



دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

(گرایش فیزیک حالت جامد)

بررسی اثرات نانو پروزها روی خواص اپتیکی نانو فیلترهای

چند لایه ای با بازتابندگی بالا

از:

مریم برادران

استاد راهنما:

دکتر فرهاد اسمعیلی قدسی

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

معلمانی بی ادعا و مهربان

## سپاسگزاری

پس از شکر و سپاس پروردگار که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست، بر خود واجب می دانم از همه عزیزانی که در انجام این پژوهش مرا با همدلی و همکاری خویش نواخته اند قدردانی نمایم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرهاد اسمعیلی قدسی به عنوان استاد راهنما که صمیمانه و متعهدانه در هدایت و راهنمایی اینجانب از هیچ کوششی دریغ ننموده اند و همواره مشوق و الگویی نیکو در ایفای وظایف بوده اند، از صمیم قلب تشکر نموده و سپاس و احترام بیکران خویش را تقدیمشان می کنم. بدون شک کار کردن در کنار ایشان یکی از خجستگی های زندگی من در این سال ها بوده است. همچنین از جناب آقای دکتر سید محمد روضاتی و دکتر حمید رحیم پور سلیمانی که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، نهایت امتنان را دارم.

سپاس فراوان و سرشار از عشق خود را نثار دو گوهر گرانقدر، پدر و مادر عزیزم می کنم که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم. آنان که در تمام مراحل زندگی همواره همدل و سنگ صبور روزهای تلخ و شیرین زندگیم بوده اند و هستند. امید که وجود پر مهرشان همواره سایبان آرامشم باشد. از همسر مهربان و عزیزم که وجودش مایه دلگرمی من است، هم او که از آغاز راه همواره مشوق، پشتیبان و همگام من بوده، به خاطر تمام همدلی ها و همراهی های بی دریغش در انجام این پایان نامه، بی نهایت سپاسگزارم. از برادر و خواهر عزیزم که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. در اینجا از پدر و مادر همسر عزیزم نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم. ایشان با کمال عشق و محبتی که داشتند من را در انجام این مرحله از زندگی تشویق کردند. هم چنین برای دوستان فیزیک پیشه ام که با بودن در کنار آنها لحظات زیبایی را تجربه کرده ام، آرزوی موفقیت و سربلندی دارم. توان و سرزندگی ایشان در راه انجام خدمات علمی پایدار و مستدام باد.

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فهرست جدول ها	ح
فهرست شکل ها	خ
چکیده فارسی	ص
چکیده انگلیسی	ض
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
فصل دوم : روش های تولید لایه های نازک و خصوصیات اپتیکی آنها	۷
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- تعریف لایه نازک	۸
۳-۲- روش های تولید لایه های نازک	۱۰
۴-۲- روش تبخیر فیزیکی (PVD)	۱۱
۲-۴-۱- تبخیر	۱۱
۲-۴-۲- کندوپاش	۱۲
۵-۲- روش شیمیایی	۱۳
۱-۵-۲- نهشت شیمیایی بخار	۱۴
۲-۵-۲- نهشت شیمیایی بخار فشار پایین (LPCVD)	۱۵
۳-۵-۲- نهشت شیمیایی بخار افزوده شده پلاسما (PECVD)	۱۵
۶-۲- کاربردهای اپتیکی لایه نازک	۱۶
۱-۶-۲- کاربرد چند لایه های اپتیکی	۱۷
۷-۲- فیلتر های اپتیکی	۱۷

۱۸	.....	۱-۷-۲- فیلتر های خنثی
۱۹	.....	۲-۷-۲- فیلتر های لبه ای
۲۰	.....	۳-۷-۲- فیلتر های نوار پهن
۲۱	.....	۴-۷-۲- فیلترهای نوار باریک
۲۱	.....	۵-۷-۲- فیلترهای ضد بازتابی
۲۲	.....	۶-۷-۲- فیلترهای بازتابی
۲۴	.....	فصل سوم: محاسبات تئوری سیستم های چند لایه ای و بررسی اثر نانوپروز در چند لایه ای ها
۲۵	.....	۱-۳- محاسبات تئوری سیستم های چند لایه ای
۲۵	.....	۱-۱-۳- معادلات ماکسول و انتشار امواج الکترومغناطیس، ضرایب فرنل
۲۹	.....	۲-۱-۳- مدل ماتریسی لایه نازک اپتیکی
۳۴	.....	۳-۱-۳- مدل ماتریسی مجموعه ای از لایه های نازک
۳۷	.....	۴-۱-۳- ماتریس های مشخصه لایه هایی با حالت های خاص
۳۹	.....	۵-۱-۳- فیلترهای تداخلی با ضریب بازتاب بالا
۴۲	.....	۶-۱-۳- چگالی اپتیکی
۴۳	.....	۷-۱-۳- افزایش آستانه تخریب لیزری فیلترهای بازتاب بالا
۴۵	.....	۱-۷-۱-۳- طراحی لایه ها برای افزایش آستانه تخریب لیزری فیلترهای بازتاب بالا
۴۶	.....	۸-۱-۳- فضای رنگ CIE 1931
۴۶	.....	۱-۸-۱-۳- ناظر استاندارد CIE
۴۷	.....	۲-۸-۱-۳- توابع تطبیق رنگ
۴۸	.....	۳-۸-۱-۳- نمودار رنگی CIE xy و فضای رنگ CIE xyY
۵۰	.....	۲-۳- بررسی اثر نانوپروز در چند لایه ای ها
۵۱	.....	۱-۲-۳- تئوری محیط موثر
۵۲	.....	۲-۲-۳- معادله کلاوزیوس- موسوتی

۵۳	..... ۳-۲-۳- تنوری ماکسول-گارنت
۵۵	..... ۴-۲-۳- تنوری ماکسول- گارنت برای نانو ذرات غیر کروی
۵۷	..... ۵-۲-۳- تنوری بروگمن
۵۸	..... ۶-۲-۳- مدل های دیگر
۶۰	..... فصل چهارم: مروری بر عملکرد فیلترهای بازتاب بالا
۶۱	..... ۱-۴- مقدمه
۶۱	..... ۲-۴- مروری بر عملکرد سیستم های موجود
۸۴	..... فصل پنجم: طراحی فیلترهای بازتاب بالا و بررسی اثر نانو پروز
۸۵	..... ۱-۵- مقدمه
۸۶	..... ۲-۵- بررسی اثر فرمول های هم چیده و تعداد تکرار دوره های متقارن
۸۶	..... ۱-۲-۵- طرح ۱- فرمول هم چیده $(HL)^m$
۸۹	..... ۲-۲-۵- طرح ۲- فرمول هم چیده $(HL)^m H$
۹۲	..... ۳-۲-۵- طرح ۳- فرمول هم چیده $(0.5H L 0.5H)^m$
۹۳	..... ۴-۲-۵- طرح ۴- فرمول هم چیده $(HL)^m (LH)^m$
۹۵	..... ۱-۴-۲-۵- مقایسه چهار ساختار A, B, C, D
۹۹	..... ۳-۵- بررسی اثر زاویه و قطبش نور فرودی
۱۰۵	..... ۴-۵- بررسی آستانه تخریب لیزری فیلتر بازتاب بالا
۱۰۹	..... ۵-۵- بررسی اثر وارد کردن نانو پروز در لایه ها
۱۰۹	..... ۱-۵-۵- بررسی مقدار پروزیتی وارد شده
۱۱۴	..... ۲-۵-۵- افزایش بازتاب فیلتر بازتاب بالای $SiO_2/TiO_2$ با وارد کردن پروزهای کروی در لایه $SiO_2$
۱۱۷	..... ۳-۵-۵- بررسی اثر شکل پروزیتی وارد شده
۱۲۱	..... ۴-۵-۵- اثر وارد کردن پروز پنکیکی در لایه $MgF_2$ در فیلتر $Glass/(AlAs/MgF_2)^4 AlAs/Air$

۱۲۵	..... Glass/(Ge/ZnS) <sup>5</sup> Ge /Air	در فیلتر ZnS در لایه ۰.۵ در پروژ کروی ۵-۵-۵ اثر وارد کردن پروژ کروی ۰.۵ در لایه ZnS در فیلتر
۱۳۰	.....	فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادها
۱۳۱	.....	۱-۶- نتیجه گیری
۱۳۱	.....	۲-۶- پیشنهادات
۱۳۳	.....	مراجع
۱۳۶	.....	پیوست آ



## فهرست جدول ها

شماره صفحه

عنوان جدول ها

### فصل سوم

جدول (۱-۳): فاکتورهای واقطبییدگی  $q$  ..... ۵۶

### فصل پنجم

جدول (۱-۵): مشخصات اپتیکی فیلترهای بازتابنده طراحی شده با ساختارهای A,B,C,D به ازای  $m=5$  ..... ۹۶

جدول (۲-۵): مشخصات اپتیکی فیلتر طراحی شده  $\text{GaP/MgF}_2$  در ناحیه ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر ..... ۱۰۳

جدول (۳-۵): مشخصات اپتیکی فیلتر طراحی شده پنج لایه  $(\text{Si/ZrO}_2)^2/\text{Si}$  ..... ۱۱۲

## فهرست شکل ها

شماره صفحه

عنوان شکل

### فصل اول

- شکل (۱-۱): بازتاب و تراگسیل چندگانه یک پرتو فرودی با دامنه واحد ..... ۴
- شکل (۲-۱): بازتاب از یک نمونه چند لایه ای ..... ۵

### فصل دوم

- شکل (۱-۲): طرح شماتیک لایه نشانی به روش تبخیر فیزیکی (PVD) ..... ۱۲
- شکل (۲-۲): طرح شماتیک لایه نشانی به روش کندوپاش DC ..... ۱۳
- شکل (۳-۲): طرح شماتیک لایه نشانی به روش تبخیر شیمیایی (CVD) ..... ۱۴
- شکل (۴-۲): طرح شماتیک لایه نشانی به روش تبخیر شیمیایی فشار پایین (LPCVD) ..... ۱۵
- شکل (۵-۲): طرح شماتیک لایه نشانی به روش شیمیایی بخار افزوده شده پلاسما (PECVD) ..... ۱۶
- شکل (۶-۲): کاربردهایی از لایه های نازک و سیستم های چند لایه ای در اپتیک ..... ۱۹
- شکل (۷-۲): بازتاب فیلم های نهشته شده Ag, Rh, Au, Cu, Al به عنوان تابعی از طول موج از  $0.2-10\mu\text{m}$  ..... ۲۳
- شکل (۸-۲): نمونه ای از یک فیلتر بازتاب بالا ..... ۲۳

### فصل سوم

- شکل (۱-۳): نمایش فرود موج الکترومغناطیس روی یک لایه نازک ..... ۳۰
- شکل (۲-۳): نمایش دو لایه نازک به ضخامت های  $d_1$  و  $d_2$  ..... ۳۴
- شکل (۳-۳): ادمیتانس ورودی یک سیستم متشکل از بستر و پنج لایه ربع موج ..... ۳۸
- شکل (۴-۳): هم چیده چند لایه ای ربع موج ..... ۳۹
- شکل (۵-۳): شدت میدان الکتریکی در لایه ها (a) فیلتر ضد بازتاب (b) فیلتر بازتاب بالا ..... ۴۴
- شکل (۶-۳): توزیع آستانه تخریب فیلترهای ربع موج بازتاب بالای ۱۵ لایه  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  (a) بدون پوشش سیلیکای نیم موج و (b) با پوشش سیلیکای نیم موج اندازه گیری شده با طول موج  $1.064$  نانومتر و پالس ۱ نانوثانیه ..... ۴۵

- شکل (۷-۳): توابع تطبیق رنگ ناظر استاندارد CIE ..... ۴۸
- شکل (۸-۳): نمودار رنگ پذیری فضای رنگ CIE 1931 ..... ۵۰
- شکل (۹-۳): مفهوم رهیافت محیط موثر به کار برده شده برای ماده کامپوزیت ..... ۵۱
- شکل (۱۰-۳): تعریف حوزه لورنتس ..... ۵۲
- شکل (۱۱-۳): هندسه کامپوزیت ماکسول-گارنت ..... ۵۵
- شکل (۱۲-۳): مقادیر  $q$  و  $k$  به صورت تابعی از شکل هندسی ذرات ..... ۵۶
- شکل (۱۳-۳): نانو کامپوزیتی استفاده شده از (A) تقریب ماکسول-گارنت با  $f_a \ll f_b$  و (B) تقریب بروگمن با  $f_a \approx f_b$  ..... ۵۷

### فصل چهارم

- شکل (۱-۴): عملکرد محاسبه شده از فرود در زوایای مختلف بر فصل مشترک Ag - air. ردیف های B تا G نشان دهنده بازتاب نقره برای نور قطبیده P و S در زوایای فرود ۰ تا ۵۰ درجه می باشد ..... ۶۲
- شکل (۲-۴): عملکرد محاسبه شده در زوایای فرود مختلف از یک سطح آلومینیم افزوده شده با یک سیستم تمام دی الکتریک ۱۱ لایه. این سیستم برای داشتن یک بازتاب بالا در ۰ درجه در ناحیه طیفی ۰.۴-۰.۸ میکرومتر طراحی شده است. ردیف های B تا G نشان دهنده بازتاب نقره برای نور قطبیده P و S در زوایای فرود ۰ تا ۵۰ درجه می باشد ..... ۶۳
- شکل (۳-۴): عملکرد محاسبه شده در زوایای فرود مختلف از یک سیستم دو ماده ای ۴۳ لایه که ضخامت لایه ها در یک تصاعد عددی افزایش می یابد ..... ۶۵
- شکل (۴-۴): عملکرد محاسبه شده در زوایای فرود مختلف از سیستم دو ماده ای ۱۹۹ لایه با ضخامت های تصادفی لایه ها ..... ۶۶
- شکل (۵-۴): عملکرد فیلترهای بارتاب بالای (الف) ۴۳ لایه، (ب) ۵۵ لایه و (پ) ۹۷ لایه ..... ۶۷
- شکل (۶-۴): بازتاب محاسبه شده (خط پررنگ) و اندازه گیری شده (خط چین) برحسب طول موج برای قطبش های S و P در زوایای ۰، ۴۵ و ۸۰ درجه ..... ۶۸
- شکل (۷-۴): نمایش مشخصات ضریب شکست شبیه سازی فیلتر بازتاب بالا ..... ۶۹
- شکل (۸-۴): اسکن میکروگراف الکترونی از مقطع ساختار واقعی فیلتر ..... ۷۰

- شکل(۴-۹): طیف تراگسیل سیستم طراحی شده در نتیجه شبیه سازی با TFCalc™ و ساختار واقعی فیلتر ..... ۷۰
- شکل(۴-۱۰): نمودار رنگی با مختصات رنگ نور تراگسیل شده (T) و بازتاب شده (R) توسط فیلتر. رنگ های نور بازتاب شده (R) و تراگسیل شده (T) فیلتر واقعی در یک پنجره ارائه شده است ..... ۷۱
- شکل(۴-۱۱): طرح شماتیک ترتیب نهشت لایه ها در ساخت فیلتر بازتاب بالای  $ZrO_2/SiO_2$  ..... ۷۲
- شکل(۴-۱۲): میکروگرافی SEM وضوح بالا نوع گسیل میدانی از فیلم پنج لایه  $ZrO_2/SiO_2$ . (a) لایه  $SiO_2$  و (b) لایه  $ZrO_2$  ..... ۷۲
- شکل(۴-۱۳): تراگسیل فیلتر بازتاب بالای ۲۰ لایه  $ZrO_2/SiO_2$  ..... ۷۳
- شکل(۴-۱۴): طرح شماتیک دستگاه تجربی برای اندازه گیری آستانه تخریب ناشی از لیزر ..... ۷۳
- شکل(۴-۱۵): نمودار شماتیک فیلتر تنظیم پذیر MOEMS بر پایه تداخل سنج فابری- پرو ..... ۷۵
- شکل(۴-۱۶): ضریب تغییر فاز بازتاب برحسب تابعی از تعداد لایه های سازنده بازتابنده ..... ۷۵
- شکل(۴-۱۷): ضریب تغییر فاز بازتاب به عنوان تابعی از ضریب شکست بالای لایه های سازنده بازتابنده ..... ۷۶
- شکل(۴-۱۸): ضریب تغییر فاز بازتاب به عنوان تابعی از ضریب شکست پایین لایه های سازنده بازتابنده ..... ۷۶
- شکل(۴-۱۹): نتایج شبیه سازی طیف تراگسیل فیلترهای اپتیکی فیلم نازک برای قطعات (a) پمپاژ نهایی، و (b) متصل کننده خارجی ..... ۷۸
- شکل(۴-۲۰): نمودار توزیع میدان الکتریکی هم چیده های فیلم چند لایه  $TiO_2/SiO_2$  (a) توزیع متمرکز شده روی لایه سطحی، و (b) توزیع اصلاح شده ..... ۷۸
- شکل(۴-۲۱): نمودار میدان الکتریکی برای ۷ لایه  $MgF_2$  و  $ZnS$  با ضخامت یک چهارم موج (نمودار پایینی) و ۹ لایه که در آن دو لایه بالایی دارای ضخامت غیر ربع موج است (نمودار بالایی) ..... ۷۹
- شکل(۴-۲۲): تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ اپتیکی ZEISS، نشان دهنده تفاوت تخریب برای دو نمونه. تصویر سمت راست، مربوط به نمونه ۷ لایه و تصویر سمت چپ، مربوط به نمونه ۹ لایه ..... ۸۰
- شکل(۴-۲۳): نتایج عددی ضریب شکست موثر به عنوان تابعی از پروزیتی برای (a) نانو پروز  $SiO_2$  در  $\lambda=1.55\mu m$ ، و (b) نانو پروز Si در  $\lambda=2.71\mu m$  ..... ۸۲

شکل (۴-۲۴): ضریب شکست و ضریب جذب موثر سیلیکون متخلخل با مقادیر مختلف تخلخل به عنوان تابعی از طول موج

۸۲ .....

شکل (۴-۲۵): ضریب شکست و ضریب جذب موثر سیلیکون متخلخل به عنوان تابعی از تخلخل برای طول موج های

مختلف ۸۳ .....

### فصل پنجم

شکل (۵-۱): جزئیات سیستم فیزیکی مدل شده ..... ۸۵

شکل (۵-۲): تغییرات بازتاب بر حسب طول موج برای ساختار  $(HL)^m$  به ازای  $m=3,4,5,9$  در ناحیه ۶۰۰-۳۰۰۰ نانومتر

۸۷ .....

شکل (۵-۲-الف): چگالی اپتیکی ساختار A، بر حسب طول موج به ازای m های مختلف در ناحیه مادون قرمز..... ۸۷

شکل (۵-۲-ب): توزیع میدان الکتریکی در هر لایه برای ساختار A، به ازای m های مختلف در ناحیه مادون قرمز ..... ۸۸

شکل (۵-۲-ج): تغییرات بازتاب بر حسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای ساختار A، به ازای m های مختلف در ناحیه مادون

قرمز ..... ۸۸

شکل (۵-۳): تغییرات بازتاب بر حسب طول موج برای ساختار  $H^m (HL)^m$  به ازای  $m=3,4,5,9$ . (a) در ناحیه مادون قرمز

و (b) در ناحیه مرئی ..... ۹۰

شکل (۵-۳-الف): چگالی اپتیکی ساختار B، بر حسب طول موج به ازای m های مختلف در ناحیه مادون قرمز ..... ۹۱

شکل (۵-۳-ب): توزیع میدان الکتریکی در هر لایه برای ساختار B، به ازای m های مختلف در ناحیه مادون قرمز ..... ۹۱

شکل (۵-۳-ج): تغییرات بازتاب بر حسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای ساختار B، به ازای m های مختلف در ناحیه مادون

قرمز ..... ۹۲

شکل (۵-۴): تغییرات بازتاب بر حسب طول موج برای ساختار  $(0.5H L 0.5H)^m$  به ازای  $m=3,4,5,9$ . (a) در ناحیه

مادون قرمز و (b) در ناحیه مرئی ..... ۹۳

شکل (۵-۵): تغییرات بازتاب بر حسب طول موج برای ساختار  $(LH)^m (HL)^m$  به ازای  $m=3,4,5,9$ . (a) در ناحیه

مادون قرمز و (b) در ناحیه مرئی ..... ۹۴

شکل (۵-۶): مقایسه تغییرات بازتاب بر حسب طول موج برای ساختارهای A,B,C,D به ازای  $m=5$  ..... ۹۵

- شکل (۷-۵): چگالی اپتیکی ساختارهای A,B,C,D بر حسب طول موج به ازای  $m=5$ . (a) در ناحیه مادون قرمز و (b) در ناحیه مرئی ..... ۹۷
- شکل (۸-۵): توزیع میدان الکتریکی در هر لایه برای ساختارهای A,B,C,D به ازای  $m=5$  ..... ۹۷
- شکل (۹-۵): تغییرات بازتاب بر حسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای ساختارهای A,B,C,D به ازای  $m=5$  ..... ۹۸
- شکل (۱۰-۵): نمودار شماتیک نگاره رنگ با مختصات رنگ نور تراگسیل شده (T) و نور بازتابیده (R) فیلترهای طراحی شده ..... ۹۸
- شکل (۱۱-۵): تغییرات بازتاب بر حسب طول موج به ازای مقادیر مختلف زاویه تابش برای فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$  ..... ۱۰۰
- شکل (۱۲-۵): چگالی اپتیکی بر حسب طول موج به ازای مقادیر مختلف زاویه تابش برای فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$  ..... ۱۰۰
- شکل (۱۳-۵): چگالی اپتیکی و بازتاب بر حسب زاویه تابش برای فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$  ..... ۱۰۲
- شکل (۱۴-۵): تغییرات بازتاب قطبش s و p با زوایای تابش ۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰ درجه برای فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$ . قطبش s (منحنی پررنگ) و قطبش p (منحنی نقطه چین) ..... ۱۰۲
- شکل (۱۵-۵): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها در زوایای تابش ۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰ درجه برای نور قطبیده p و نور قطبیده s برای فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$  ..... ۱۰۳
- شکل (۱۶-۵): تغییرات بازتاب بر حسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای فیلتر ۹ لایه  $\text{GaP/MgF}_2$ . (نواحی هاشور زده، لایه های با ضریب شکست بالا می باشند). ..... ۱۰۴
- شکل (۱۷-۵): نگاره رنگ فیلتر  $\text{GaP/MgF}_2$  در زاویه تابش ۴۵ درجه ..... ۱۰۴
- شکل (۱۸-۵): نمودار بازتاب و چگالی اپتیکی هم چیده  $\text{AlAs - MgF}_2$  بر حسب طول موج در فرود عمود. (نمودار آبی، مربوط به بازتاب و نمودار صورتی، مربوط به چگالی اپتیکی). ..... ۱۰۶
- شکل (۱۹-۵): تغییرات بازتاب بر حسب ضخامت فیزیکی لایه ها در فرود عمود برای فیلتر ۹ لایه  $\text{AlAs - MgF}_2$ . (نواحی هاشور زده، لایه های با ضریب شکست بالا می باشند). ..... ۱۰۶
- شکل (۲۰-۵): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها برای فیلتر ۹ لایه  $\text{AlAs - MgF}_2$ . (نواحی هاشور زده، لایه های با ضریب شکست بالا می باشند). ..... ۱۰۷

- شکل(۵-۲۱): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها برای فیلتر اصلاح شده  $\text{AlAs} - \text{MgF}_2$ . (نواحی هاشور زده، لایه های با ضریب شکست بالا می باشند). ..... ۱۰۸
- شکل(۵-۲۲): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها در فرود عمود برای فیلتر اصلاح شده  $\text{AlAs} - \text{MgF}_2$ . (نواحی هاشور زده، لایه های با ضریب شکست بالا می باشند). ..... ۱۰۸
- شکل(۵-۲۳): نگاره رنگ فیلتر ۹ لایه  $\text{AlAs} - \text{MgF}_2$  با مختصات رنگ نور تراگیسل شده (T) و نور بازتابیده (R) در فرود عمود ..... ۱۰۹
- شکل(۵-۲۴): طیف بازتاب، تراگیسل و جذب هم چیده پنج لایه  $(\text{Si}/\text{ZrO}_2)^2/\text{Si}$  ..... ۱۱۰
- شکل(۵-۲۵): نتایج عددی ضریب شکست موثر برای نانو پروز  $\text{ZrO}_2$  به صورت تابعی از پروز ..... ۱۱۱
- شکل(۵-۲۶): a- اثر وارد کردن نانو پروز در لایه  $\text{ZrO}_2$  بر طیف بازتاب در ناحیه طیفی ۴۰۰-۸۰۰ نانومتر b- بزرگ شده طیف بازتاب فیلتر بازتابنده در ناحیه طیفی ۴۵۰-۷۰۰ نانومتر ..... ۱۱۲
- شکل(۵-۲۷): نتایج عددی ضخامت فیزیکی نانو پروز  $\text{ZrO}_2$  به صورت تابعی از پروز ..... ۱۱۳
- شکل(۵-۲۸): چگالی اپتیکی فیلتر بازتابنده به ازای مقادیر پروز مختلف وارد شده در لایه  $\text{ZrO}_2$  ..... ۱۱۳
- شکل(۵-۲۹): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای بررسی اثر پروزیتی وارد شده در لایه  $\text{ZrO}_2$  ..... ۱۱۴
- شکل(۵-۳۰): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها به ازای وارد کردن پروز در لایه  $\text{ZrO}_2$  ..... ۱۱۴
- شکل(۵-۳۱): a- طیف بازتاب فیلتر بازتابنده  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  در ناحیه طیفی ۹۰۰-۱۸۰۰ نانومتر، b- بزرگ شده طیف بازتاب فیلتر بازتابنده در ناحیه طیفی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ نانومتر ..... ۱۱۵
- شکل(۵-۳۲): چگالی اپتیکی فیلتر بازتابنده  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  در ناحیه طیفی ۹۰۰-۱۸۰۰ نانومتر ..... ۱۱۶
- شکل(۵-۳۳): توزیع شدت میدان الکتریکی در لایه ها برای فیلتر بازتاب بالا  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  ..... ۱۱۶
- شکل(۵-۳۴): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها برای فیلتر بازتاب بالا  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  ..... ۱۱۷
- شکل(۵-۳۵): نتایج عددی ضریب شکست موثر برای نانو پروز  $\text{SiO}_2$  به صورت تابعی از شکل پروز ..... ۱۱۸
- شکل(۵-۳۶): a- طیف بازتاب فیلتر بازتابنده  $\text{TiO}_2/\text{P}_{0.35}\text{SiO}_2$  در ناحیه طیفی ۹۰۰-۱۸۰۰ نانومتر، b- بزرگ شده طیف بازتاب فیلتر بازتابنده در ناحیه طیفی ۱۰۰۰-۱۶۰۰ نانومتر ..... ۱۱۸

- شکل (۳۷-۵): a- طیف بازتاب فیلتر بازتابنده  $P_{0.5} Si / (TiO_2/P_{0.35} SiO_2)/Air$  در ناحیه طیفی ۹۰۰-۱۸۰۰ نانومتر، b- بزرگ شده طیف بازتاب فیلتر بازتابنده در ناحیه طیفی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ نانومتر ..... ۱۱۹
- شکل (۳۸-۵): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها در فیلتر بازتابنده  $P_{0.5} Si / (TiO_2/P_{0.35} SiO_2)/Air$  ..... ۱۲۰
- شکل (۳۹-۵): چگالی اپتیکی فیلتر بازتابنده  $P_{0.5} Si / (TiO_2/P_{0.35} SiO_2)/Air$  در ناحیه طیفی ۹۰۰-۱۸۰۰ نانومتر ..... ۱۲۰
- شکل (۴۰-۵): نتایج عددی ضریب شکست موثر برای نانو پروز  $MgF_2$  به صورت تابعی از پروز در طول موج ۵۵۰ نانومتر ..... ۱۲۱
- شکل (۴۱-۵): نتایج عددی ضریب شکست موثر برای نانو پروز  $MgF_2$  به صورت تابعی از طول موج ..... ۱۲۲
- شکل (۴۲-۵): a- نمودار بازتاب هم چیده  $AlAs - P_{0.5} MgF_2$  بر حسب طول موج در فرود عمود. b- بزرگ شده طیف بازتاب فیلتر بازتابنده در ناحیه طیفی ۴۵۰-۷۰۰ نانومتر ..... ۱۲۲
- شکل (۴۳-۵): نمودار چگالی اپتیکی هم چیده  $AlAs - P_{0.5} MgF_2$  بر حسب طول موج در فرود عمود ..... ۱۲۳
- شکل (۴۴-۵): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها در فرود عمود برای فیلتر  $AlAs - P_{0.5} MgF_2$  ..... ۱۲۳
- شکل (۴۵-۵): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها برای فیلتر بازتابنده  $AlAs - P_{0.5} MgF_2$  ..... ۱۲۴
- شکل (۴۶-۵): نگاره رنگ فیلتر بازتابنده  $AlAs - P_{0.5} MgF_2$  با مختصات رنگ نور تراگیسیل شده (T) و نور بازتابیده (R) در فرود عمود ..... ۱۲۵
- شکل (۴۷-۵): نتایج عددی ضریب شکست موثر برای نانو پروز  $ZnS$  به صورت تابعی از پروز ..... ۱۲۶
- شکل (۴۸-۵): نمودار بازتاب هم چیده  $Ge - P_{0.5} ZnS$  بر حسب طول موج در فرود عمود ..... ۱۲۶
- شکل (۴۹-۵): بزرگ شده نمودار بازتاب هم چیده  $Ge - P_{0.5} ZnS$  بر حسب طول موج در فرود عمود ..... ۱۲۷
- شکل (۵۰-۵): نمودار چگالی اپتیکی هم چیده  $Ge - P_{0.5} ZnS$  بر حسب طول موج در فرود عمود ..... ۱۲۸
- شکل (۵۱-۵): توزیع میدان الکتریکی در لایه ها برای فیلتر بازتابنده  $Ge - P_{0.5} ZnS$  ..... ۱۲۸
- شکل (۵۲-۵): تغییرات بازتاب برحسب ضخامت فیزیکی لایه ها در فرود عمود برای فیلتر  $Ge - P_{0.5} ZnS$  ..... ۱۲۹
- شکل (۵۳-۵): نگاره رنگ فیلتر بازتابنده  $Ge - P_{0.5} ZnS$  با مختصات رنگ نور تراگیسیل شده (T) و نور بازتابیده (R) در فرود عمود برای فیلتر اصلاح شده ..... ۱۲۹



شکل (آ-۱): نمودار چگونگی استفاده از نرم افزار TFCalc ..... ۱۳۶

شکل (آ-۲): جزئیات فیزیکی سیستم مدل شده به وسیله نرم افزار TFCalc ..... ۱۳۷

بررسی اثرات نانو پروزها روی خواص اپتیکی نانو فیلترهای چند لایه ای با بازتابندگی بالا

مریم برادران

در این پایان نامه، اثر نانو پروزها روی خواص اپتیکی نانو فیلترهای چند لایه ای با بازتابندگی بالا مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا معادلات ماکسول در داخل لایه نازک با اعمال شرایط مرزی لازم، حل شده است. با استفاده از جواب معادلات ماکسول و تعریف ماتریس مشخصه برای هر لایه، بازتاب از هر لایه و در نتیجه بازتاب کل بدست آمد و از این بازتاب کل برای طراحی فیلتر بازتاب بالا استفاده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار TF Calc، چند نوع فیلتر با بازتابندگی بالا طراحی شده است. ضخامت فیزیکی، چگالی اپتیکی، بازتاب و توزیع میدان الکتریکی در داخل فیلترهای طراحی شده، به دست آورده شده است. برای بالا بردن آستانه تخریب لیزری این فیلترها، طراحی با دو لایه اضافی با ضخامت های غیر ربع موج انجام شده است، به طوری که فیلتر بتواند آستانه تخریب بالاتری در مقابل پرتوهای لیزر توان بالا داشته باشد. در نهایت، با استفاده از نظریه محیط موثر ماکسول-گارنت اثر نانو پروز روی خواص اپتیکی این فیلترها بررسی شده است.

واژه های کلیدی:

چند لایه، فیلترهای اپتیکی، بازتاب بالا، نانو پروز

## **Abstract**

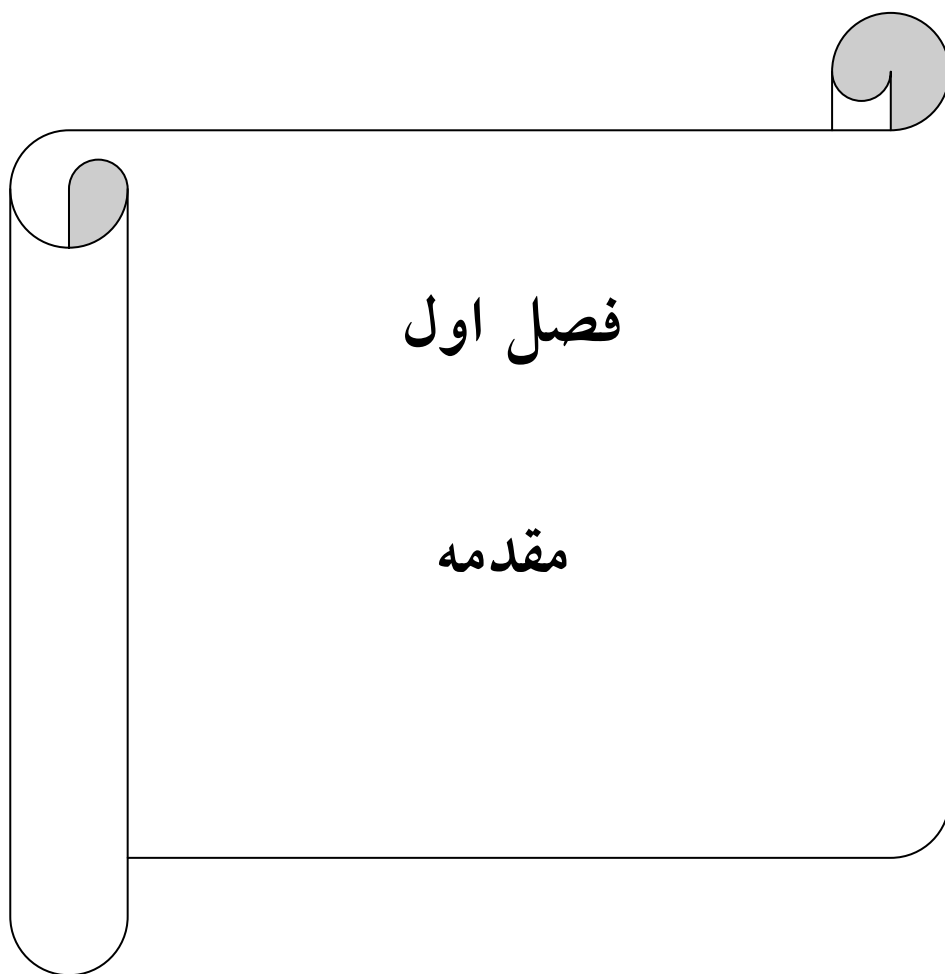
### **Investigation of the effect of nanoporous on the optical properties of multilayer nanofilters with high reflection**

**Maryam Baradaran**

In this thesis, the effect of nanoporous on the optical properties of multilayer nanofilters with high reflection is studied. At first, Maxwell's equations in the thin layer with the appropriate boundary conditions, is solved. By using the solution of Maxwell's equations and defining characteristic matrix for each layer, the reflection of each layer and thus the total reflection were obtained. Then, the total Reflection is used to design high reflection filters. Several types of filters are designed with high reflectance by using TF Calc software. Physical thickness, optical density, reflectance and electric field distribution within the designed filter is achieved. To increase threshold for laser damage of the filters, filters with two extra layers with non-quarter-wave of thickness is designed, so that the filters can have higher damage threshold against high power laser beams. Finally, the effects of nanoporous on the optical properties of the filters have been investigated by using Maxwell- Garnet effective medium theory.

#### **Key words:**

Multilayer, Optical filters, High reflective, Nanoporous



# فصل اول

مقدمه