การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบ กล้องจุลทัศน์แบบเลื่อน

นายศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

005052

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๐

THE DESIGN, CONSTRUCTION AND TEST

OF

A TRAVELING MICROSCOPE

Mr. Sirisak Tachathawekun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

i 17481065

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Visid Prachuabmoh .....

(Professor Visid Prachuabmoh Ph.D.)

Dean

Thesis Committee: Rawi Bhavilai ..... Chairman

(Professor Rawi Bhavilai Ph.D.)

Pinyo Charoenkul ..... Member

(Assistant Professor Pinyo Charoenkul Ph.D.)

Rachanee Rukveeradhum Member

(Assistant Professor Rachanee Rukyeeradhum Ph.D.)

Praponth Sowcharoensuk Member

(Mr. Praponth Sowcharoensuk Ph.D.)

Thesis Advisor: Assistant Professor Pinyo Charoenkul Ph.D.

Copyright 1977

by

The Graduate School

Chulalongkorn University

Thesis Title: The Design, Construction and Test of a Traveling Microscope

By : Mr. Sirisak Tachathawekun

Department : Physics

Thesis Title	The Design, Construction and Test of a Traveling Microscope
Name	Mr. Sirisak Tachathawekun
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Pinyo Charoenkul
Department	Physics
Academic year	1977

ABSTRACT

The research deals with the construction of a traveling microscope with 30 power magnification. The objective lens is Fraunhofer type and the eyepiece is Ramsden type. The vernier scale was designed to have "least count" = 0.01 cm for measuring a small object.

The work was divided into 3 parts:

1. an optical part,
2. a mechanical part,
3. a test.

The paraxial ray tracing and bending method was used in designing the lenses, with the aid of computer programs, for testing the design and for calculation of the aberrations of lenses of any curvature. A graph of the aberrations versus the radii of curvature permitted a selection of the point that gives the least aberrations. The lenses were ground to the designed curvature.

The Newton's ring method was used to test the sphericity and to measure the radii of curvature of surfaces. The performance of the optical system was verified by using the "Star" test method. The mechanical part was designed for use in both vertical and horizontal positions. Lenses and the vernier scale of acceptable precision were obtained. The resolving power of the objective lens was found to be 7.5 μm in sodium light.

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบ
กล้องจุลทัศน์แบบเลื่อน

ชื่อนิสิต นายศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ เจริญกูล

แผนกวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา ๒๕๒๐

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในการสร้างกล้องจุลทัศน์แบบเลื่อนครั้งนี้เป็นการประยุกต์วิชาทัศนศาสตร์ ซึ่งเป็นวิชาหนึ่งในสาขาวิชาฟิสิกส์ กล้องนี้ออกแบบให้มีกำลังขยาย ๓๐ เท่า โดยที่เลนส์ใกล้วัตถุเป็นแบบ ฟรอนโฮเฟอร์ และเลนส์ใกล้ตาเป็นแบบ แรมสเดน กล้องนี้มีมาตราส่วน เวอร์เนียร์ ที่ให้ค่าละเอียดถึง ๐.๐๑ ซ.ม. เพื่อใช้ประโยชน์ในการวัดขนาดของวัตถุเล็ก ๆ

งานที่ทำแบ่งออกเป็น ๓ ส่วน คือ

๑. ส่วนที่เกี่ยวกับทัศนศาสตร์

๒. ส่วนที่เกี่ยวกับเครื่องกล

๓. การทดสอบ

ได้ใช้วิธี พาแรกเซียล-เรย์-เทรสซิง และเบนดิง สำหรับออกแบบเลนส์ โดยอาศัย คอมพิวเตอร์ แบบโฟรแทนโฟ ในการลองและคำนวณผลของความคลาดที่ความโค้งต่าง ๆ ของเลนส์แล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างความคลาดและความโค้งนั้น จากกราฟสามารถหาจุดของรัศมีความโค้งที่ให้ค่าความคลาดน้อยที่สุดได้ จากนี้ก็สร้างเลนส์ให้มีรัศมีความโค้งตามที่ต้องการ

ส่วนที่เกี่ยวกับเครื่องกลได้ออกแบบเพื่อให้สามารถใช้กล้องได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน สำหรับการทดสอบความเป็นทรงกลมของผิวเลนส์ และวัดรัศมีความโค้งของผิวเลนส์ ใช้วิธี นิวตัน-ริง ส่วนการทดสอบคุณภาพของระบบเลนส์ ใช้วิธี สตาร์-เทสท์

ผลปรากฏว่าระบบเลนส์มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวัดขนาดของวัตถุทำได้แม่นยำ พบว่ากำลังแห่งการแยกวัตถุของเลนส์ใกล้วัตถุมีค่า ๗.๕ ไมครอน ในแสงโซเดียม นอกจากนี้ วิธีที่ใช้ในการสร้างกล้องนี้ สามารถนำไปใช้ประยุกต์กับการสร้างทัศนอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deep appreciation to his advisor, Assistant Professor Dr. Pinyo Charoenkul for his constant encouragement, valuable suggestions and helpful criticisms throughout the studies.

He is greatly indebted to Assistant Professor Somchai Thayarnyong for his kind assistance in advising and correcting the computer programs, and for his permission to use a computer (NEAC 2200, Model 200) at the Department of Computer Engineering, Chulalongkorn University.

He is also grateful to Assistant Professor Dr. Rachanee Rukveeradhum for her valuable suggestions, to Assistant Professor Dr.Bhiyayo Panyarjun for his help in the coating of glasses, to Assistant Professor Thawonne Souttipongse for his permission to use a universal microscope and to many others who assisted him in correcting the English manuscript.

Finally, he would like to acknowledge the kind support of the University Development Commission, National Education Council, in granting a graduate scholarship for his studies.

CONTENTS

page

ABSTRACT iv

ACKNOWLEDGEMENTS viii

LIST OF TABLES xii

LIST OF FIGURES xiii

CHAPTER I INTRODUCTION 1

1.1 Historical Review 1

1.2 Experimental Purpose 2

CHAPTER II LITERATURE REVIEWS 4

2.1 The Sign Convention 4

2.2 Principle of Ray Tracing 6

2.3 The Paraxial Region 9

2.4 Thick Lens and Thin lens 13

2.5 The Combination of Two Systems 15

2.6 The Principle of the Compound Microscope 16

2.7 Resolving Power of a Microscope Objective due to Diffraction 18

2.8 The Achromatic Doublet 19

2.9 Ramsden Eyepiece 22

2.10 Aberration Types 23

2.11 Tolerance Conditions for Primary Aberrations ... 28

2.12 Calculating the Seidel Aberration Terms 29

2.13 Bending 29

page

2.14 The Testing of Optical Surfaces with Newton's Rings 31

2.15 Focal Length-Magnification Method 35

2.16 Magnifying Power of a Microscope 36

2.17 Measurement of the Actual Resolving Power in Monochromatic Light 38

2.18 The "Star" Test Method 39

CHAPTER III LENS DESIGN AND LENS MAKING 42

3.1 The Optical Glass Selection 42

3.2 Objective Design 42

3.3 Eyepiece Design 48

3.4 Lens Making 55

3.4.1 Tool making 55

3.4.2 Rounding and sawing 55

3.4.3 Milling 55

3.4.4 Trueing 58

3.4.5 Smoothing 58

3.4.6 Polishing 58

3.4.7 Centering and edging 60

CHAPTER IV TRAVELING MICROSCOPE CONSTRUCTION AND TEST 62

4.1 The Traveling Microscope Construction 62

4.2 Vernier Scale Design 62

4.3 Lens Test 63

4.4 Traveling Microscope Test 71

page

CHAPTER V DISCUSSION 74

APPENDIX 1 TOOL DIAGRAM 77

APPENDIX 2 TRAVELING MICROSCOPE DIAGRAM 79

APPENDIX 3 PROGRAM ONE 85

APPENDIX 4 PROGRAM TWO 87

APPENDIX 5 PROGRAM THREE 89

BIBLIOGRAPHY 90

VITA 92

LIST OF TABLES

Table		page
2-1	Tolerance conditions	28
3-1	The aberrations of some radii of curvature of the objective	46
3-2	The aberrations of radii of curvature set at a closer interval of the objective	47
3-3	The aberrations of some separation distances of the eyepiece	53
3-4	Abrasive material grain sizes	57
4-1	The values of p, D and D^2 of the objective and the eyepiece	64
4-2	Comparison of the measurements made with the constructed traveling microscope and commercial traveling microscopes	71
5-1	Comparison between the constructed radii of curvature and the designed radii of curvature	74

LIST OF FIGURES

Figure		page
2-1	Single refracting surface	5
2-2	Geometry for ray tracing with an oblique meridional ray	5
2-3	Oblique meridional ray trace through two successive refracting surfaces	10
2-4	Thick lens	14
2-5	Combination of two systems	14
2-6	Ray diagram of a compound microscope	17
2-7	Fraunhofer achromatic doublet	20
2-8	Ramsden eyepiece	20
2-9	Wave in image space	24
2-10	Spherical aberration and coma for a cemented doublet	32
2-11	Observation of Newton's rings	33
2-12	The Gaussian diagram of thick lens	33
2-13	Magnifying power of a microscope	37
2-14	Typical star figures for corrected lens and for spherical aberration	40
2-15	Typical star figures for coma and astigmatism	40
3-1	Objective ray tracing	45
3-2	The graph of the lens design	49
3-3	Diagram of the objective design	50
3-4	Diagram of the eyepiece design	50

Figure page

3-5 Ray diagram of the traveling microscope 54

3-6 Tools 56

3-7 Rounding 56

3-8 Sawing 56

3-9 Milling 56

3-10 Trueing 59

3-11 Pitch polishing tool making 59

3-12 The constructed lenses 59

3-13 The materials as used for making lenses 59

4-1 The curve showing the sphericity of the objective surface r_1 65

4-2 The curve showing the sphericity of the objective surface r_3 66

4-3 The curve showing the sphericity of the eyepiece surface r_2 67

4-4 The curve showing the sphericity of the eyepiece surface r_3 68

4-5 Apparatus for observation of Newton's rings 69

4-6 Cementing lenses 69

4-7 Apparatus for measurement of the total magnification 69

4-8 Apparatus for test of objective with "Star" test method 69

Figure page

4-9 Apparatus for test of eyepiece with "Star" test method 72

4-10 The use of the constructed traveling microscope in vertical position 72

4-11 The use of the constructed traveling microscope in horizontal position 72

4-12 The constructed traveling microscope 72