

الله أكبر
الله أكبر

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

گرایش فوتونیک

تحلیل انتشار امواج در میکروتشدیدگرهای حلقوی

از

مژگان اسمعیلی

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا مشایخی

تقدیم به

روح بزرگوار پدر و مادر عزیزم که حضورشان همواره در قلبم جاریست

به خانواده عزیزم

برادران مهربانم، پیمان و حسین، که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و

تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی‌م مدیون حضور سبز آنهاست.

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند مهربان که همیشه لطف بی دریغش را به من ارزانی داشته است.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد بزرگوام دکتر مشایخی به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های ارزنده‌شان تشکر و قدردانی

نمایم. همچنین از کمک‌های ارزنده سرکار خانم دکتر حمیدی و آقایان آبایی و نورمحمدی کمال سپاسگزاری را دارم.

از برادر عزیزم، همسر و دختر مهربانش، هستی که در تمامی لحظات در کنار من و مشوقم بوده‌اند تشکر می‌کنم.

از بهترین دوستم خانم حیدرنیا که همراه و هم‌فکر من در طول سال‌های تحصیل بوده‌اند نیز قدردانی می‌کنم.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
چکیده فارسی.....	ر.....
چکیده انگلیسی.....	ز.....
مقدمه.....	۱.....
فصل اول مقدمه ای بر فیبرهای نانو- میکرونی.....	۴.....
۱-۱ مقایسه فیبرهای نانو- میکرونی با فیبرهای معمولی.....	۴.....
۲-۱ خواص نوری و مکانیکی فیبرهای نانو- میکرونی.....	۷.....
۳-۱ روش‌های تولید فیبرهای نانو- میکرونی.....	۸.....
۳-۱-۱ طراحی باریک شونده خود مدوله.....	۹.....
۳-۱-۲ روش جاروب شعله.....	۹.....
۳-۱-۳ روش جاروب شعله اصلاح شده.....	۱۰.....
۳-۱-۴ کشش مستقیم از توده.....	۱۰.....
۴-۱ جفت شدگی نور در فیبرهای نانو- میکرونی.....	۱۰.....
۴-۱-۱ جفت شدگی شیپوری.....	۱۰.....
۴-۱-۲ جفت شدگی از طریق میرایی.....	۱۱.....
۵-۱ کاربردها.....	۱۱.....
۵-۱-۱ ناحیه انتقال.....	۱۲.....
۵-۱-۲ محصور سازی.....	۱۲.....
۵-۱-۳ میدان میرا.....	۱۲.....
فصل دوم تشدیدگر و انواع آن.....	۱۳.....
۱-۲ دیدگاه تاریخی.....	۱۵.....
۲-۲ انواع تشدیدگر.....	۱۵.....
۲-۲-۱ میکرو تشدیدگر حلقه‌ای.....	۱۶.....
۲-۲-۲ میکرو تشدیدگر پیچ‌ای.....	۱۷.....
۳-۲ ویژگی‌های اصلی میکرو تشدیدگرهای حلقوی.....	۱۹.....

۲۰	۱-۳-۲ ضریب کیفیت تشدیدگر.....
۲۰	۲-۳-۲ دقت تشدیدگر.....
۲۰	۴-۲ اتلاف در میکرو حلقه.....
۲۱	۱-۴-۲ اتلاف ناشی از جذب.....
۲۱	۲-۴-۲ اتلاف ناشی از تابش.....
۲۲	۳-۴-۲ اتلاف ناشی از مواد.....
۲۳	۴-۴-۲ تلفات تبدیل مد.....
۲۴	۵-۴-۲ تلفات پراکندگی دیواره کناری.....
۲۴	۵-۲ مواد قابل استفاده در ساختار تشدیدگرها.....
۲۶	۶-۲ روش‌های تولید میکرو تشدیدگرها.....
۲۶	۷-۲ مروری بر کاربردهای تشدیدگرهای میکرو حلقوی.....
۲۷	۱-۷-۲ کاربرد به عنوان فیلتر.....
۲۷	۲-۷-۲ نور کند شده در موجبر تشدیدگر جفت شده.....
۲۸	۳-۷-۲ خطوط تأخیر.....
۲۸	۴-۷-۲ کاربرد به عنوان حسگر.....
۲۹	فصل سوم روابط ریاضی حاکم بر فیبرهای نانو- میکرونی و میکرو تشدیدگرهای حلقوی.....
۳۰	۱-۳ مدل ریاضی.....
۳۰	۱-۱-۳ مد انتشاری.....
۳۱	۲-۱-۳ مؤلفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی در فیبرهای نانو- میکرونی.....
۳۳	۳-۱-۳ شرایط تک مد و مدهای اولیه.....
۳۳	۴-۱-۳ میدان تزویجی.....
۳۵	۲-۳ ساختار تشدیدگر حلقوی نوری.....
۳۵	۱-۲-۳ فرمول بندی کارکرد میکرو تشدیدگر حلقوی.....
۴۱	۳-۳ تشدیدگرهای با جفت شدگی مضاعف.....
۴۳	۴-۳ شدت خروجی و شدت حلقه تشدیدگر حلقوی فیبر نوری.....
۴۴	۱-۴-۳ شرط تشدید.....
۴۵	۲-۴-۳ شدت‌های خروجی و حلقه در تشدید.....

- ۳-۵ پارامترهای مهم در میکرو حلقه‌ها ۴۵
- ۳-۵-۱ انبارش ۴۶
- ۳-۵-۲ ضریب تقویت ۴۷
- ۳-۵-۳ پهنای باند تشدیدگر ۴۸
- ۳-۵-۴ گستره طیفی آزاد ۵۰
- ۳-۵-۵ دقت ۵۰
- ۳-۵-۶ دقت ۵۲
- ۳-۵-۷ ضریب کیفیت کاواک ۵۲
- ۳-۵-۸ شیف‌ت فازی مؤثر ۵۳
- ۳-۵-۹ تأخیر گروه و پراکندگی تأخیر گروه ۵۶
- فصل چهارم بررسی و شبیه‌سازی انتشار موج در فیبرهای نانو-میکرونی و میکروتشدیدگرهای حلقوی ۵۷
- ۴-۱-۱ حل معادله انتشار ۵۸
- ۴-۱-۱-۱ شرایط تک مد و مدهای اولیه ۵۹
- ۴-۱-۲ مؤلفه شعاعی میدان الکتریکی در فیبرهای نانو-میکرونی ۶۰
- ۴-۱-۳ میدان تزویجی ۶۰
- ۴-۲ شدت خروجی و شدت در حلقه تشدیدگر حلقوی ساخته شده از جفتگر ۶۲
- ۴-۳ شدت خروجی و حلقه در حضور اتلاف حلقه ۶۴
- ۴-۴ تشدیدگر حلقوی جفت شده با یک موجبر مستقیم ۶۶
- ۴-۴-۱ شبیه‌سازی انتشار موج در تشدیدگر حلقوی ۶۶
- ۴-۴-۲ تشدیدگر حلقوی با فواصل مختلف ۶۸
- ۴-۴-۳ تشدیدگر حلقوی با شعاع‌های مختلف ۶۹
- ۴-۴-۴ تشدیدگر حلقوی با ضخامت‌های مختلف ۷۰
- ۴-۴-۵ تشدیدگر حلقوی با مغزی‌های مختلف ۷۱
- ۴-۶ بررسی اثرات تغییر همزمان دو مؤلفه مهم تشدیدگر حلقوی ۷۲
- ۴-۵ تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف ۷۵
- ۴-۵-۱ شبیه‌سازی انتشار موج در تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف ۷۵
- ۴-۵-۲ تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف با فواصل مختلف ۷۷

۷۹ ۳-۵-۴ تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف در شعاع‌های مختلف
۸۰ ۴-۵-۴ تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف در ضخامت‌های مختلف
۸۲ ۵-۵-۴ تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف دارای مغزی‌های مختلف
۸۲ ۶-۵-۴ بررسی تغییر همزمان دو مؤلفه مهم تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف
۸۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۹ نتایج
۹۰ پیشنهادات
۹۱ مراجع
۹۵ ضمائم

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۱: برش عرضی از یک فیبر نوری استاندارد [۷].....	۶.....
شکل ۱-۲: هدایت نور در یک فیبر نوری استاندارد بر اساس بازتاب داخلی کلی با الف- ضخامت مغزی نسبتاً بزرگ ب- ضخامت مغزی نسبتاً کوچک [۷].....	۷.....
شکل ۱-۳: هدایت نور در یک فیبر نانو- میکرونی با ضخامت مغزی زیر طول موج [۷].....	۷.....
شکل ۱-۴: روش جاروب شعله [۷].....	۹.....
شکل ۱-۵: جفت شدگی شیپوری و جفت شدگی میرایی [۷].....	۱۱.....
شکل ۲-۱: نمایش میکروتشدیدگر حلقه‌ای [۲۲].....	۱۶.....
شکل ۲-۲: خمش میکروفیبر و حلقه کردن آن با استفاده از پایه‌های انتقال ۳ بعدی [۲۲].....	۱۷.....
شکل ۲-۳: طرحی از تشدیدگر گره‌ای [۲۲].....	۱۷.....
شکل ۲-۴: میکروتشدیدگر پیچه‌ای که از پیچیدن میکروفیبر روی میله‌ای با ضریب شکست کم ساخته شده است [۲۲].....	۱۸.....
شکل ۲-۵: چیدمان استفاده شده برای تولید میکروتشدیدگر پیچه‌ای [۲۲].....	۱۹.....
شکل ۲-۶: طرحی از انتشار موج در میکروتشدیدگرهای حلقوی [۲۲].....	۱۹.....
شکل ۲-۷: مقایسه بین موجبرهای مستقیم و خمیده. n_{core} ، n_{clad} و n_{eff} به ترتیب ضرایب شکست مغزی، غلاف و ضریب شکست مؤثر (مد منتشر شده) می‌باشند [۲۲].....	۲۲.....
شکل ۲-۸: طرحی از تلفات تبدیل مد در تشدیدگر حلقوی [۲۲].....	۲۴.....
شکل ۲-۹: نمایش شماتیک خطوط تأخیر [۲۶].....	۲۸.....
شکل ۳-۱: کسر توان منتشر شده داخل مغزی بر حسب عدد V فیبر نانو- میکرونی [۷].....	۳۴.....
شکل ۳-۲: تشدیدگر حلقوی ساخته شده از جفت‌گر جهت‌دار [۴۲].....	۳۵.....
شکل ۳-۳: الف- تشدیدگر حلقوی همه- گذر، ب- تشدیدگر حلقوی جفت‌شده با دو موجبر [۴۳].....	۳۶.....
شکل ۳-۴: جفت‌شدگی نور از یک موجبر به موجبر دیگر [۴۴].....	۳۷.....
شکل ۳-۵: جفت‌گر جهت‌دار [۴۴].....	۳۸.....
شکل ۳-۶: انبارش میدان بر حسب ضریب جفت‌شدگی عرضی [۴۷].....	۴۷.....

- شکل ۳-۷: ضریب تقویت تشدیدگر حلقوی بر حسب فاز [۴۳]..... ۵۱
- شکل ۳-۸: شیفت فازی مؤثر تشدیدگر حلقوی بر حسب فاز [۴۳]..... ۵۵
- شکل ۴-۱: شرایط تک مد فیبر نانو- میکرونی سیلیکا با غلاف هوا و آب با در نظر گرفتن طول موج و ضخامت فیبر ۵۹
- شکل ۴-۲: مؤلفه شعاعی میدان الکتریکی بهنجار شده مدهای HE_{11} درمختصات استوانه‌ای برای فیبرهای نانو- میکرونی سیلیکا در طول موج ۶۳۳ نانومتر الف: با غلاف آب و ب: با غلاف هوا..... ۶۰
- شکل ۴-۳: بردارهای پوینتینگ فیبرهای نانو- میکرونی سیلیکا با غلاف هوا در طول موج ۶۳۳ نانومتر الف: با ضخامت ۲۰۰ نانومتر و ب: با ضخامت ۸۰۰ نانومتر..... ۶۱
- شکل ۴-۴: بردارهای پوینتینگ فیبرهای نانو- میکرونی سیلیکا با ضخامت ۲۰۰ نانومتر در طول موج ۶۳۳ نانومتر الف: با غلاف هوا و ب: با غلاف آب..... ۶۲
- شکل ۴-۵: شدت خروجی بر حسب $\omega_c \tau$ ۶۳
- شکل ۴-۶: شدت حلقه بر حسب $\omega_c \tau$ ۶۴
- شکل ۴-۷: شدت خروجی بر حسب ضریب انتقال توان فیبر حلقه‌ای در حالت تشدید..... ۶۵
- شکل ۴-۸: شدت حلقه بر حسب ضریب انتقال توان فیبر حلقه‌ای در حالت تشدید..... ۶۶
- شکل ۴-۹: تشدیدگر حلقوی جفت شده با موجبر مستقیم..... ۶۷
- شکل ۴-۱۰: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با شعاع متوسط $2/3$ میکرومتر..... ۶۷
- شکل ۴-۱۱: نمودار شدت عبوری برای دو فاصله ۳۰ و ۱۰۰ نانومتر..... ۶۹
- شکل ۴-۱۲: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با شعاع‌های مختلف..... ۷۰
- شکل ۴-۱۳: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با ضخامت‌های مختلف..... ۷۱
- شکل ۴-۱۴: نمودار شدت عبوری برای تشدیدگر حلقوی با ضرایب شکست متفاوت..... ۷۲
- شکل ۴-۱۵: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با شعاع و فاصله متغیر..... ۷۳
- شکل ۴-۱۶: نمودار شدت عبوری تشدیدگری با فاصله و ضخامت متغیر..... ۷۴
- شکل ۴-۱۷: شدت عبوری از تشدیدگر حلقوی با شعاع و ضخامت متغیر..... ۷۵
- شکل ۴-۱۸: تشدیدگر حلقوی با جفت شدگی مضاعف..... ۷۶
- شکل ۴-۱۹: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با جفت شدگی مضاعف با فاصله ۱۵۰ نانومتر بین موجبرها..... ۷۷
- شکل ۴-۲۰: تشدیدگر حلقوی با جفت شدگی مضاعف الف: فاصله ۹۰ نانومتر و ب: فاصله ۱۵۰ نانومتر..... ۷۸
- شکل ۴-۲۱: نمودار نقطه‌ای طیف شدت عبوری برای دو تشدیدگر با جفت شدگی مضاعف با فواصل ۹۰ و ۱۵۰ نانومتر..... ۷۸

- شکل ۴-۲۲: نمودار شدت عبوری تشدیدگر با جفت‌شدگی مضاعف الف: شعاع متوسط $2/3$ میکرومتر و ب: شعاع متوسط $4/3$ میکرومتر ۷۹
- شکل ۴-۲۳: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف با شعاع‌های مختلف ۸۰
- شکل ۴-۲۴: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف الف: ضخامت $0/4$ میکرومتر و ب: ضخامت $0/5$ میکرومتر ۸۱
- شکل ۴-۲۵: نمودار نقطه‌ای شدت عبوری برای دو تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف با دو ضخامت $0/4$ و $0/5$ میکرومتر ۸۱
- شکل ۴-۲۶: نمودار شدت عبوری تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف الف: مغزی با ضریب شکست $2/5$ و ب: مغزی با ضریب شکست $3/385$ ۸۲
- شکل ۴-۲۷: تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف الف: شعاع متوسط $2/3$ میکرومتر و فاصله 40 نانومتر و ب: شعاع متوسط $3/3$ میکرومتر و فاصله 90 نانومتر ۸۳
- شکل ۴-۲۸: نمودار شدت عبوری دو تشدیدگر با جفت‌شدگی مضاعف با شعاع و فاصله متغیر ۸۳
- شکل ۴-۲۹: تشدیدگر حلقوی با جفت‌شدگی مضاعف الف: شعاع خارجی $2/5$ میکرومتر و فاصله 40 نانومتر و ب: شعاع خارجی $2/6$ میکرومتر و فاصله 150 نانومتر ۸۴
- شکل ۴-۳۰: نمودار شدت عبوری دو تشدیدگر با جفت‌شدگی مضاعف با ضخامت و فاصله متغیر ۸۵
- شکل ۴-۳۱: نمودار شدت عبوری دو تشدیدگر با جفت‌شدگی مضاعف با ضخامت و فاصله متغیر ۸۶
- شکل ۴-۳۲: نمودار شدت عبوری دو تشدیدگر با جفت‌شدگی مضاعف با ضخامت و شعاع متغیر ۸۷

فهرست جداول

عنوان.....	صفحه.....
جدول ۱-۲: نمونه‌ای از ضریب شکست و اتلاف پلیمرها در طول موج‌های مخابراتی.....	۲۳.....
جدول ۲-۲: خصوصیات کلی مواد سازنده تشدیدگر.....	۲۵.....

تحلیل انتشار امواج در میکروتشدیدگرهای حلقوی مژگان اسمعیلی

قسمت عمده‌ای از توان انتقالی در فیبری با ابعاد کوچک‌تر از طول موج انتقالی در خارج از مغزی فیبر به صورت میدان میرا منتشر می‌شود. میکروتشدیدگر حلقوی با بهره‌گیری از میدان میرا، نور را به داخل (خارج از) تشدیدگر از (به) موجبر نزدیک جفت می‌نماید. در این پایان‌نامه میدان‌های میرا در فیبرهای نانو- میکرونی و همچنین انتشار موج در تشدیدگرهای حلقوی جفت‌شده با یک و دو موجبر مستقیم بررسی شده است. برای این منظور ابتدا معادله انتشار موج در فیبرهای نانو- میکرونی به صورت عددی حل شده و سپس میدان میرا از طریق رسم مؤلفه‌های شعاعی میدان الکتریکی و تغییر میدان میرا نسبت به کاهش شعاع فیبر در حضور دو غلاف مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که هر چه اختلاف ضریب شکست بین مغزی و غلاف بیشتر باشد سهم بیشتری از میدان میرا در خارج از مغزی منتشر می‌شود. در نتیجه، فرصت تازه‌ای برای پیشرفت حسگرهای فیبرنوری در مقیاس کوچک با حساسیت بالا فراهم می‌شود.

در ادامه تشدیدگر حلقوی ساخته شده از جفتگر بررسی شده و نمودار شدت خروجی و شدت حلقه در شرایط مختلف، ترسیم شده است. در بخش اصلی و پایانی، انتشار موج در تشدیدگرهای حلقوی جفت‌شده با یک و دو موجبر مستقیم با استفاده از نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی شده و نمودار شدت عبوری بر حسب طول‌موج برای شعاع، فاصله و ضخامت متغیر برای موادی با دو ضریب شکست مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. به عنوان یک نتیجه سودمند، از طریق بهینه‌سازی ساختار تشدیدگر حلقوی جفت‌شده با یک و دو موجبر، می‌توان از آن‌ها به عنوان فیلترهای همه-گذر و فیلتر افزایشنده-کاهنده استفاده کرد.

کلید واژه: فیبرهای نانو- میکرونی، میدان میرا، تشدیدگر حلقوی، شدت عبوری، شدت خروجی، شدت حلقه.

Abstract

Analysis of Wave Propagation in Micro-Ring Resonators

Mojgan.Esmacili

When the core diameter goes below the wavelength of the light, a considerable fraction of optical power propagates outside the core as evanescent field. Micro-ring resonator couples light into (out of) the resonator from (to) a nearby waveguide using evanescent wave. In this thesis, evanescent fields in the micro-nanometer fibers and wave propagation in ring resonators coupled with one and two straight waveguides has been investigated. For this purpose, at first, the equation of the wave propagation in micro-nanometer fibers has been solved numerically, then, the evanescent field has been demonstrated by drawing radial components of electric field, and finally the evanescent field changes with respect to the fiber radius reduction has been studied in the presence of two different clad. It has been seen that as much as the difference between refractive index of the core and clad is larger, greater fraction of the evanescent field propagates outside of the core. As a result, a new opportunity in progressing small-scale optical fiber sensors with high sensitivity is provided.

Afterwards, a ring resonator made of coupler has been reviewed and the diagram of output intensity and loop intensity in an ideal condition and in conditions that coupler is lossless and lossy has been depicted. In the main and final part, wave propagation in the ring resonators coupled with one and two straight waveguides has been simulated using COMSOL software and diagrams of the transmission intensity versus wavelength for various radiuses, distances and thicknesses for materials with two different refractive indexes have been investigated and compared. As a useful result, by optimization of the ring-resonators structure coupled with one and two waveguides, they can be used as all-pass and add-drop filters.

Key words: Micro-nanometer fibers, wave propagation, evanescent field, coupler, ring-resonator, straight waveguide, transmission, output intensity, loop intensity.

مقدمه

در سال‌های اخیر، میکروتشدیدگرهایی که در ساختار آنها از جفت‌شدگی میدان میرا استفاده می‌شود، کاربردهای فراوانی را در زمینه حسگرهای شیمیایی و زیستی، فیلترها، خطوط تأخیر و غیره فراهم کرده‌اند. در بین انواع میکروتشدیدگرها، هندسه حلقوی به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل اندازه کوچک، حساسیت زیاد و قدرت انتخاب بالا به صورت گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ با استفاده از میکروتشدیدگرهای حلقوی، میدان‌های میرای بزرگ، ضریب کیفیت بالا و پهنای باند تشدید کمی در دسترس خواهد بود که منجر به افزایش حساسیت، کاهش محدودیت‌های آشکارسازی و دستیابی به قدرت انتخاب زیاد طول‌موج می‌شود. به عنوان نمونه، میکروتشدیدگرهای ساخته شده از فیبرهای نوری بسیار باریک (ضخامت کمتر از طول‌موج عبوری از فیبر) به خاطر هزینه کم، اتلاف پایین و میدان‌های میرای بسیار بزرگ کاربردهای فراوانی را به عنوان عناصر حسگری ایده‌آل دارا هستند.

پیشرفت‌های اخیر در نانو تکنولوژی، فرصت مناسبی را برای کوچک‌سازی ضخامت فیبرهای نوری و ادوات آنها فراهم ساخته است. در اثر کاهش ضخامت فیبر، قسمت عمده‌ای از توان انتقالی در فیبر، خارج از مغزی آن به صورت میدان میرا منتشر می‌شود. مروری بر روش‌های تولید فیبرهای نانو - میکرونی در فصل اول، اطلاعات مفیدی را در مورد خواص نوری فیبرهای آنها، جفت‌شدگی نور داخل آنها، کاربردهای این فیبرها، و موارد استفاده روزافزون از آنها در ادوات اپتیکی فراهم خواهد ساخت.

در فصل دوم، به بررسی تشدیدگرهای ساخته شده بر پایه میکروفیبرها و انواع آن پرداخته شده است. تشدیدگرها به دلیل کاربردهای زیادی که در حسگرها، فیلترها، خطوط تأخیر و غیره دارند، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. به همین منظور، مرور مختصری بر تشدیدگرهای دو و سه بعدی و روش‌های تولید آنها، مواد قابل استفاده در ساختار آنها و خصوصیات این مواد، بررسی اتلاف توان در آنها و کاربردهای شان مفید خواهد بود.

در آغاز فصل سوم، برای آگاهی از ساز و کار انتشار موج در فیبرهای نانو-میکرونی، مؤلفه‌های میدان الکترومغناطیسی و توان تزویجی در داخل و خارج از فیبرهای نانو-میکرونی بررسی شده است. در ادامه، دو ساختار مجزا از تشدیدگر حلقوی توصیف شده است؛ تفاوت این دو ساختار در بهره‌مندی از یک یا دو موجبر مستقیم برای جفت شدن توان به حلقه تشدیدگر است ولی در هر دوی آنها از میدان تزویجی برای این منظور استفاده شده است. روابط ریاضی مربوط به این دو ساختار شامل مدل ریاضی تشدیدگر حلقوی ساخته شده از جفتگر، شرط تشدید، شدت خروجی و شدت حلقه ارائه خواهد

شد. در قسمت پایانی این فصل، پارامترهای مهم در ساختار میکروتشدیدگرها به دلیل اهمیت زیادی که در کاربردهای مختلف دارند معرفی خواهد شد.

در فصل چهارم، ابتدا از طریق حل عددی معادله انتشار موج در فیبرهای نانو- میکرونی و ترسیم توان تزویجی و مؤلفه‌های شعاعی میدان الکتریکی در داخل و خارج از مغزی، افزایش میزان میدان میرا در خارج از مغزی به موجب کاهش ضخامت فیبر نمایش داده شده است. این بررسی به جهت اهمیتی که میدان تزویجی در کیفیت جفت کردن توان ورودی به داخل حلقه تشدیدگر دارا می‌باشد، مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه شدت خروجی و شدت حلقه مربوط به تشدیدگر حلقوی ساخته شده از جفتگر در حالت ایده‌آل و حالاتی که جفتگر بدون اتلاف و دارای اتلاف است مقایسه شده است.

در بخش پایانی، با استفاده از نرم‌افزار کامسول انتشار موج در میکروتشدیدگرهای جفت‌شده با یک و دو موجبر مستقیم شبیه‌سازی شده است. تغییرات طیف انتقالی تشدیدگر در اثر تغییر عواملی نظیر شعاع حلقه تشدیدگر، ضخامت فیبرهای بکار رفته در ساختار آن و فاصله حلقه با موجبرهای مستقیم، بررسی شده و به طور مفصل به مقایسه حالت‌های مختلف برای آن‌ها پرداخته شده است. برخی از این تغییرات به نحوی است که از اهمیت کاربردی بالایی در صنایع حسگری و مخابرات برخوردار هستند.

فصل اول

مقدمه ای بر فیبرهای نانو- میکرونی

در ۳۰ سال گذشته فیبرهای نوری با قطرهای بزرگتر از طول موج نور هدایت شده در داخل آن کاربردهای گسترده‌ای شامل ارتباطات نوری، حسگرها، اپتیک غیرخطی و غیره داشته‌اند. از سال ۱۹۷۰ با پیشرفت تحقیقات مربوط به فیبرهای نوری، میکرو فیبرهای مخروطی از فیبرهای شیشه‌ای استاندارد شروع به ایفای نقش در موجدبرهای اپتیکی کردند. بر پایه این میکرو فیبرها، کاربردهایی از قبیل جفتگرهای نوری، فیلترها، حسگرها و میدان‌های میرا بدست آمد.

پیشرفت‌های اخیر در نانو تکنولوژی و افزایش تقاضا برای پاسخ سریعتر، تلاش‌هایی را برای کوچک سازی فیبرهای نوری و ادوات فیبر نوری به دنبال داشته است. بنابراین انگیزه اصلی در تولید فیبرهای نوری با قطر کمتر از طول موج، توانایی آن‌ها به عنوان جزئی از ساختار وسایل فوتونیک در مقیاس نانو یا میکرو است. اخیراً نانو فیبرهای سیلیکا با قطر کمتر از طول موج، هدایت نور را در ناحیه مرئی و مادون قرمز نشان داده‌اند. سهم قابل توجهی از توان ارسالی، در میدان میرای بیرون از یک نانوفیبر منتشر می‌شود که در تولید تشدیدگرهای با ضریب Q بالا مناسب است.

قبل از سال ۲۰۰۳، فیبرهای نانو- میکرونی^۱ با استفاده از انواع روش‌های بالا- پایین^۲ [۱] از قبیل سائیدگی لیزر^۳ [۲]، سل- ژل [۳]، تبخیر حرارتی [۴]، رسوب بخار شیمیایی (CVD) و رسوب بخار مایع- جامد^۴ [۵] و از مواد مختلفی شامل سیلیکا، سیلیکون، بور و آهن ساخته می‌شدند.

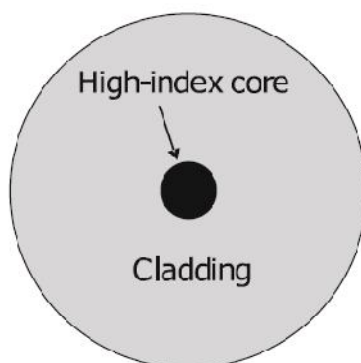
با این حال بسیاری از آن‌ها از نظر طول، غیریکنواخت بودند و این مانع از استفاده آن‌ها در کاربردهای اپتیکی می‌شد. در سال ۲۰۰۳ یک فرآیند دو مرحله‌ای برای تولید MNFهای سیلیکا با تلفات کم ارائه شد [۶]. این روش شامل پیچیدن فیبر نوری مخروطی با قطر میکرومتر در اطراف نوک داغ یا قوت کبود و کشیدن آن و رسیدن به نانوفیبر است.

۱-۱ مقایسه فیبرهای نانو- میکرونی با فیبرهای معمولی

در شکل ۱-۱ یک برش مقطعی از یک فیبر نوری با شاخص پله‌ای را نشان داده‌ایم که شامل مغزی استوانه‌ای است که توسط غلافی با ضریب شکست نسبتاً کمتر احاطه شده است. معمولاً قطر مغزی از چند میکرومتر تا چند صد میکرومتر تغییر

1. Micrometer-Nanometer Fiber [MNF]
2. Bottom-up
3. Laser Ablation
4. Vapour-liquid-solid Deposition

می‌کند. در شکل ۱-۲ الف نشان می‌دهیم که نور در طول فیبر محصور می‌شود و توسط بازتاب داخلی کلی در داخل فیبر هدایت می‌شود.



شکل ۱-۱: برش عرضی از یک فیبر نوری استاندارد [۷].

در ناحیه بازتاب که نور به سطح مشترک مغزی و غلاف بر خورد می‌کند مقدار مشخصی از نور در مرز مشترک نفوذ می‌کند و به صورت میدان میرا در غلاف منتشر می‌شود و سرانجام به داخل مغزی باز می‌گردد. وقتی که قطر مغزی کاهش می‌یابد نور بارها به مرز مشترک نفوذ می‌کند و احتمال انتشار در بیرون از مغزی به صورت امواج میرا افزایش می‌یابد که در شکل ۱-۲ ب نشان داده شده است. حال اگر قطر مغزی کوچکتر از طول موج نور می‌شود سهم قابل توجهی از توان نوری بیرون از مغزی منتشر می‌شود که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

برای رسیدن به درجه معینی از محصورشدگی نور در یک فیبر که قطر مغزی آن کمتر از طول موج نور است، اختلاف زیاد بین ضرایب شکست مغزی و غلاف مورد نیاز است. وقتی که ضریب شکست فیبر نوری بالا نباشد مواد با ضریب شکست پائین مثل هوا، خلأ، آب یا پلیمرها معمولاً به عنوان غلاف استفاده می‌شوند.