Acknowledgements

First of all, Thanks to Allah for granting success to accomplish this work. Firstly extend my sincere thanks and profound gratitude to my supervisor Prof. Dr. Nafie A. Almuslet who read all the chapters and gave me valuable suggestions regarding the structure and content and support which were crucial for the successful completion of this project . I would like to take this opportunity to express my sincere gratitude to my friends Prof. Dr. Mostafa Mohamed Abd el-Raheem, Professor of Solid State physics, Taif University and Dr. Zuhair F. Shehadeh theoretical physics, Taif University for encouragement and valuable help through this work. . I would like to express my gratitude to many persons and institutions for helping me undertake this research specially Taif University colleagues. I should add that my wife has been particularly with me during the writing of this thesis, which has taken up much of family time .My wife and family have once again been a great source of support and encouragement . I would like to thank all of them especially my wife for her patient .

Abstract

In this research, the Macleod software which meet the requirements of the most sophisticated designer and the fastest solution of various

design problems was used to design and analyze the optical specifications of multilayered (thin films) that can be used as resonator for Nd-YAG Laser (1064 nm). The different film optical filters were used to control the transmittance and reflectance. Different samples of dielectric materials composed of HgS / Na_3AlF_6, HgS / MgF_2, CdS/ Na_3AlF_6, CdS/ MgF_2, ZnS/MgF_2 and ZnS/Na_3AlF_6 and oxide materials of ZnO/ Na_3AlF_6, ZnO/ MgF_2, HfO_2/ Y_2O_3, TiO_2 / Y_2O_3, SiO_2 / Y_2O_3, Sc_2O_3 / MgO, Al_2O_3 /SiO_2,T iO_2 /SiO_2,Ta_2O_5/SiO_2, ZrO_2/SiO_2 and Ta_2O_5 /TiO_2 were used and compared with each other in transmittance, reflectance, physical thickness, optical thickness, geometric thickness, full width at half maximum (FWHM) and incidence angle by the Macleod software. It was found that the dielectric material ZnS+ Na_3AlF_6 with 2007.47 nm physical thickness and 2.50000/1.38030 refractive index at range of 875- 1000 nm was the best in transmittances, reflectance, physical thickness, optical thickness, geometric thickness, full width at half maximum (FWHM) and incidence angle compared to other materials so it is suitable as an output coupler with high transmittance of 95.74% for Nd :YAG (1064 nm) Laser.

Also the dielectric materials (Ta_2O_5 / TiO_2) with 8697.78 nm physical thickness and 2.10000/2.2500 refractive index at wavelength range of 800 -2000 nm was the best in all characteristics for

transmittances, reflectance, physical thicknesses, optical thickness, geometric thickness, full width at half maximum (FWHM) and incidence angle compared with other materials. So it is suitable as a back mirror with high reflectance of 98.91 % for Nd:YAG (1094 nm) Laser. For more improvement, Ta_2O_5/TiO_2 glass substrate was replaced by Ag substrate. It was found that with Ag substrate the change in reflectivity (%) was very simple with the change in the incidence angles. Also the number of layers and the thickness of the sample were less than the glass substrate . Therefore, Ag substrate was much better than the glass substrate and is recommended for use in Laser mirrors. Thus the major obstacle for improving the output of high-power Nd:YAG laser systems is resolved. Among the chosen materials, one can conclude that a resonator can be fabricated from Ta_2O_3/TiO_2 with 66 Layers as back mirror and of ZnS+ Na_3AlF_6 with 13 layers as an output coupler.

المستخلص

في هذا البحث تم استخدام برنامج حاسوبي من اجل تصميم مكونات بصرية متعددة الطبقات (أغشيه رقيقة) يمكن استخدامها كمرنان لليزر النيوديميوم-ياق (1064 نانومتر) وتحليلها حيث تم استخدام برنامج ماكلويد الذي يلبي متطلبات المصمم الأكثر تطورًا وتمكينه من حل جميع مشاكل التصاميم المختلفة بدقة و سرعة. استخدمت مواد كبرتيد الزئبق + سداسي فلوريد الومينات صوديوم و كبرتيد الزئبق + فلوريد المغنسيوم و كبرتيد الكادميوم + سداسي فلوريد الومينات صوديوم و كبرتيد الكادميوم + فلوريد المغنسيوم و كبرتيد الزنك + سداسي فلوريد الومينات صوديوم و كبرتيد الزنك + فلوريد المغنسيوم و أكسيد الزنك + سداسي فلوريد الومينات صوديوم و أكسيد الزنك + فلوريد المغنسيوم و أكسيد الهفيوم + أكسيد الايتريوم وأكسيد التيتانيوم + أكسيد الايتريوم و أكسيد السيليكون + اكسيد الايتريوم و أكسيد سكانديوم + أكسيد المغنسيوم و أكسيد الالومنيوم + اكسيد السيليكون و أكسيد التيتانيوم+ أكسيد السيليكون و خامس أكسيد التنتالوم + أكسيد السيليكون و أكسيد الزركونيوم + أكسيد السيليكون و خامس أكسيد التنتالوم + ثاني اكسيد التيتانيوم لتصميم مرايا مختلفة السمك و تم قياس النفاذية و الانعكاسية لكل منها و مقارنتها مع بعضها في النفاذية و الانعكاسية و السمك المادي و السمك البصري و السمك الهندسي و العرض الطيفي عند منتصف الشدة و زوايا السقوط و ذلك بواسطة البرنامج .

أظهرت النتائج أن طبقات من مادة كبرتيد ألزنك + سداسي فلوريد الومينات صوديوم بسمك 2007.47 نانومتر و معامل انكسار 2.50000/1.38030 في طول موجي يتراوح بين 875 - 1000 نانومتر هي الأفضل من حيث النفاذية و الانعكاسية و السمك المادي و السمك البصري و السمك الهندسي و العرض الطيفي

عند منتصف الشدة و زوايا السـ قوط بالمـ قارنة مع العينات الاخرى حيث يمكن استخدامها كمادة لمرآة اليزر (النيوديميوم-ياق 1064 نانومتر) الامامية التي توفر نفاذية عالية تساوي % 95.74 . كما ان المادة العازلة خامس اكسيد التنتالوم+ ثاني اكسيد التيتانيوم بسمك 8697.78 نانومتر و معامل انكسار 2.100 / 2.2500 في طول موجي يتراوح بين 800 – 2000 نانومتر هي الأفضل من حيث النفاذية و الانعكاسية و السمك المادي و السمك البصري والسمك الهندسي العرض الطيفي عند منتصف الشدة و زوايا السـ قوط عند مـ قارنتها مع العينات الاخرى لمادة المرآة ليزر النيوديميوم-ياق 1064 نانومتر الخلفية التي توفر انعكاسية عالية تساوي 98.91%.

و لمزيد من المفاضلة لهذه العينة (خامس أكسيد التنتالوم + ثاني أكسيد التيتانيوم) تم استبدال طبـ قة الزجاج السفلية بطبـ قة من الفضة السفلية . عندئذ وجد أن مدى التغير في الانعكاسية بسيط جدًا مع التغير في زوايا السـ قوط عندما قل عدد الطبـ قات من 70 الي 66 طبـ قة و السمك من 8697 الي 7963 نانومتر لذا يمكن استخدام طبـ قة الفضة السفلية للحصول على المرآة الليزرية الأفضل و التي تعد واحدة من العـ قبات الرئيسي لتحسين الـ قدرة الخارجة لليزر (النيوديميوم- ياق 1064 نانومتر) عالي الطا قة . من هاتين المادتين يمكن صناعة مرآتين كمرنان لليزر النيوديميوم – ياق (1064 نانومتر) حيث تكون المرآة الخلفية من خامس أكسيد التنتالوم + ثاني أكسيد التيتانيوم بعدد من الطبـ قات يساوي 66 طبـ قة ومرآة الخرج من كبرتيد ألزنک + سداسي فلوريد الومينات صوديوم بعدد من الطبـ قات يساوي 13 طبـ قة.

CONTENTS

Acknowledgement…….…….……...…….….(i)

Abstract …….…….…..(ii)

CHAPTER ONE (Basic concepts of Lasers)…….....(1)

1.1 Introduction and basic concepts…….……(1)

1.2 Photons and energy ……..….....(2)

1.3 Spontaneous and stimulated emission ……..(4)

1.4 Population inversion …….(6)

1.5 Pumping schemes …….…….……...(6)

1.5.1 Two levels pumping scheme ……..…(6)

1.5.2 Three levels pumping scheme ……...(8)

1.5.3 Four levels pumping scheme …….……....(9)

1.6 A Laser resonator ……..…….……....(11)

1.6.1 Plane parallel cavity …….....(14)

1.6.2 Confocal Cavity …….....(15)

1.6.3 Hemispherical cavity …….……(15)

1.6.4 Along radious cavity …….…….....(16)

1.6.5 A concentric or spherical cavity .....(16)

1.6.6 Stability of resonators .....(17)

1.7 Nd: YAG Laser …….…….…….(19)

1.7.1 General description of Nd:YAG Laser ……..…….....(19)

1.7.2 Structure of Nd:YAG Laser…….....(20)

1.7.3 Operation of Nd:YAG Laser …….……..(21)

1.7.4 Threshold condition of Nd:YAG Laser ……...(23)

1.7.5 Physical and optical properties of Nd:YAG Laser…….....(25)

1.8 Thin film optical coating ……(26)

1.8.1 Types of thin film coating ……...(29)

1.9 Thin film production ……..(30)

1.9.1 Physical vapor deposition under vacuum(PVD) …….…...(30)

1.9.2 Thermal vaporization ……..(31)

1.9.3 Electron beam ion bombardment …….…..…(31)

1.9.4 Sputtering ……(31)

1.9.5 Thickness control ……...…..…(32)

1.9.6 Optical monitoring technique …….……(32)

1.9.7 Crystal deposition rate monitor ……..……(33)

1.10 Application of thin film coating …….....(34)

1.11 Aim of this work ……...…(35)

CHAPTER TWO (Coating theory)…….…...(37)

2.1 Introduction ……...….(37)

2.2 Optical admittance theory ….……..……(38)

2.3 Thin film calculations …….……..…..….……...(44)

2.4 Application to thin films …….…...(48)

2.5 Polarization …….....(50)

2.5.1 Monochromatic waves have three kinds of polarizations ……....(50)

2.5.2 The boundary condition at simple interface ……..…..(51)

2.5.3 For single surface ……...…….(53)

2.5.4 For multilayer surface …….(56)

2.6 Construction of optical coating ……..(58)

2.6.1 Admittance transformers and admittance loci ……(61)

2.6.2 Dielectric quarter wave layer transform ……..….(61)

2.6.3 Bragg mirror example of quarter-wave stack …….....(64)

2.6.3a Reflectance of a quarter – wave stack …..……..…...(64)

2.6.3b Approximations of a quarter- wave stack …….…….(65)

2.6.3c Spectral width of the high reflectance zone …….…….(66)

2.6.3d Numerical example for GaAs/GaAs-Bragg mirror…….……...(67)

2.7 Dielectric have no quarter wave thickness …….……..…(70)

2.8 The case of single layer …….……..(72)

2.9 The case of double layers ……..…….....(74)

2.10 The case of quarter-quarter coating ……...(76)

CHAPTER THREE (Program structure)……...…(79)

3.1 Introduction …….……..(76)

3.2 The essential Macleod structure ……..……...…….(80)

3.3 Conventions …….(81)

3.4 Coating design derivation …….…….……..(87)

3.5 Materials management ……....…(89)

3.5.1 The materials database ……..…(89)

3.5.2 Displaying list of materials in database …….....(90)

3.5.3 Importing materials from the materials library…….....….(91)

3.5.4 Importing materials from another database ……...…..(92)

3.6 The program instructions ……...…….…(94)

3.7 Material selection ……..…....(97)

3.7.1 Anti- reflection coating (AR-2 system) ……..……..….....(99)

CHAPTER FOUR (Results and discussion)……...(101)

4.1 Introduction …….....….(101)

4.2 Design of high transmittance Laser mirrors…….. …….....(101)

4.3 Titrations of samples composed of CdS+MgF_2, ZnO+MgF_2 and CdS+Na_3AlF6: …….….....(107)

4.3.1 The first titration: for different dielectric materials.……..(108)

4.3.2 The second titration: the physical thickness for different materials..(108)

4.3.3 The third titration: geometric thickness of materials ……....(109)

4.3.4 The fourth titration: optical thickness ……..……(110)

4.3.5 The fifth titration: full width of half maximum (FWHM) for the coating materials ……..……..…..(112)

4.3.6 The six titration: relationship between the incident and the transmittance (%)……..……(116)

4.4 Design of reflectors for 1064 nm…….….(119)

4.5 Titrations of samples composed of TiO_2/SiO_2, TiO_2/Y_2O_3 and ZrO_2/SiO_2 .. ……. ……..(125)

4.5.1 The first titration: the reflectance (%) for materials.……....(126)

4.5.2 The second titration: the physical thickness (nm) for the materials..(127)

4.5.3 The third titration: the geometric thickness for different oxides material……..……..…(128)

4.5.4 The fourth titration : the optical thickness for different oxide Materials……..(129)

4.5.5 The fifth titration: the different dielectric materials with full width at half maximum (FWHM):…….…..…....(130)

4.5.6 The sixth titration: The relationship between the incident angles and reflectance (%) for the oxides ..…….…….……. .(133)

4.5.7 The seventh titration : the Ta_2O_3+TiO_2 with different substrates (glass- and Ag substrate) …….…….……..…….(136)

4.6 Conclusions ……..…(141)

(Future works ……...…….(142 4.7

(References …….(143