بسم اللہ الرحمن الرحیم

باسمه تعالی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **رحمان کلهر** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه که حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

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

نام ونام خانوادگی دانشجو

رحمان کلهر

دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر

بهبود تولید طیف ابرپیوستار با فیبرهای کریستال فوتونی

نگارش

رحمان کلهر

استاد راهنما : دکتر محمود صیفوری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق – الکترونیک

شهریور ۱۳۹۳

شماره : ۱۳۹۳۱۶
تاریخ : ۹۴/۱۱/۷
پیوست :

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای رحمان کلهر رشته مهندسی برق- الکترونیک تحت عنوان «بهبود تولید طیف ابر پیوستار با فیبرهای کریستال فوتونی» در تاریخ ۱۳۹۳/۰۷/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی برگزار گردید و نتیجه به شرح ذیل می‌باشد.

☑ قبول (با درجه ....خوب..... امتیاز ۱۷/۱۰) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود

۱. عالی (۲۰-۱۹)
۲. بسیار خوب (۱۸،۹۹-۱۸)
۳. خوب (۱۷،۹۹-۱۶)
۴. قابل قبول (۱۵،۹۹-۱۴)
۵. غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر محمود صیفوری	استادیار	
داور داخلی	دکتر سعید علیایی	دانشیار	
داور خارجی	دکتر ابوالفضل چمن مطلق	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر سعید علیایی	دانشیار	

دکتر شهریار شیروانی مقدم
رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تهران،لویزان،کد پستی:۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email: sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

مولای متقیان امام علی علیه السلام:

(من علمنی حرفا فقد صیرنی عبدا)

بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید گرانقدرم در دانشگاه شهید رجایی و همچنین آقای دکتر حامد سقایی و رهنمودهای بسیار سازنده و مفیدشان، تشکر و قدردانی نمایم. سلامتی و توفیق روزافزون ایشان را از درگاه خداوند متعال خواهانم.

چکیده

طیف ابرپیوستار یک طیف همدوس با پهنای باند وسیع است که با عبور یک پالس فوق العاده کوتاه با توان نسبتا بالا، از یک فیبر نوری، به دلیل ظاهر شدن اثرات غیر خطی در آن تولید می‌شود. بهینه سازی این طیف با فیبر کریستال فوتونی و کنترل دو پارامتر پاشیدگی و اثرات غیرخطی، امکان پذیر است. اگر نسبت قطر حفره‌های هوا به ثابت شبکه کوچکتر شود، پاشیدگی تخت با کمینه ممکن حاصل شده و با افزایش اندازه حفره‌ها، شیب پاشیدگی کاهش یافته ولی تعداد مودهای انتشار و ضریب غیرخطی و تلفات محصورشدگی افزایش می‌یابد. بنابراین با مصالحه بین پاشیدگی، تعداد مودها، تلفات و اثرات غیر خطی می‌توان محدوده طیف ابرپیوستار را افزایش داد. در این پایان نامه، نقش ضرایب مراتب بالای پاشیدگی و اثرات غیرخطی شامل، مدولاسیون خودفازی، پراکندگی رامان و اثر خودتیزی در معادله غیر خطی شرودینگر بررسی و با استفاده از ساختار شش وجهی فیبر کریستال فوتونی در بستر سیلیکا، با طراحی مناسب پاشیدگی موجبر، پاشیدگی ماده خنثی شده و در ساختار اول با استفاده از قطر حفره‌های هوایی یکسان ۰/۴۱ میکرومتر و ثابت شبکه ۱میکرومتر، مقدار بیشینه پاشیدگی(ps/nm.km) ۷ و شیب نسبتا تخت در ناحیه پاشیدگی غیرعادی و محدوده وسیع ۱/۱ میکرومتر تا ۱/۷ میکرومتر، بصورت تک مود، طراحی و با عبور یک پالس لیزری ۲۸ فمتوثانیه‌ای و توان بیشینه ۱۰ کیلو وات در این فیبر به طول ۳۰ سانتی‌متر، طیف ابرپیوستار در محدوده پنجره مخابراتی ۱/۴۲ میکرومتر تا ۱/۶۵ میکرومتر شبیه‌سازی شده است. در طراحی دوم نیز، با حفره‌های غیریکسان و ثابت شبکه ۲/۰۸ میکرومتر، مقدار بیشینه پاشیدگی (ps/nm.km)۰/۷ در محدوده ۱/۲ میکرومتر تا ۱/۶ میکرومتر ضمن عملکرد تک مود و شیب تخت، ضریب غیرخطی ۰/۰۱۹ حاصل شد و با عبور یک پالس لیزری ۲۸ فمتوثانیه‌ای و توان بیشینه ۵ کیلو وات در چنین فیبری به طول ۱۵ سانتی‌متر، طیف ابرپیوستار در محدوده پنجره مخابراتی ۱/۴ میکرومتر تا ۱/۶۲ میکرومتر شبیه‌سازی شده است.

کلمات کلیدی :

ابرپیوستار، اثرات غیرخطی، پاشیدگی تخت، فیبر کریستال فوتونی، معادله غیرخطی شرودینگر

فهرست مطالب صفحه

فصل اول معرفی طیف ابرپیوستار ۱

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه ای از تولید طیف ابرپیوستار ۲
۱-۳- کاربردها: ۸
۱-۴- پاشیدگی در فیبر نوری ۹
۱-۵- اثرات غیرخطی ۱۳
۱-۶- نتیجه‌گیری ۱۳

فصل دوم ساختار فیبر کریستال فوتونی ۱۴

۲-۱- مقدمه ۱۵
۲-۲- ساختار فیبر کریستال فوتونی ۱۵
۲-۲-۱- کریستال‌های فوتونی یک بعدی ۱۶
۲-۲-۲- کریستال‌های فوتونی دو بعدی ۱۷
۲-۲-۳- ساختار ۱۸
۲-۳- انواع فیبرهای کریستال فوتونی : ۲۱
۲-۳-۱- نوع اول، هدایت بر اساس شکاف باند فوتونی ۲۱
۲-۳-۲- نوع دوم، هدایت بر اساس اصل بازتاب داخلی کلی ۲۲
۲-۴- نتیجه‌گیری ۲۵

فصل سوم اثرات غیر خطی در فیبر نوری ۲۶

۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- عوامل ایجاد اثرات غیرخطی در فیبر نوری ۲۷
۳-۲-۱- اعوجاج ابر الکترونی ۲۷
۳-۲-۲- جهت‌گیری مولکولی ۲۹
۳-۲-۳- الکتروتنگش ۳۰
۳-۲-۴- جذب تشدیدی ۳۰
۳-۲-۵- اثرات حرارتی ۳۰
۳-۳- انواع اثرات غیرخطی ۳۱
۳-۳-۱- پراکندگی‌های برانگیخته ۳۱

۳-۳-۲- اثرات کر نوری ۳۳
۳-۴- کاربردها ۳۸
۳-۴-۱- چرپ شدگی پالس ۳۸
۳-۴-۲- فشرده سازی پالس : ۴۱
۳-۴-۳- سالیتون..... ۴۱
۳-۴-۴- تاثیرات همزمان پاشیدگی و اثرات غیرخطی در فیبر نوری ۴۳
۳-۵- نتیجه‌گیری ۴۴

فصل چهارم بررسی معادله غیر خطی شرودینگر ۴۵

۴-۱- مقدمه..... ۴۶
۴-۲- معادله انتشار پالس در محیط غیرخطی ۴۶
۴-۳- معادله شرودینگر غیرخطی ۵۲
۴-۴- تحلیل عددی معادله غیرخطی شرودینگر..... ۵۲
۴-۵- تاثیر ضرایب معادله شرودینگر غیرخطی ۵۴
۴-۵-۱- پاشیدگی ۵۴
۴-۵-۲- تلفات ۵۴
۴-۵-۳- مدولاسیون خودفازی ۵۵
۴-۵-۴- اثر رامان ۵۶
۴-۵-۵- اثرخودتیزی ۵۶
۴-۵-۶- نقش سالیتون ۵۸
۴-۵-۷- واپاشی سالیتون‌های مرتبه بالا..... ۵۸
۴-۶- نتیجه‌گیری..... ۵۸

فصل پنجم شبیه سازی تولید طیف ابرپیوستار در ساختار پیشنهادی ۶۰

۵-۱- مقدمه..... ۶۱
۵-۲- ارائه ساختار پیشنهادی ۶۱
۵-۲-۱- معرفی ساختار شش وجهی اول با قطر حفره‌های یکسان ۶۲
۵-۲-۲- معرفی ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر..... ۸۱
۵-۳- نتیجه‌گیری ۹۸

فصل ششم جمع بندی و پیشتهادها.....۹۹

۶-۱- جمع بندی ۱۰۰
۶-۲- پیشنهادها ۱۰۱
پیوست ۱..... ۱۰۲
منابع ۱۱۰

فهرست جدول‌ها صفحه

جدول ۱–۱ محدوده طول موج در باندهای سیستم مخابراتی [۳]..... ۸

جدول ۳–۱ مقایسه ضریب شکست غیرخطی چند ماده مختلف [۱۹]. ۳۶

جدول ۳–۲ بررسی پدیده غالب بین پاشیدگی و اثر غیرخطی در فیبرها نسبت به طول فیبر..... ۴۳

جدول ۵–۱ مقادیر رابطه اسلمیر برای سیلیکا مذاب [۴۲]. ۶۳

جدول ۵–۲ مقایسه بهبود حاصل شده در طراحی فیبر بلور فوتونی ساختار شش وجهی با قطر حفره‌های یکسان ۷۲

جدول ۵–۳ مقادیر شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار در فیبر طراحی شده ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان ۷۳

جدول ۵–۴ مقایسه ضرایب بهبودیافته مراتب بالای پاشیدگی ساختار شش وجهی با قطر حفره‌های نابرابر..... ۸۹

جدول ۵–۵ مقادیر شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار در فیبر طراحی شده ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر ۹۰

فهرست شکل‌ها **صفحه**

شکل ۱–۱ تولید طیف ابرپیوستار و تاثیر پالس ۱۰۰فمتوثانیه‌ای در فیبری به طول
۷۵ سانتیمتر [۱۴] ۳

شکل ۱–۲ طیف ابرپیوستار با پالس ۰/۵ نانو ژول، ۱۱۰ فمتو ثانیه در طول‌های ۱ تا ۵ متر،
در سال ۲۰۰۱ [۱۶] ۵

شکل ۱–۳ نقش توان در منحنی الف) با طول موج پمپ ۱۰۵۰ نانومتر و
ب) با طول موج پمپ ۷۹۰ نانومتر[۱] ۶

شکل ۱–۴ نقش افزایش انرژی منبع پالس لیزر در گسترش طیف ابرپیوستار [۱۷] ۷

شکل ۱–۵ تاثیر پالس ۸۵ فمتو ثانیهای، در فیبر ۱ متری برای عکسبرداری [۱] ۹

شکل ۱–۶ تاثیر طول موج پمپ شده و ناحیه پاشیدگی بر تولید طیف ابرپیوستار [۱۸] ۱۲

شکل ۲–۱ ساختار فیبرهای کریستال فوتونی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی [۲۰]..... ۱۶

شکل ۲–۲ کریستال فوتونی بک بعدی با دوره تناوب a [۱۷]. ۱۷

شکل ۲–۳ساختار یک کریستال فوتونی دو بعدی با شکاف باند کامل [۲۴]. ۱۸

شکل ۲–۴ نمایه سطح مقطع یک فیبر کریستال فوتونی با ساختار شش وجهی [۳۲]. ۱۹

شکل ۲–۵ نمایه طولی یک فیبر کریستال فوتونی با ساختار شش وجهی [۱۲]..... ۲۱

شکل ۲–۶ الف) انتشار نور بر اساس اصل بازتاب داخلی کلی و ب) انتشار نور بر اساس اصل
شکاف باند فوتونی و بازتاب براگ [۲۳]. ۲۲

شکل۲–۷. مرز ناحیه عملکرد تک مود و چند مود در فرکانس نرمالیزه و نسبت وابستگی آن
به طول موج و ثابت شبکه [۳۳]. ۲۳

شکل۲–۸.مرز ناحیه عملکرد تک مود و چند مود و نسبت وابستگی آن به دو پارامتر
$d/\Lambda, \lambda/\Lambda$ [۳۳]. ۲۳

شکل ۲– ۹ منحنی نواحی تک مود، نسبت به ابعاد حفره و ثابت شبکه. اولین منحنی سمت

راست با قطر ۰/۳۵ و آخرین منحنی در سمت چپ قطر ۰/۵۵ میکرومتر [۱۲]. ۲۴

شکل ۲– ۱۰ مقایسه سه نوع فیبر کریستال فوتونی بر اساس نوع هدایت. الف) شکاف باند فوتونی و بازتاب براگ ۲۴

شکل ۳–۱ تاثیر پاشیدگی غیرعادی واثر کر نوری بر شدت نور متغیر بازمان [۳۶]. ۴۰

شکل ۴–۱ الف) منحنی بهره رامان و جابجایی ۱۳ تراهرتزی فرکانس و ب) پاسخ زمانی اثر رامان در سیلیکا [۱] ۵۱

شکل ۴–۲ نحوه تاثیر قدم به قدم اثرات خطی و غیرخطی [۱]. ۵۳

شکل ۴–۳ پهن شدگی یک پالس در اثر پاشیدگی مرتبه دوم در فاصله‌های نرمال شده $Z/L_D=2$, $Z/L_D=0$ ۵۴

شکل ۴–۴ تغییر فاز و چرب فرکانسی در یک پالس گوسی [۳۶] ۵۵

شکل ۴–۵ خودتیزی یک پالس گوسی بدون تاثیر سرعت گروه [۱]. ۵۷

شکل ۴–۶ خودتیزی، بدون تاثیر سرعت گروه، باعث پهن شدگی نامتقارن شده است [۱]. ۵۷

شکل ۵–۱ نمایه ساختار شش وجهی طراحی شده، با پرشدگی حفره های حلقه اول $d=۰/۴۱\mu m$, $\Lambda=۱\ \mu m$ ۶۲

شکل ۵–۲ منحنی پاشیدگی ساختار شش وجهی قطر حفره‌های یکسان برحسب طول موج فیبر کریستال فوتونی با پرشدگی حفره مرکزی و ابعاد $\Lambda=۱\ \mu m$, $d=۰/۹\mu m$ ۶۴

شکل ۵–۳ تاثیر پرشدگی حفره‌های مرکزی،حلقه اول و حلقه دوم بر منحنی پاشیدگی در مقایسه با پرشدگی حفره مرکزی و حلقه اول. ۶۵

شکل ۵–۴ منحنی پاشیدگی و قطرهای مختلف حفره ها با $d=۰/۴۲\ \mu m$، $d=۰/۴۴\mu m$ ، $d=۰/۴۱\ \mu m$ و $d=۰/۴۰\mu m$ در ثابت شبکه $\Lambda=۱/۰\ \mu m$ ۶۶

شکل ۵–۵ منحنی پاشیدگی سرعت گروه و قطرهای مختلف حفره‌ها با $d=۰/۴۴\mu m$، $d=۰/۴۲\ \mu m$ ، $d=۰/۴۱\ \mu m$ و $d=۰/۴۰\mu m$ در ثابت شبکه $\Lambda=۱/۰\ \mu m$ ۶۶

شکل ۵–۶ نقش ثابت شبکه$\Lambda=۱/۱\mu m$، $\Lambda=۱/۰\ \mu m$ ،$\Lambda=۰/۹\mu m$، و $\Lambda=۰/۸\ \mu m$ بر منحنی

پاشیدگی با قطرحفره‌های هوایی ۰/۴۱ میکرومتر ۶۷

شکل ۵–۷ نقش ثابت شبکهΛ=۱/۱μm، Λ=۱/۰ μm، Λ=۰/۹μm، Λ=۰/۸ μm و Λ=۰/۸ بر منحنی پاشیدگی سرعت گروه با قطر حفره‌های هوایی ۰/۴۱ میکرومتر ۶۷

شکل ۵–۸ نقش ثابت شبکهΛ=۱/۰μm، Λ=۰/۷ μm، Λ=۰/۶μm، Λ=۰/۵ μm و Λ=۰/۵ بر منحنی پاشیدگی با قطرحفره‌های هوایی ۰/۴۱ میکرومتر ۶۸

شکل ۵–۹ نقش ثابت شبکهΛ=۱/۰μm، Λ=۰/۷ μm، Λ=۰/۶μm، Λ=۰/۵ μm و Λ=۰/۵ بر منحنی پاشیدگی سرعت گروه با قطر حفره‌های هوایی ۰/۴۱ میکرومتر ۶۸

شکل ۵–۱۰ منحنی ضریب شکست موثر برحسب طول موج، درساختار شش وجهی با قطر حفره‌های یکسان ۶۹

شکل ۵–۱۱ سرعت گروه نسبت به مقدار طول موج درساختار شش وجهی طراحی شده قطر حفره‌های یکسان ۶۹

شکل ۵–۱۲ برش عرضی سطح مقطع به همراه مود اصلی، درساختار شش وجهی طراحی شده قطر حفره‌های یکسان ۷۰

شکل ۵–۱۳ منحنی پاشیدگی برحسب طول موج درساختار شش وجهی طراحی شده قطر حفره‌های یکسان ۷۰

شکل ۵–۱۴ منحنی ضریب پاشیدگی مرتبه۲ برحسب طول موج، درساختار شش وجهی با قطر حفره‌های یکسان ۷۱

شکل ۵–۱۵ منحنی ضریب پاشیدگی مرتبه۳برحسب طول موج، درساختار شش وجهی با قطر حفره‌های یکسان..... ۷۱

شکل ۵–۱۶ نمودار تلفات برحسب طول موج با پر شدگی حلقه اول، درساختار شش وجهی با قطر حفره‌های یکسان ۷۲

شکل ۵–۱۷ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر..... ۷۴

شکل ۵–۱۸ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان

مطابق مقادیر جدول ۵–۳و توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر.....۷۴

شکل ۵–۱۹ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر.....۷۵

شکل ۵–۲۰ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر.....۷۵

شکل ۵–۲۱ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۷۶

شکل ۵–۲۲ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۷۶

شکل ۵–۲۳ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۷۷

شکل ۵–۲۴ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۷۷

شکل ۵–۲۵ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۷۸

شکل ۵–۲۶ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۷۸

شکل ۵–۲۷ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۷۹

شکل ۵–۲۸ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۷۹

شکل ۵–۲۹ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان
مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر و
پهنای پالس ۱۰۰ فمتوثانیه.....۸۰

شکل ۵–۳۰ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های یکسان مطابق مقادیر جدول ۵–۳ و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر و پهنای پالس ۱۰۰ فمتوثانیه ۸۰

شکل ۵–۳۱ نمایه ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر جهت ایجاد پاشیدگی تخت [۴۷]. ۸۱

شکل ۵–۳۲ نمایه ساختار شش وجهی با ایجاد حفره‌های نابرابر جهت ایجاد پاشیدگی تخت [۴۹]. ۸۲

شکل ۵–۳۳ نمایه ضریب شکست موجبری ساختار شش وجهی شکل ۵–۳۲جهت ایجاد پاشیدگی تخت [۴۹]. ۸۲

شکل ۵–۳۴ نمایه ساختار شش وجهی با ایجاد حفره مرکزی جهت ایجاد پاشیدگی تخت [۴۸]. ۸۲

شکل ۵–۳۵ نمایه سطح مقطع ساختار شش وجهی با حفره‌های غیر یکسان طراحی شده با ثابت شبکه ۲/۰۸ μm و قطر حفره مرکزی d_c=۰/۶ μm و حفرهها به ترتیبd_1=۱/۵۸ μm، d_2=۱/۳۲μm،d_3=۱/۳۲μm و d_4=۰/۶ μm است. ۸۳

شکل۵–۳۶ نقش ثابت شبکه Λ=۲/۰۸μm، Λ=۲/۱۵μm، Λ=۲/۲۰μm و Λ=۲/۲۵μm بر منحنی پاشیدگی با قطر حفره‌های ثابت d_1=۱/۵۸ μm، d_2=۱/۳۲ μm،d_3=۱/۳۲μm، d_4=۰/۶ μm و d_c=۰/۶ μm..... ۸۴

شکل۵–۳۷ نقش ثابت شبکه Λ=۲/۰۸μm، Λ=۲/۱۵μm، Λ=۲/۲۰μm و Λ=۲/۲۵μm بر منحنی پاشیدگی سرعت گروه با قطر حفره‌های ثابت d_1=۱/۵۸ μm ، d_2=۱/۳۲ μm،d_3=۱/۳۲μm، d_4=۰/۶ μm و d_c=۰/۶ μm ۸۴

شکل۵–۳۸ نقش تغییر قطرحفره‌های ردیف اول بر منحنی پاشیدگی، با ثابت نگه داشتن بقیه مقادیر و قطرحفره‌های ثابت d_2=۱/۳۲ μm، d_3=۱/۳۲ μm، d_4=۰/۶ μm، d_c=۰/۶ μm در ثابت شبکهΛ=۲/۰۸μm ۸۵

شکل۵–۳۹ نقش تغییر قطرحفره‌های ردیف اول بر منحنی پاشیدگی سرعت گروه، با ثابت نگه داشتن بقیه مقادیر و قطرحفره‌های ثابت d_2=۱/۳۲ μm، d_3=۱/۳۲ μm، d_4=۰/۶ μm ، d_c=۰/۶ μm در ثابت شبکهΛ=۲/۰۸μm..... ۸۵

شکل ۵–۴۰ اندازه گیری ضریب شکست موثر ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر ۸۶

شکل ۵–۴۱ منحنی سرعت گروه در ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر ۸۶

شکل ۵–۴۲ منحنی پاشیدگی در محدوده ۱ تا۱/۶ میکرومتر در ساختار شش وجهی با قطر حفره‌های نابرابر ۸۷

شکل ۵–۴۳ منحنی تلفات ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر..... ۸۷

شکل ۵–۴۴ منحنی ضریب پاشیدگی مرتبه ۲ ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر ۸۸

شکل ۵–۴۵ منحنی ضریب پاشیدگی مرتبه ۳ ساختار شش وجهی با قطرحفره‌های نابرابر ۸۸

شکل ۵–۴۶ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵، توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۱

شکل ۵–۴۷ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵، توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۱

شکل ۵–۴۸ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۲

شکل ۵–۴۹ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۱کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۲

شکل ۵–۵۰ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۳

شکل ۵–۵۱ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۳

شکل ۵–۵۲ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۴

شکل ۵–۵۳ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۴

شکل ۵–۵۴ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵ و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۵

شکل ۵–۵۵ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر ۹۵

شکل ۵–۵۶ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۶

شکل ۵–۵۷ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵و با اعمال توان بیشینه ۱۰کیلو وات و طول فیبر ۰/۳ متر ۹۶

شکل ۵–۵۸ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر وپهنای پالس ۱۰۰ فمتوثانیه ۹۷

شکل ۵–۵۹ شبیه‌سازی طیف ابرپیوستار ساختار شش وجهی حفره‌های نابرابر مطابق مقادیر جدول ۵–۵ و با اعمال توان بیشینه ۵کیلو وات و طول فیبر ۰/۱۵ متر وپهنای پالس ۱۰۰ فمتوثانیه ۹۷

پیش گفتار

با انتشار یک پالس کوتاه نوری توان بالا در فیبر نوری، اثرات غیرخطی ایجاد می‌شوند، که قادر به تولید فرکانس جدید در طیف فرکانسی هستند و اگر طیف فرکانسی به قدری پهن شود که در محدوده دهها ترا هرتزگیرد به آن طیف ابرپیوستار گفته می‌شود. با کنترل و تغییر قطر حفره‌های هوا و فاصله مرکز تا مرکز آنها، که ثابت شبکه نامیده می‌شود، اثرات غیر خطی و ضرایب پاشیدگی تغییر می‌کنند. اگر نسبت قطر حفره‌های هوا به ثابت شبکه کوچکتر شود، پاشیدگی تخت با مقدار کمینه حاصل خواهد شد. با افزایش اندازه حفره‌ها، شیب پاشیدگی کاهش یافته ولی ضریب غیر خطی افزایش می‌یابد. از طرفی با کاهش پاشیدگی، تلفات افزایش می‌یابد. بنابراین با مصالحه بین پاشیدگی و اثرات غیر خطی می‌توان محدوده طیف ابرپیوستار را افزایش داد.

بهبود تولید طیف ابر پیوستار از طرفی به منظور پوشش طیف وسیع و یکنواخت و از طرف دیگر کاهش توان مورد نیاز و کاهش طول فیبر، از موضوعاتی است که پژوهشگران به آن پرداخته‌اند.

اولین قدم در بهینه‌سازی این طیف، استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی است که سه ویژگی منحصر بفرد محدوده وسیع انتشار تک مود، کنترل پاشیدگی و کنترل مساحت مود موثر، به راحتی با طراحی مناسب ابعاد حفره‌ها و ثابت شبکه امکان پذیر است. با کاهش مساحت مود موثر، ضریب غیر خطی افزایش یافته و با مدیریت پاشیدگی، طول فیبر از چندین کیلومتر در فیبرهای متداول، به چند سانتی متر کاهش می‌یابد.

قدم بعدی استفاده از موادی، با ضریب غیر خطی بالاتر از سیلیکا و استفاده از منابع لیزر با توان‌های بالاست. دراین پایان نامه هدف بهبود طیف ابرپیوستار با فیبرکریستال فوتونی سیلیکا است که صرفا با طراحی ابعاد حفره‌ها و ثابت شبکه امکان پذیر است.

در فصل اول این پایان نامه طیف ابر پیوستار معرفی شده و تاریخچه‌ای از آن ارائه شده است. در فصل دوم، ساختار فیبر کریستال فوتونی به همراه ویژگی‌های منحصر بفرد آن در کنترل پاشیدگی و اثرات غیر خطی بیان شده و در فصل سوم علت ایجاد اثرات غیر خطی در فیبر نوری بررسی و کاربردهای آن‌ها توضیح داده شده است. در فصل چهارم با تحلیل انتشار امواج از معادله ماکسول، معادله غیرخطی شرودینگر نتیجه می‌شود. نقش ضرایب مراتب بالای پاشیدگی و اثرات غیر خطی شامل، مدولاسیون خودفازی، پراکندگی رامان و اثر خودتیزی در معادله غیرخطی شرودینگر تحلیل و در نهایت با بررسی تاثیر هر کدام از آن مولفه‌ها، ساختار پیشنهادی نتیجه‌گیری شده است.
در اولین ساختار شش وجهی فیبر کریستال فوتونی در بستر سیلیکا با قطر حفره‌های هوایی ۰/۴۱ میکرومتر و ثابت شبکه ۱ میکرومتر مقادیر پاشیدگی با مقدار بیشینه (ps/nm.km) ۷ و شیب نسبتا تخت

در ناحیه پاشیدگی غیرعادی و محدوده وسیع ۱/۱ میکرومتر تا ۱/۷ میکرومتر، در وضعیت منحصر بفرد انتشار تک مود، طراحی و با عبور یک پالس لیزری ۲۸ فمتوثانیه‌ای و توان بیشینه ۱۰ کیلو وات در چنین فیبری به طول ۳۰ سانتی‌متر، طیف خروجی ابرپیوستار در محدوده پنجره مخابراتی ۱/۴۲ میکرومتر تا ۱/۶۵ میکرومتر شبیه‌سازی شده است. در طراحی دوم، با ساختار شش وجهی و حفره‌های غیریکسان و ثابت شبکه ۲/۰۸ میکرومتر، پاشیدگی کمتر با مقدار بیشینه ۰/۷(ps/nm.km) در محدوده ۱/۲ میکرومتر تا ۱/۶ میکرومتر دارای شیب تخت بوده و با مساحت مودی موثر کوچک‌تر، ضمن عملکرد تک مود، ضریب غیرخطی ۰/۰۱۹ (بر وات.متر) حاصل شد و با عبور یک پالس لیزری ۲۸ فمتوثانیه‌ای و توان بیشینه ۵ کیلو وات در چنین فیبری به طول ۱۵ سانتی‌متر، طیف ابرپیوستار در محدوده پنجره مخابراتی ۱/۴ میکرومتر تا ۱/۶۲ میکرومتر شبیه‌سازی شده است.

فصل اول

معرفی طیف ابرپیوستار