

Mặt	Bán kính cầu (r)	Độ dày trục (t)	Vật liệu	Đường kính thông quang
M5- Cầu	42,66	7	IRG202	24
M6- Nhiễu xạ	64,77	t_l		22,686
M7- Phi cầu	30,34	4	Germanium	11,499
M8- Phi cầu	27,85	14		10,014

Bảng 6. Thông số mặt phi cầu M6, M7 và M8 của ống kính ví dụ 2

Mặt	K	A ₄
M6	0,42	1,539E-7
M7	0,527	2,681E-6
M8	2,172	0

Bảng 7. Bảng thông số mặt nhiễu xạ Binary 2 của ống kính ví dụ 2

Mặt	C ₂	C ₄
M6	-1,7848E-4	C ₀₁

Cơ cấu đề xuất trong sáng chế có thể được ứng dụng trong các thiết bị ngắm ảnh nhiệt, thiết bị trình sát ảnh nhiệt, hệ thống camera giám sát tầm gần hoặc các thiết bị có ứng dụng cơ cấu quang học tương tự.

Sáng chế được mô tả chi tiết bằng cách sử dụng các phương án được mô tả ở trên. Tuy nhiên, rõ ràng là đối với người hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sáng chế không bị giới hạn ở phương án được mô tả trong phần mô tả sáng chế. Sáng chế có thể được thực hiện ở chế độ cải biến hoặc thay đổi mà không nằm ngoài phạm vi sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ. Vì vậy những gì được mô tả trong phần mô tả sáng chế chỉ nhằm mục đích minh họa, và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với sáng chế.

Yêu cầu bảo hộ

1. Cơ cấu ống kính hồng ngoại bù nhiệt quang-cơ thụ động được cấu tạo bởi hai hệ cơ cấu quang học và cơ học, cụ thể:

cơ cấu quang học bao gồm 02 thấu kính:

thấu kính thứ nhất là một thấu kính hội tụ bao gồm mặt lồi và mặt lõm. Mặt lồi có dạng mặt cầu hoặc phi cầu trong khi mặt lõm có dạng mặt phi cầu hoặc nhiều xạ; việc sử dụng dạng bề mặt phi cầu và nhiều xạ có tác dụng giảm các thành phần quang sai cầu, quang sai coma, loạn thị và sắc sai, đồng thời giảm tối đa số phần tử thấu kính sử dụng; vật liệu làm thấu kính thứ nhất là vật liệu hồng ngoại có hằng số nhiệt-quang (γ_T) thỏa mãn:

$$\gamma_T \leq 20 [K^{-1}]$$

thấu kính thứ hai có thể là thấu kính hội tụ hoặc thấu kính phân kì, trong đó có một mặt lồi và một mặt lõm dạng mặt phi cầu hoặc nhiều xạ; thấu kính thứ hai được làm bằng vật liệu có hệ số nhiệt-quang thỏa mãn:

$$20 \leq \gamma_T \leq 130 [K^{-1}]$$

cơ cấu cơ học bao gồm côn hoặc trụ bù nhiệt, nằm giữa vỏ ngoài và vỏ trong; côn hoặc trụ bù nhiệt được làm từ vật liệu có hệ số giãn nở nhiệt lớn hơn 4 lần hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu làm vỏ trong và vỏ ngoài, vật liệu làm côn bù nhiệt có hệ số giãn nở nhiệt lớn so với vật liệu vỏ để đảm bảo có thể bù được sự dịch chuyển điểm ảnh do vỏ trong, vỏ ngoài giãn/co lại, và sự dịch chuyển điểm ảnh do thay đổi chiết suất thấu kính.

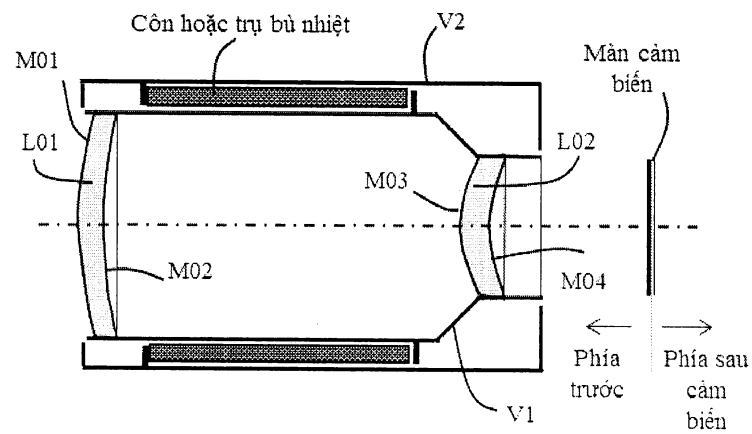
2. Cơ cấu ống kính hồng ngoại bù nhiệt quang-cơ thụ động theo điểm 1, trong đó thấu kính thứ nhất và thấu kính thứ hai được gắn cố định giữa vỏ trong và vỏ ngoài, vỏ ngoài cùng của ống kính bù nhiệt là vỏ ngoài làm cùng loại vật liệu với vỏ trong.

3. Cơ cấu ống kính hồng ngoại bù nhiệt quang-cơ thụ động theo điểm 1 dùng cho thiết kế các ống kính bù nhiệt có tỉ số chiều dài ống kính (L_{OK}) trên tiêu cự F thỏa mãn $0,8 \leq \frac{L_{OL}}{F} \leq 0,93$; để côn hoặc trụ bù nhiệt có thể đẩy hoặc kéo vỏ trong cùng hệ thấu kính sao cho ảnh nằm trên màn cảm biến thì chiều dài L_{BN} phải đảm bảo mối liên hệ với chiều dài ống kính như sau:

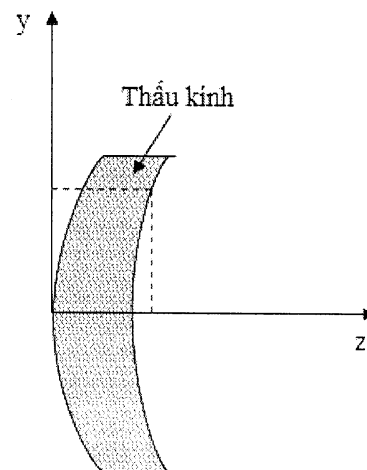
$$0,37 \leq \frac{L_{BN}}{L_{OK}} \leq 0,42$$

với việc lựa chọn cặp vật liệu thấu kính thứ nhất, thấu kính thứ hai, côn/trụ bù nhiệt và tỉ số L_{BN}/L_{OK} như trên, giá trị hàm truyền độ phân giải MTF của ống kính có thể $\geq 0,36$ khi nhiệt độ môi trường thay đổi từ -10°C đến 65°C trong các thiết kế ống kính bù nhiệt quang-cơ thụ động.

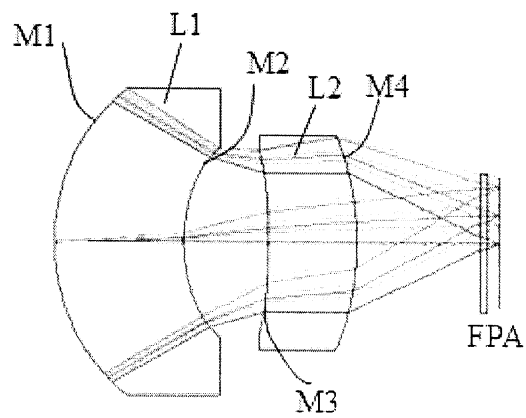
Hình vẽ



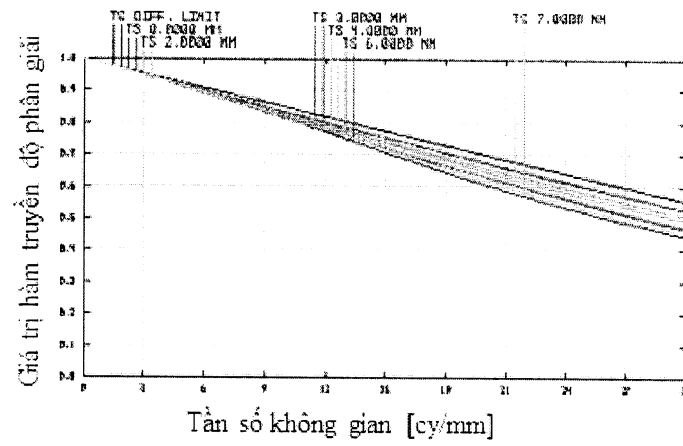
Hình 1



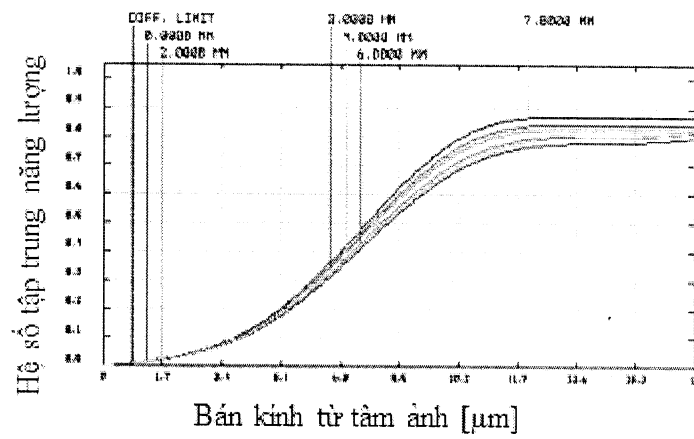
Hình 2



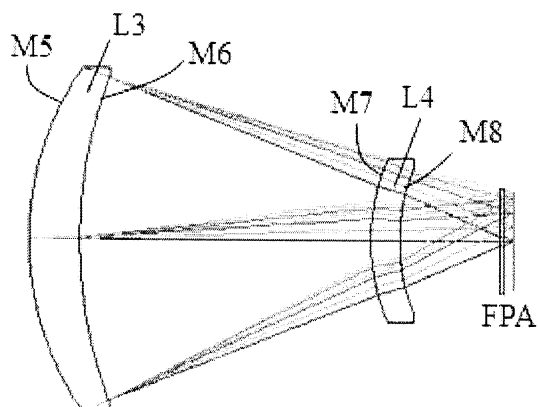
Hình 3



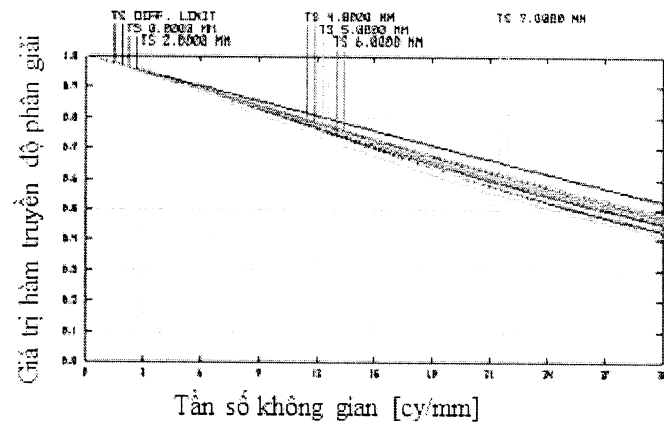
Hình 4



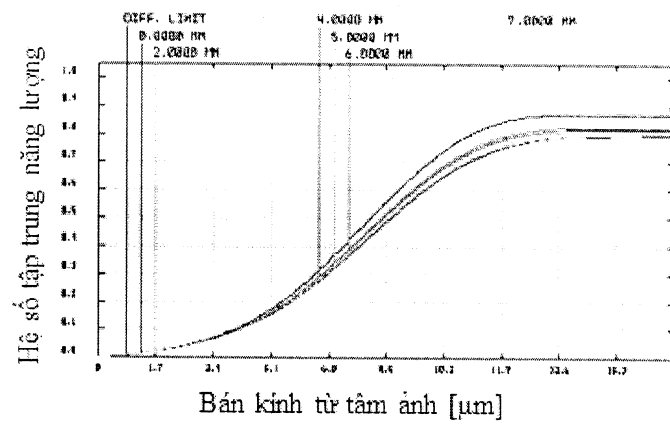
Hình 5



Hình 6



Hình 7



Hình 8