بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بهینه سازی پاشیدگی رنگی در فیبرهای با ساختار ریز مبتنی بر شیشه چلکوجناید

نگارش

مسلم دکامین

استاد راهنما: دکتر محمود صیفوری

استاد مشاور: دکتر سعید علیایی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق

شهریور ماه ۱۳۹۳

باسمه تعالی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **مسلم دکامین** متعهد می‌شوم کـــــه مطالب منـــــدرج در ایـن پایان‌نامه/رساله حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستـاوردهای پژوهشی دیگـران که در این پژوهش از آن ها استفاده شده است، مطابق مقـــررات، ارجاع و در فهرست منـــابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه/رساله قبلاً برای احراز هیچ مـدرک هم سطـح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

تقدیم به

ساحت مقدس آقا امام زمان (عج) و

روح بلند مادرم که در تمامی لحضهای عمر کوتاهش با تلاش و عشق به فرزندانش زینه های

پیشرفت را برای ما فراهم کرد.

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران به درگاه خداوند مهربان که توفیق تدوین این رساله را عنایت فرمود و در این مرحله نیز همچون مراحل پیشین زندگی الطاف بیپایانش را شامل حالمان نمود.

بی تردید قدم نهادن در این مسیر بدون راهنمایی و نظارت استاد بزرگوار جناب آقای دکتر محمود صیفوری که همواره با نظرها و پیشنهادهای خود مسیر دستیابی به اهداف را هر چه بیشتر هموار نمودند، امکانپذیر نبود. با سپاس از تلاشها و نکتههای بیدریغشان، امیدوارم که همیشه توفیق رفیق راهشان باشد. از استاد مشاور گرانقدر جناب آقای دکتر سعید علیائی که همواره راهنمای بنده بودند و با وجود مشغله کاری بسیار همیشه پاسخگوی سؤالات من بودند و تجربیات گرانقدر خود را در اختیار اینجانب قرار دادند، بسیار تشکر می کنم.

چکیده

آینده‌ی شبکه‌ها و سیستم‌های پرسرعت نوری به گسترش روش‌های پردازش سیگنال‌های نوری وابسته است. از میان انواع پردازنده‌های نوری، پردازنده‌های مبتنی بر فیبر نوری کم هزینه و سریع هستند. تاکنون انواع مختلفی از فیبرهای نوری ریزساختار مبتنی بر سیلیکا برای استفاده در فرآیندهای پردازش نوری مطرح شده‌اند. اما به‌علت این‌که ضریب شکست خطی و غیرخطی و شفافیت سیلیکا در طول‌موج‌های فروسرخ پایین است، تحقیق‌های بسیاری به‌منظور جایگزینی مواد غیرسیلیکا مثل تلورایت، ترکیب‌های فلوئور و چلکوجناید برای استفاده در فیبرهای ریز ساختار انجام شده است. شیشه‌ی چلکوجناید به‌علت داشتن ضریب خطی و غیرخطی بالاتر نسبت به سایر مواد و همچنین شفافیت بالا در محدوده‌ی طول‌موج‌های فروسرخ، مورد توجه بیشتر گروه-های علمی قرار گرفته است. در کاربردهای نور غیرخطی مثل تولید ابرپیوستار به فیبر ریزساختار با ویژگی پاشیدگی صاف در محدوده‌ی وسیعی از طول موج‌ها و ضریب غیرخطی بالا نیاز است. درصورت استفاده از فیبرهای ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید، می‌توان با تنظیم ابعاد هندسی فیبر مثل قطر (d) و فاصله‌ی بین حفره‌های پوشش (Λ) در طول‌موج‌های فروسرخ نزدیک و مرئی پاشیدگی صاف و صفر ایجاد کرده و ضریب غیرخطی فیبر را برای استفاده در کاربردهای نور غیرخطی افزایش داد. علاوه بر ابعاد هندسی فیبر، ضریب شکست موثر فیبر نیز در کنترل مشخصه‌ی پاشیدگی موثر است. برای تنظیم ضریب شکست موثر فیبر از ساختارهای هیبریدی استفاده می‌شود. در ساخت فیبرهای هیبریدی علاوه بر چلکوجناید از موادی مانند تلورایت در پوشش فیبر استفاده می‌شود. به‌علت انعطاف‌پذیری بالایی که در طراحی و ساخت فیبرهای ریزساختار وجود دارد، هر یک از ابعاد هندسی فیبر در کنترل مشخصه‌های نوری بویژه پاشیدگی موثر هستند. از این‌رو می‌توان از حفره‌هایی که توسط مواد پلیمری پر شده است برای کنترل مشخصه‌های نوری فیبر استفاده نمود. در این پایان‌نامه با استفاده از روش عددی چند قطبی و نرم‌افزار Cudos Mof چهار ساختار متفاوت با ویژگی‌های پاشیدگی متفاوت برای استفاده در کاربردهای غیرخطی و جبران پاشیدگی طراحی شده است. در طراحی اول، فیبر ریزساختار هیبریدی دایره‌ای چلکوجناید- تلورایت مطرح شده است که در طول‌موج μm ۱/۵۵ پاشیدگی $ps/nm/km$ ۸ دارد. طراحی دوم فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 با پوشش چندگانه است که در محدوده‌ی طول‌موج‌های بین μm ۱۸ – ۸/۸ دارای پاشیدگی صاف با مقدار $ps/nm/km$ ۵- است. در طراحی سوم با استفاده از فیبر ریزساختار هیبریدی سیلیکا – چلکوجناید پاشیدگی منفی $ps/nm/km$ ۲۴۵۰- برای جبران پاشیدگی سیستم‌های انتقال نوری ایجاد شده است. در طراحی چهارم با استفاده از پنج حلقه‌ی شش‌گوش در پوشش فیبر پاشیدگی صاف در محدوده‌ی طول‌موج‌های μm ۱۸ – ۳/۵ ایجاد شده است.

کلید واژه‌ها: فیبر نوری ریزساختار، شیشه‌های چلکوجناید، پاشیدگی صاف، ساختار هیبریدی، جبران پاشیدگی، حلقه‌های شش‌گوش.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : معرفی شیشه‌های چلکوجناید ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ معرفی شیشه های چلکوجناید ۳

۱-۳ بررسی مشخصه‌های نوری شیشه‌های چلکوجناید ۳

۱-۳-۱ شفافیت ۴

۱-۳-۲ ضریب شکست خطی ۴

۱-۳-۳ ضریب شکست غیرخطی ۶

۱-۳-۴ تلفات نوری ۷

۱-۳-۵ ضریب جذب ۷

۱-۴ محدودیت‌های ترکیب‌های چلکوجناید ۸

۱-۵ خالص‌سازی شیشه چلکوجناید ۸

۱-۶ نتیجه‌گیری ۱۰

فصل دوم : معرفی فیبرهای ریزساختار ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ معرفی فیبرهای ریزساختار ۱۳

۲-۳ ویژگی فیبرهای ریزساختار ۱۵

۲-۴ شیشه‌های سازنده فیبرهای ریزساختار ۱۵

۲-۵ کاربرد فیبرهای ریزساختار ۱۶

۲-۵-۱ کاربرد در حسگرها ۱۶

۲-۵-۲ کاربردهای نظامی ۱۷

۲-۵-۳ کاربردهای پزشکی ۱۷
۲-۶ هدایت نور در فیبرهای ریزساختار ۱۷
۲-۶-۱ هدایت نور بر اساس بازتاب داخلی کلی ۱۷
۲-۶-۲ هدایت نور بر اساس شکاف باند فوتونی ۱۸
۲-۷ انواع فیبرهای ریزساختار از نظر نوع هسته ۱۸
۲-۷-۱ فیبر ریزساختار با هسته‌ی جامد ۱۹
۲-۷-۲ فیبر ریزساختار با هسته‌ی توخالی ۱۹
۲-۷-۲-۱ فیبرهای ریزساختار هیبریدی ۲۰
۲-۸ ساخت فیبر ریزساختار مبتنی بر شیشه‌ی چلکوجناید ۲۲
۲-۸-۱ روش‌های ساخت فیبر ریزساختار مبتنی بر شیشه چلکوجناید ۲۲
۲-۸-۲ ساخت فیبرهای ریزساختار هیبریدی ۲۴
۲-۹ اثرهای غیرخطی ۲۶
۲-۹-۱ پراکندگی بریلیون ۲۷
۲-۹-۲ پراکندگی القایی رامان ۲۸
۲-۹-۳ مدولاسیون خودفازی ۲۹
۲-۹-۴ ترکیب چهار موج ۳۰
۲-۹-۵ مدولاسیون فاز متقاطع ۳۱
۲-۱۰ تولید ابرپیوستار ۳۲
۲-۱۱ نتیجه‌گیری ۳۴

فصل سوم : مشخصه‌های نوری فیبرهای ریزساختار ۳۵

۳-۱ مقدمه ۳۶
۳-۲ پاشیدگی ۳۷
۳-۲-۱ پاشیدگی بین‌مودی ۳۷

۳-۲-۲ پاشیدگی درون مودی ۳۸
۳-۲-۳ پاشیدگی ماده ۳۸
۳-۲-۴ پاشیدگی موجبر ۳۹
۳-۳ پاشیدگی کل فیبر ۴۰
۳-۴ جبران پاشیدگی در فیبر ۴۱
۳-۴-۱ جبران پاشیدگی با استفاده از شبکه براگ ۴۲
۳-۴-۲ جبران پاشیدگی با استفاده از فیبرهای جبران پاشیدگی ۴۲
۳-۴-۳ شرایط برای جبران پاشیدگی ۴۵
۳-۵ روش‌های ایجاد پاشیدگی صاف در فیبرهای ریزساختار ۴۷
۳-۵-۱ کنترل پاشیدگی توسط فیبرهای هیبریدی ۴۸
۳-۵-۲ کنترل پاشیدگی توسط حفره‌های هوایی متفاوت در پوشش فیبر ۴۹
۳-۶ سطح فعال ۵۰
۳-۷ غیرخطی ۵۱
۳-۸ تلفات تحدید ۵۱
۳-۹ روش‌های آنالیز مشخصه‌های نوری فیبرهای ریزساختار ۵۲
۳-۹-۱ روش چند قطبی ۵۲
۳-۹-۱-۱ فرمول‌بندی روش چند قطبی ۵۲
۳-۱۰ نتیجه‌گیری ۵۶

فصل چهارم : بررسی مشخصه‌های نوری فیبرهای ریزساختار مبتنی بر شیشه‌ی چلکوجناید ۵۷

۴-۱ مقدمه ۵۸
۴-۲ فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 با حلقه‌های هوایی چندگانه در پوشش ۵۹
۴-۳ فیبر ریزساختار با پوشش ترکیبی از تلورایت و حفره‌های هوایی ۶۱

۴-۴ فیبر ریزساختار هیبریدی با پوشش تلورایت و ۱۲ حفره‌ی هوایی ۶۳
۴-۵ فیبر ریزساختار هیبریدی با ترکیب تلورایت و شش حفره‌ی هوایی در پوشش ۶۵
۴-۶ فیبر ریزساختار چلکوجناید-تلورایت و چهار حفره‌ی هوایی در پوشش ۶۹
۴-۷ فیبر ریزساختار با هسته‌ی چلکوجناید و سه حفره‌ی هوایی در پوشش ۷۲
۴-۸ نتیجه‌گیری ۷۴
فصل پنجم : طراحی و شبیه‌سازی فیبر ریزساختار مبتنی بر شیشه‌ی چلکوجناید ۷۵
۵ -۱ مقدمه ۷۶
۵-۲ فیبر ریزساختار هیبریدی دایره‌ای چلکوجناید - تلورایت ۷۷
۵-۳ فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 با پوشش چندگانه (MC-MOF) ۷۹
۵-۴ فیبر ریزساختار هیبریدی سیلیکا – چلکوجناید (C-MOF) ۸۴
۵-۵ فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای (As_2Se_3 MOF) ۹۰
۵-۶ نتیجه‌گیری ۹۴
فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۹۵
۶-۱ نتیجه‌گیری ۹۶
۶-۲ پیشنهادها ۹۷
منابع و ماخذ ۹۸

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱- ۱محدوده‌ی طیفی شفافیت ترکیب‌های چلکوجناید ۴

شکل ۱-۲ ضریب شکست وابسته به طول موج شیشه‌های چلکوجناید ۵

شکل ۱-۳ مقایسه‌ی ضریب غیر خطی فیبر سیلیکا و فیبر As_2Se_3 .....۶

شکل۱-۴ محدوده‌ی طیفی تلفات شیشه‌های چلکوجناید ۷

شکل ۱-۵ ضریب جذب ترکیبات چلکوجناید در طیف گسترده ای از طول موج ۸

شکل ۱-۶ سیستم مورد نیاز جهت تصفیه‌ی شیشه‌ی چلکوجناید ۹

شکل ۱-۷ زمان‌بندی گرمادهی به محفظه‌ی سیلیکا در فرآیند خالص سازی شیشه‌ی چلکوجناید.....۱۰

شکل ۲-۱ ساختار هندسی فیبر ریزساختار ۱۳

شکل ۲-۲ سطح مقطع چند نمونه فیبر ریزساختار با شبکه‌های هوایی مختلف ۱۴

شکل ۲-۳ سطح مقطع فیبر ریزساختار با تعداد حفره‌های هوایی متعدد ۱۵

شکل ۲-۴ سطح مقطع نخستین فیبرهای ریزساختار مبتنی بر شیشه‌ی چلکوجناید ۱۶

شکل ۲-۵ هدایت نور بر اساس الف) بازتاب داخلی کلی ب) شکاف باند فوتونی ۱۸

شکل ۲-۶ سطح مقطع فیبر ریزساختار با هسته‌ی جامد ۱۹

شکل ۲-۷ سطح مقطع فیبر ریزساختار توخالی ۲۰

شکل ۲-۸ سطح مقطع فیبر ریزساختار هیبریدی ۲۱

شکل ۲-۹ سطح مقطع فیبر ریزساختار هیبریدی چلکوجناید – تلورایت ۲۱

شکل ۲-۱۰ سطح مقطع چند نمونه فیبر با پوشش هیبریدی ۲۲

شکل ۲-۱۱ چینش حفره‌های پوشش در فیبر ریزساختار ۲۳

شکل ۲-۱۲ مراحل کشش-پشته‌کردن درساخت فیبر ریزساختار ۲۳

شکل ۲-۱۳ پرکردن حفره‌های هوایی فیبر توسط مواد پلیمری ۲۴

شکل ۲-۱۴ مراحل ساخت فیبر ریزساختار هیبریدی چلکوجناید-تلورایت ۲۵

شکل ۲-۱۵سطح مقطع فیبرهای ریزساختار با حفره‌های تفییر شکل یافته ۲۵

شکل ۲- ۱۶ نمودار پراکندگی بریلیون بر حسب توان پمپ شده به فیبر ۲۷

شکل ۲-۱۷ مقایسه‌ی طیف رامان $As_{40}S_{60}$, $As_{40}Se_{60}$ و سیلیکا ۲۸

شکل ۲-۱۸ پراکندگی القایی رامان مربوط به AsSe ۲۹

شکل ۲-۱۹ طیف خروجی ناشی از مدولاسیون خودفاز ۲۹

شکل ۲-۲۰ طیف خروجی فیبر بعد از انجام اثر ترکیب چهار موج ۳۰

شکل ۲-۲۱ پهن شدن طیف نوری به علت مدولاسیون فازی متقاطع ۳۲

شکل ۲-۲۲ طیف خروجی فیبر As_2Se_3 ناشی از مدولاسیون فازی متقاطع ۳۲

شکل ۲-۲۳ منحنی تولید ابرپیوستار برای چند کریستال فوتونی چلکوجناید ۳۳

شکل ۳-۱رابطه‌ی پاشیدگی کل با پاشیدگی موجبر و پاشیدگی ماده ۴۰

شکل ۳-۲ تداخل ناشی از پاشیدگی رنگی در انتقال داده‌های نوری ۴۱

شکل۳-۳ نمایی از شیارهای شبکه‌ی براگ ۴۲

شکل۳-۴ عمل فیلتر کردن باند باریکی از طول موج‌ها توسط شبکه‌ی براگ ۴۳

شکل ۳-۵ جبران پاشیدگی در فیبر نوری ۴۳

شکل ۳-۶ سطح مقطع فیبر ریزساختار با پاشیدگی ps/nm/km ۱۴۴۵- ۴۴

شکل ۳-۷ سطح مقطع فیبر با پاشیدگی ps/nm/km ۵۵۵/۹۳- ۴۴

شکل ۳-۸ سطح مقطع فیبر با پاشیدگی ps/nm/km ۵۸۸- ۴۵

شکل۳-۹ منحنی پاشیدگی و RDS فیبر جبران پاشیدگی ۴۶

شکل ۳-۱۰سطح مقطع فیبر ریزساختار هیبریدی چلکوجناید-سیلیکا ۴۸

شکل ۳-۱۱ سطح مقطع فیبرهای ریزساختار هیبریدی با پوشش تلورایت ۴۸

شکل ۳-۱۲ سطح مقطع فیبر ریزساختار با شبکه‌های هوایی متعدد ۴۹

شکل ۳-۱۳ سطح مقطع فیبر بیضوی با حفره‌های بیضوی ۴۹

شکل ۳-۱۴ سطح مقطع چند فیبر ریزساختار با سطح فعال مختلف ۵۰

شکل ۳-۱۵ ساختارهای متفاوت جهت کاهش تلفات تحدید الف) حفره‌های هوایی با قطر مختلف ب) استفاده از تلورایت در ترکیب پوشش ۵۲

شکل ۳-۱۶ تاثیر متقابل میدان‌های الکترومغناطیسی حفره‌های پوشش ۵۳

شکل ۳-۱۷ فیبر ریزساختار در راستار محورهای مختصات ۵۳

شکل ۳-۱۸ ابعاد سطح مقطع فیبر ریزساختار ۵۴

شکل ۴-۱ فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 با حلقه‌های هوایی چندگانه در پوشش ۵۹

شکل۴-۲ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار As_2Se_3 با حلقه های هوایی چندگانه ۵۹

شکل ۴-۳ منحنی ضریب غیرخطی فیبر با پوشش چندگانه ۶۰

شکل ۴-۴ سطح موثر فیبر ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید ۶۱

شکل ۴-۵ منحنی تلفات تحدید فیبر با پوشش چندگانه ۶۱

شکل ۴-۶ سطح مقطع فیبر ریزساختار با پوشش تلورایت ۶۲

شکل ۴-۷ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار با پوشش تلورایت ۶۳

شکل۴-۸ سطح مقطع فیبر ریز ساختار هیبریدی چلکوجناید-تلورایت ۶۴

شکل ۴-۹ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار هیبریدی ۶۴

شکل ۴-۱۰ منحنی پاشیدگی و سطح فعال فیبر هیبریدی با دوازده حفره‌ی هوایی ۶۵

شکل ۴-۱۱ سطح مقطع فیبر هیبریدی با شش حفره‌ی هوایی ۶۶

شکل ۴-۱۲ منحنی پاشیدگی فیبر هیبریدی با ابعاد هندسی $\Lambda = H = \lambda_1$ µm و $D = 0.5 - 1$ µm.....۶۶

شکل ۴-۱۳ منحنی پاشیدگی ساختار برای $D = 0.8$ µm, $\Lambda = 0.9$ µm و $H = 0.4 - 1$ µm ۶۷

شکل ۴-۱۴ منحنی پاشیدگی فیبر با ابعاد $D = H = 0.8$ µm و $\Lambda = 0.9 - 1.4$ µm ۶۸

شکل ۴-۱۵ پاشیدگی فیبر با ابعاد $D = 0.645$ µm، $H = 0.542$ µm و $\Lambda = 0.745$ µm ۶۸

شکل ۴-۱۶ تاثیر تعداد حفره‌های هوایی بر پاشیدگی فیبر هیبریدی ۶۹

شکل ۴-۱۷ سطح مقطع فیبر ریزساختار چلکوجناید-تلورایت ۷۰

شکل ۴-۱۸ منحنی پاشیدگی فیبر با ابعاد $d = 0.8 - 1.3$ µm و$\Delta n = 0.25$ ۷۰

شکل ۴-۱۹ منحنی پاشیدگی فیبر هیبریدی با ابعاد $d = 0.8 - 1.3$µm و $\Delta n = 0.45$ ۷۱

شکل ۴-۲۰ منحنی پاشیدگی فیبر با $d = 0.8 - 1.3$µm و $\Delta n = 0.7$ ۷۲

شکل ۴-۲۱ سطح مقطع فیبر ریزساختار مبتنی بر $As_{38}Se_{62}$ ۷۳

شکل ۴-۲۲ منحنی پاشیدگی رنگی و پاشیدگی ماده‌ی فیبر ریزساختار مبتنی بر $As_{38}Se_{62}$ ۷۳

شکل ۵-۱ سطح مقطع فیبر ریزساختار هیبریدی دایره‌ای ۷۷

شکل ۵-۲ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار هیبریدی دایره‌ای ۷۸

شکل ۵-۳ منحنی تلفات تحدید فیبر هیبریدی ۷۹

شکل ۵-۴ سطح مقطع فیبر ریزساختار با پوشش چندگانه ۷۹

شکل ۵-۵ منحنی پاشیدگی فیبر با پوشش چندگانه برای $\Lambda = 0.3$ µm و $d_1 = 0.3, 0.4, 0.5$ µm ۸۰

شکل ۵-۶ منحنی پاشیدگی مربوط به ساختار با ابعاد $d_{i+1} = 0.3 + (i \times 0.1)$ µm و $\Lambda = 1.5, 2.3, 3$µm ۸۱

شکل ۵-۷ منحنی پاشیدگی فیبر با ابعاد $d_6 = d_7 = 0.45, 0.7\ \mu m$ و $\Lambda = 3\mu m$ ۸۱

شکل ۵-۸ تلفات تحدید فیبر با ابعاد $\Lambda = 3\mu m$ و $d_1 = 0.3\ \mu m$ ۸۲

شکل ۵-۹ ضریب غیر خطی فیبر با ابعاد $\Lambda = 3\mu m$ و $d_1 = 0.3\ \mu m$ ۸۲

شکل ۵-۱۰ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار در طول موج‌های مخابراتی ۸۳

شکل ۵-۱۱سطح موثر فیبر برای $\Lambda = 1.5, 2.3, 3\ \mu m$ ۸۳

شکل ۵-۱۲سطح مقطع عرضی فیبر ریزساختار دایره‌ای ۸۵

شکل ۵-۱۳ توزیع شدت میدان و ضریب شکست موثر مود هدایت شده‌ی فیبر دایره‌ای ۸۶

شکل ۵-۱۴ منحنی پاشیدگی منفی C-MOF..... ۸۶

شکل ۵-۱۵ منحنی RDS مربوط به C-MOF ۸۶

شکل ۵-۱۶ پاشیدگی C-MOF به‌ازای تغییر قطر حفره‌های پوشش به مقدار $\Delta d = 0.05\ \mu m$ ۸۷

شکل ۵-۱۷ تاثیر افزایش R_1 بر مقدار پاشیدگی C-MOF ۸۷

شکل ۵-۱۸ تاثیر افزایش R_2 بر مقدار پاشیدگی C-MOF ۸۸

شکل ۵-۱۹ تاثیر افزایش R_3 بر مقدار پاشیدگی C-MOF ۸۸

شکل ۵-۲۰ تلفات تحدید فیبرC-MOF ۸۸

شکل ۵-۲۱ سطح موثر فیبر C-MOF ۸۹

شکل ۵-۲۲ منحنی ضریب غیرخطی C-MOF ۸۹

شکل ۵-۲۳ سطح مقطع عرضی فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای ۹۰

شکل ۵-۲۴ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای ۹۱

شکل ۵-۲۵ منحنی ضریب غیرخطی فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای ۹۲

شکل ۵-۲۶ منحنی سطح موثر فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای ۹۲

شکل ۵-۲۷ منحنی تلفات تحدید فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای ۹۳

شکل ۵-۲۸ منحنی پاشیدگی فیبر ریزساختار مبتنی بر As_2Se_3 و پوشش ۵ حلقه‌ای در محدوده‌ی طول موج های مخابراتی ۹۳

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱ضریب شکست خطی شیشه‌های چلکوجناید در طول‌موج‌های مختلف ۵

جدول ۱-۲ ضریب شکست غیر خطی (n_2) شیشه‌های چلکوجناید.....۶

جدول ۵-۱ مقایسه‌ی مشخصه‌های نوری MC-MOF و ساختارهای [۲۴]، [۴۱] ۸۴

جدول ۵-۲ مقایسه‌ی مشخصه‌های نوری C-MOF با چند نمونه DCF ۹۰

جدول ۵-۳ مقایسه‌ی مشخصه‌های نوری As_2Se_3 MOF و ساختار [۳۰] ۹۴

پیش گفتار

فیبرهای ریزساختار نخستین بار در سال ۱۹۷۰ مورد بررسی قرار گرفتند [۱]. بعد از گذشت چندین سال، پیشرفت در فناوری ساخت منجر به گسترش نمونه‌های جدید فیبرهای ریزساختار شد [۲-۵]. با استفاده از فیبرهای استاندارد معمولی امکان دست‌یابی به فیبرهایی با ویژگی‌های خاص و سودمند وجود ندارد. فیبر ریزساختار انعطاف پذیری در تعیین مشخصه‌های نوری مثل پاشیدگی و ضریب غیرخطی را افزایش می‌دهد [۶-۸]. فیبرهای ریزساختار به دو دسته‌ی فیبرهای هدایت نمایه و فیبرهای شکاف باند فوتونی تقسیم‌بندی می‌شوند. در فیبرهای ریزساختار هدایت نمایه نور بر اساس اصل بازتاب داخلی کلی درون فیبر هدایت می‌شود در حالی‌که هدایت نور در فیبرهای ریزساختار شکاف باند فوتونی بر اساس بازتاب ضد رزونانس موجبر نوری توجیه می‌شود [۹]. فیبرهای ریزساختار شکاف باند فوتونی به‌طور معمول دارای هسته‌ی هوایی هستند که این هسته‌ی هوایی باعث کاهش اثرهای غیرخطی و تلفات ماده در این نوع فیبرها می‌شود. کاهش ضریب غیرخطی در تحویل توان نورهای لیزری و سیستم‌های ارتباطی نوری بسیار مهم است. در فیبرهای ریزساختار هدایت نمایه با هسته‌ی جامد، کنترل مشخصه‌های نوری مثل ضریب غیرخطی، سطح موثر و پاشیدگی امکان‌پذیر است. فیبرهای ریزساختار با هسته‌ی جامد با ویژگی‌های نوری پاشیدگی صاف و ضریب غیرخطی بالا برای کاربردهای نور غیرخطی مثل تولید ابرپیوستار مناسب هستند [۹-۱۱].

تحقیق‌های بسیاری در مورد فیبرهای ریزساختار سیلیکا انجام شده است. با این وجود شیشه‌ی سیلیکا در طول موج‌های بزرگتر از ۲ µm تلفات ماده‌ی بالا و شفافیت پایینی دارند و برای انتقال نور در طول‌موج‌های محدوده‌ی فروسرخ استفاده نمی‌شوند [۱۲]. با گسترش طول‌موج‌های مورد استفاده در کاربردهای نوری به درون محدوده‌ی فروسرخ، تحقیق‌های بسیاری در مورد مواد مختلف به‌منظور جایگزین کردن شیشه‌ی سیلیکا انجام شد. از بین مواد مختلف، شیشه‌های چلکوجناید به سبب ویژگی‌های نوری منحصر به‌فرد شفافیت و ضریب غیرخطی بالا و تلفات پایین در محدوده‌ی طول‌موج‌های فروسرخ مورد توجه گروه‌های علمی قرار گرفتند [۱۳].

شیشه‌های چلکوجناید از ترکیب عناصر سولفور، سلنیم و تلوریم و اضافه‌کردن عناصری مثل ژرمانیم، آرسنیک و آنتیموان ایجاد می‌شوند. شیشه‌های چلکوجناید بسته به ترکیب شیمیایی که دارند، دارای ضریب شکست خطی بین ۳/۷ – ۲/۴ هستند [۱۴]. شیشه‌های چلکوجناید دارای شفافیت و ضریب غیرخطی بالا و تلفات پایینی در محدوده‌ی طول موج‌های مرئی تا فروسرخ متوسط (۰/۶-۲۰µm) هستند [۱۵]. این ویژگی‌های نوری در کاربردهای نور غیرخطی بسیار مفید هستند. فیبرهای ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید برای کاربردهای سنجش مثل حسگرهای شیمیایی و بیوشیمیایی، تشخیص و درمان پزشکی مثل عکس‌برداری پزشکی و جراحی لیزری و کاربردهای نظامی مثل انتقال لیزر Co_2 با توان بالا مناسب هستند[۱۶-۱۸].

ابعاد هندسی فیبرهای ریزساختار مثل قطر حفره‌های پوشش (d)، فاصله‌ی بین مرکز حفره‌های پوشش(Λ)، تعداد و شکل حفره‌های پوشش در تعیین و تنظیم مشخصه‌های نوری موثر هستند. با تنظیم ابعاد هندسی طراحی ساختارهایی با پاشیدگی صاف و ضریب غیرخطی بالا و تلفات تحدید کم امکان‌پذیر است. چنان‌چه بیشتر فضای پوشش فیبر ریزساختار توسط حفره‌های هوایی پر شوند، ارتباط هسته با پوشش فیبر کمتر شده و درنتیجه نور کمتری به فضای پوشش نفوذ کرده و تلفات تحدید کاهش می‌یابد [۱۹]، [۲۰]. فیبرهای ریزساختار با پاشیدگی منفی بالا برای جبران پاشیدگی در سیستم‌های انتقالی نوری استفاده می‌شوند. زیرا فیبرهای ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید به علت داشتن ضریب شکست بالا قابلیت ایجاد پاشیدگی منفی بالا را دارند [۲۱]. با تنظیم اختلاف بین ضریب شکست هسته و پوشش فیبر با استفاده از ساختارهای هیبریدی چلکوجناید - تلورایت، ایجاد پاشیدگی صاف و ضریب غیرخطی بالا امکان‌پذیر است. پر کردن حفره‌های پوشش فیبرهای ریزساختار سیلیکا با استفاده از شیشه‌ی چلکوجناید نیز در کنترل مشخصه‌های نوری فیبر ریزساختار موثر است [۲۲-۲۴].

با استفاده از ترکیب چلکوجناید – تلورایت در فیبر ریزساختار پاشیدگی صاف برای استفاده در تولید ابرپیوستار در محدوده طول‌موج‌های ۲/۵ μm – ۱/۵ و پاشیدگی صفر در طول‌موج‌های مخابراتی طراحی شده است [۲۳].

با استفاده از تلورایت در پوشش فیبر ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید، ساختار با ضریب غیرخطی $۸۶۰۰۰\ w^{-1}m^{-1}$ در ۱/۵۵ μm و پاشیدگی ۳۲ – ۲۰- ps/nm/km در طول‌موج‌های بین ۳/۸ μm – ۱/۵ مطرح شده است [۲۴].

ساختارهایی با پوشش چندگانه برای تنظیم سطح موثر فیبر و ایجاد پاشیدگی صاف در طول‌موج‌های بین ۲/۴ μm – ۰/۸ نیز طراحی شده است [۲۵].

هدف این پایان‌نامه کنترل پاشیدگی رنگی فیبرهای ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید است. برای رسیدن به این هدف از ساختارهایی با پوشش‌هایی از حفره‌های هوایی با قطرهای مختلف و ساختارهای هیبریدی استفاده شده است. در این پایان‌نامه ساختارهایی با پاشیدگی صاف در محدوده‌ی وسیعی از طول‌موج‌ها (۱۸ μm - ۳/۸) جهت استفاده در تولید ابرپیوستار و ساختاری با پاشیدگی منفی بالا ۲۴۵۰- ps/nm/km- جهت جبران پاشیدگی سیستم‌های انتقال نوری طراحی شده است.

بخش‌های باقی‌مانده در این پایان‌نامه به شرح زیر سازماندهی شده است:

بخش دوم به معرفی شیشه‌های چلکوجناید و ویژگی‌های نوری آنها اختصاص داده شده است. فیبرهای ریزساختار و انواع آنها و مشخصه‌های نوری فیبرهای ریزساختار و روش‌های عددی محاسبه‌ی میدان‌های الکترومغناطیسی و ثابت انتشار در بخش سوم توضیح داده می‌شوند. در بخش چهارم تعدادی از فیبرهای

ریزساختار مبتنی بر چلکوجناید که در برخی از منابع این پایان‌نامه مطرح شده‌اند، بررسی شده است. ساختارهای پیشنهاد شده در این پایان‌نامه در بخش پنجم مطرح می‌شوند. بخش ششم شامل خلاصه‌ای از نتایج اصلی این پایان‌نامه و پیشنهادهایی جهت استفاده از شیشه‌های چلکوجناید در طراحی فیبرهای ریزساختار است.

فصل اول

معرفی شیشه‌های چلکوجناید