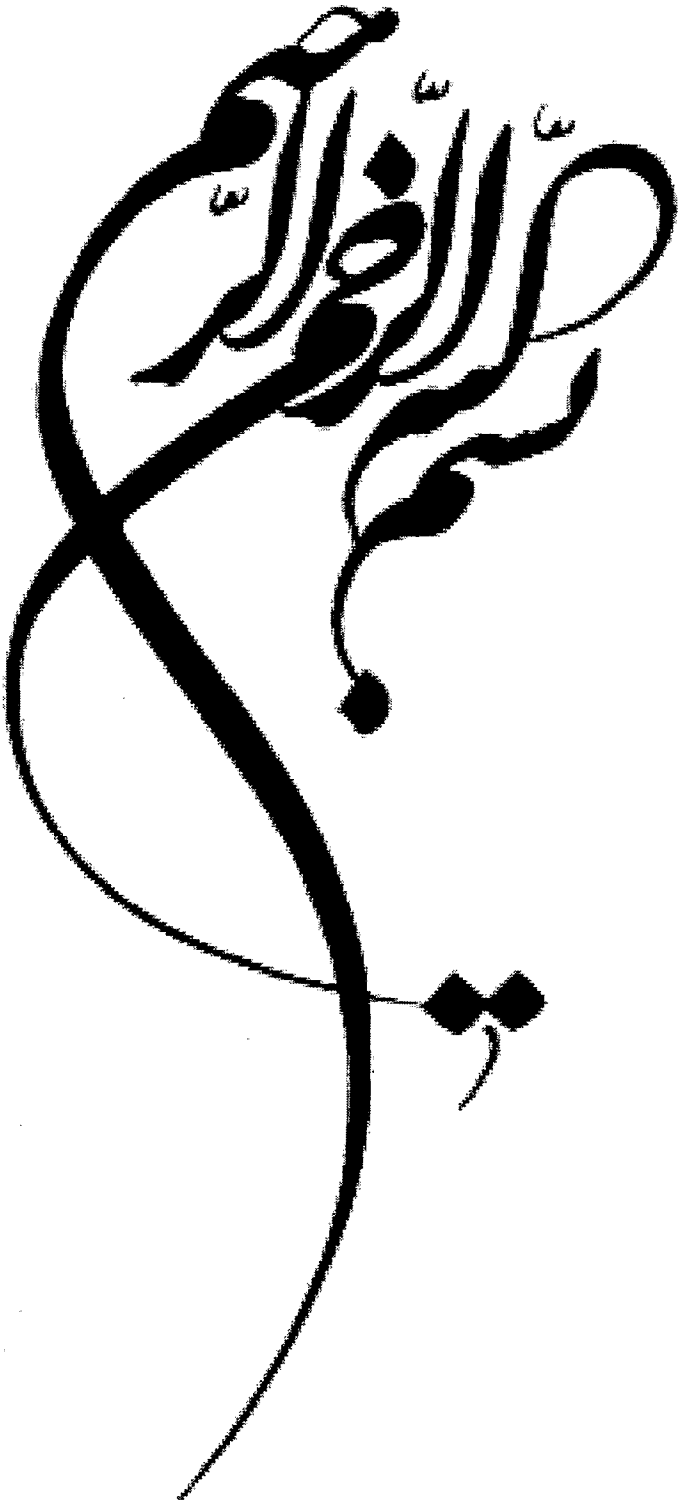


١٠٢٢٢٦

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده‌ی علوم- بخش فیزیک

پایان‌نامه‌ی تحصیلی برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد فوتونیک

تحت عنوان

سیستم تراش شیمیایی پایدار محافظت شده همراه با کنترل الکترومکانیکی کامپیوتری شرایط فیزیکی

استاد راهنما:

دکتر حسن فاطمی امام غیث

مولف :

عباس خاکسار کلاتی

شهریور ۱۳۸۶

۱۳۸۷/۲/۱۷

ب

۱۰۲۳۳۶

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد.به

بخش فیزیک

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: عباس خاکسار کلاتی

استاد راهنما: دکتر حسن فاطمی امام غیث

داور ۱: دکتر نصرالله گرانپایه

داور ۲: دکتر محمدرضا مطلوب

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر محمدحسین زندی

۱۳۸۷ /۲/ ۱۷

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

تقدیم به

پدرم، اسوه‌ی تلاش زندگی‌ام،

مادرم، کانون مهربانی خانواده‌ام

و همسرم، همسفر باوفای همیشه‌ی زندگی‌ام.

سپاسگزاری

خداوندا تو را سپاسگزارم که بار دیگر لطف بیکرانت را شامل حال این بنده‌ی حقیر کردی تا با طی کردن مرحله‌ای دیگر از زندگی علمی، به مرحله‌ای جدید پای بگذارم. سوگند یاد می‌کنم که اگر نبود لطف و مهربانی فراوانت پیمودن هر گام از این مراحل برایم سخت و طاقت فرسا می‌بود.

زحمات فراوانی که استاد عزیزم در لحظه لحظه‌ی این دو سال و چند ماه برای رشد و ترقی و تعالی علمی و اخلاقی اینجانب متحمل شدند را، تا پایان عمر از یاد نخواهم برد و آن را پاس داشته و مراتب قدردانی و سپاسگذاری فراوان خویش را از ایشان ابراز می‌دارم؛ چرا که اگر نبود زحمات بی شائبه‌ی ایشان این کار هرگز جامه‌ی ظهور نمی‌یافت، و به حکم این فرموده‌ی مولایمان علی(علیه السلام) که "من علمنی حرفاً فقد صیرنی عبداً" خضوع و خشوع خویش را در برابر مقام استادی ایشان رعایت کرده و به آن افتخار خواهم کرد.

و از دستان رنج کشیده و پر مهر و عطوفت پدر و مادر مهربانم که بی هیچ چشمداشتی همواره پشتیبان من در طی مراتب علمی و اخلاقی بوده‌اند، صمیمانه سپاسگذارم و طول عمر با عزت را برایشان آرزومندم.

و از همسر مهربانم، که سختی‌های فراوانی را در کنار من متحمل شده است؛ از او که همواره به من در ادامه‌ی کار دلگرمی داده است، با تمام وجود تشکر می‌کنم.

و از دوستان عزیزم که همیشه لحظات با آن‌ها بودن برایم از زیباترین لحظات زندگی‌ام بوده نیز سپاسگزارم.

چکیده

گسترش روز افزون دانش نوپای فوتونیک و کاربردهای تکنولوژیکی آن، ساخت قطعات اپتیکی و فوتونیکی متعدد را در داخل کشور، به صورت یک نیاز اساسی ایجاب می کند.

این پایان‌نامه به معرفی طراحی و توسعه‌ی کارائی‌های سیستم تراش شیمیایی محافظت شده همراه با کنترل الکترومکانیکی شرایط فیزیکی، برای ساخت تعدادی از این قطعات، می‌پردازد. قسمت‌های بسیار زیادی از این سیستم در آزمایشگاه میکرو و نانو اپتیک دانشگاه و با امکانات محلی طراحی و ساخته شده‌اند. کنترل قسمت‌های زیادی از سیستم با دقت بسیار بالا و توسط کامپیوتر و یا مدارهای الکترونیکی، انجام می‌شود. سیستم تصویر برداری لحظه‌ای، امکان پی گیری همزمان فرایند ساخت و تحلیل آن پس از پایان اجرا، را مهیا می کند.

این سیستم، توانایی ساخت ابزار میکرو و نانو اپتیکی و فوتونیکی گوناگون، با کاربردهای فراوانی در مطالعات میکرو و نانو تکنولوژی و صنعت مخابرات نوری، را دارد. از جمله ابزاری که توسط این سیستم می‌توان ساخت، کاوشگر و/یا چشمه‌های میکرو و نانو اپتیکی فیبر نوری، میکرو و یا نانو رشته‌های فیبر نوری و فیبرهای نوری با نوک میکروعدسی یا نازک شده هستند. علاوه بر این، ساخت قطعات اپتیکی دیگر نظیر میکروکره‌ها نیز با کمک سیستم مکمل جانبی امکان پذیر است.

فرایند ساخت، جهت شکل‌دهی و ساخت میکروعدسی بر روی نوک یک نمونه فیبر نوری می‌تواند به صورت ایستا یا پویا انجام شود، در هر یک از این فرایندها می‌توان از یک مایع محافظ استفاده کرد. در روش ساخت تراش شیمیایی محافظت شده، به منظور محافظت قسمت‌های تراشیده شده‌ی نمونه فیبر یک مایع محافظ به محلول تراش اضافه می‌شود. در روش ساخت پویا، جابجایی تدریجی نوک نمونه‌ی فیبر، توسط سیستم

الکترومکانیکی کنترل شونده با فرمان کامپیوتری انجام می‌شود. برای ساخت میکروکره، ابتدا، با قرار دادن نمونه‌ی فیبر نوری در درون حمام سیستم تراش شیمیایی و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی ویژه، یک فیبر نوری با انتهای میکرو و یا نانو رشته شده ساخته می‌شود. سپس سیستم ساخت مکمل، ساخت میکروکره در انتهای میکرو یا نانو رشته فوق را ممکن می‌سازد.

اثر پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌های ساخته شده، نیز مطالعه شده است.

فهرست

۱- مقدمه ۱

۲- تئوری و مدل سازی ۸

۲-۱- فیبر نوری، انواع، و حالت‌های گسیلشی آن ۹

۲-۱-۱- فیبر نوری و انواع آن ۹

۲-۱-۲- حالت‌های گسیلش نور در فیبر نوری ۱۱

۲-۲- بررسی نیروی کشش سطحی ناشی از محلول تراش پیرامون فیبر نوری ۱۹

۲-۲-۱- نیروی کشش سطحی ۲۰

۲-۲-۲- معادله‌ی یانگ-لاپلاس ۲۱

۲-۲-۳- زاویه‌ی تماس و پدیده‌ی خیس شدگی جداره‌ی فیبر نوری (معادله‌ی یانگ) ۲۵

۲-۲-۴- تاثیر کشش سطحی بر شکل دهی سطح پیرامون جداره‌ی استوانه‌ای فیبر نوری ۲۶

۲-۲-۵- عوامل موثر بر کشش سطحی ۲۸

۲-۳- نقش موتورهای پله‌ای به کار گرفته شده در سیستم الکترومکانیکی ۲۹

۲-۳-۱- مزایا و معایب موتورهای پله‌ای ۳۰

۲-۴- واکنش‌های شیمیایی حاکم بر فرایند پایدار تراش شیمیایی فیبر نوری ۳۱

۲-۴-۱- واکنش شیمیایی اسید HF با SiO_2 و GeO_2 ۳۱

۲-۴-۲- پایدار سازی آهنگ تراش توسط بافر NH_4F ۳۴

۳- معرفی سیستم تراش شیمیایی پایدار محافظت شده همراه با کنترل الکترومکانیکی کامپیوتری شرایط فیزیکی ۳۶

۳-۱- معرفی قسمت‌های مختلف سیستم ۳۷

۳-۱-۱- اتاقک تراش شیمیایی با کنترل هیدرودینامیکی فشار درون آن ۴۰

۳-۱-۱-۱- دیواره‌های شفاف ۴۰

۳-۱-۱-۲- کف اتاقک ۴۱

۳-۱-۱-۳- سیستم تنظیم هیدرودینامیکی فشار درون اتاقک ۴۱

۳-۱-۲- حمام تراش به همراه کنترل الکترونیکی دما، برای تهیه‌ی نمونه‌های مورد نظر ۴۲
۳-۱-۲-۱- سیستم الکترونیکی تنظیم دما ۴۲
۳-۱-۲-۲- ظروف مخصوص محلول تراش شیمیایی ۴۲
۳-۱-۲-۳- ظرف محلول محافظ ۴۳
۳-۱-۳- سیستم الکترومکانیکی کامپیوتری برای کنترل موقعیت مکانی نمونه‌ها ۴۴
۳-۱-۳-۱- پایه‌ی نگه دارنده‌ی فیبرها ۴۵
۳-۱-۳-۲- سیستم تنظیم درشت مکان نمونه‌ها ۴۵
۳-۱-۳-۳- سیستم جابه‌جا کننده‌ی تنظیم ریز کامپیوتری مکان نمونه‌ها ۴۵
۳-۱-۴- سیستم مشاهده‌ی همزمان با ضبط کامپیوتری میکروسکوپی فرایند تراش شیمیایی ۵۶
۳-۱-۴-۱- سیستم مکان یابی نوک فیبر ۵۶
۳-۱-۴-۲- سیستم تصویر برداری لحظه‌ای ۵۷
۳-۲- سیستم مکمل جانبی ساخت نمونه‌ها ۵۷
۴- ساخت نمونه‌ها، نتایج و جمع بندی آنها ۶۰
۴-۱- فرایند آماده سازی نمونه‌ی فیبرنوری ۶۱
۴-۲- آماده سازی محلول تراش ۶۳
۴-۲-۱- نکات مهم در فرایند تهیه‌ی محلول تراش ۶۵
۴-۳- شیوه‌ی ساخت هر یک از قطعات فوتونیکی فیبر نوری ۶۵
۴-۳-۱- ساخت چشمه و/یا کاوشگرهای فیبر نوری... ۶۶
۴-۳-۱-۱- بررسی اثر تغییر نوع مایع محافظ بر شکل دهی نمونه‌ها ۶۹
۴-۳-۱-۲- بررسی اثر غلظت ترکیبات محلول تراش بر شکل دهی نمونه‌ها ۷۰
۴-۳-۱-۳- بررسی اثر تغییر ارتفاع غوطه‌ور شده‌ی نمونه بر شکل دهی آنها ۷۴
۴-۳-۱-۴- بررسی اثر دما بر نمونه‌ها ۷۶
۴-۳-۲- ساخت میکرو عدسی در انتهای فیبر نوری... ۷۷
۴-۳-۳- ساخت میکرو رشته‌های فیبرهای نوری با روش تراش شیمیایی ایستا ۷۸
۴-۳-۳-۱- بررسی اثر زمان قرارگیری نمونه در محلول تراش و محاسبه‌ی آهنگ تراش ۷۹
۴-۳-۳-۲- ساخت میکرو رشته‌های فیبر نوری ۸۲

۴-۳-۳-۳- ساخت میکرو کره با روش... ۸۲
-۴-۳-۴ بررسی ویژگی اپتیکی نمونه‌های ساخته شده ۸۴
۵- برداشت کلی ۸۵
۵-۱- گزیده‌ای از کارهای انجام شده ۸۶
۵-۲- دورنمای آتی ۸۷
منابع ۸۹
پیوست ۹۴
برنامه کامپیوتری تهیه شده برای کنترل موقعیت مکانی نوک نمونه‌های فیبر نوری ۹۴

فصل ۱

مقدمه

دنیای تکنولوژی، پس از اختراع لیزر در اوایل دهه‌ی ۶۰ قرن بیستم و ساخت فیبرهای نوری در دهه‌ی ۷۰، جهشی بسیار بلند و رو به جلو داشت به گونه‌ای که استفاده‌ی روز افزون این دو یار همیشگی به آنجا رسیده که رشته‌ای خاص با نام دانش فوتونیک، برای مطالعه‌ی این دو، پدید آمده است.

امروزه کاربردهای فیبر نوری به عنوان یکی از ستون‌های اصلی دانش و تکنولوژی فوتونیک آنقدر زیاد است که بیان آن‌هابه تنهایی نیاز به نوشتن صدها مقاله و ده‌ها کتاب دارد.

یکی از کاربردهای جدید فیبر نوری، استفاده از آن در مطالعات در ابعاد نانومتری است. فناوری نانو یکی از فناوری‌های نو و رو به پیشرفت در زمینه‌های مختلف علوم و تکنولوژی است. فعالیت در این عرصه نیازمند به کارگیری ابزار ویژه در مقیاس فوق است. از این رو ساخت ابزارهایی که دقت نانومتری داشته باشند از اهمیت به سزایی برخوردار است. از جمله‌ی این ابزارها می‌توان به چشمه و کاوشگرهای نانومتری (و یا میدان نزدیک) فیبر نوری[1]، رشته‌های میکرو و یا نانومتری فیبر نوری[2]، میکرو یا نانوکره‌ها[3] و میکروعدسی‌ها اشاره کرد که کاربردهای فراوانی در بررسی‌های فناوری میکرو و نانو دارند. به منظور آشنایی بیشتر با این قطعه‌ها به بررسی برخی از ویژگی‌ها و کاربردهای آن‌هامی‌پردازیم.

در ابتدا به بررسی چشمه و کاوشگرهای نانومتری (و یا میدان نزدیک) فیبر نوری که کاربردهای بسیار وسیعی دارند می‌پردازیم. رسیدن به توان جداسازی بالا توسط میکروسکوپ‌های اپتیکی دارای عدسی، به دلیل رسیدن به حد پراش ریلی، عملاً ممکن

1- Near-Field Nano-Optical Fiber Probes
2- Optical Fiber Micro or Nano Wires
3- Micro or Nano Spheres

نیست. به همین منظور کاوش‌ها برای ساخت ادوات ریزسنجی با توان جداسازی بیش از حد پراش ریلی، به ساخت میکروسکوپ‌های روبشی الکترونی و نوری انجامید. در این نسل جدید از میکروسکوپ‌ها به کمک کاوشگرهایی که نمونه را پیمایش می‌کنند، داده‌هایی از تک تک نقاط آن جمع آوری شده و در نهایت با تحلیل آن‌هابه شکل توپوگرافی سطح و ویژگی‌های فیزیکی آن پی برده می‌شود.

در این میکروسکوپ‌ها از ادوات متعددی به عنوان کاوشگر استفاده می‌کنند. برای مثال در میکروسکوپ‌های الکترونی که اولین نمونه‌ی ساخته شده از این نسل جدید از میکروسکوپ‌ها هستند، معمولاً از فلزاتی با رسانندگی خوب به عنوان کاوشگر استفاده می‌شود [۱]. در حالی که در برخی دیگر از نانو لوله‌های کربنی [۲] به عنوان کاوشگر استفاده شده و در برخی دیگر نیز از کاوشگرهایی استفاده می‌شود که از مواد غیر رسانا ساخته می‌شوند [۱].

با وجود توان جداسازی بالای این نسل جدید از میکروسکوپ‌ها، کاربری آن‌هابه نمونه‌های خاصی محدود می‌شود چون در بسیاری از این روش‌های میکروسکوپی، پیش از مطالعه‌ی نمونه، می‌بایست مراحل آماده سازی بر روی آن انجام شود. این فرایند آماده سازی در برخی موارد ویژگی‌های نمونه‌ی مورد مطالعه را تغییر داده و یا ممکن است آسیب‌های جبران ناپذیری به نمونه وارد کند. به عنوان مثال، مطالعه‌ی نمونه‌های زنده و موجودات تک سلولی توسط این میکروسکوپ‌های الکترونی، نه تنها باعث به هم خوردن شرایط فیزیولوژیکی نمونه می‌شود بلکه گاهی نیز منجر به مرگ و از بین رفتن نمونه می‌شود.

وجود این گونه معایب در میکروسکوپ‌های الکترونی، با وجود دقت بالای آنها، کاربرد آن‌ها را محدود به موارد خاصی نموده است. بنابراین در راستای تلاش بر فائق آمدن بر این محدودیت‌ها نسل دیگری از میکروسکوپ‌ها ساخته شدند که در آن‌ها به

جای پرتوهای الکترونی از پرتو لیزری و به عنوان مثال، بجای کاوشگرهای فلزی از کاوشگرهای فیبر نوری استفاده می‌شود. نور لیزر، توسط سیستم‌های جفت کننده، به یک سر کاوشگر فیبر نوری جفت شده و سپس با تاباندن این نور، از سر دیگر کاوشگر، به نمونه و جمع‌آوری اثرات آن و با استفاده از تحلیل‌های اپتیکی نور باز تابیده و یا عبور کرده از نمونه، پی به ساختار و ویژگی‌های فیزیکی آن نقطه از نمونه می‌برند. با پیمایش بر سراسر ناحیه‌ی مورد مطالعه و جمع آوری داده‌های مربوط به تک تک این نقاط، کلیت نمونه و ویژگی‌های آن شناخته می‌شوند.

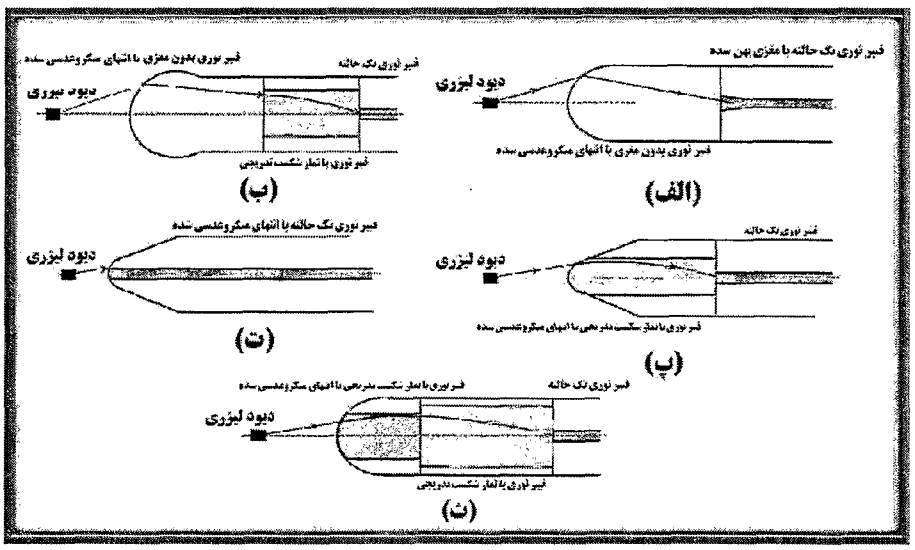
توان جداسازی این نوع از میکروسکوپ‌ها به اندازه‌ی میکروسکوپ‌های الکترونی نیست، گر چه تلاش‌های زیادی برای بهبود آن در حال انجام است، اما این مشکل باعث نمی‌شود که از میکروسکوپ‌های میدان نزدیک نوری استفاده نشود چرا که این میکروسکوپ‌ها در کنار بقیه‌ی میکروسکوپ‌های قطع نانو یک مجموعه‌ی مکمل را می‌سازند که رقیب یکدیگر نیستند [۱].

بسته به نوع کاوشگر فیبر نوری مورد استفاده در این دسته از میکروسکوپ‌ها، انواع میکروسکوپ‌های روبشی از جمله میکروسکوپ روبشی میدان نزدیک[1] (NSOM) [۳]، میکروسکوپ تونلی فوتونی[2] (PTM) [۴]، میکروسکوپ نیروی اتمی[3] (AFM) [۵] و میکروسکوپ در همروی سنجی فیبر نوری[4] (OFIM) [۶، ۷] ساخته شده‌اند که در زمینه‌های مختلف علوم مواد [۸]، زیست شناسی [۹]، نانواپتیک [۱۰] و مطالعه‌ی ساختارهای نانومتری [۱۱،۱۲] کاربرد دارند.

1- Near-Field Scanning Optical Microscope
2- Photon Tunelling Microscope
3- Atomic Force Microscope
4- Optical Fiber Interferometeric Microscope

چشمه و کاوشگرهای میدان نزدیک فیبر نوری، مهمترین نقش را در عملکرد میکروسکوپ‌های روبشی نوری بازی می‌کنند. جمع آوری نقطه به نقطه‌ی داده از سطح نمونه‌ی مورد نظر، هدف اصلی در این نسل از میکروسکوپ‌هاست؛ لذا ساختن چشمه و/یا کاوشگرهایی که بتوانند هر چه بیشتر به سطح نزدیک شده و در مقیاس نانومتری داده پردازی کنند اهمیت روز افزونی پیدا کرده است. برای ساختن این چشمه و/یا کاوشگرهای فیبر نوری می‌بایست نوک فیبر نوری به گونه‌ی مناسبی نازک شود تا بتوان آن‌ها را در میدان نزدیک نوری نمونه‌ی مورد نظر قرار داد. میکرو عدسی‌های ساخته شده در انتهای کاوشگر فیبر نوری می‌تواند در میکروسکوپ‌های کاوشگر هم‌کانون کاربرد داشته باشد. کاربرد دیگر آن‌هادر زمینه‌ی مخابرات نیز توجه بسیاری را به خود جذب کرده است.

در شبکه‌های مخابراتی فیبر نوری داشتن ابزاری کوچک با اتلاف پایین که بتواند نور را از لیزر دیودی (LD) به فیبر نوری تک حالته جفت کند اهمیت بسزایی دارد. فیبرهای عدسی‌دار از ویژگی‌هائی مانند کوچکی، سادگی، پایداری و بی‌نیازی از عدسی جدا از



شکل (۱-۱) انواع میکرو عدسی‌های مرسوم برای جفت کردن نور از دیود لیزری به فیبر نوری تک حالته

سیستم [۲۳-۱۳]، برای جفت کردن نور، برخوردارند. علاوه بر این، برای جفت کردن نور از لیزر دیودی به فیبر نوری تک حالته باید این دو از یکدیگر فاصله داشته باشند؛ چرا که اگر فاصله‌ای وجود نداشته نباشد نور بازتابی از سطح عدسی جفت کننده به درون لیزر دیودی باز گشته و در نور تولید شده توسط لیزر اختلال ایجاد می‌کند. این مشکل با استفاده از فیبر عدسی‌دار قابل حل است، چراکه فیبر عدسی‌دار در فاصله‌ی کاری خود دارای اتلاف بسیار کمی بوده و این موضوع برای جفت کردن نور از دیود لیزری به فیبر نوری، مطلوب است.

برای دستیابی به اتلاف پایین‌تر در جفت شدگی نور به فیبر عدسی‌دار، باید این فیبرها دارای دو ویژگی باشند: نخست آنکه میکرو عدسی از یک طرف، دارای روزنه‌ی عددی[1] به اندازه‌ی نور خروجی دیود لیزری باشند و دوم اینکه، از طرف دیگر، دارای روزنه‌ی عددی به کوچکی روزنه‌ی فیبر نوری تک حالته[2] باشند.

اما در حال حاضر دو روش گرما-کششی [۲۶-۲۴] و تراش شیمیایی [۳۰-۲۷] برای ساختن این قطعات بکار گرفته می‌شود. در برخی موارد از ترکیب دو روش برای ساخت این نمونه‌ها استفاده می‌شود. روش تراش شیمیایی برای ساخت این قطعات ساده‌تر، مقرون به صرفه‌تر، و در برخی موارد کاراتر است. علاوه بر این‌ها، به دلیل قابل کنترل بودن پارامترهای موثر زیادی در ساخت این قطعات، همچون ترکیب اسیدی محلول تراش دهنده، دمای محلول، فشار محیط، ساخت قطعات فوتونیکی فیبر نوری با ویژگی‌ها و قابلیت‌های ویژه ساختاری آسانتر ممکن می‌شود.

1- Numerical Aperture
2- Single Mode Fiber

هدف این پایان نامه طراحی سیستمی به منظور بررسی عوامل موثر بر ساخت قطعات فوتونیکی فیبر نوری فوق است. در راستای این هدف سیستم تراش شیمیایی محافظت شده همراه با کنترل کامپیوتری شرایط فیزیکی برای ساخت قطعات فوتونیکی فیبر نوری مذکور طراحی و معرفی شده و ساخت انواعی از این نمونه‌ها و نیز ویژگی‌های آن‌ها به وسیله این سیستم، گزارش شده است.

مطالب این پایان‌نامه به این شرح است: به دلیل اینکه کارهای انجام شده در این پایان نامه در حیطه‌ای بین رشته‌ای واقع و مباحثی از رشته‌های شیمی، فیزیک، مکانیک سیالات، و الکترونیک را شامل می‌شود، لازم است مباحث تئوری مربوط به این دسته از مطالب در یک فصل گنجانده شود. گر چه مطالب مستقل از یکدیگرند ولی سعی شده انسجام و پیوستگی لازم بین آن‌هابوجود آورده شود. در فصل دوم تئوری مربوط به موضوعاتی که در فصل‌های آتی به آن پرداخته می‌شود، آورده شده است. در این فصل فیبر نوری و انواع آن توضیح داده شده‌اند. در ادامه، به دلیل نقش بالای کشش سطحی در شکل دهی نمونه‌ی مورد نظر برای ساخت، بیانی کوتاه پیرامون این پدیده آورده شده است. پس از آن به طور کوتاه به موتورهای پله‌ای پرداخته شده است. آشنایی با این موتورها به دلیل استفاده‌ی آن‌ها در ساخت سیستم تراش شیمیایی ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت، واکنش‌های شیمیایی حاکم بر فرایند تراش شیمیایی آورده شده است. در فصل سوم سیستم تراش شیمیایی ساخته شده به منظور ساخت نمونه‌های فیبر نوری، توصیف و بررسی شده است. در فصل چهارم، شیوه‌ی ساخت نمونه‌هایی که کاربرد آن‌ها بیان شد، توسط سیستم تراش شیمیایی معرفی شده در فصل سوم، بیان شده و عوامل موثر بر شکل‌دهی این قطعات مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. بالاخره، در فصل آخر گزیده‌ای از کارهای انجام شده و دورنمای آتی کار آورده شده است.

فصل ۲

تئوری و مدل سازی

در این فصل، ابتدا به بررسی فیبر نوری تک حالته با نمار شکست پله‌ای پرداخته و مدهای گسیل شونده در آن بدست آورده می‌شود. سپس به بررسی شکل سطح با مقطع هلالی، تشکیل شده پیرامون مقطع جسمی همچون فیبر نوری استوانه‌ای، به شعاع r، شناور شده در یک سیال پرداخته خواهد شد. در ادامه، با توجه به استفاده از موتورهای پله‌ای در ساخت سیستم تراش شیمیایی فیبر نوری، معرفی کوتاهی از این موتورها ارائه شده، و در نهایت به بررسی فرایندهای شیمیایی حاکم بر فرایند تراش فیبر نوری مورد استفاده برای ساختن قطعات فوتونیکی فیبر نوری مورد نظر پرداخته می‌شود.

۲-۱- فیبر نوری، انواع، و حالت‌های گسیلشی آن

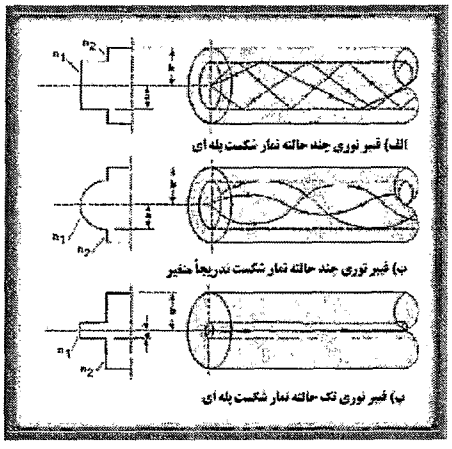
با توجه به اینکه فیبر نوری، تک حالته و یا چند حالته، عنصر اصلی مورد استفاده در این پایان نامه است، بنابراین در این بخش سعی می‌شود، ابتدا فیبر نوری معرفی شده و سپس انواع آن بیان شود. با بدست آوردن حالت‌های گسیلش نور در فیبرهای نوری، دسته‌بندی آن‌هااز جهت حالتهای گسیلش نور در آن‌هامورد بحث قرار می گیرد.

۲-۱-۱- فیبر نوری و انواع آن

شکل (۲-۱) نمای نمایشگرانه قسمت‌های یک فیبر نوری

فیبر نوری یک موجبر نوری از جنس دی الکتریک است که عمدتاً انرژی را در بازه‌ی زیر قرمز یا مرئی طیف الکترومغناطیس از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر انتقال می‌دهد[۳۱]. این موجبرها معمولاً از موادی بسیار انعطاف پذیر، که معمولاً دی الکتریک‌هایی بسیار شفاف هستند، ساخته می‌شوند. سطح مقطع فیبرهای نوری بسیار کوچک و قابل مقایسه با قطر موی انسان بوده و معمولاً به صورت سه لایه ساخته می‌شوند.

همانگونه که در شکل (۲-۱) دیده می‌شود، این قسمت‌ها شامل غلاف، که بیرونی‌ترین لایه‌ی فیبر بوده و به عنوان محافظ لایه‌های داخلی فیبر شناخته می‌شود، پوشش که لایه‌ی دوم و مغزی که درونی‌ترین قسمت فیبر است، است. مغزی دارای نمار شکست بالاتری نسبت به پوشش



شکل (۲-۲)تصویری از انواع فیبرهای نوری.

است. تفاوت نمار شکست مغزی نسبت به پوشش می‌تواند به صورت پله‌ای[1] یا به صورت تدریجاً متغیر[2] باشد. در صورتی که تغییر نمار شکست از پوشش به مغزی به صورت پله‌ای تغییر کند و تغییر نمار شکست در مغزی نداشته باشیم به این گونه از فیبرهای نوری، فیبر نوری نمار شکست پله‌ای (شکل ۲-۲-الف) می‌گویند، و اگر نمار شکست در مغزی از مقدار نمار شکست پوشش تا یک نمار شکست ماکزیمم به طور متغیر افزایش یابد به این نوع از فیبرهای نوری، فیبر نوری نمار شکست تدریجاً متغیر می‌گویند (شکل ۲-۲-ب). البته چنانچه ویژگی تک حالته و یا چند حالته بودن فیبرهای نیز به این دسته بندی اضافه شود فیبرهای متنوع تری خواهیم داشت. (شکل ۲-۲-پ).

برای آنکه مفهوم تک حالته و چند حالته نیز درک شود باید توسط یکی از رهیافت‌های اپتیکی مفهوم حالت گسیلش و شکل موج گسیل شونده در فیبر را بشناسیم. بدین منظور بحث زیر ارائه می‌شود.

1- Step-Index Fiber
2- Graded-Index Fiber