

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

TRẦN ANH QUANG

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH
THIẾT BỊ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG TẠO ẢNH
CỦA HỆ THỐNG QUANG HỌC LÀM VIỆC
TRONG VÙNG HỒNG NGOẠI 8-12 μm**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9.52.01.03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2023

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học 1: TS Lê Duy Tuấn

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS Lê Hoàng Hải

Phản biện 1: PGS. TS Đinh Văn Trung

Phản biện 2: PGS. TS Vũ Toàn Thắng

Phản biện 3: TS Ngô Ngọc Anh

Luận án sẽ được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số: 1775/QĐ-HV, ngày 18 tháng 04 năm 2023 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi... giờ... ngày... tháng... năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Tran Anh Quang, Le Duy Tuan, Le Hoang Hai, Le Van Nhu (2020), “*Design and manufacture of a microscope objective used to test optical systems working in the spectral region of $8\div 12\ \mu m$* ”, 6th Academic Conference On Natural Science for Young Scientists, Master & Phd Students from Asean Countries, ISBN: 978-604-913-088-5.
2. Le Duy Tuan, Tran Anh Quang, Le Hoang Hai (2021), “*Design and manufacture of a collimator used to test thermal imaging lenses working in the spectral region of $8\div 12\ \mu m$* ”, The 11th International Conference On Photonics and Applications, ISBN: 978-604-9988-20-2.
3. Trần Anh Quang, Lê Hoàng Hải, Phạm Văn Quân, Lê Duy Tuấn, Trần Xuân Diệu (2021), “*Phân tích sự biến dạng mặt gương do tác dụng của hệ lực gá kẹp và ứng dụng trong thiết kế kết cấu cụm gương chính của ống chuẩn trực hồng ngoại*”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự, ISSN: 1859 - 1043.
4. Tran Anh Quang, Le Duy Tuan, Le Hoang Hai (2022), “*Optical setup for evaluating image quality of thermal imaging lenses working in the spectral region of $8\div 12\ \mu m$* ”, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự, ISSN 1859 - 1043.
5. Tuan Duy Le, Quang Anh Tran*, Si Van Do, Hai Hoang Le, Duong Van Ta (2022), “*Method for determining the wavefront aberration of deformed optical components under external forces*”, Optical Engineering (ISI-Q2), <https://doi.org/10.1117/1.OE.61.11.115104>.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Ngày nay, các thiết bị quang điện tử đã trở nên phổ biến trong hầu hết các lĩnh vực, cả trong và ngoài quân đội nhằm phục vụ các mục đích khác nhau. Trong đó, thiết bị ảnh nhiệt (TBAN) đang là xu thế công nghệ kỹ thuật quân sự trên thế giới, được coi là thiết bị tiên tiến nhất hiện nay. Chúng làm việc ở vùng hồng ngoại bước sóng trung ($3 - 5 \mu\text{m}$) và bước sóng dài ($8 - 12 \mu\text{m}$). Đặc biệt, nhờ độ nhạy cao với bức xạ nhiệt phát ra từ bản thân đối tượng và khả năng phân biệt được sự chênh lệch nhiệt độ nhỏ tới cỡ vài chục mili-Kelvin mà TBAN đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong quân sự. Đây là một trong những thiết bị được các nhà khoa học kỹ thuật trong và ngoài nước đặc biệt quan tâm, luôn tìm hướng phát triển về kỹ thuật và công nghệ chế tạo.

Song song với sự phát triển của TBAN, một vấn đề cũng quan trọng không kém đó là phát triển các thiết bị đo lường ảnh nhiệt. Trên thế giới, đã có các thiết bị đánh giá chất lượng ảnh của ống kính ảnh nhiệt được thương mại hóa bởi một số hãng nổi tiếng như: Optikos, Trioptics... có chất lượng tốt, kết quả đo tin cậy, tuy nhiên, giá thành rất cao. Ở trong nước hiện nay chưa có phòng thí nghiệm, các trung tâm nghiên cứu hay nhà máy sản xuất quang học nào trong nước được trang bị thiết bị đo ống kính ảnh nhiệt phục vụ nghiên cứu, xây dựng và phát triển công nghệ ảnh nhiệt trong nước. Do vậy, ***“Nghiên cứu phương pháp và xây dựng mô hình thiết bị đánh giá chất lượng tạo ảnh của hệ thống quang học làm việc trong vùng hồng ngoại 8-12 μm ”*** là luận án hết sức cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Xây dựng giải pháp và mô hình thiết bị nhằm đánh giá chất lượng tạo ảnh của hệ thống quang học (HTQH) ảnh nhiệt làm việc trong vùng phổ hồng ngoại 8-12 μm .

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Mô hình thiết bị đánh giá chất lượng tạo ảnh của HTQH làm việc trong vùng hồng ngoại 8-12 μm .

Phạm vi nghiên cứu: HTQH làm việc trong vùng phổ hồng ngoại 8-12 μm .

4. Các đóng góp mới của luận án

- Đề xuất một phương pháp luận khoa học để tính ảnh hưởng của cơ cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của linh kiện quang học.
- Xây dựng giải pháp và mô hình thiết bị đo kiểm HTQH làm việc trong vùng hồng ngoại 8-12 μm .
- Xây dựng phần mềm xử lý ảnh xác định hàm LSF, MTF của HTQH cần kiểm tra.

5. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc luận án gồm: Phần mở đầu, bốn chương, phần kết luận:

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết, mục đích, nội dung nghiên cứu, đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.

Chương 1. Tổng quan về thiết bị ảnh nhiệt và vấn đề đánh giá chất lượng tạo ảnh của hệ thống quang học làm việc trong vùng phổ hồng ngoại:

Trình bày một số vấn đề chung về TBAN; các phương pháp đánh giá chất lượng ảnh của hệ thống quang học ảnh nhiệt; nguyên lý hoạt động và các yêu cầu đối với các thành phần của hệ thống đánh giá chất lượng ảnh của một HTQH ảnh nhiệt; ảnh hưởng của cơ cấu gá lắp đến chất lượng hoạt động của hệ thống.

Chương 2. Phương pháp tính ảnh hưởng của kết cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của linh kiện quang học:

Đề xuất một phương pháp tính ảnh hưởng của cơ cấu gá lắp cơ khí đến quang sai mặt sóng của một linh kiện quang học. Bằng cách sử dụng phần mềm ANSYS để tính chuyển vị của các điểm nút trên bề mặt của linh kiện, kết hợp với làm khớp biên dạng bề mặt linh kiện để tính các hệ số của đa thức Zernike Standard, từ đó xác định quang sai mặt sóng của linh kiện bằng phần mềm Zemax.

Chương 3. Xây dựng mô hình thiết bị đánh giá chất lượng tạo ảnh của HTQH làm việc trong vùng phổ hồng ngoại 8 -12 μm :

Trình bày các bước thiết kế, chế tạo và tối ưu hóa từng thành phần của hệ thống đánh giá chất lượng ảnh đó là hệ chuẩn trực và vật kính hiển vi.

Chương 4. Các kết quả thực nghiệm:

Trình bày thử nghiệm hoạt động của các thành phần và toàn hệ thống mô hình thiết bị. Đồng thời, đề cập đến thuật toán xử lý kết quả đo hàm LSF, MTF của HTQH ảnh nhiệt cần kiểm tra; phân tích, đánh giá kết quả và yếu tố ảnh hưởng đến kết quả đo.

Kết luận và hướng phát triển của luận án:

Trình bày những kết quả chính và hướng phát triển của luận án mà tác giả rút ra từ nội dung nghiên cứu.

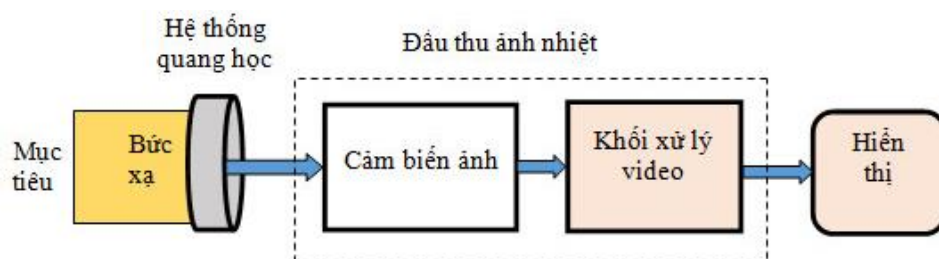
Chương 1

TỔNG QUAN VỀ THIẾT BỊ ẢNH NHIỆT VÀ VẤN ĐỀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG TẠO ẢNH CỦA HỆ THỐNG QUANG HỌC LÀM VIỆC TRONG VÙNG PHỔ HỒNG NGOẠI

1.1. Tổng quan về thiết bị ảnh nhiệt

Hệ thống ảnh nhiệt là thiết bị dùng để quan sát vật theo khả năng bức xạ riêng của vật và sự khác biệt về khả năng bức xạ riêng giữa chúng. Nguyên lý hoạt động của TBAN được xây dựng trên cơ sở biến đổi bức xạ nhiệt trong không gian vật không nhìn thấy bằng mắt thường thành tín hiệu điện, sau đó tái tạo trên màn hình để quan sát. Cho tới nay các TBAN đã trải qua ba thế hệ phát triển, thế hệ thứ III là thế hệ ảnh nhiệt không phải dùng đến hệ quét cơ quang, tạo được ảnh chất lượng cao, bộ phận thu là ma trận kiểu mạng phẳng hội tụ có đến hàng vạn phần tử thu (pixel) với nhiều cấu hình khác nhau: 128x128, 256x256, 320x240... TBAN thế hệ III cho mục đích quân sự thường bị kiểm soát chặt chẽ với các chính sách cấm xuất khẩu ngặt nghèo sang các nước khác. Hiện nay, các hệ thống TBAN phục vụ mục đích trinh sát ngày càng được hoàn thiện, rất hiện đại và tính đa năng cao.

*** Nguyên lý hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt:**



Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị ảnh nhiệt

Tương tự như camera thông thường, về nguyên lý làm việc và cấu tạo chung, một TBAN cơ bản gồm hai thành phần chính là đầu thu ảnh nhiệt và ống kính tạo ảnh, cho phép

thu nhận bức xạ nhiệt do mục tiêu phát ra và dựng lại phân bố nhiệt độ thành hình ảnh (ảnh nhiệt) mà mắt người có thể quan sát được trên màn hình hiển thị (Hình 1.1).

1.2. Các phương pháp đánh giá chất lượng ảnh của HTQH ảnh nhiệt.

Hiện nay, để đánh giá chất lượng ảnh của một HTQH ảnh nhiệt người ta chia làm 04 phương pháp chính, bao gồm:

- Phương pháp đo hàm nhòe điểm (PSF)
- Phương pháp đo hàm nhòe đường (LSF)
- Phương pháp đo hàm nhòe cạnh (ESF)
- Phương pháp đo hàm truyền điều biến (MTF)

Đây là các hàm đặc trưng để đánh giá chất lượng ảnh của một HTQH ảnh nhiệt. Tuy nhiên, để kiểm tra, đánh giá chất lượng của một HTQH một cách chính xác và trực quan nhất người ta thường đánh giá thông qua hàm truyền điều biến MTF và chúng được đo gián tiếp thông qua các phương pháp đo hàm PSF, LSF, ESF. Do vậy, các phương pháp đo hàm PSF, hàm LSF, hàm ESF thực chất cuối cùng đều đưa về tính hàm truyền MTF để đánh giá chất lượng ảnh.

Qua tìm hiểu, ở nước ta hiện nay vẫn chưa có công trình nghiên cứu nào về đánh giá chất lượng ảnh của HTQH làm việc trong vùng phổ hồng ngoại, nghiên cứu của luận án này là nghiên cứu đầu tiên ở trong nước.

1.3. Lựa chọn phương án xây dựng mô hình thiết bị đánh giá chất lượng ảnh của HTQH ảnh nhiệt.

Luận án lựa chọn phương án xây dựng mô hình thiết bị đánh giá chất lượng ảnh của HTQH ảnh nhiệt như sau:

- Về phương pháp: Chọn phương pháp đo hàm nhòe đường LSF để đánh giá chất lượng tạo ảnh của HTQH ảnh nhiệt.
- Về mô hình thiết bị: Chọn mô hình dùng hệ chuẩn trực phản xạ vì ưu điểm rất lớn của hệ này đó là dải phổ làm việc rộng, không có sắc sai, giá thành hợp lý và phù hợp với điều kiện công nghệ ở Việt Nam.

1.4. Yêu cầu đối với các thành phần trong hệ thống đánh giá chất lượng ảnh của HTQH hồng ngoại.

Các thành phần và yêu cầu đối với thiết bị kiểm tra HTQH ảnh nhiệt được công bố trong các tài liệu tham khảo và tiêu chuẩn quốc tế. Tuy nhiên, còn một yếu tố có ảnh hưởng lớn đến chất lượng hoạt động của một HTQH nhưng hiện nay trên thế giới và Việt Nam vẫn chưa có sự quan tâm nghiên cứu và phương pháp khoa học để tính toán sự ảnh hưởng của kết cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của các linh kiện quang học trong hệ thống. Để hệ thống hoạt động tốt, các linh kiện phải được gia công với độ chính xác cao, đồng thời các kết cấu cơ khí gá lắp phải đảm bảo không gây biến dạng đáng kể đến bề mặt làm việc của các linh kiện. Đây là yếu tố khó tính toán và đo lường trong khi nó ảnh hưởng đáng kể ngay cả khi lực gá kẹp nhỏ. Thực tế, khi bề mặt linh kiện bị biến dạng, các phần tử trên bề mặt chuyển vị với giá trị chỉ vài trăm nano mét cũng đã ảnh hưởng đến chất lượng hoạt động của toàn hệ thống. Vì vậy, việc tính toán ảnh hưởng của cơ cấu gá cơ khí đến quang sai mặt sóng của linh kiện là bài toán rất quan trọng, làm cơ sở cho tính toán, thiết kế cơ khí phù hợp đối với toàn hệ thống.

1.5. Kết luận

Luận án đã nghiên cứu, tìm hiểu một số vấn đề về TBAN và phân tích ưu, nhược điểm từng phương pháp đánh giá chất lượng ảnh của HTQH ảnh nhiệt, từ đó lựa chọn phương pháp đo hàm nhòe đường LSF để xây dựng mô hình thiết bị. Về mặt thiết bị, tác giả đã lựa chọn mô hình thiết bị dùng hệ chuẩn trực phản xạ làm phương án xây dựng mô hình.

Đồng thời, tác giả đã chỉ ra một yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng tạo ảnh của HTQH nhưng chưa được quan tâm đúng mức và cũng chưa phương pháp tính toán khoa học nào được công bố cụ thể đó chính là ảnh hưởng của kết cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của một linh kiện quang học nói riêng và toàn hệ thống nói chung. Đây là nội dung quan trọng đòi hỏi luận án cần giải quyết để xây dựng mô hình thiết bị có chất lượng cao hơn.

Chương 2

PHƯƠNG PHÁP TÍNH ẢNH HƯỞNG CỦA KẾT CẤU GÁ LẮP ĐẾN QUANG SAI MẶT SÓNG CỦA LINH KIỆN QUANG HỌC

2.1. Sự ảnh hưởng của kết cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của linh kiện quang học.

Quang sai mặt sóng phụ thuộc vào các yếu tố, trong đó yếu tố biến dạng bề mặt hiện nay chưa có phương pháp để xác định. Đặc biệt, đối với những hệ thống có kích thước lớn và kết cấu khá công kênh như hệ chuẩn trực cần một lực gá kẹp lớn để đảm bảo chắc chắn. Nếu lực gá kẹp quá lớn có thể gây biến dạng bề mặt linh kiện ảnh hưởng đến quang sai mặt sóng của linh kiện nói riêng và chất lượng hoạt động của toàn hệ thống nói chung. Vì vậy, luận án cần nghiên cứu đề xuất một phương pháp khoa học làm cơ sở cho tính toán, thiết kế các thành phần của toàn hệ thống.

Nghiên cứu sinh đề xuất một phương pháp tính quang sai mặt sóng của nhiều thành phần quang học trong hệ thống như gương, thấu kính và tấm phẳng... dưới các lực kẹp khác nhau. Phương pháp này dựa trên sự kết hợp của phần mềm ANSYS, Delphi và Zemax. Luận án chọn một gương cầu làm linh kiện để thực hiện, và phép đo thực nghiệm cho thấy sự nhất quán, tương đồng với tính toán lý thuyết. Trong thiết kế các hệ thống quang học đòi hỏi độ chính xác cao, đây là nội dung rất cần thiết để thiết kế các cơ cấu gá lắp phù hợp nhằm tối ưu hóa hiệu quả hoạt động của hệ thống.

2.2. Phương pháp xác định biên dạng bề mặt và quang sai mặt sóng của các linh kiện quang học sau khi biến dạng

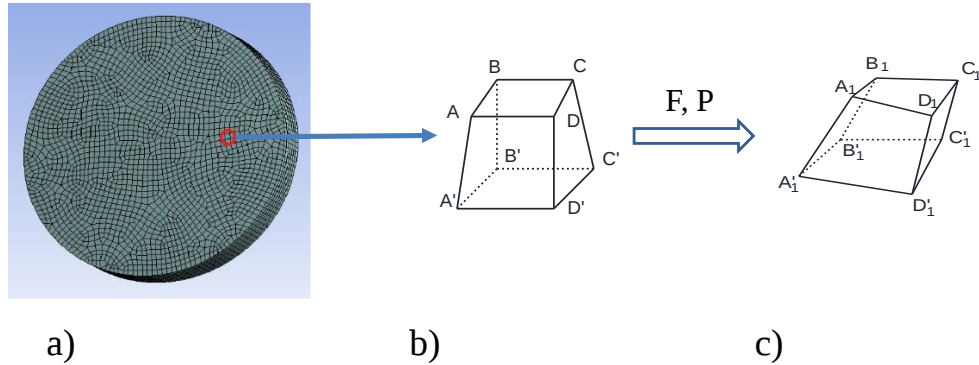
2.2.1. Quy trình tính toán

Phương pháp xác định quang sai mặt sóng có ba bước chính: Thứ nhất, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm ANSYS) để tính toán chuyển vị của các phần tử trên bề mặt của thành phần quang học khi nó chịu lực gá kẹp. Thứ hai, làm khớp bề mặt biến dạng với đa thức Zernike Standard để xác định các hệ số của đa thức Zernike Standard. Cuối cùng, xác định quang sai mặt sóng của linh kiện bằng phần mềm Zemax với các tham số đầu vào là hệ số của Zernike và các thông số của linh kiện quang học.

2.2.2. Xác định biên dạng bề mặt

Luận án sử dụng phần mềm ANSYS để tính toán biến dạng hay chuyển vị của các phần tử trên bề mặt gương khi chịu tác dụng bởi lực gá kẹp. Dưới tác động của ngoại lực,

bao gồm trọng lực (P) và lực kẹp (F), linh kiện sẽ bị biến dạng. Kết quả là các nút A, B, C, D, A', B', C', D' sẽ di chuyển đến các vị trí A₁, B₁, C₁, D₁, A'₁, B'₁, C'₁, D'₁ tương ứng (Hình 2.1c) và bề mặt linh kiện bây giờ không còn là hình cầu nữa.



Hình 2.1. Mô hình minh họa sự biến dạng của phần tử trên bề mặt gương.

a) Sơ đồ phân chia một gương cầu thành nhiều phần tử, b) và c) Minh họa của một phần tử điển hình không bị biến dạng và bị biến dạng.

Bộ số liệu chuyển vị được tính trên ANSYS là thông số đầu vào rất quan trọng trong việc xác định biên dạng bề mặt gương cầu sau khi biến dạng. Khi đó, biên dạng bề mặt gương sẽ được làm khớp với biên dạng mặt phi cầu được biểu diễn:

$$Z = R - \sqrt{R^2 - (X^2 + Y^2)} + \sum_{j=1}^{37} A_j M_j(\rho, \theta)$$

Trong đó, A_j : Hệ số thứ j của đa thức Zernike Standard, $j = \overline{1, 37}$

Từ phương trình trên, các thông số (X_i , Y_i , Z_i) và M_j đã biết, để xác định phương trình biến dạng Z , ta phải tính các hệ số A_j . Bằng phương pháp bình phương tối thiểu, các hệ số A_j của đa thức Zernike Standard được xác định. Như vậy, phương trình biên dạng bề mặt gương sau khi biến dạng đã được xác định. Đây là bước rất quan trọng để xác định quang sai mặt sóng của gương.

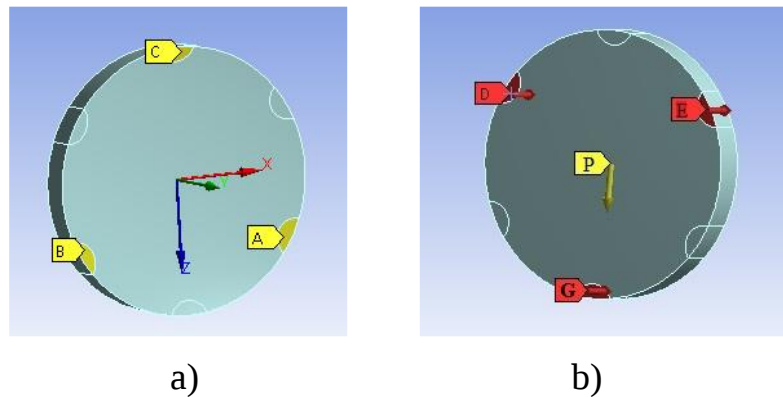
2.2.3. Xác định quang sai mặt sóng

Để xác định quang sai mặt sóng của gương ta cần biết các thông số: kích thước, vật liệu và các hệ số A_j . Từ đó, nhập các thông số đầu vào này vào phần mềm thiết kế quang học Zemax cho phép ta xác định quang sai mặt sóng của gương khi bị biến dạng.

2.3. Mô hình hóa và thực nghiệm đánh giá quang sai mặt sóng của gương cầu khi biến dạng bởi lực gá kẹp

2.3.1. Mô hình gá lắp gương trên phần mềm ANSYS

Luận án xây dựng mô hình kết cấu gá lắp gương như hình 2.2. Mặt trước của gương (bề mặt làm việc) được đỡ bởi ba gối đỡ A, B, C, phân bố đều trên chu vi của gương (Hình 2.2a). Ngoại lực tác dụng lên mặt sau của gương tại các vị trí D, E, G so le với các vị trí A, B, C (Hình 2.2b).

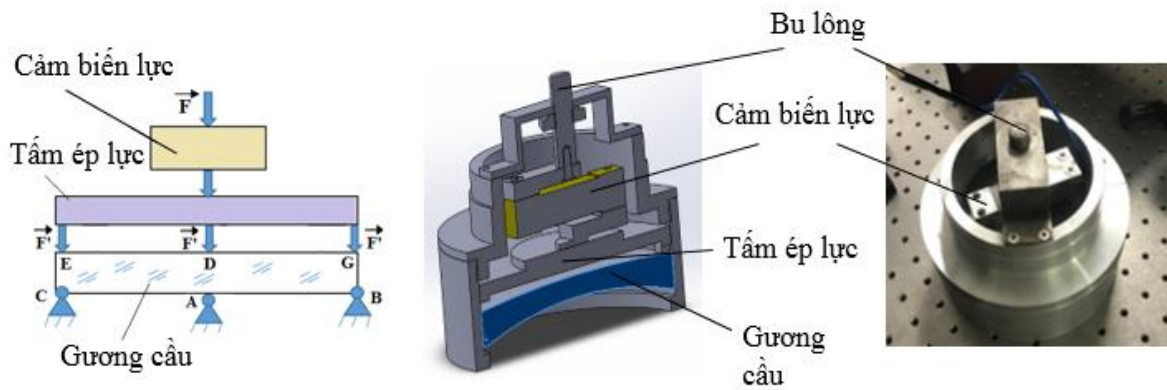


Hình 2.2. Mô hình gương cầu trên ANSYS. a) Mặt trước, b) Mặt sau.

2.3.2. Kết cấu thực nghiệm gá lắp gương

Mô hình thực nghiệm được trình bày ở hình 2.3. Một lực F được tác động lên một tấm ép lực thông qua một cảm biến để kiểm soát giá trị lực. Giá trị lực F tác dụng có thể được thay đổi bằng cách siết chặt bu lông vào cảm biến lực. Lực F chia thành ba lực F' ($F' = F/3$), tác dụng trực tiếp lên mặt sau của gương tại các vị trí D, E và G. Với cách sắp xếp này, mép gương sẽ võng xuống tại các vị trí D, E và G, đồng thời tại các vị trí A, B và C mép gương sẽ cong lên, làm tăng hiệu ứng khi khảo sát biến dạng của gương.

Dựa trên kết cấu đề xuất, tác giả đã thiết kế và chế tạo cụm cơ khí để lắp gương cầu (Hình 2.3). Thành phần kết cấu là nhôm và sắt, đảm bảo độ cứng và ổn định trong quá trình thí nghiệm.



Hình 2.3. Sơ đồ của các lực tác dụng lên gương cầu và kết cấu gá lắp cụ thể.

2.3.3. Mô hình thiết bị đo quang sai mặt sóng

Mô hình thực nghiệm để đo quang sai mặt sóng của gương cầu được thể hiện trong hình 2.4.



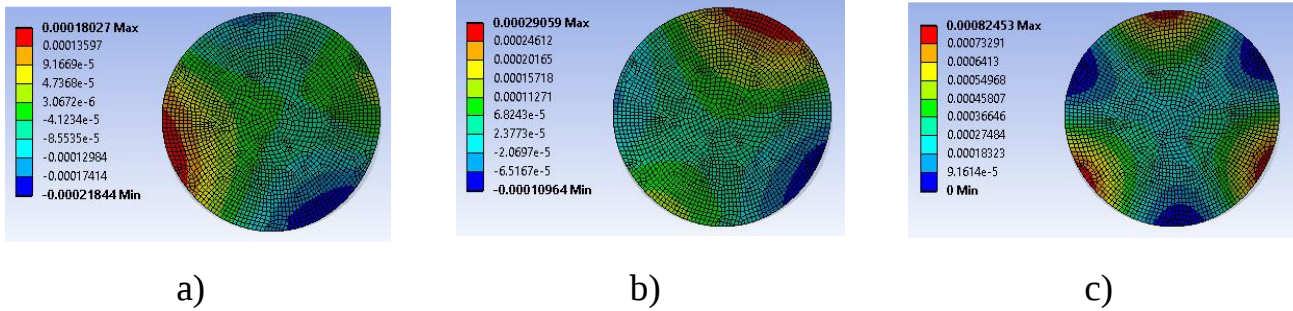
Hình 2.4. Mô hình thiết bị đo quang sai mặt sóng của gương cầu.

Cụm gương được đặt trước giao thoa kế Zygo, chùm sáng có bước sóng $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ từ giao thoa kế chiếu tới bề mặt chuẩn, tại đó một phần ánh sáng bị phản xạ, và phần còn lại truyền tới gương. Kết quả là giao thoa kế sẽ nhận được hai mặt sóng, một mặt phản xạ từ bề mặt chuẩn và một mặt phản xạ từ gương cầu. Sự sai khác giữa hai mặt sóng được tính toán và cho kết quả quang sai mặt sóng hiển thị trên máy tính.

2.4. Kết quả tính quang sai mặt sóng của gương cầu

2.4.1. Kết quả chuyển vị tính trên phần mềm ANSYS

Gương cầu trong phần mềm ANSYS được mô phỏng dựa trên gương thực tế đã được chế tạo làm bằng kính K8 với đường kính 150 mm. Các thông số khác bao gồm bán kính cong của $R_1 = 342,5 \text{ mm}$, $R_2 = \infty$ và độ dày $d = 10 \text{ mm}$. Khi đó, bề mặt gương được chia thành 7529 điểm nút.



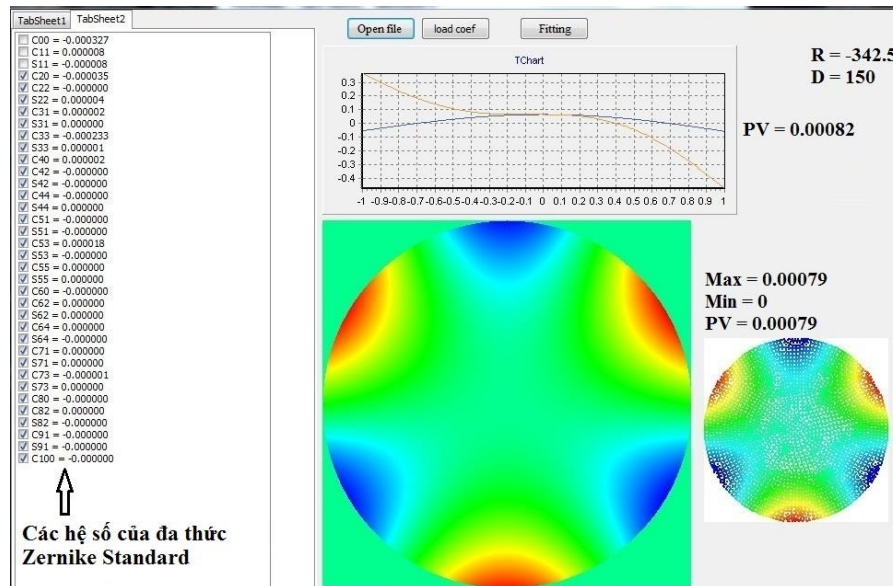
Hình 2.5. Sơ đồ chuyển vị của các điểm nút trên bề mặt gương với lực tác dụng 200 N.

a), b), c) Chuyển vị theo phương Ox, Oy, Oz tương ứng.

Hình 2.5a-2.5c trình bày sơ đồ chuyển vị của các điểm nút theo 3 phương Ox, Oy, Oz với lực tác dụng là 200 N. Có thể thấy trong hình 2.5c, tại những vị trí lực tác dụng vuông góc từ sau ra trước thì mặt gương cong lên (màu đỏ-vàng) tương ứng với chuyển vị cực đại vào khoảng 0,82 μm .

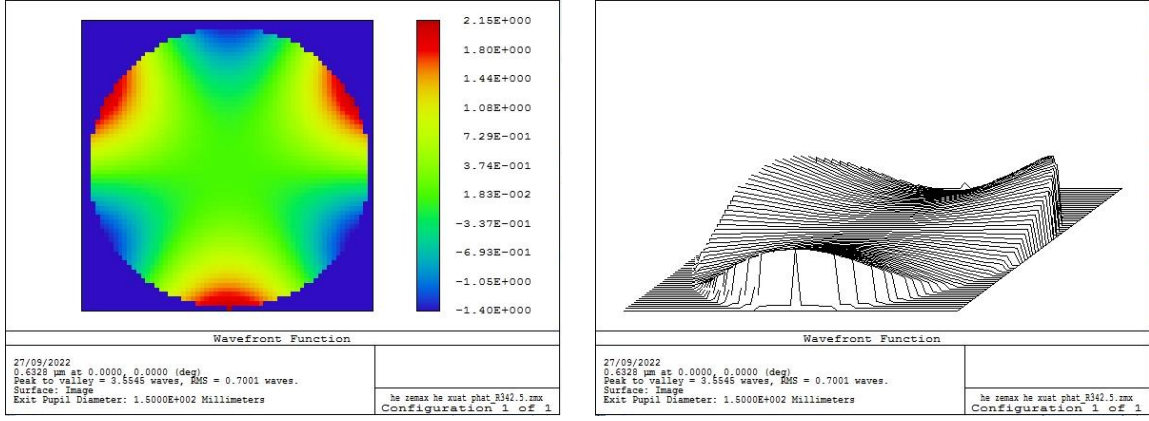
2.4.2. Tính toán quang sai mặt sóng trên Zemax

Dữ liệu chuyển vị từ ANSYS sẽ nhập vào phần mềm được viết trên Delphi để tính toán các hệ số của đa thức Zernike Standard. Các hệ số của đa thức Zernike Standard được tính và hiển thị ở phía bên trái của giao diện phần mềm (Hình 2.6).



Hình 2.6. Giao diện phần mềm tính các hệ số của đa thức Zernike Standard

Các hệ số của đa thức Zernike Standard và thông số của gương được nhập vào phần mềm Zemax để tính quang sai mặt sóng. Kết quả quang sai mặt sóng được tính toán với trường hợp $F = 200 \text{ N}$ được thể hiện tại hình 2.7.



(a)

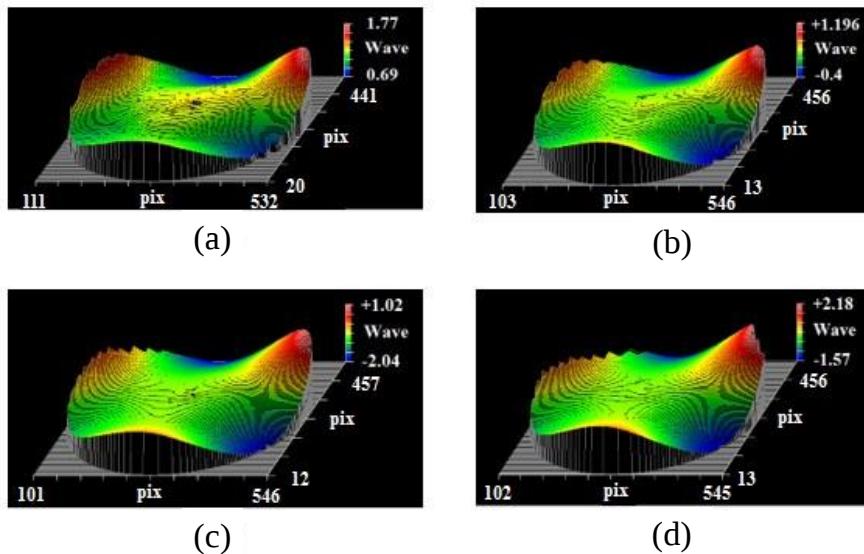
(b)

Hình 2.7. Quang sai mặt sóng của gương được tính với bước sóng $0,6328 \mu\text{m}$. a) và b) là quang sai mặt sóng dạng 2D và 3D.

Có thể thấy sự giống nhau về hình dạng và màu sắc (được biểu thị bằng khu vực biến dạng) giữa mặt sóng 2D (Hình 2.7a) và biến dạng bề mặt (Hình 2.6). Riêng vùng màu đỏ và xanh lam phản ánh sự lồi lên và lõm xuống của gương phù hợp với sự phân bố chuyển vị của các điểm trên mặt gương. Quang sai mặt sóng lý thuyết PV_T và RMS_T ở bước sóng $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ tăng tuyến tính tương ứng với sự tăng của các lực tác dụng.

2.4.3. Quang sai mặt sóng của gương biến dạng đo bằng giao thoa kế Zygo

Kết quả thực nghiệm đo quang sai mặt sóng của gương khi chịu các lực tác dụng khác nhau được thể hiện trong hình 2.8.



(a)

(b)

(c)

(d)

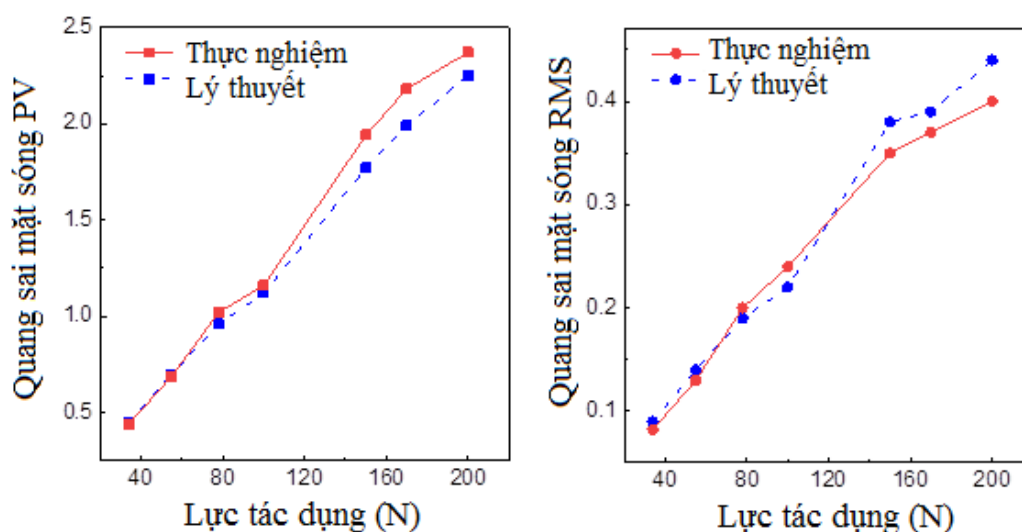
Hình 2.8. Quang sai mặt sóng của gương đo bằng giao thoa kế Zygo.

a), b), c), d) tương ứng với các lực tác dụng là 55, 78, 150 và 200 N.

Kết quả cho thấy quang sai mặt sóng tăng lên theo lực tác dụng và mối quan hệ này gần như tuyến tính.

2.4.4. So sánh quang sai mặt sóng lý thuyết và thực nghiệm

Các kết quả đo giữa quang sai mặt sóng lý thuyết và thực nghiệm với các giá trị lực tác dụng khác nhau được thể hiện ở hình 2.9.



Hình 2.9. Quang sai mặt sóng PV và RMS dưới các lực tác dụng khác nhau.

Về mặt giá trị, sự sai khác quang sai mặt sóng giữa lý thuyết và thực nghiệm nhỏ hơn 10%, sai số nhỏ nhất chỉ là 1,4% khi lực tác dụng là 55 N và sai số đáng kể nhất là 9,6% khi lực tác dụng là 150 N. Từ các kết quả ở trên ta nhận thấy, sự đồng nhất giữa quang sai mặt sóng lý thuyết và thực nghiệm của gương được nghiên cứu khẳng định tính chính xác của phương pháp luận án đề xuất. Do đó, đây là nội dung có ý nghĩa trong việc thiết kế các kết cấu gá lắp phù hợp để tối ưu hóa HTQH.

2.5. Kết luận

Luận án đã đề xuất một phương pháp để xác định quang sai mặt sóng của các linh kiện quang học bị biến dạng dưới tác dụng của ngoại lực. Phương pháp này cho phép xác định quang sai mặt sóng không chỉ một thành phần mà còn cả hệ thống quang học chứa nhiều thành phần khi chúng chịu tác dụng bởi lực gá kẹp. Độ chính xác của phương pháp này đã được kiểm chứng bởi quá trình thực nghiệm đối với gương cầu. Phép đo thực nghiệm cho thấy sự phù hợp tốt với tính toán lý thuyết, kết quả sai số dao động ở mức nhỏ hơn 10%.

Kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng phục vụ cho việc thiết kế các hệ thống quang học yêu cầu độ chính xác cao, giúp tối ưu kết cấu gá lắp để đảm bảo hệ thống quang học chắc chắn nhưng vẫn có chất lượng tốt.

Chương 3

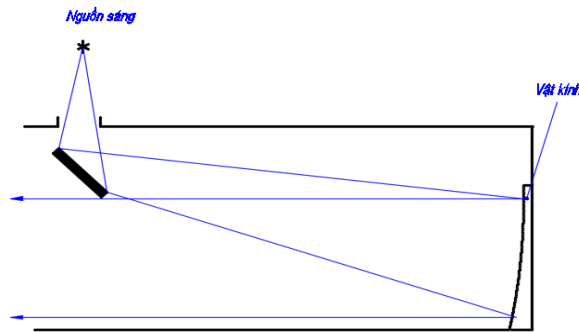
XÂY DỰNG MÔ HÌNH THIẾT BỊ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG TẠO ẢNH CỦA HỆ THỐNG QUANG HỌC LÀM VIỆC TRONG VÙNG PHỔ HỒNG NGOẠI 8-12 μm

3.1. Thiết kế, chế tạo hệ chuẩn trực làm việc trong vùng hồng ngoại.

3.1.1. Thiết kế hệ quang hệ chuẩn trực

* *Phân tích lựa chọn sơ đồ hệ chuẩn trực:*

Luận án lựa chọn hệ chuẩn trực phản xạ ngoài trục sử dụng gương cầu làm phương án tính toán, thiết kế (Hình 3.1). Phương án này có ưu điểm dải phổ làm việc rộng, phù hợp với việc gia công gương cầu trong nước, tuy nhiên hệ thống sẽ có quang sai đơn sắc.



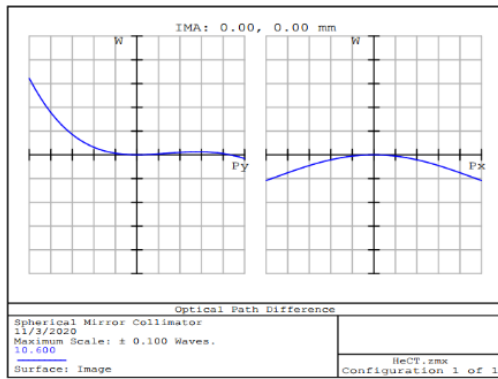
Hình 3.1. Hệ chuẩn trực phản xạ ngoài trục dùng vật kính gương

* *Tính toán, thiết kế kích thước:*

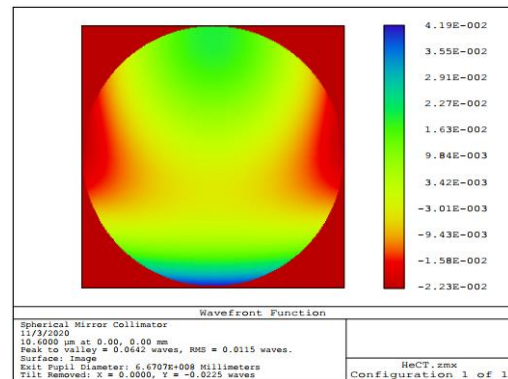
Bằng các công thức tính toán, luận án đã thiết kế hệ chuẩn trực có thông số kết cấu: Bán kính mặt gương chính: $R_1 = 3000 \text{ mm}$; đường kính gương chính $D_1 = 150 \text{ mm}$; góc nghiêng của gương chính so với quang trục $\alpha = 1^\circ$; gương thứ cấp: $R_2 = \infty$; kích thước x, y là: 30 mm, 60 mm; khoảng cách giữa hai gương $L_1 = 1471 \text{ mm}$.

* *Kiểm tra chất lượng ảnh của hệ:*

Sử dụng phần mềm Zemax để kiểm tra chất lượng ảnh của hệ đã được thiết kế ở trên, ta được kết quả ở hình 3.2. Tại bước sóng $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$, quang sai: $C = 0,06\lambda$, sai sóng: $PV = 0,0642\lambda < \lambda/10$, như vậy về mặt thiết kế, hệ chuẩn trực đạt yêu cầu sử dụng làm thiết bị đo kiểm ống kính ảnh nhiệt.



a) Quang sai

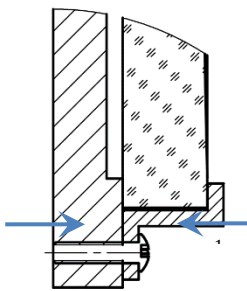


b) Sai sóng

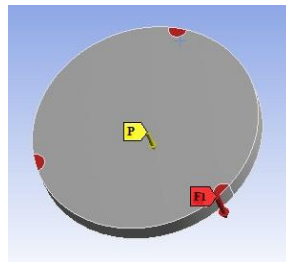
Hình 3.2. Quang sai và sai sóng của hệ chuẩn trực

3.1.2. Thiết kế kết cấu cơ khí hệ chuẩn trực

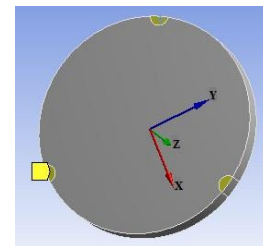
Cụm gương cầu được thiết kế đặt trên bề mặt đế và cố định bằng ba vít tại ba mẫu ti tương ứng vị trí của các mẫu ép chữ Z (Hình 3.3a). Các mẫu này đóng vai trò là gối đỡ gương, khi lắp ráp lực liên kết ép xuống gương sẽ được truyền thẳng xuống đế tại các vị trí này (Hình 3.3c).



a) Cơ cấu cải tiến



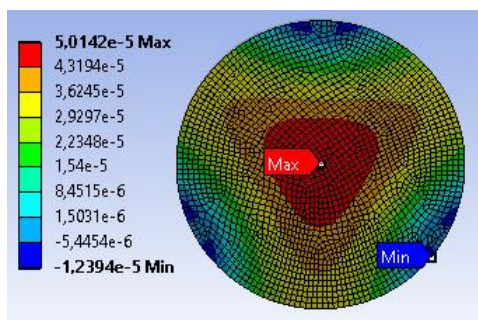
b) Mặt trước



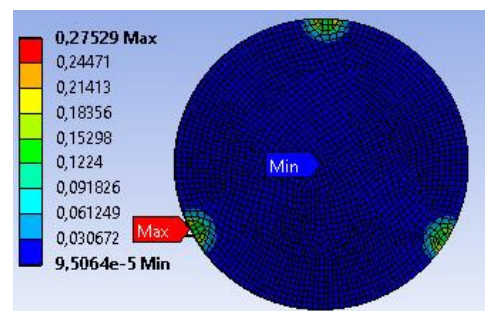
c) Mặt sau

Hình 3.3. Kết cấu cụm gương cải tiến

Mô hình của chịu lực của gương trong ANSYS được thể hiện trên hình 3.3b và 3.3c. Kết quả tính biến dạng và ứng suất của gương được ANSYS tính toán thể hiện trên hình 3.4.



a) Biểu đồ biến dạng bề mặt gương



b) Biểu đồ ứng suất của gương

Hình 3.4. Kết quả phân tích mô hình gá lắp cải tiến

Giá trị biến dạng và biểu đồ ứng suất (Hình 3.4b) của gương khi chịu lực kẹp $F = 48,4$ N rất nhỏ, hoàn toàn thỏa mãn yêu cầu.

3.1.3. *Cụm gương thứ cấp*

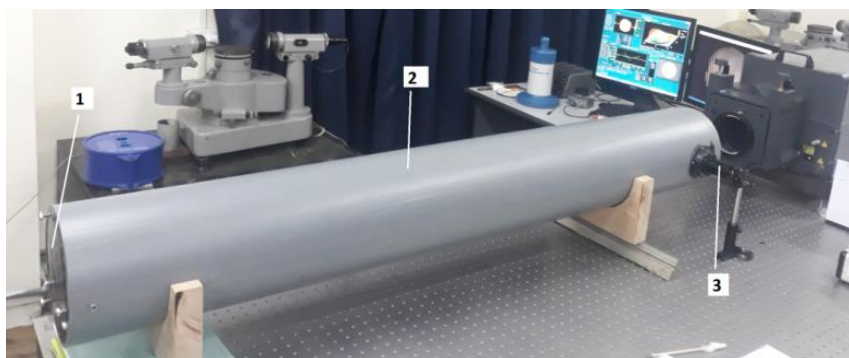
Cụm gương thứ cấp có tác dụng thay đổi đường truyền của chùm tia trước khi đi vào cụm gương chính. Cụm này bao gồm một gương phẳng mạ bạc, có kích thước 30 x 60 mm được dán lên thân ống gá có một đầu được vát góc 44° đảm bảo gương thứ cấp nghiêng một góc $\beta = 44^\circ$ so với mặt phẳng thẳng đứng như thiết kế (Hình 3.5). Toàn bộ cụm gương được gá lên thân ống chuẩn trực và có khả năng dịch chuyển dọc trục ống chuẩn trực để hiệu chỉnh vị trí chính xác của nó.



Hình 3.5. Cụm gương thứ cấp

3.1.4. *Lắp ráp và hiệu chỉnh*

Sau khi lắp ráp và hiệu chỉnh vị trí chính xác các cụm gương ta nhận được hệ chuẩn trực hoàn chỉnh như hình 3.6.



Hình 3.6. Sơ đồ gá lắp ống chuẩn trực

1. Cụm gương cầu; 2. Thân ống chuẩn trực; 3. Cụm gương thứ cấp

3.1.5. Kết quả đo kiểm các thông số của ống chuẩn trực

- Đo tiêu cự: Tiêu cự của ống chuẩn trực được đo theo phương pháp đo góc, tiêu cự của ống chuẩn trực $f'_c = 1510 \pm 2$ mm.

- Đo bán kính gương cầu: Phép được thực hiện bằng thiết bị Super Spherotronic HR, $R \approx 3014$ mm, do đó: $f' = R/2 = 1507$ mm.

Vì vậy, ta chọn $f' = 1510$ mm làm giá trị tiêu cự của ống chuẩn trực để tính toán sau này.

3.2. Thiết kế, chế tạo vật kính hiển vi

3.2.1. Thiết kế hệ quang vật kính hiển vi

Thông số kỹ thuật của vật kính hiển vi được phân tích và lựa chọn như sau:

- Vùng phổ làm việc từ $8 \div 12$ μm ;
- Quang sai mặt sóng nhỏ hơn $\lambda/10$;
- Độ phóng đại ngang $\beta = 10^x$;
- Số khẩu độ $NA = 0,45$.

Luận án lựa chọn thấu kính aplanat để tính toán, thiết kế vật kính hiển vi. Thông qua các công thức tính toán, tính được các thông số của vật kính hiển vi như bảng 2.1:

Bảng 2.1: Thông số của vật kính hiển vi tối ưu trên phần mềm Zemax

STT	Bán kính (mm)	Chiều dày (mm)	Vật liệu
Vật	Vô cùng	8,8	
1	- 9,3	2	Germanium
2	- 9,3	1	
3	- 26,73	2	Germanium
4	- 20,70	118,86	
Ảnh	Vô cùng		

Nhập các thông số và phần mềm Zemax cho thấy quang sai của vật kính hiển vi có giá trị nhỏ hơn $0,1\lambda$, đạt yêu cầu đề ra.

3.2.2. Chế tạo vật kính hiển vi

Kết quả đo các thông số của từng thấu kính sau khi gia công như bảng 2.2:

Bảng 2.2: Thông số của vật kính hiển vi sau khi gia công

STT	Bán kính (mm)			Chiều dày (mm)		
	Theo thiết kế	Thực tế đạt được	Sai số (%)	Theo thiết kế	Thực tế đạt được	Sai số (%)
Thấu kính 1	- 9,3	- 9,305	0,03%	2	2,016	0,8%
	- 9,3	- 9,309	0,1%			
Thấu kính 2	- 26,73	- 26,735	0,02%	2	2,014	0,7%
	- 20,70	- 20,711	0,05%			

Kết quả đo quang sai mặt sóng các mặt của các thấu kính trong vùng phổ làm việc của vật kính ($\lambda_{IR} = 10,6 \mu\text{m}$) như sau:

Bảng 2.3: Quang sai mặt sóng các mặt của các thấu kính

Bề mặt	Thấu kính 1		Thấu kính 2	
	PV (λ_{IR})	RMS (λ_{IR})	PV (λ_{IR})	RMS (λ_{IR})
Mặt lõm	0,0046	0,00072	0,0073	0,00084
Mặt lồi	0,0073	0,00078	0,010	0,00191

Kết quả cho thấy quang sai mặt sóng của các thấu kính nhỏ hơn 10 lần so với quang sai dư do quá trình thiết kế chưa khử hết. Vì vậy, có thể kết luận vật kính được thiết kế, chế tạo có sai số gia công hầu như không ảnh hưởng đến chất lượng hoạt động của chúng.

3.3. Kết luận

Luận án đã thiết kế, chế tạo thành công hệ chuẩn trực hoạt động trong vùng phổ 8÷12 μm với các thông số: tiêu cự $f' = 1510 \text{ mm}$, đường kính đồng tử vào $D = 140 \text{ mm}$, quang sai mặt sóng của vật kính chuẩn trực nhỏ hơn $\lambda/10$. Đồng thời, luận án cũng chế tạo vật kính hiển vi với độ phóng đại $\beta = 10^x$, sai số kích thước, hình dạng của các thấu kính rất nhỏ, quang sai mặt sóng nhỏ hơn $\lambda/10$ đáp ứng yêu cầu đề ra.

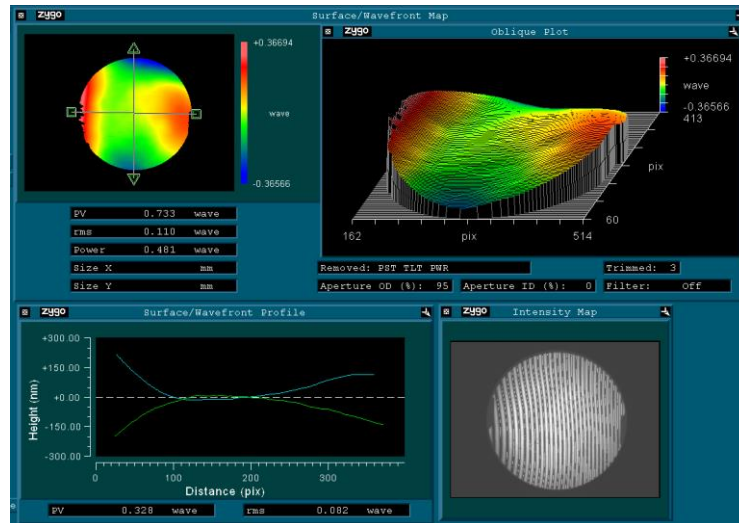
Chương 4

CÁC KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

4.1. Kết quả hoạt động thực nghiệm của hệ chuẩn trực.

4.1.1. Đo quang sai mặt sóng của gương chuẩn trực

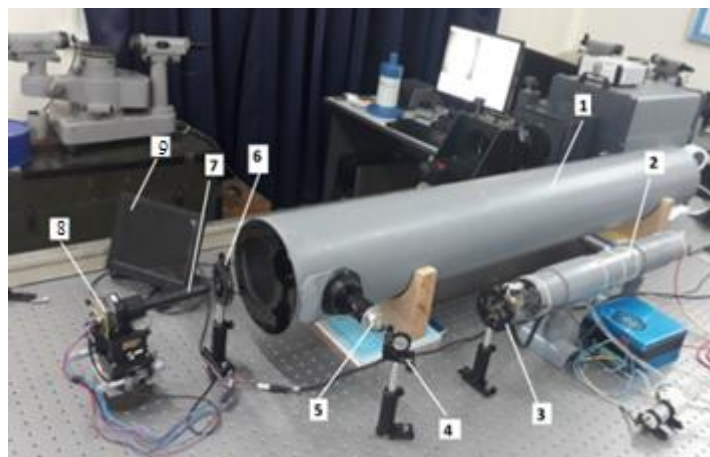
Cho ống chuẩn trực làm việc với giao thoa kế Verifire XP/D –ZYGO. Đồ thị sai sóng được trích từ phần mềm xử lý ảnh giao thoa được thể hiện trên hình 4.1.



Hình 4.1. Bản đồ sai sóng của ống chuẩn trực đo bằng giao thoa kế Zygo

Tại bước sóng $10,6\text{ }\mu\text{m}$: $PV = 0,044\lambda$; $RMS = 0,066\lambda$, giá trị quang sai mặt sóng rất nhỏ ($\approx \lambda/20$), đáp ứng yêu cầu sử dụng trong đo kiểm quang học.

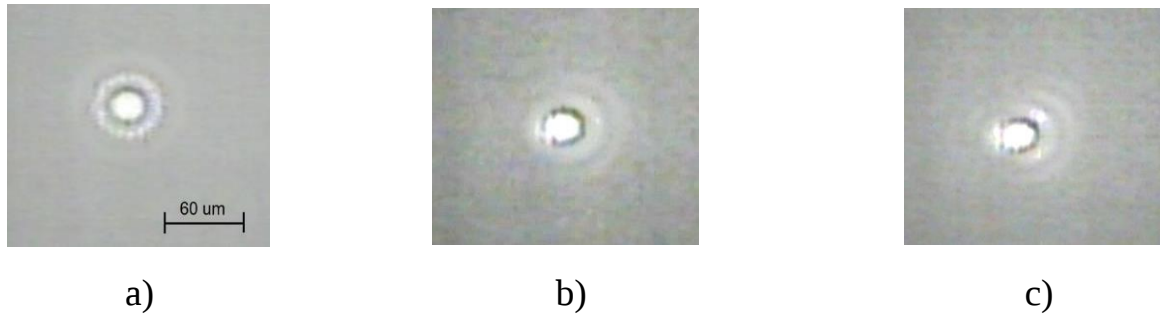
4.1.2. Kết quả thu nhận ảnh của lỗ có kích thước nhỏ tạo bởi vật kính ảnh nhiệt



Hình 4.2. Mô hình thiết bị thu nhận ảnh của vật kính FLIR

1. Ống chuẩn trực; 2. Laser CO₂; 3. Thấu kính giãn chùm; 4. Gương phản xạ; 5. Mía dạng lỗ tròn; 6. Vật kính ảnh nhiệt; 7. Vật kính hiển vi;
8. Cảm biến ảnh nhiệt; 9. Màn hình.

Để thu nhận và đánh giá chất lượng ảnh của vật kính ảnh nhiệt, ta cho vật kính làm việc với vật mẫu có dạng lỗ nhỏ đường kính $25\text{ }\mu\text{m}$ và tiến hành thu nhận ảnh của chúng để đánh giá. Sơ đồ hệ thống đo được thể hiện tại hình 4.2. Kết quả thu nhận ảnh của vật mẫu qua hệ thống được thể hiện trên hình 4.3a - 4.3c tương ứng với hình ảnh của các vết nhiễu xạ được chụp tại ba vị trí trên thị giới của ống kính.



Hình 4.3. Kết quả đo kiểm vật kính ảnh nhiệt

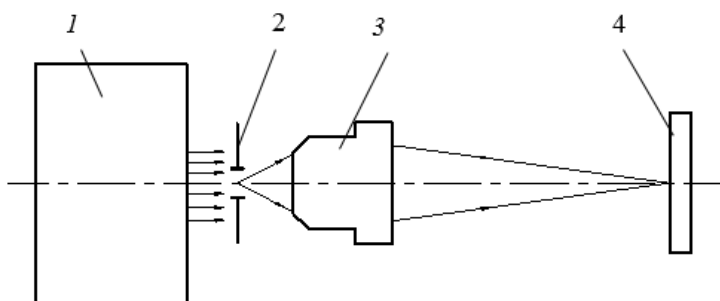
a), b), c). Hình ảnh vết nhiễu xạ tại các vị trí: trung tâm thị giới; 1/2 thị giới; rìa thị giới.

Tại vị trí trung tâm, vết tròn đều, thấy rõ các vòng nhiễu xạ, chứng tỏ ống kính được khử quang sai rất tốt; tại các vị trí khác vết bị méo, độ méo tăng dần từ trung tâm ra ngoài biên thị giới. Điều này chứng tỏ hệ thống đo kiểm hoạt động tốt, đã phát hiện được sự suy giảm chất lượng ảnh của vật kính được thử nghiệm.

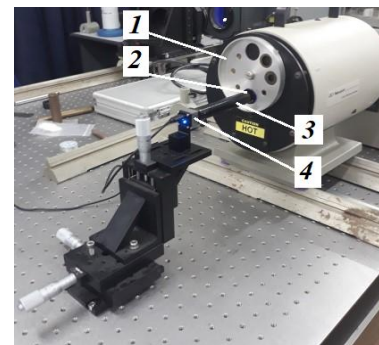
4.2. Kết quả thử nghiệm hoạt động của vật kính hiển vi.

4.2.1. Kiểm tra độ phóng đại của vật kính hiển vi

Phương pháp thực hiện là ghép vật kính với một cảm biến ảnh nhiệt thành một hệ kính hiển vi hồng ngoại và quan sát một vật mẫu là lỗ nhỏ có đường kính $D = 317,5\text{ }\mu\text{m}$. Sơ đồ thử nghiệm được thể hiện ở hình 4.4.



a) Sơ đồ nguyên lý

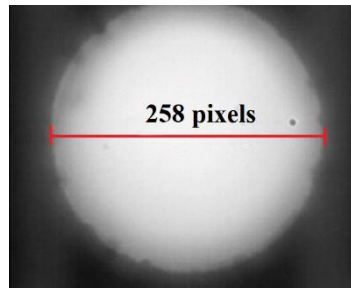


b) Sơ đồ bố trí thực tế

Hình 4.4. Sơ đồ đo kiểm hoạt động của vật kính hiển vi hồng ngoại

1. Vật đen tuyệt đối; 2. Vật mẫu; 3. Vật kính hiển vi; 4. Cảm biến

Kết quả hình ảnh lỗ thu nhận được hiển thị trên máy tính được thể hiện ở hình 4.5.



Hình 4.5. Ảnh của lỗ nhỏ có đường kính 0,3175 mm

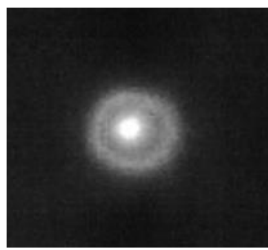
Đường kính của lỗ trên ảnh chiếm 258 pixels tương ứng $y' = 258.0,012 = 3,096$ mm.

Như vậy, độ phóng đại: $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{3,096}{0,3175} = 9,75$.

4.2.2. Kết quả thu nhận ảnh của lỗ có kích thước nhỏ tạo bởi vật kính hiển vi.

Sử dụng vật kính hiển vi thu nhận ảnh một số vật mẫu có kích thước 10 μm và 25 μm .

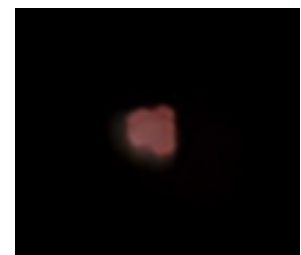
Kết quả hình ảnh của các vật mẫu nhận được thể hiện ở hình 4.6:



a)



b)



c)

Hình 4.6. Hình ảnh quan sát các lỗ nhỏ

a) Ảnh của lỗ 10 μm ; b), c) Ảnh của lỗ 25 μm khi làm việc trong vùng hồng ngoại và vùng nhìn thấy.

Từ kết quả trên ta nhận thấy:

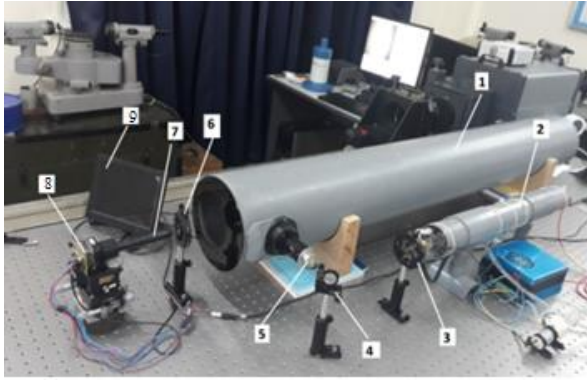
- Đối với lỗ có đường kính 10 μm , ảnh thu được là một đốm sáng tròn có cường độ năng lượng tập trung ở trung tâm và giảm dần về phía ngoài tương ứng với lý thuyết. Như vậy, chất lượng vật kính hiển vi đạt giới hạn nhiễu xạ.

- Đối với lỗ có kích thước 25 μm : Các hiệu ứng hình học đã được thể hiện (hình 4.6b), hình dạng và các chi tiết của lỗ được dựng lại trung thực, giống như khi quan sát trong ánh sáng nhìn thấy (hình 4.6c). Điều này chứng tỏ vật kính hiển vi có chất lượng tốt.

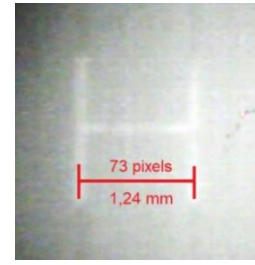
4.3. Ứng dụng mô hình thiết bị đo hàm LSF, MTF của một số mẫu vật kính ảnh nhiệt.

4.3.1. Đo tiêu cự của vật kính ảnh nhiệt.

Sơ đồ thiết bị đo tiêu cự của vật kính FLIR có tiêu cự $f' = 19$ mm, F1.2 ở hình 4.7:



a) Sơ đồ đo tiêu cự



b) Ảnh của mĩa chữ H

Hình 4.7. Sơ đồ đo tiêu cự của vật kính ảnh nhiệt và ảnh của mĩa chữ H

1. Ống chuẩn trực; 2. Laser CO₂; 3. Thấu kính giãn chùm; 4. Gương phản xạ; 5. Mĩa chữ H; 6. Ống kính ảnh nhiệt; 7. Vật kính hiển vi; 8. Cảm biến; 9. Màn hình.

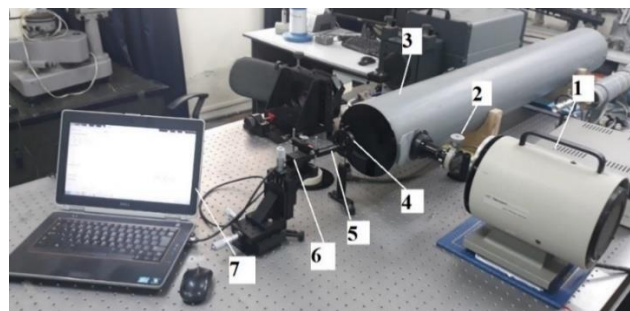
Mĩa có dạng chữ H với kích thước ngang $y = 10 \text{ mm}$ đặt tại vị trí (5) của sơ đồ. Khi đó, ảnh của mĩa thu được như hình 4.7b. Số điểm ảnh giữa hai cạnh của mĩa là $n = 73 \text{ pixels}$ hay khoảng cách giữa chúng là $y' = 73 \cdot 0.017 = 1.241 \text{ mm}$.

Từ đó, tiêu cự của ống kính là: $f' = \frac{f'_c \cdot y'}{\beta \cdot y} = \frac{1510 \cdot 1,241}{9,75 \cdot 10} = 19,2 \text{ mm}$ sai số 1%.

Như vậy, kết quả đo tiêu cự phù hợp với công bố của nhà sản xuất.

4.3.2. Đo hàm nhòe đường LSF, hàm truyền điều biến MTF

Mô hình thực nghiệm đo hàm LSF, hàm MTF được bố trí như hình 4.8:

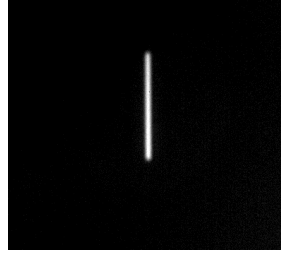


Hình 4.8. Sơ đồ và mô hình thử nghiệm hoạt động của hệ thống

1. Nguồn bức xạ; 2. Vật mẫu; 3. Ống chuẩn trực; 4. Vật kính cần kiểm tra; 5. Vật kính hiển vi; 6. Cảm biến; 7. Máy tính.

* Nguyên lý hoạt động của mô hình thử nghiệm:

Khi hoạt động, nguồn bức xạ từ vật đen tuyệt đối chiếu vào vật mẫu, thông qua hệ chuẩn trực, vật kính cần kiểm tra và vật kính hiển vi thì ảnh của vật mẫu thu được trên cảm biến sẽ có dạng là một vạch sáng (Hình 4.9).



Hình 4.9. Ảnh của vật mẫu

Từ đây, luận án tiến hành xây dựng thuật toán xử lý ảnh lọc nhiễu của ảnh, đồng thời tính toán để xác định hàm LSF, MTF của vật kính cần kiểm tra.

Sau khi xử lý nhiễu, hàm nhòe đường LSF được xác định bằng cách cắt một đường vuông góc với ảnh khe sáng. Đồ thị hàm LSF khi đó sẽ có dạng một cực đại trung tâm và giảm dần ở hai bên. Ngoài ra, hàm LSF ta cần xác định là hàm LSF tại vị trí mặt phẳng ảnh của vật kính cần kiểm tra. Do vậy, ta phải xử lý dữ liệu để đưa về hàm LSF cần tìm bằng mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào và đầu ra như sau:

$$V_{out} = c_1 \Phi_{in}^{\gamma} + c_2 \quad (4.1)$$

Ở đây: Φ_{in} : Tín hiệu đầu vào; V_{out} : Tín hiệu đầu ra; c_1 : Hằng số, $c_1 = 1$; c_2 : Hệ số hiệu chỉnh; γ : Hệ số hiệu chỉnh Gamma, $\gamma = 0,7$.

Trong trường hợp này: $V_{out} = LSF_{cambien}$ và $\Phi_{in} = LSF_{HTQH}$

Do đó:

$$(LSF_{cambien} - c_2) = (LSF_{HTQH})^{\gamma} \quad (4.2)$$

$$\text{Từ đó: } LSF_{HTQH} = (LSF_{cambien} - c_2)^{\frac{1}{\gamma}} = (LSF_{cambien} - c_2)^{\frac{1}{0,7}} = (LSF_{cambien} - c_2)^{1,4} \quad (4.3)$$

Từ đó, hàm truyền MTF được xác định bằng biến đổi Fourier của hàm LSF_{HTQH} :

$$MTF = \left| F \left[LSF_{HTQH} \right] \right| \quad (4.4)$$

4.3.2.3. Kết quả đo hàm LSF, MTF:

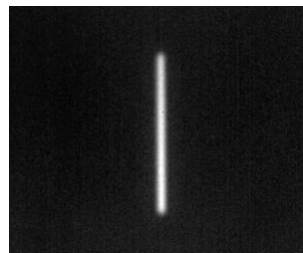
Với mô hình thiết bị kiểm tra hệ quang ảnh nhiệt và thuật toán xử lý kết quả ở trên. Luận án tiến hành chọn hai mẫu vật kính ảnh nhiệt đã có thông số các hàm LSF, MTF, từ đó làm cơ sở so sánh, đối chiếu với kết quả đo hàm LSF, MTF của hệ thống. Các thông số cơ bản của hai vật kính như sau:

Bảng 4.1: Bảng thông số của các vật kính mẫu

	Vật kính 1	Vật kính 2
Tiêu cự	100	19
Khẩu độ tương đối	F1.0	F1.25
Hãng sản xuất	Wavelength Opto-electronic	Flir

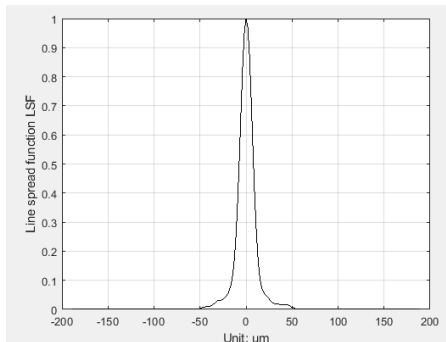
a) Kết quả đo kiểm vật kính thứ nhất:

Tiến hành lắp vật kính thứ nhất vào mô hình thiết bị, khi đó ảnh của vật mẫu thu được sau khi qua hệ thống có dạng hình 4.10.

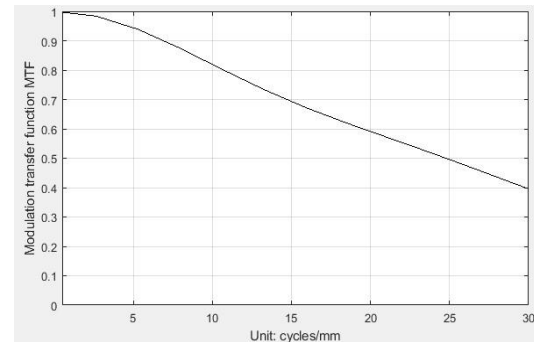


Hình 4.10. Ảnh của vật mẫu khi thử nghiệm với vật kính thứ nhất

Từ thuật toán viết trên phần mềm Matlab, xác định được hàm LSF, MTF như hình 4.11.



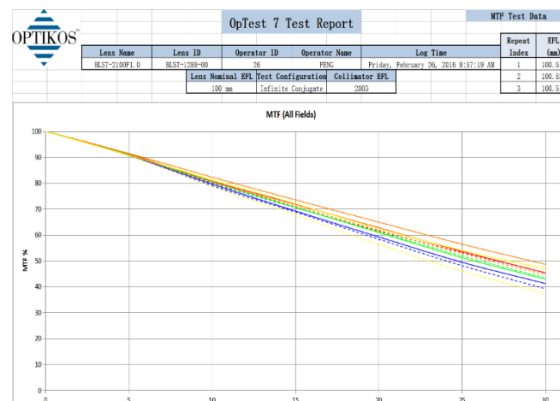
a. Hàm nhòe đường LSF



b. Hàm truyền điều biến MTF

Hình 4.11. Kết quả thực nghiệm đo hàm LSF, MTF của vật kính thứ nhất.

Ta có, hàm MTF được công bố bởi nhà sản xuất thể hiện ở hình 4.12:



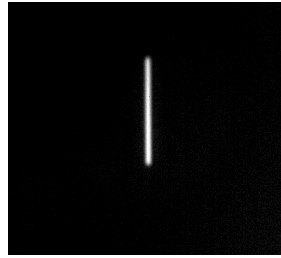
Hình 4.12. Hàm MTF theo công bố của nhà sản xuất

So sánh kết quả đo hàm MTF thực nghiệm và hàm MTF của nhà sản xuất ta nhận thấy: Các giá trị hàm MTF thực nghiệm có hình dạng khá tương đồng, giá trị tương đối sát với hàm MTF của nhà sản xuất. Riêng đoạn đầu đường cong ứng với dải tần số thấp ($v_x \leq 10$ lp/mm), độ tương phản đo được cao so với MTF của nhà sản xuất. Điều này do dải động của cảm biến ảnh nhiệt chưa đủ để ghi nhận những tín hiệu yếu dẫn đến dữ liệu tính toán hàm MTF chưa đầy đủ nên có sự sai khác ở vùng này. Do vậy, muốn thu được hàm MTF chính xác thì dải động của cảm biến phải được mở rộng hơn nữa.

b) Kết quả đo kiểm vật kính thứ hai:

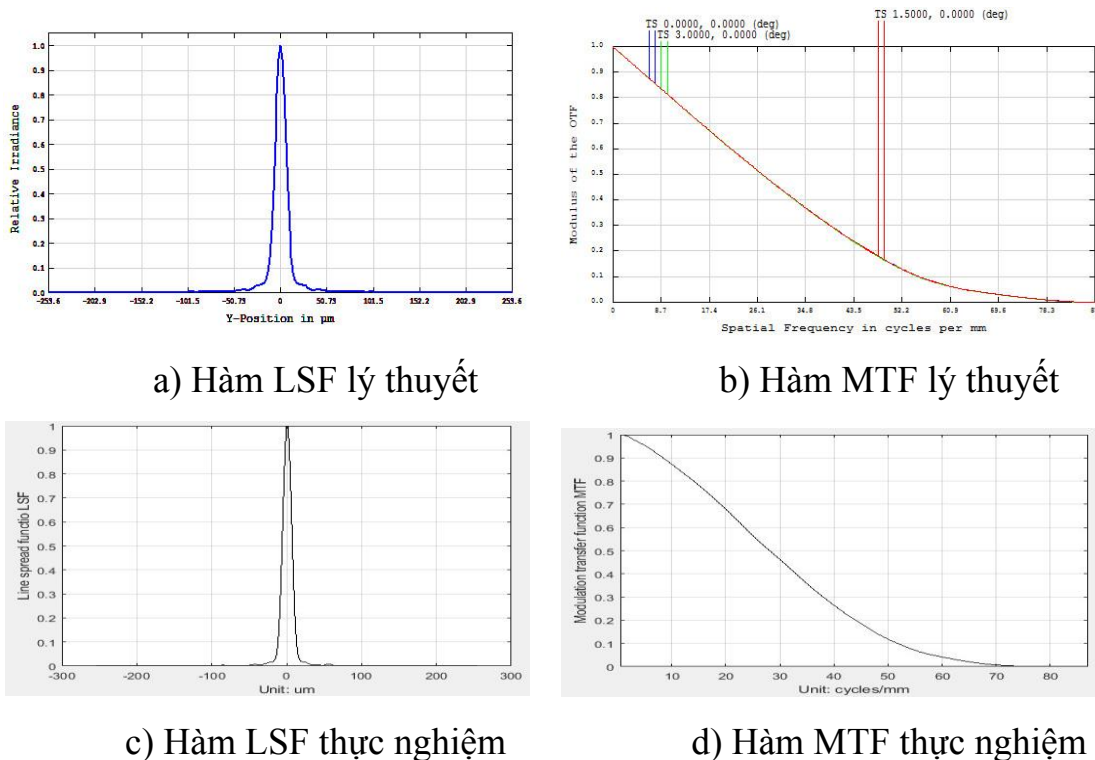
Đây là vật kính được lấy từ thiết bị ảnh nhiệt để kiểm tra, đánh giá. Hàm LSF, MTF được thể hiện ở hình 4.14a, 4.14b.

Để xác định hàm LSF, MTF thực nghiệm, ta lắp vật kính thứ hai vào hệ thống, khi đó ảnh của vật mẫu như hình 4.13:



Hình 4.13. Ảnh của vật mẫu khi thử nghiệm với vật kính thứ hai

Từ đó, kết quả đo LSF, MTF thực nghiệm thu được thể hiện tại hình 4.14c, 4.14d.



Hình 4.14. Hàm LSF và MTF lý thuyết và thực nghiệm.

Ta thấy rằng: Hàm nhòe đường LSF có hình dạng tương đối tương đồng, phân bố năng lượng thể hiện rõ cấu trúc một cực đại ở trung tâm và giảm dần sang hai bên. Đối với hàm MTF, các giá trị hàm MTF thực nghiệm tương đối sát với hàm MTF lý thuyết, đoạn đầu đường cong cao hơn so với lý thuyết do dải động của cảm biến còn hạn chế. Tuy nhiên, với kết quả hiện tại, mô hình thiết bị vẫn phù hợp để kiểm tra các vật kính ảnh nhiệt dùng trong quân sự do các thiết bị này thường dùng để quan sát xa, mục tiêu khi đó có kích thước góc nhỏ, vì vậy dải tần số cao sẽ được quan tâm nhiều hơn trong đánh giá.

Căn cứ vào kết quả đo hàm LSF, MTF của thiết bị đối với một số mẫu vật kính ảnh nhiệt có thể khẳng định thiết bị đáp ứng tốt yêu cầu đo kiểm HTQH ảnh nhiệt.

4.4. Kết luận

Thông qua các hoạt động thử nghiệm và kết quả ở chương 4, ta nhận thấy:

Hoạt động thử nghiệm thu nhận ảnh của hệ chuẩn trực và vật kính hiển vi chứng tỏ quang sai được khử tốt, vật kính đạt giới hạn nhiễu xạ. Hai thành phần này đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật để sử dụng trong hệ đo kiểm ảnh nhiệt. Khẳng định việc làm chủ thiết kế và chế tạo ống chuẩn trực, vật kính hiển vi với điều kiện công nghệ trong nước.

Kết quả đo tiêu cự của mô hình thiết bị cho kết quả sai số khoảng 1%. Đồng thời, với thuật toán xử lý ảnh và các phép biến đổi toán học một cách khoa học, rõ ràng, kết quả thử nghiệm mô hình thiết bị cho thấy các hàm nhòe đường LSF và hàm truyền điều biến MTF của một số mẫu vật kính ảnh nhiệt nhận được phù hợp với công bố của nhà sản xuất.

Đây là thiết bị đầu tiên ở Việt Nam có khả năng đánh giá chất lượng ảnh của HTQH ảnh nhiệt, phục vụ cho công tác nghiên cứu, phát triển các hệ quang ảnh nhiệt trong nước.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA LUẬN ÁN

1. Kết quả luận án

Luận án đã hoàn thành mục tiêu xây dựng giải pháp và mô hình thiết bị đánh giá chất lượng tạo ảnh của HTQH làm việc trong vùng 8-12 μm với một số kết quả chính như sau:

- Luận án đã nghiên cứu, đề xuất một phương pháp khoa học để tính ảnh hưởng của cơ cấu gá lắp đến quang sai mặt sóng của linh kiện quang học. Đối với hệ thống khi được tạo bởi các linh kiện khác nhau, ta có thể tính được đóng góp quang sai của từng thành phần khi chịu lực gá kẹp, từ đó có lựa chọn, điều chỉnh kết cấu phù hợp để giảm ảnh hưởng của

kết cấu đến mức thấp nhất đối với chất lượng hoạt động của hệ thống. Đây là đóng góp mới, có ý nghĩa thực tiễn cao trong thiết kế, chế tạo nhằm nâng cao chất lượng tạo ảnh HTQH.

- Luận án đã thiết kế, chế tạo thành công hệ chuẩn trực, vật kính hiển vi hoạt động trong vùng phổ hồng ngoại 8-12 μm . Trong đó, hệ chuẩn trực được lựa chọn là hệ phản xạ sử dụng gương cầu chuẩn trực. Kết quả hoạt động thực nghiệm cho thấy hệ hoạt động có chất lượng tốt và vật kính hiển vi đạt giới hạn nhiễu xạ. Đây cũng là đóng góp mới của luận án trong việc cung cấp giải pháp xây dựng một mô hình thiết bị hoàn chỉnh để đánh giá chất lượng tạo ảnh của HTQH làm việc trong vùng phổ hồng ngoại.

- Luận án đã xây dựng được phần mềm xử lý ảnh để xác định hàm nhòe đường LSF và hàm truyền điều biến MTF của HTQH cần kiểm tra. Thông qua hoạt động thực nghiệm của mô hình thiết bị khi kiểm tra một số mẫu vật kính, ảnh thu nhận được trên cảm biến được xử lý qua thuật toán và cho kết quả hàm nhòe đường LSF và hàm truyền điều biến MTF một cách nhanh chóng và phù hợp với công bố của nhà sản xuất.

Như vậy, với phương pháp tính toán, thiết kế khoa học, tường minh, luận án đã xây dựng thành công mô hình thiết bị đáp ứng yêu cầu đo kiểm quang học. Điều này có ý nghĩa rất lớn trong tình hình ở Việt Nam, khi chưa có thiết bị nào có thể kiểm tra, đánh giá được chất lượng của hệ quang làm việc trong vùng phổ hồng ngoại 8-12 μm .

2. Hướng phát triển của luận án

Với kết quả nghiên cứu đã đạt được, trong thời gian tới luận án mong muốn hoàn thiện, tối ưu hơn nữa mô hình thiết bị từ thiết kế đến gia công, chế tạo các cụm quang cơ để phát triển mô hình thành thiết bị thương mại để có thể phục vụ cho công tác đo kiểm, sản xuất các hệ quang ảnh nhiệt cho các viện nghiên cứu, trung tâm đo lường, nhà máy sản xuất trong nước.