



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

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

(11)



1-0042305

(51)^{2020.01} G02B 26/00

(13) B

(21) 1-2021-07686

(22) 30/11/2021

(45) 27/01/2025 442

(43) 25/02/2022 407

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

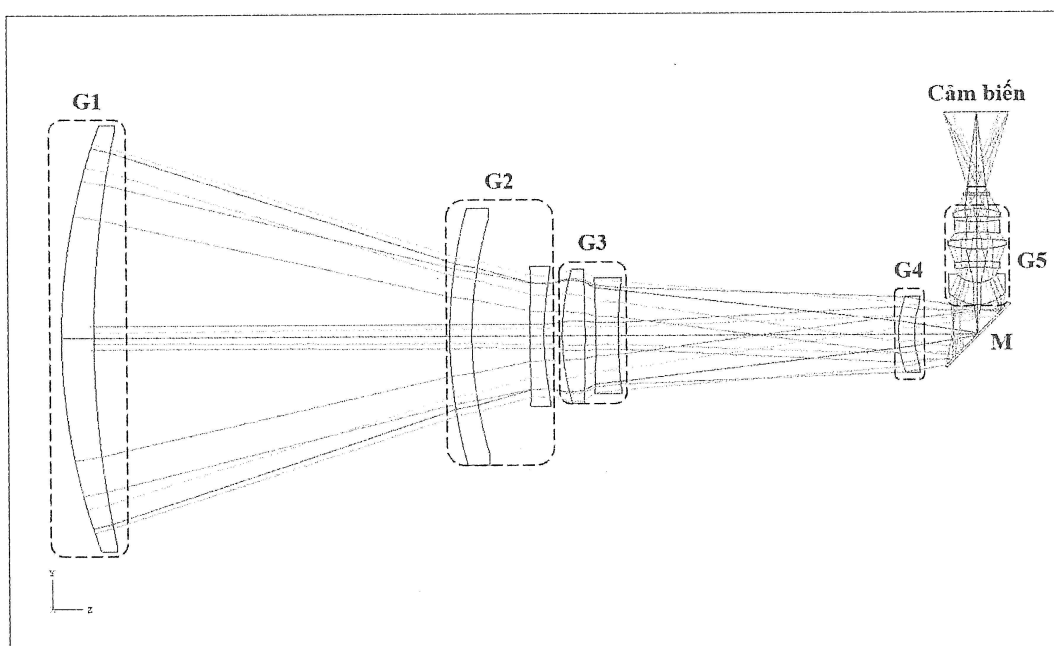
(72) Vũ Thành Đạt (VN); Đặng Xuân Du (VN); Nguyễn Văn Đạt (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) ÓNG KÍNH HỒNG NGOẠI SÓNG TRUNG PHÓNG ĐẠI LIÊN TỤC SỬ DỤNG
CẢM BIẾN LÀM LẠNH ĐỘ PHÂN GIẢI HD

(21) 1-2021-07686

(57) Sáng chế đề cập đến một số ống kính hồng ngoại phóng đại liên tục tỉ số lớn có khả năng hội tụ hình ảnh trong phạm vi đường kính lớn, lên tới 24,6 mm. Các ống kính này làm việc trong vùng bước sóng hồng ngoại trung từ 3 đến 5 μm (MWIR) và có thể duy trì độ sắc nét của hình ảnh trong suốt quá trình thay đổi độ phóng đại bằng cách dịch chuyển đồng thời các cụm thấu kính bên trong ống kính. Thông qua việc tận dụng các công nghệ, cấu trúc bề mặt thấu kính khác nhau, tối ưu loại vật liệu sử dụng và phân bổ giá trị tiêu cự giữa các thành phần một cách hợp lý, các thiết kế ống kính được đề cập trong sáng chế có khả năng thay đổi tỉ số phóng đại quang học lên tới 22 lần, đồng thời tương thích với các cảm biến ảnh nhiệt được làm lạnh có độ phân giải HD, lên tới 1280 x 1024 điểm ảnh, và kích thước điểm ảnh lớn, lên tới 15 μm .



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD. Cụ thể, ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD được đề cập trong sáng chế được ứng dụng cho nhu cầu giám sát và chỉ thị tầm xa trong các lĩnh vực dân sự, quân sự, an ninh, quốc phòng. Nhờ vào khả năng hội tụ hình ảnh trong phạm vi kích thước lớn, ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD có khả năng quan sát, theo dõi và bắt bám đối tượng ở khoảng cách xa với phạm vi trường nhìn bao quát hơn đáng kể so với các ống kính hồng ngoại sử dụng cảm biến độ phân giải 640 x 512 thông thường trên thị trường.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Công nghệ ảnh nhiệt hồng ngoại là một công nghệ hình ảnh bị động dựa vào quá trình thu thập năng lượng bức xạ hồng ngoại phát ra từ các vật thể trong môi trường tự nhiên. Mục tiêu của công nghệ này là để tìm kiếm hoặc nhận dạng các vật thể dựa trên mức độ chênh lệch về nhiệt độ giữa vật thể đó với môi trường hoặc giữa các vật thể so với nhau. Với ưu thế cho phép hoạt động trong nhiều điều kiện môi trường vận hành khác nhau, trong đó bao gồm cả những môi trường bị hạn chế tầm nhìn như ban đêm, sương mù, khói, bụi, công nghệ ảnh nhiệt đã dần trở thành chủ đề nghiên cứu chuyên sâu của giới khoa học tại nhiều quốc gia.

Trong những năm gần đây, với nhu cầu gia tăng về ứng dụng giám sát và chỉ thị tầm xa trong các lĩnh vực dân sự, quân sự, an ninh, quốc phòng, quá trình nghiên cứu ống kính hồng ngoại phóng đại liên tục đã được thúc đẩy mạnh mẽ với vô số các kiểu cấu trúc và thiết kế khác nhau. Một ống kính hồng ngoại phóng đại liên tục với tỉ số phóng đại lớn có thể đem lại khả năng bao quát trong một phạm vi trường nhìn rất rộng nhưng đồng thời cũng có thể quan sát các đối tượng ở khoảng cách xa tại những trường nhìn hẹp hơn.

Nhìn chung, trên thế giới hiện nay đã có khá nhiều sáng chế và đăng ký sáng chế về ống kính hồng ngoại sóng trung, phóng đại liên tục với tỉ số phóng đại lớn từ 20 lần trở lên. Tuy nhiên, đối với loại ống kính hồng ngoại sóng trung, phóng đại liên tục với tỉ số phóng đại lớn và tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải HD thì chỉ có một số ít sáng chế đã được đăng ký hay công nhận. Cụ thể, trong một sáng chế, thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung được đề cập có tỉ số phóng đại 30 lần, khẩu độ F/4,0 và tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải 640 x 512 điểm ảnh và kích thước điểm ảnh là 15 μm . Hạn chế của sáng chế này là việc sử dụng ba cụm thấu kính dịch chuyển đồng thời để thay đổi tỉ số phóng đại của ống kính. Số lượng cụm dịch chuyển lớn làm gia tăng đáng kể mức độ phức tạp của quá trình gia công, lắp ráp và điều khiển do phải đồng bộ chuyển động của những cụm dịch chuyển này. Trong một sáng chế khác, thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung được đề cập có tỉ số phóng đại 20 lần, khẩu độ F/4,0 và tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải 640 x 512 điểm ảnh và kích thước điểm ảnh là 15 μm . Hạn chế của sáng chế này là việc sử dụng hai thành phần thấu kính tại cụm thấu kính cố định phía ngoài cùng. Các thành phần thuộc cụm thấu kính này thường có kích thước lớn và quyết định phần lớn tổng khối lượng của cả ống kính. Do đó, việc hạn chế số lượng thành phần trong cụm vật kính cố định phía trước là việc làm cần thiết để giảm thiểu khối lượng của toàn hệ quang học. Ngoài ra, trong một đăng ký sáng chế, thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung được đề cập có tỉ số phóng đại 25 lần, khẩu độ F/4,0 và tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải 640 x 512 điểm ảnh và kích thước điểm ảnh là 15 μm . Nhìn chung, ống kính này đã có thiết kế nhỏ gọn, số lượng thành phần và số cụm thấu kính dịch chuyển được tối ưu. Hạn chế của đăng ký sáng chế này cũng như những sáng chế đã đề cập trên đây là khu vực hội tụ hình ảnh với chất lượng tối ưu thường nằm trong phạm vi 9,6 x 7,68 mm, tương đương với kích thước của cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải 640 x 512 điểm ảnh và kích thước điểm ảnh là 15 μm . Giá trị này tương đương với phạm vi đường kính ảnh bằng:

$$d = \sqrt{h^2 + w^2} = \sqrt{9.6^2 + 7.68^2} = 12.3 \text{ (mm)}$$

Trong đó: d – Đường kính ảnh
 h – Chiều dài cảm biến ảnh
 w – Chiều rộng cảm biến ảnh

Với sự phát triển của công nghệ cảm biến, các thành phần cảm biến ảnh nhiệt với độ phân giải cao, lên tới 1280 x 1024 điểm ảnh, đã được ra mắt trên thị trường kéo theo nhu cầu mở rộng khả năng bao quát tại mọi cấu hình trường nhìn. Chính vì vậy, một số ví dụ về ống kính hồng ngoại sóng trung, phóng đại liên tục được đề cập dưới đây đã được nghiên cứu và thiết kế nhằm giải quyết nhu cầu nói trên, đồng thời vẫn duy trì chất lượng quang học tốt và số lượng thành phần và cụm dịch chuyển ở mức tối ưu. Các thiết kế được đề xuất có tỉ số phóng đại quang học lớn, lên tới 22 lần, giá trị tiêu cự tối đa lên tới 590 mm và đường kính hình ảnh lớn, lên tới 24,6 mm, phù hợp với các thành phần cảm biến ảnh nhiệt có độ phân giải HD.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là vượt qua những hạn chế được trình bày tại các sáng chế được đề cập trên đây và đề xuất một thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục tỉ số lớn, sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD. Để có thể đạt được những mục tiêu nói trên, các ống kính được thiết kế có cấu trúc từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh theo thứ tự như sau:

Một cụm thấu kính phía ngoài cùng có vị trí cố định trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại;

Một cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển từ phía mặt phẳng vật đến phía mặt phẳng ảnh trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp;

Một cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển từ phía mặt phẳng ảnh đến phía mặt phẳng vật trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp;

Một cụm thấu kính thứ tư có vị trí cố định trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại. Thông thường, cụm thấu kính này cũng được sử dụng để lấy nét và bù nhiệt

cho ống kính khi ống kính được sử dụng trong các điều kiện môi trường vận hành khác nhau;

Một thành phần gương phản xạ được đặt tại vị trí hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó để thay đổi quang trục của ống kính đi một góc 90° ;

Một cụm thấu kính khuếch đại trung gian phía sau cùng nhằm hội tụ hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó lên bề mặt cảm biến ảnh.

Theo cấu trúc này, trong quá trình phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp, cụm thấu kính thứ hai và cụm thấu kính thứ ba có chiều dịch chuyển đối nghịch nhau. Khoảng dịch chuyển của các cụm thấu kính này được thiết lập thỏa mãn theo những điều kiện sau:

$$\begin{cases} \frac{d_{12(\max)} - d_{12(\min)}}{f_{WFOV}} \leq 4.2 \\ \frac{d_{34(\max)} - d_{34(\min)}}{f_{WFOV}} \leq 3.0 \end{cases}$$

Trong đó: $d_{12(\max)}$ – Khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{12(\min)}$ – Khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{34(\max)}$ – Khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

$d_{34(\min)}$ – Khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

f_{WFOV} – Giá trị tiêu cự tối thiểu tại trường nhìn rộng của ống kính.

Theo cấu trúc này, vùng bước sóng hoạt động của ống kính là vùng hồng ngoại sóng trung, tương đương với phạm vi bước sóng trong khoảng từ 3,7 đến 4,8 μm . Ngoài ra, thiết kế ống kính được đề xuất cũng tương thích với các loại cảm biến ảnh nhiệt có khẩu độ F/4,0, độ phân giải 1280 x 1024 điểm ảnh và kích thước điểm ảnh lên tới 15 μm .

Theo cấu trúc này, tổng số lượng thành phần thấu kính thuộc cụm thấu kính cố định phía ngoài cùng là một thành phần. Đây cũng là thành phần có kích thước lớn nhất

trên toàn bộ cấu trúc ống kính. Việc hạn chế số lượng các thành phần thấu kính có kích thước lớn sẽ giúp tối ưu tổng khối lượng của toàn bộ ống kính. Ngoài ra, kích thước của thành phần thấu kính này đã được tối ưu đạt giá trị tương đương với tỉ lệ $f_{NFOV} / F/\#$, trong đó f_{NFOV} là giá trị tiêu cự tối đa tại trường nhìn hẹp của ống kính và $F/\#$ là giá trị khẩu độ của ống kính.

Theo cấu trúc này, ống kính sử dụng một thành phần gương phản xạ để thay đổi quang trục của ống kính đi một góc 90° , từ đó tạo thành một dạng cấu trúc hình chữ L. Việc bổ sung thành phần gương phản xạ góp phần làm cho kích thước bao của ống kính trở nên nhỏ gọn hơn so với các thiết kế không sử dụng thành phần này.

Theo cấu trúc này, ống kính sử dụng hai cụm dịch chuyển cho mục đích thay đổi tỉ số phóng đại quang học. Số lượng cụm dịch chuyển ít giúp đơn giản hóa thiết kế cơ khí và điều khiển của ống kính do yêu cầu về tính đồng bộ khoảng cách giữa các cụm thấu kính không quá khắt khe.

Theo cấu trúc này, ống kính ứng dụng các công nghệ bề mặt phi cầu và công nghệ bề mặt lai phi cầu – nhiễu xạ để tối ưu chất lượng quang học và giảm số lượng thành phần thấu kính. Nổi bật trong số đó là việc ứng dụng nhiều bề mặt nhiễu xạ trong cùng một cụm thấu kính. Khi đó, cụm thấu kính có cơ chế hoạt động tương tự như một thành phần nhiễu xạ đa lớp với hiệu suất nhiễu xạ được cải thiện trong một vùng bước sóng rộng, giúp hỗ trợ cân bằng ảnh hưởng của quang sai bậc cao lên chất lượng hình ảnh của ống kính.

Nhìn chung, ống kính hồng ngoại sóng trung sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD đã được thiết kế với tỉ số phóng đại quang học có thể thay đổi liên tục. Trong đó, trường nhìn rộng được sử dụng để tìm kiếm, xác định vật thể và trường nhìn hẹp được sử dụng để nhận dạng, bắt bám vật thể đó. Hình ảnh của vật thể được quan sát không bị mất đi trong suốt quá trình thay đổi tỉ số phóng đại của ống kính do chất lượng hình ảnh hội tụ trên bề mặt cảm biến ảnh nhiệt được tối ưu tại mọi cấu hình trường nhìn trên một phạm vi đường kính ảnh lớn, lên tới 24,6 mm.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình minh họa cấu trúc hệ quang của ống kính hồng ngoại bao gồm 05 cụm thấu kính chính được ký hiệu lần lượt bởi G1, G2, G3, G4, G5 và 01 thành phần gương phản xạ M;

Hình 2 là hình minh họa cấu trúc quang học ống kính hồng ngoại tại trường nhìn hẹp, tương ứng với giá trị tiêu cự tối đa là 590 mm;

Hình 3 là hình minh họa cấu trúc quang học ống kính hồng ngoại tại trường nhìn trung gian;

Hình 4 là hình minh họa cấu trúc quang học ống kính hồng ngoại tại trường nhìn rộng, tương ứng với tiêu cự tối thiểu là 26 mm;

Hình 5 là hình minh họa kích thước điểm ảnh hội tụ trên mặt phẳng cảm biến tại trường nhìn hẹp của ống kính hồng ngoại;

Hình 6 là hình minh họa kích thước điểm ảnh hội tụ trên mặt phẳng cảm biến tại trường trung gian của ống kính hồng ngoại;

Hình 7 là hình minh họa kích thước điểm ảnh hội tụ trên mặt phẳng cảm biến tại trường nhìn rộng của ống kính hồng ngoại;

Hình 8 là hình vẽ đồ thị hàm MTF của ống kính hồng ngoại tại trường nhìn hẹp;

Hình 9 là hình vẽ đồ thị hàm MTF của ống kính hồng ngoại tại trường nhìn trung gian;

Hình 10 là hình vẽ đồ thị hàm MTF của ống kính hồng ngoại tại trường nhìn rộng.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế về ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục với tỉ số phóng đại lớn, sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD bao gồm một phương án thiết kế được đề xuất với cấu trúc tương tự nhau được minh họa lần lượt tại Hình 1. Theo đó, cấu trúc ống kính bao gồm năm cụm thấu kính chính và một thành phần gương phản xạ được phân bố theo chiều từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh theo thứ tự sau: cụm thấu kính thứ nhất hội tụ cố định (G1) phía ngoài cùng, cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển (G2), cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3), cụm thấu kính thứ tư cố định (G4), thành

phần gương phản xạ (M) và cụm thấu kính khuếch đại trung gian (G5) phía sau cùng, ngay trước bề mặt cửa sổ của cảm biến làm lạnh.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, cụm thấu kính thứ nhất hội tụ cố định phía trước (G1) bao gồm một thành phần thấu kính đơn. Thành phần này có độ tụ dương, được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu. Trong đó, bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật (S1) là mặt cầu lõm, bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh (S2) là mặt cầu lồi. Việc chỉ sử dụng một thành phần thấu kính đơn trong cụm thấu kính hội tụ cố định phía trước và việc lựa chọn loại vật liệu cho thành phần thấu kính này là silicon giúp tối ưu khối lượng của toàn bộ ống kính.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển (G2) có độ tụ âm và bao gồm hai thành phần thấu kính. Cụm thấu kính thứ hai được cho dịch chuyển dọc theo quang trục của ống kính để thay đổi giá trị tỉ số phóng đại. Cả hai thành phần thấu kính của cụm thấu kính thứ hai đều được làm từ vật liệu germanium, các bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật (S3, S5) đều có biên dạng phi cầu và các bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh (S4, S6) đều áp dụng công nghệ lai phi cầu – nhiễu xạ. Việc ứng dụng nhiều bề mặt nhiễu xạ trong cùng một cụm thấu kính giúp cho cụm thấu kính đó hoạt động tương tự như một thành phần nhiễu xạ đa lớp với hiệu suất nhiễu xạ được cải thiện trong một vùng bước sóng rộng, giúp hỗ trợ cân bằng ảnh hưởng của quang sai bậc cao lên chất lượng hình ảnh của ống kính. Độ tụ của hai thành phần thấu kính thuộc cụm thấu kính thứ hai được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$10 \leq |f_{L12}/f_{L22}| \leq 15$$

Trong đó: f_{L12} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính

thứ hai;

f_{L22} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ hai.

Việc duy trì giá trị tỉ số độ tụ giữa các thành phần thấu kính trong phạm vi nói trên giúp kiểm soát kích thước thông quang của chùm bức xạ hồng ngoại trong khoảng không gian giữa cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển (G2) và cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3) trong suốt quá trình ống kính thay đổi độ phóng đại.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3) có độ tụ dương và bao gồm hai thành phần thấu kính. Cụm thấu kính thứ ba được cho dịch chuyển dọc theo quang trục của ống kính để duy trì sự hội tụ của chùm bức xạ hồng ngoại lên bề mặt cảm biến ảnh nhiệt khi cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển để thay đổi giá trị tỉ số phóng đại của ống kính. Trong đó, thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ ba được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần (S7, S8) đều có biên dạng cầu và là mặt cầu lồi. Thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ ba được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần (S9, S10) đều có biên dạng phi cầu. Độ tụ của hai thành phần thấu kính này được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$0,5 \leq |f_{L13}/f_{L23}| \leq 0,7$$

Trong đó: f_{L13} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ ba;

f_{L23} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ ba.

Việc duy trì giá trị tỉ số độ tụ giữa các thành phần thấu kính trong phạm vi nói trên giúp kiểm soát kích thước thông quang của chùm bức xạ hồng ngoại trong khoảng không gian giữa cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3) và cụm thấu kính thứ tư cố định (G4) trong suốt quá trình ống kính thay đổi độ phóng đại.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, tỉ lệ giữa giá trị bán kính cong của bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật của thành phần thấu kính thứ hai (S5) thuộc cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển (G2) và giá trị bán kính cong của bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh của thành phần thấu kính thứ nhất (S8) thuộc cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3) được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$0,7 \leq |R_{S5}/R_{S8}| \leq 1,1$$

Trong đó: R_{S5} – giá trị bán kính cong của bề mặt (S5);

R_{S8} – giá trị bán kính cong của bề mặt (S8).

Việc duy trì sự cân bằng giữa hai giá trị bán kính cong nói trên giúp kiểm soát kích thước thông quang của chùm bức xạ hồng ngoại trong khoảng không gian giữa hai cụm thấu kính (G2) và (G3).

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, Hình 3, Hình 4, thiết kế ống kính chỉ sử dụng tổng cộng hai cụm thấu kính dịch chuyển cho mục đích thay đổi tỉ số phóng đại quang học. Số lượng cụm dịch chuyển ít giúp đơn giản hóa thiết kế cơ khí và điều khiển của ống kính do yêu cầu về tính đồng bộ khoảng cách giữa các cụm thấu kính không quá khắt khe. Trong quá trình phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp, cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển (G2) và cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển (G3) có chiều dịch chuyển đối nghịch nhau. Khoảng dịch chuyển của các cụm thấu kính này được thiết lập thỏa mãn theo những điều kiện sau:

$$\begin{cases} \frac{d_{12(max)} - d_{12(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 4,2 \\ \frac{d_{34(max)} - d_{34(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 3,0 \end{cases}$$

Trong đó: $d_{12(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{12(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{34(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

$d_{34(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

f_{WFOV} – giá trị tiêu cự tối thiểu tại trường nhìn rộng của ống kính.

Các giới hạn được thiết lập tại các bất đẳng thức nói trên nhằm kiểm soát phạm vi dịch chuyển của các cụm thấu kính (G2) và (G3). Nếu phạm vi dịch chuyển của các cụm thấu kính này quá lớn, tương đương với tỉ số có giá trị lớn thì sẽ làm tăng tổng chiều dài quang trục của ống kính, từ đó làm cho phạm vi kích thước bao của ống kính trở nên cồng kềnh.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, cụm thấu kính thứ tư cố định (G4) có độ tụ dương và bao gồm một thành phần thấu kính đơn. Thành phần này được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần (S11, S12) đều có biên dạng phi cầu. Thông thường, cụm thấu kính này cũng được sử dụng để lấy nét và bù nhiệt cho ống kính khi ống kính được sử dụng trong các điều kiện môi trường vận hành khác nhau.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, thành phần gương phản xạ (M) được bố trí giữa cụm thấu kính thứ tư cố định (G4) và cụm thấu kính khuếch đại trung gian (G5) phía sau cùng tại vị trí mặt phẳng ảnh trung gian tạo bởi các cụm thấu kính thuộc phía mặt phẳng vật của thành phần. Các thành phần gương phản xạ được sử dụng để thay đổi quang trục của ống kính đi một góc 90° , từ đó tạo thành một dạng cấu trúc hình chữ L, giúp cho kích thước bao của ống kính trở nên nhỏ gọn hơn.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, cụm thấu kính khuếch đại trung gian (G5) có độ tụ dương và bao gồm năm thành phần thấu kính. Cụ thể, thành phần thấu kính thứ nhất có độ tụ dương, được làm từ vật liệu cleartran và cả hai bề mặt của thành phần (S14, S15) đều có biên dạng phi cầu. Thành phần thấu kính thứ hai có độ tụ âm, được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần (S16, S17) đều có biên dạng phi cầu. Thành phần thấu kính thứ ba có độ tụ dương, được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần (S18, S19) đều có biên dạng cầu và là mặt cầu lõm. Thành phần thấu kính thứ tư có độ tụ âm, được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần (S20, S21) đều có biên dạng phi cầu. Thành phần thấu kính thứ năm có độ tụ dương, được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu. Trong đó, bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật (S22) là mặt cầu lõm, bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh (S23) là mặt cầu lồi. Cụm thấu kính khuếch đại trung gian có tác dụng phóng đại hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó và hội tụ hình ảnh đó lên bề mặt cảm biến ảnh nhiệt. Tỷ số phóng đại hình ảnh trung gian của cụm thấu kính khuếch đại trung gian được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$1,2 \leq |f_{NFOV}/f_{1234(NFOV)}| \leq 1,5$$

Trong đó: f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa của ống kính tại trường nhìn hẹp;

$f_{1234(NFOV)}$ – giá trị tiêu cự tối đa của bốn cụm thấu kính đầu tiên tính từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh tại trường nhìn hẹp.

Một giá trị tỷ số phóng đại hình ảnh trung gian quá lớn hoặc quá nhỏ sẽ gây áp lực hội tụ hình ảnh và tối ưu quang sai đối với cụm thấu kính khuếch đại trung gian (G5) hoặc các cụm thấu kính phía trước từ (G1) đến (G4). Nhìn chung, giá trị tỷ số được giới hạn trong phạm vi nói trên được cho là phù hợp và giảm thiểu mức độ phức tạp về mặt thiết kế.

Bên cạnh đó, tỉ số giữa khoảng cách từ cụm thấu kính thứ tư cố định (G4) tới thành phần gương phản xạ (M) và khoảng cách từ thành phần gương phản xạ (M) tới cụm thấu kính khuếch đại trung gian (G5) với giá trị tiêu cự tối đa của ống kính được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$0,05 \leq (d_{4M} + d_{M5})/|f_{NFOV}| \leq 0,1$$

Trong đó: d_{4M} – khoảng cách từ cụm thấu kính thứ tư đến thành phần gương phản xạ;

d_{M5} – khoảng cách từ thành phần gương phản xạ đến cụm thấu kính khuếch đại trung gian;

f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa của ống kính tại trường nhìn hẹp.

Giá trị tỉ số trên quyết định khoảng cách tương đối giữa các cụm thấu kính tại vị trí mà tại đó quang trục được đổi hướng một góc 90° do ảnh hưởng của thành phần gương phản xạ (M). Một giá trị tỉ số không quá lớn cũng không quá nhỏ sẽ giúp đảm bảo các cụm thấu kính không va chạm với thành phần gương phản xạ trong quá trình tích hợp mà vẫn tối ưu kích thước đường bao của ống kính.

Tham chiếu vào Hình 1, Hình 2, tỉ số giữa tổng chiều dài quang lộ của ống kính và giá trị tiêu cự tối đa của ống kính được thiết lập thỏa mãn theo điều kiện sau:

$$|L/f_{NFOV}| \leq 0,75$$

Trong đó: L – tổng chiều dài quang lộ của ống kính;

f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa của ống kính tại trường nhìn hẹp.

Tham chiếu vào Hình 5, Hình 6, Hình 7, Hình 8, Hình 9, Hình 10, thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục tỉ số lớn được đề xuất tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có khẩu độ F/4,0, độ phân giải 1280×1024 điểm ảnh, kích thước điểm ảnh $15 \mu\text{m}$, tương đương với đường kính ảnh tạo bởi ống kính trên mặt phẳng cảm biến đạt $24,6 \text{ mm}$. Trong đó các Hình 5, Hình 6, Hình 7 thể hiện sự phân bố của chùm bức xạ hồng ngoại tới sau khi đi qua ống kính và hội tụ trên cảm biến với kích thước điểm ảnh xấp xỉ bằng kích thước điểm ảnh của cảm biến ảnh nhiệt tại mọi cấu hình trường nhìn trong dải tiêu cự được tuyên bố. Các Hình 8, Hình 9, Hình 10 thể hiện hàm truyền độ phân giải của ống kính gần với đường giới hạn nhiễu xạ cũng tại mọi cấu hình

trường nhìn trong dải tiêu cự được tuyên bố. Điều đó cho thấy thiết kế ống kính đã được tối ưu đạt chất lượng hình ảnh tốt tại tất cả các cấu hình trường nhìn.

Tổng kết lại, sáng chế về ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục tỉ số lớn, sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD đã được thiết kế thỏa mãn các điều kiện dưới đây:

$$\begin{cases} 10 \leq |f_{L12}/f_{L22}| \leq 15 & (1) \\ 0,5 \leq |f_{L13}/f_{L23}| \leq 0,7 & (2) \\ 0,7 \leq |R_{S5}/R_{S8}| \leq 1,1 & (3) \\ \frac{d_{12(max)} - d_{12(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 4,2 & (4) \\ \frac{d_{34(max)} - d_{34(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 3,0 & (5) \\ 1,2 \leq |f_{NFOV}/f_{1234(NFOV)}| \leq 1,5 & (6) \\ 0,05 \leq (d_{4M} + d_{M5})/|f_{NFOV}| \leq 0,1 & (7) \\ |L/f_{NFOV}| \leq 0,75 & (8) \end{cases}$$

Trong đó: f_{L12} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ hai;

f_{L22} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ hai;

f_{L13} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ ba;

f_{L23} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ ba;

$d_{12(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{12(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{34(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

$d_{34(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

f_{WFOV} – giá trị tiêu cự tối thiểu tại trường nhìn rộng của ống kính;

f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa tại trường nhìn hẹp của ống kính;

$f_{1234(NFOV)}$ – giá trị tiêu cự tối đa của bốn cụm thấu kính đầu tiên tính từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh tại trường nhìn hẹp;

d_{4M} – khoảng cách từ cụm thấu kính thứ tư đến thành phần gương phản xạ

d_{M5} – khoảng cách từ thành phần gương phản xạ đến cụm thấu kính khuếch đại trung gian

L – tổng chiều dài quang lộ của ống kính.

Bảng 1 thể hiện thông số chi tiết các thành phần thấu kính của một ví dụ minh họa về thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục tỉ số lớn sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD, trong đó các thông số R_{S5} , R_{S8} , d_{4M} , d_{M5} có giá trị trong phạm vi sau:

$$\begin{cases} 200 \text{ mm} \leq R_{S5} \leq 700 \text{ mm} \\ 0,7 \leq |R_{S5}/R_{S8}| \leq 1,1 \\ 0,05 \leq (d_{4M} + d_{M5})/|f_{NFOV}| \leq 0,1 \end{cases}$$

Bảng 1:

STT	Cụm	Loại bề mặt	Bán kính cong (mm)	Độ dày tâm (mm)	Vật liệu
1	G1	Cầu	229,41	12,2	SILICON
2		Cầu	370,24	V_1	
3	G2	Phi cầu	161,73	8,4	GERMANIUM
4		Phi cầu - Nhiều xạ	137,93	22,2	
5	G2	Phi cầu	R_{S5}	5,3	GERMANIUM
6		Phi cầu - Nhiều xạ	105,79	V_2	
7	G3	Cầu	88,46	8,7	SILICON
8		Cầu	R_{S8}	4,1	
9	G3	Phi cầu	-281,04	8,6	GERMANIUM
10		Phi cầu	322,83	V_3	
11	G4	Phi cầu	36,48	6,1	GERMANIUM
12		Phi cầu	34,50	d_{4M}	

13	M	Phẳng	∞	d_{M5}	GUỒNG
14	G5	Phi cầu	13,29	8,3	CLEARTRAN
15		Phi cầu	9,00	5,8	
16	G5	Phi cầu	-91,52	2,3	GERMANIUM
17		Phi cầu	-80,36	4,7	
18	G5	Cầu	44,31	3,8	SILICON
19		Cầu	-78,96	2,6	
20	G5	Phi cầu	-121,09	3,8	GERMANIUM
21		Phi cầu	40,88	1,9	
22	G5	Cầu	-187,51	3,1	SILICON
23		Cầu	-25,76	36,1	

Trong bảng 1, các thông số V_1 , V_2 , V_3 đại diện cho khoảng cách dọc theo quang trục giữa các cụm thấu kính dịch chuyển với nhau và với các cụm thấu kính cố định. Bảng 2 thể hiện giá trị của các thông số này tại một số cấu hình trường nhìn của ống kính.

Bảng 2:

Khoảng cách (mm)	Cấu hình trường nhìn		
	WFOV (Rộng)	MFOV (Trung gian)	NFOV (Hẹp)
V_1	27,0	97,8	135,0
V_2	191,3	98,2	7,0
V_3	30,3	52,5	106,5

Các bề mặt phi cầu được đề cập đến trong bảng 1 được biểu diễn theo công thức sau:

$$z(y) = \frac{\frac{1}{R}y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)\frac{1}{R}y^2}} + \sum_{i=1}^n A_{2i}y^{2i}$$

Trong đó: z – chiều cao sag của bề mặt phi cầu tính từ mặt phẳng pháp tuyến với vị trí tâm của bề mặt thấu kính trên trục quang;

R – bán kính cong của bề mặt phi cầu;

y – chiều cao dọc trục tính từ trục quang;

k – hệ số cô-níc của bề mặt phi cầu;

A_{2i} – các hệ số phi cầu bậc chẵn.

Bảng 3 thể hiện giá trị hệ số cô-níc và các hệ số phi cầu của các bề mặt phi cầu và bề mặt lai phi cầu – nhiễu xạ đã được đề cập đến trong bảng 1.

Bảng 3:

STT bề mặt	Hệ số Cô-níc	Các hệ số phi cầu			
		A_4	A_6	A_8	A_{10}
3	-8,91	-1,55E-07	1,01E-10	-	-
4	-11,36	1,11E-08	9,06E-11	-	-
5	0,00	-1,54E-06	7,59E-10	-8,29E-13	-
6	-18,16	7,02E-08	-2,78E-10	-4,11E-13	-
9	0,00	2,54E-06	-2,15E-09	4,29E-13	-
10	0,00	3,20E-06	-1,90E-09	-	-
11	3,30	-1,17E-06	-1,08E-07	5,96E-11	-4,72E-13
12	0,53	1,29E-05	-2,26E-07	2,15E-10	3,58E-13
14	0,00	-6,90E-05	2,49E-07	-1,06E-09	-4,68E-12
15	-0,43	-2,38E-04	3,80E-06	-1,21E-09	4,33E-11
16	0,00	-4,24E-06	-8,54E-07	2,84E-08	-1,62E-10
17	0,00	1,81E-05	-6,24E-07	1,68E-08	-7,97E-11
20	0,00	-1,05E-04	6,18E-07	5,69E-09	-4,14E-11
21	0,00	-1,06E-04	1,13E-06	-2,67E-09	8,89E-12

Các bề mặt nhiễu xạ được đề cập đến trong bảng 1 được biểu diễn theo công thức sau:

$$\Phi = M \sum_{i=1}^n A_i \rho^{2i}$$

Trong đó: Φ – pha cộng thêm vào bức xạ tại tọa độ được xác định bởi ρ ;

ρ – tọa độ chuẩn hóa của bề mặt nhiễu xạ;

A_i – các hệ số tương ứng với bậc chẵn của tọa độ ρ .

Bảng 4 thể hiện giá trị tọa độ ρ và các hệ số đi kèm của các bề mặt nhiễu xạ đã được đề cập đến trong bảng 1.

Bảng 4:

STT bề mặt	Tọa độ chuẩn hóa (mm)	Các hệ số nhiễu xạ	
		A_1	A_2
4	44,21	-698,59	320,42
6	25,33	414,17	-119,95

Ví dụ minh họa về thiết kế ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục tỉ số lớn, sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD được đề xuất trên đây thỏa mãn các điều kiện đã đưa ra như được trình bày tại Bảng 5 dưới đây.

Bảng 5:

Giá trị	Thiết kế
f_{WFOV} (mm)	26
f_{NFOV} (mm)	590
m	22,7
Điều kiện (1)	11,89
Điều kiện (2)	0,66
Điều kiện (3)	0,73
Điều kiện (4)	4,15
Điều kiện (5)	2,93
Điều kiện (6)	1,47
Điều kiện (7)	0,059
Điều kiện (8)	0,73

Chú thích: f_{WFOV} – giá trị tiêu cự tối thiểu tại trường nhìn rộng của ống kính;

f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa tại trường nhìn hẹp của ống kính;

$m = f_{WFOV} / f_{NFOV}$ – tỉ số phóng đại quang học của ống kính.

Mô tả chi tiết về sáng chế này đã được trình bày cụ thể ở trên, tuy nhiên cũng cần hiểu rằng các mô tả được trình bày chỉ đơn thuần là hình mẫu của sáng chế, nó có

thể được thể hiện dưới nhiều hình thức khác nhau. Vì thế, các chi tiết về chức năng cụ thể được trình bày ở đây không được hiểu một cách hạn chế, chúng chỉ là cơ sở cho những đề xuất khác.

Yêu cầu bảo hộ

1. Ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD có cấu trúc bao gồm năm cụm thấu kính chính và một thành phần gương phản xạ được phân bố theo chiều từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh theo thứ tự sau:

một cụm thấu kính thứ nhất cùng có vị trí cố định trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại; cụm thấu kính này được cố định phía trước bao gồm một thành phần thấu kính đơn; thành phần này có độ tụ dương, được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu; trong đó, bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật là mặt cầu lõm, bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh là mặt cầu lồi;

một cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển từ phía mặt phẳng vật đến phía mặt phẳng ảnh trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp; cụm thấu kính này có độ tụ âm và bao gồm hai thành phần thấu kính; cụm thấu kính thứ hai được cho dịch chuyển dọc theo quang trục của ống kính để thay đổi giá trị tỉ số phóng đại; cả hai thành phần thấu kính của cụm thấu kính thứ hai đều được làm từ vật liệu germanium, các bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật đều có biên dạng phi cầu và các bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh đều áp dụng công nghệ lai phi cầu – nhiễu xạ; việc ứng dụng nhiễu xạ trong cùng một cụm thấu kính giúp cho cụm thấu kính đó hoạt động tương tự như một thành phần nhiễu xạ đa lớp với hiệu suất nhiễu xạ được cải thiện trong một vùng bước sóng rộng, giúp hỗ trợ cân bằng ảnh hưởng của quang sai bậc cao lên chất lượng hình ảnh của ống kính;

một cụm thấu kính thứ ba dịch chuyển từ phía mặt phẳng ảnh đến phía mặt phẳng vật trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại từ trường nhìn rộng đến trường nhìn hẹp; cụm thấu kính này có độ tụ dương và bao gồm hai thành phần thấu kính; cụm thấu kính thứ ba được cho dịch chuyển dọc theo quang trục của ống kính để duy trì sự hội tụ của chùm bức xạ hồng ngoại lên bề mặt cảm biến ảnh nhiệt khi cụm thấu kính thứ hai dịch chuyển để thay đổi giá trị tỉ số phóng đại của ống kính; trong đó, thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ ba được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu và là mặt cầu lõm; thành phần thấu kính

thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ ba được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng phi cầu;

một cụm thấu kính thứ tư có vị trí cố định trong quá trình ống kính thay đổi tỉ số phóng đại; cụm thấu kính này có độ tụ dương và bao gồm một thành phần thấu kính đơn; thành phần này được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng phi cầu;

một thành phần gương phản xạ được đặt tại vị trí hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó để thay đổi quang trục của ống kính đi một góc 90° ;

một cụm thấu kính khuếch đại trung gian phía sau cùng nhằm hội tụ hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó lên bề mặt cảm biến ảnh.

2. Ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD theo điểm 1, trong đó cụm thấu kính khuếch đại trung gian có độ tụ dương và bao gồm năm thành phần thấu kính; cụ thể, thành phần thấu kính thứ nhất có độ tụ dương, được làm từ vật liệu cleartran và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng phi cầu; thành phần thấu kính thứ hai có độ tụ âm, được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng phi cầu; thành phần thấu kính thứ ba có độ tụ dương, được làm từ vật liệu silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu và là mặt cầu lõm; thành phần thấu kính thứ tư có độ tụ âm, được làm từ vật liệu germanium và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng phi cầu; thành phần thấu kính thứ năm có độ tụ dương, được làm từ vật liệu Silicon và cả hai bề mặt của thành phần đều có biên dạng cầu; trong đó, bề mặt hướng về phía mặt phẳng vật là mặt cầu lõm, bề mặt hướng về phía mặt phẳng ảnh là mặt cầu lồi; cụm thấu kính khuếch đại trung gian có tác dụng phóng đại hình ảnh trung gian được tạo bởi bốn cụm thấu kính trước đó và hội tụ hình ảnh đó lên bề mặt cảm biến ảnh nhiệt.

3. Ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD theo điểm 1, trong đó thiết kế của ống kính thỏa mãn các điều kiện dưới đây:

$$\begin{cases} 10 \leq |f_{L12}/f_{L22}| \leq 15 \\ 0,5 \leq |f_{L13}/f_{L23}| \leq 0,7 \\ 0,7 \leq |R_{S5}/R_{S8}| \leq 1,1 \\ \frac{d_{12(max)} - d_{12(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 4,2 \\ \frac{d_{34(max)} - d_{34(min)}}{|f_{WFOV}|} \leq 3,0 \\ 1,2 \leq |f_{NFOV}/f_{1234(NFOV)}| \leq 1,5 \\ 0,05 \leq (d_{4M} + d_{M5})/|f_{NFOV}| \leq 0,1 \\ |L/f_{NFOV}| \leq 0,75 \end{cases}$$

trong đó:

f_{L12} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ hai;

f_{L22} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ hai;

f_{L13} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ nhất thuộc cụm thấu kính thứ ba;

f_{L23} – tiêu cự của thành phần thấu kính thứ hai thuộc cụm thấu kính thứ ba;

$d_{12(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{12(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính phía ngoài cùng và cụm thấu kính thứ hai;

$d_{34(max)}$ – khoảng cách tối đa giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

$d_{34(min)}$ – khoảng cách tối thiểu giữa cụm thấu kính thứ ba và cụm thấu kính lấy nét thứ tư;

f_{WFOV} – giá trị tiêu cự tối thiểu tại trường nhìn rộng của ống kính;

f_{NFOV} – giá trị tiêu cự tối đa tại trường nhìn hẹp của ống kính;

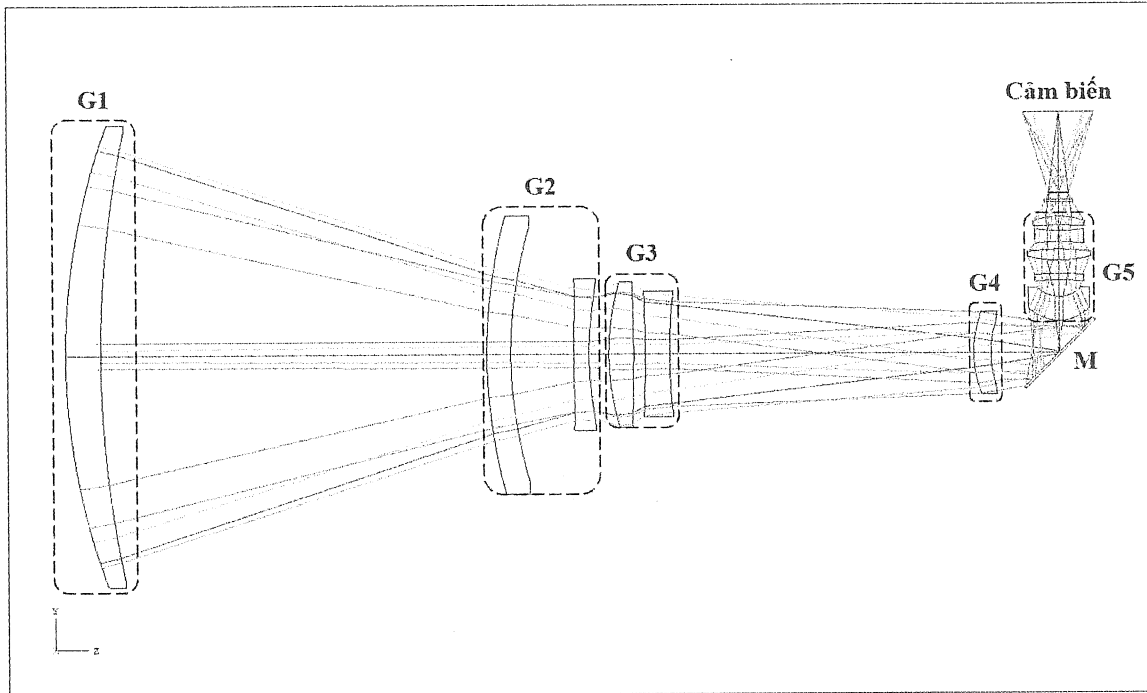
$f_{1234(NFOV)}$ – giá trị tiêu cự tối đa của bốn cụm thấu kính đầu tiên tính từ mặt phẳng vật đến mặt phẳng ảnh tại trường nhìn hẹp;

d_{4M} – khoảng cách từ cụm thấu kính thứ tư đến thành phần gương phản xạ;

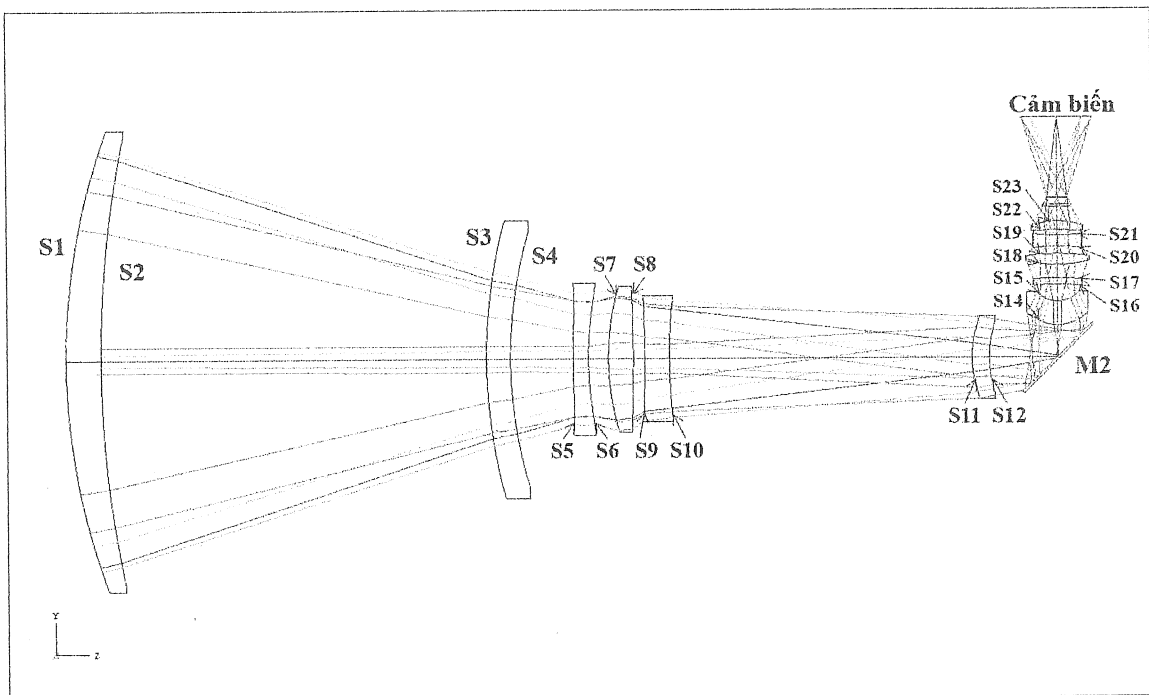
d_{M5} – khoảng cách từ thành phần gương phản xạ đến cụm thấu kính khuếch đại trung gian;

L – tổng chiều dài quang lộ của ống kính.

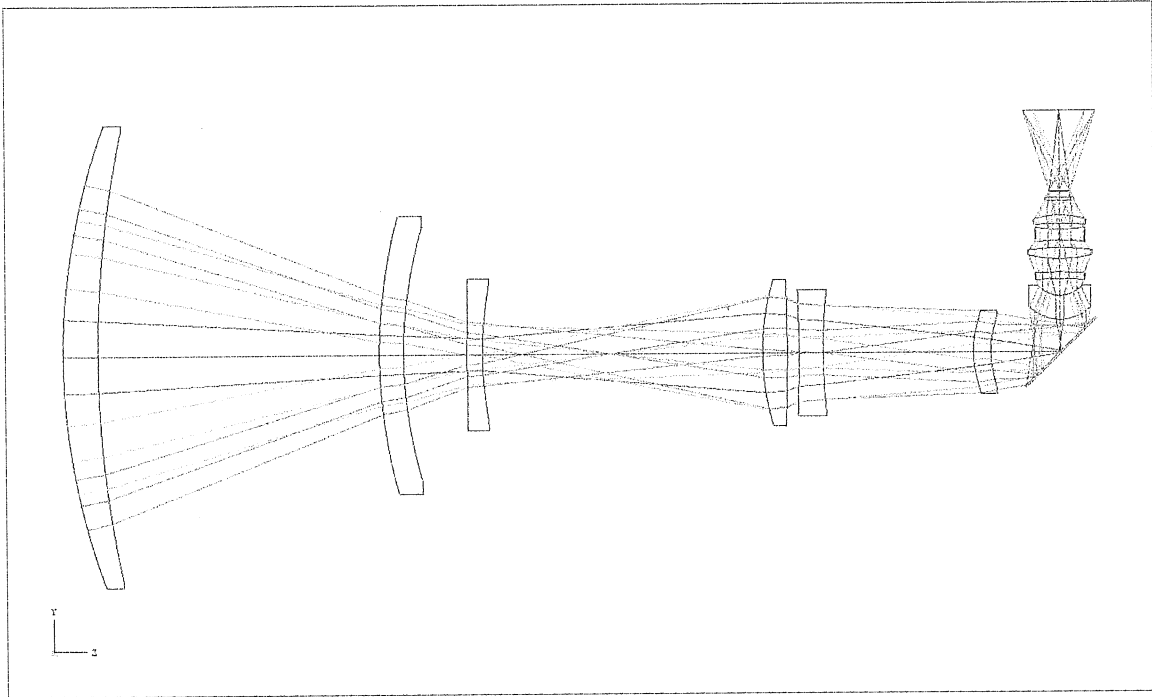
4. Ống kính hồng ngoại sóng trung phóng đại liên tục sử dụng cảm biến làm lạnh độ phân giải HD theo điểm 1, trong đó các thiết kế của ống kính được đề xuất có tỉ số phóng đại quang học lên tới 22 lần, tương thích với cảm biến ảnh nhiệt có khẩu độ $F/4,0$, độ phân giải 1280×1024 điểm ảnh, kích thước điểm ảnh lên đến $15 \mu\text{m}$, tương đương với phạm vi đường kính ảnh tạo bởi ống kính trên mặt phẳng cảm biến lên đến $24,6 \text{ mm}$.



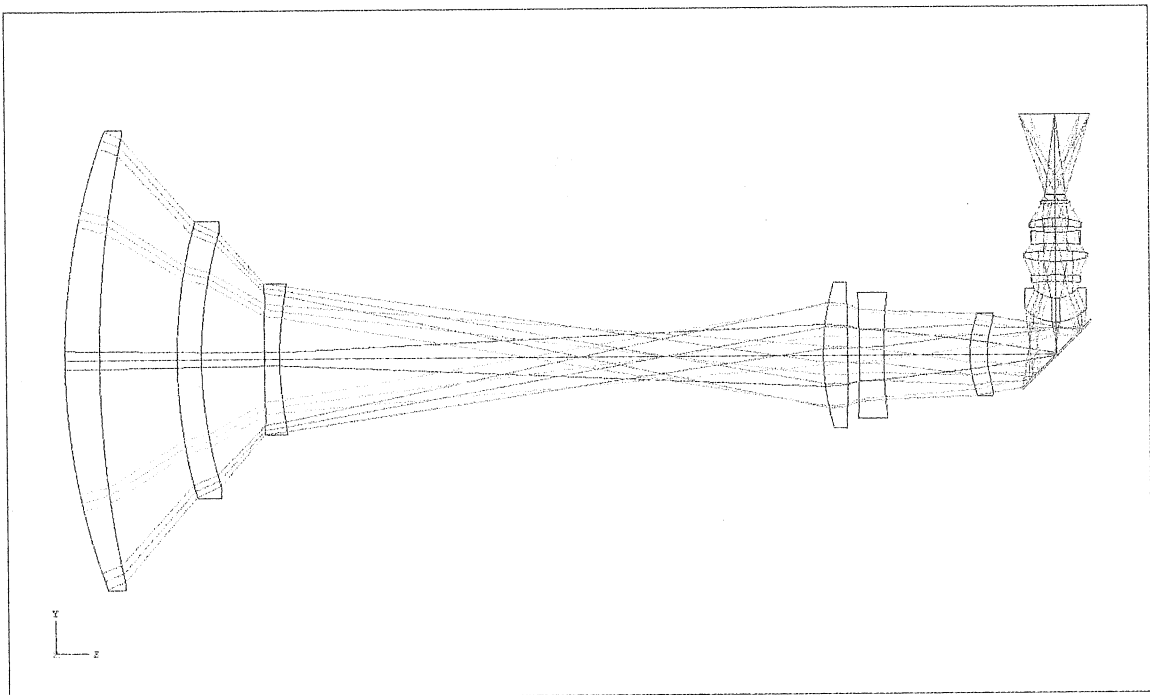
Hình 1



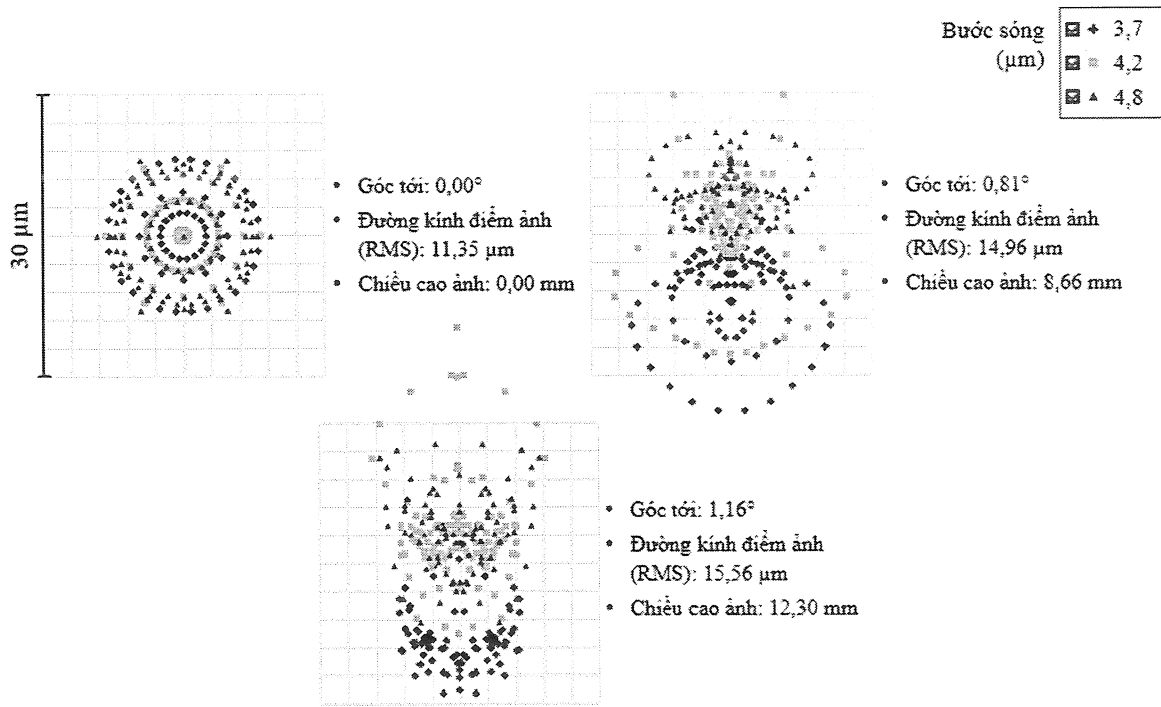
Hình 2



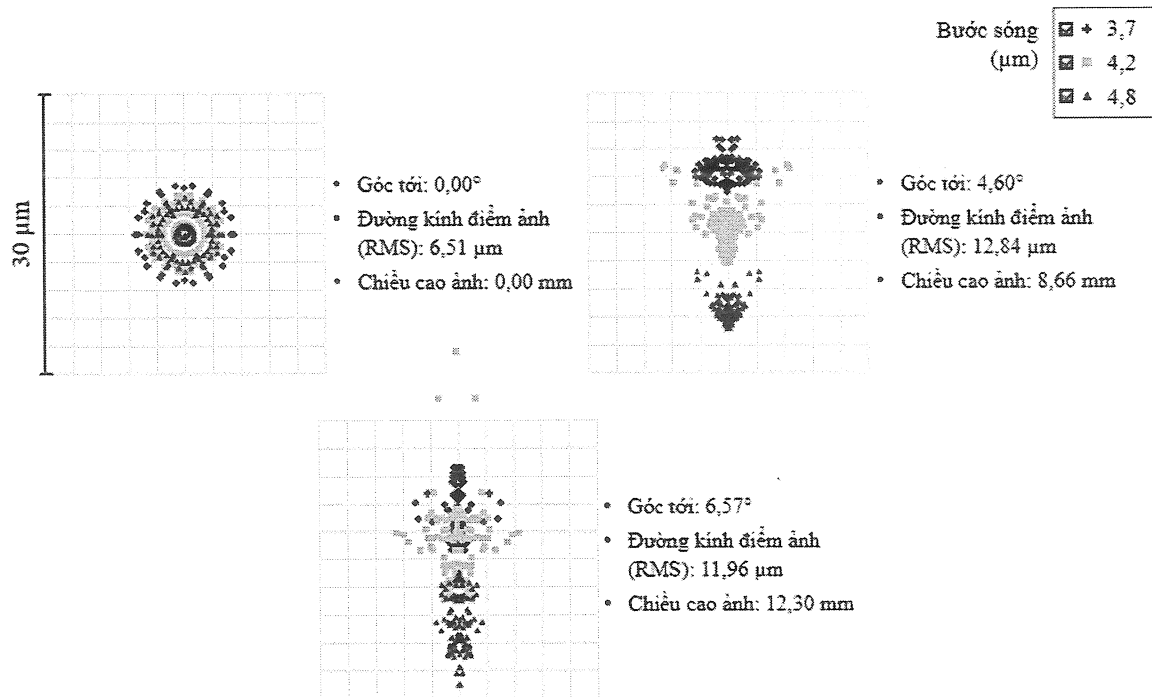
Hình 3



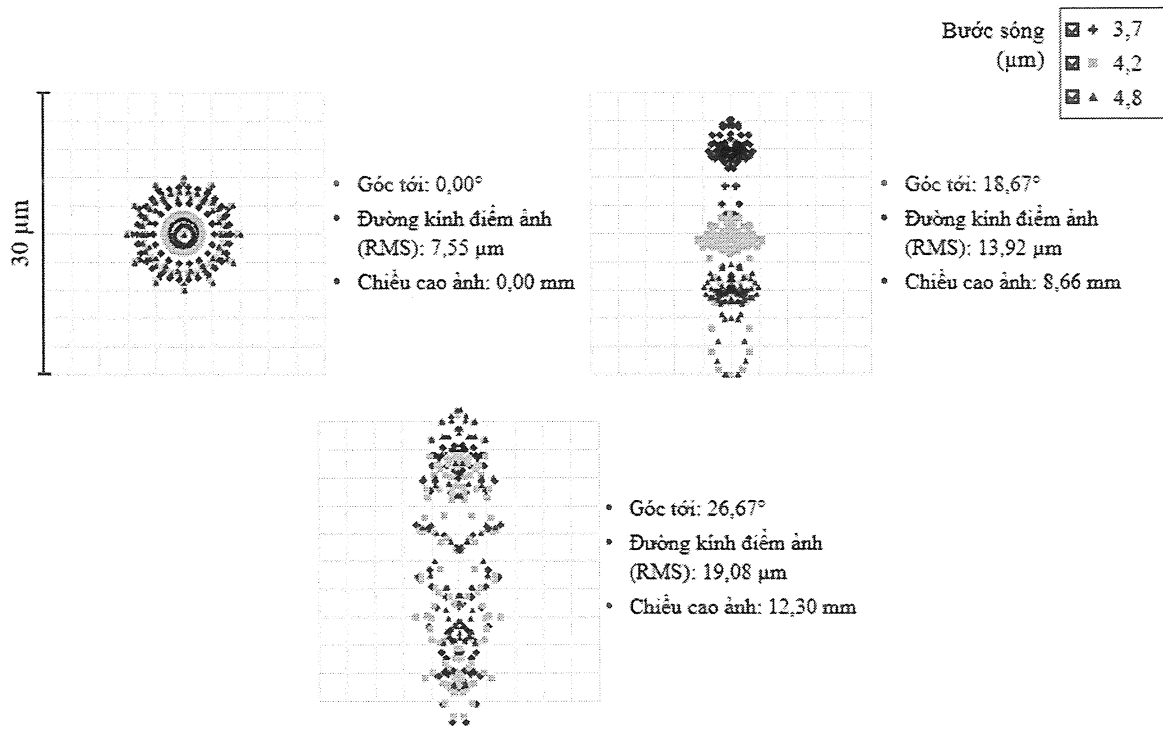
Hình 4



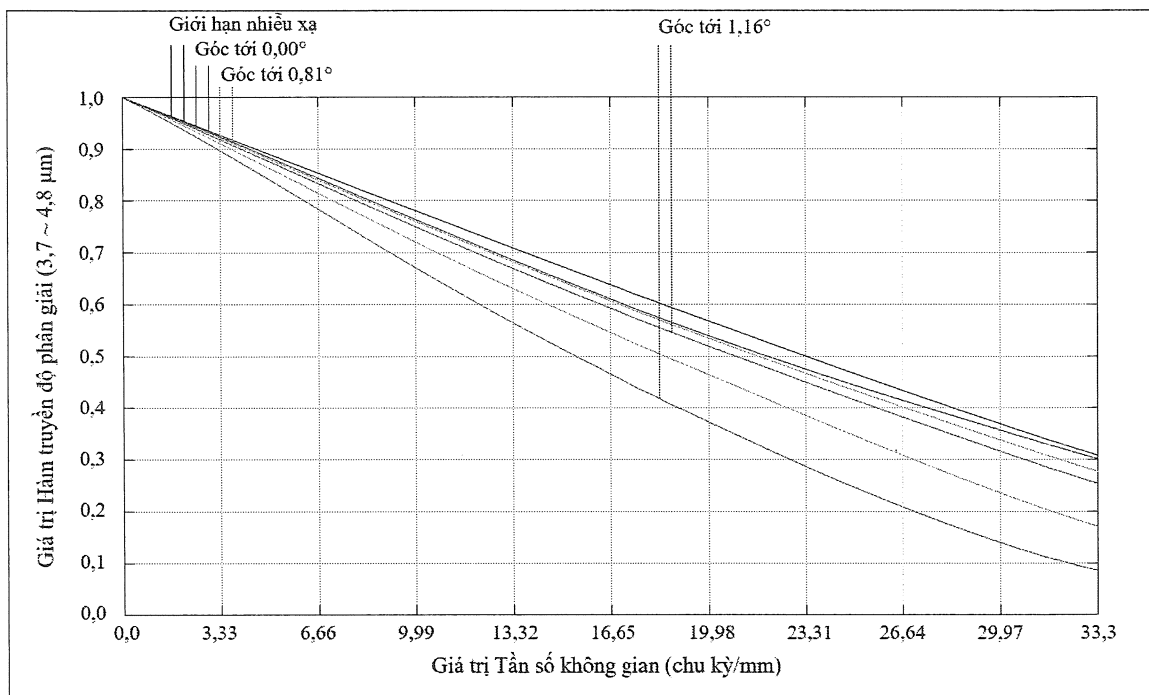
Hình 5



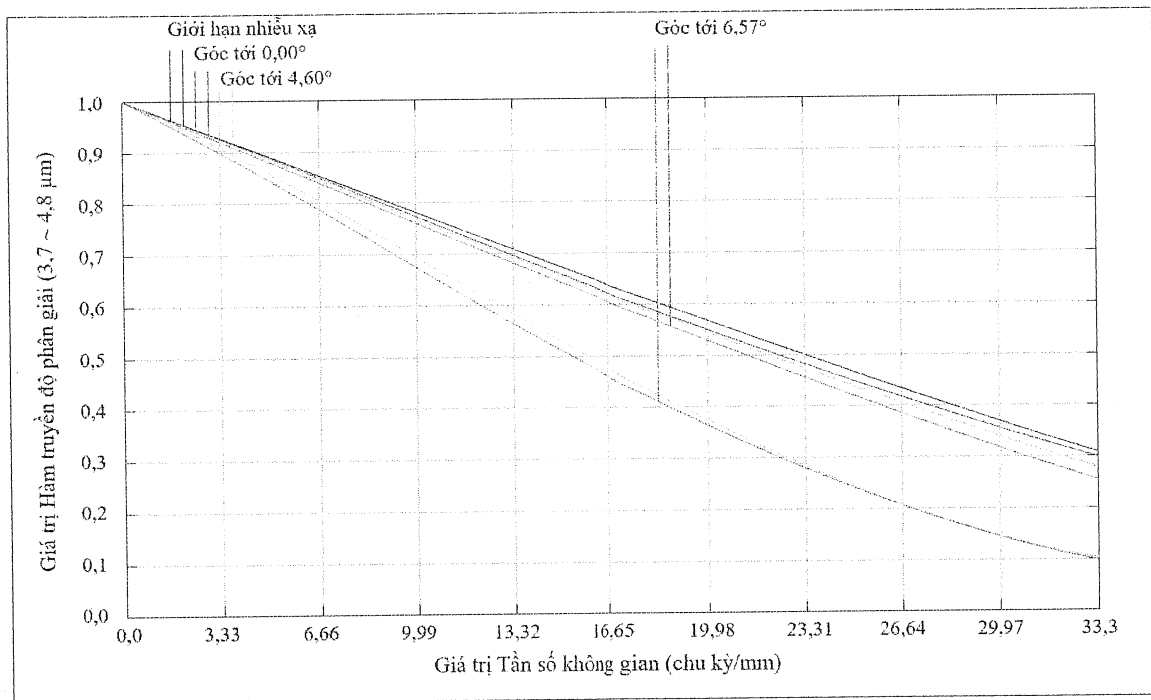
Hình 6



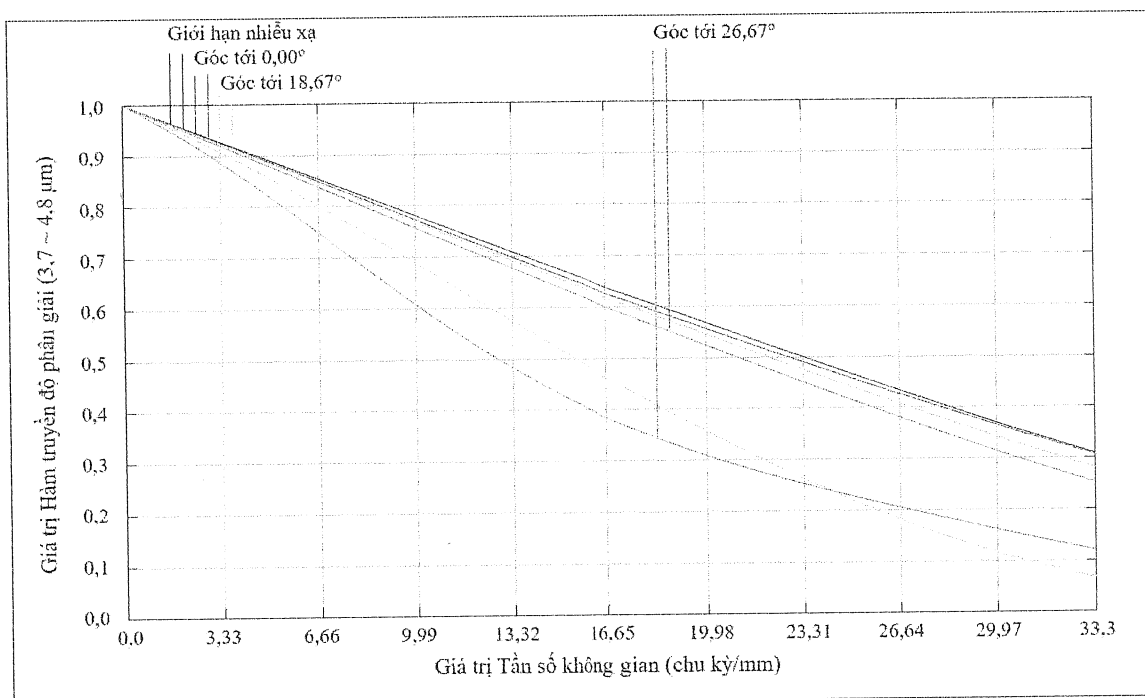
Hình 7



Hình 8



Hình 9



Hình 10