دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در (مهندسی برق- الکترونیک)

عنوان:

بررسی مهندسی پاشندگی در فیبرهای بلور فوتونی

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی منصوری بیرجندی

استاد مشاور:

حمیده کندری

تحقیق و نگارش:

عصمت جعفری

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

بهمن ۱۳۹۳

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب عصمت جعفری تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیـده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: عصمت جعفری

امضاء

سپاسگزاری

در ابتدا سپاس می گویم خداوند را که همیشه لطف بی کرانش شامل حال من بوده و بهترین بندگان خود را در مسیر زندگی سر راه من قرار داده است.

بدینوسیله از زحمات جناب آقای دکتر محمد علی منصوری بیرجندی که در انجام این پروژه مرا راهنمایی و حمایت کرده اند، تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین از خانواده ام که همیشه در کنارم بوده اند بسیار سپاسگزارم.

چکیده:

در این پایان‌نامه فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی رنگی بررسی می‌شود و سه ساختار جدید برای فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی به منظور پهن کردن مشخصه پاشندگی و افزایش قابلیت جبران پاشندگی در محدوده وسیعی از طول موج ارائه می‌شود. در نمونه پیشنهادی اول، با قرار دادن ساختار ستاره‌ای به جای حلقه اول پوشش داخلی فیبر شبکه مربعی، مشخصه پاشندگی فیبر پهن‌تر می‌شود و فیبر توانایی جبران پاشندگی سرتاسر باندهای مخابراتی E تا U را خواهد داشت. با این فیبر در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ضریب پاشندگی (nm.km)/ps۵۵۳- و کمینه ضریب پاشندگی (nm.km)/ps۱۲۰۵- در طول موج ۱/۷۱ میکرومتر بدست می‌آید. در ساختار دوم، قرار دادن ترکیبی از حفره‌های دایره‌ای و ساختار ستاره‌ای در پوشش هسته داخلی فیبر موجب پهن شدن مشخصه پاشندگی فیبر می‌شود و باعث می‌شود فیبر در سرتاسر باندهای مخابراتی S تا U ضریب پاشندگی منفی داشته باشد. در این فیبر کمینه ضریب پاشندگی برابر با (nm.km)/ps۶۵۳- و ضریب پاشندگی (nm.km)/ps۱۷۶- در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر بدست می‌آید. همچنین با افزایش قطر حفره‌های دایره‌ای پوشش داخلی این ساختار، مشخصه پاشندگی نسبتا تختی در سرتاسر باندهای مخابراتی E تا U با نوسان پاشندگی (nm.km)/ps۴۶ بدست می‌آید. در باندهای مخابراتی S تا C نوسان پاشندگی برابر با (nm.km)/ps۱۷ است. در ساختار سوم، قرار دادن حفره‌های بیضوی در حلقه اول پوشش هسته داخلی یک فیبر جبران پاشندگی شبکه شش ضلعی، موجب افزایش محدوده طول موج جبران پاشندگی می‌شود و باعث می‌شود این فیبر توانایی جبران پاشندگی در سرتاسر باندهای مخابراتی E تا U را داشته باشد. در این فیبر کمینه پاشندگی برابر با (nm.km)/ps۱۰۰۶- در طول موج ۱/۶۸ میکرومتر و در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ضریب پاشندگی (nm.km)/ps۷۱۰- بدست می‌آید.

کلمات کلیدی: فیبر بلور فوتونی- جبران پاشندگی – پاشندگی رنگی – ضریب پاشندگی منفی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- انگیزش و اهداف تحقیق ۲

۱-۳- مروری بر تاریخچه بلورهای فوتونی و جبران پاشندگی ۳

۱-۴- دستاوردهای پایان نامه ۴

۱-۵- مروری اجمالی بر پایان نامه ۴

فصل دوم: مروری بر فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی ۶

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی با کاهش حفره‌های حلقه هسته خارجی ۷

۲-۳- فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی با حذف حلقه هسته خارجی ۱۰

۲-۴- فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی با پرکردن حفره‌های هسته خارجی ۱۳

۲-۵- فیبر شبه بلور فوتونی (PQF) ۱۵

۲-۶- فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی با چند پنجره جبران پاشندگی ۱۷

۲-۷- فیبر جبران پاشندگی حفره مربعی ۱۹

۲-۸- فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی با ساختار شبکه مربعی و مستطیلی ۲۱

۲-۹- فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی با شبکه لانه زنبوری ۲۴

۲-۱۰- فیبر بلور فوتونی در فیبر بلور فوتونی برای جبران پاشندگی ۲۵

۲-۱۱- فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی شبکه هشت ضلعی ۲۶

۲-۱۲- فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی با پاشندگی منفی فوق تخت ۲۷

فصل سوم: پاشندگی در فیبرهای بلور فوتونی ۲۹

۳-۱- مقدمه ۳۰

۳-۲- بلورهای فوتونی ۳۰

۳-۳- برخی کاربردهای بلورهای فوتونی ۳۱
۳-۴- انواع فیبرهای بلور فوتونی ۳۲
۳-۵- پاشندگی در فیبر نوری ۳۲
۳-۵-۱- پاشندگی بین مدی ۳۳
۳-۵-۲- پاشندگی مد قطبیده ۳۴
۳-۵-۳- پاشندگی رنگی ۳۴
۳-۵-۴- پاشندگی ماده ۳۴
۳-۵-۵- پاشندگی موجبر ۳۵
۳-۶- جبران پاشندگی در فیبر نوری ۳۶
۳-۷- تزویج مد ۳۷
۳-۸- برخی تعاریف کلی برای جبران پاشندگی ۳۸
فصل چهارم: طراحی و شبیه‌سازی فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- شبیه‌سازی فیبر جبران پاشندگی باند وسیع شبکه شش ضلعی ارائه شده توسط سلیم حبیب ۴۲
۴-۳- شبیه‌سازی فیبر جبران پاشندگی باند وسیع شبکه مربعی ارائه شده توسط احتشامی و همکارش ۴۴
۴-۴- فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی باند وسیع شبکه مربعی ۴۶
۴-۵- فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی با ساختار پوشش بیضی ۶۰
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۹
۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۰
۵-۲- پیشنهادها ۷۲
مراجع ۷۳
پیوست‌ها ۷۹
پیوست (الف)- معادلات ماکسول در بلورهای فوتونی ۸۰
پیوست (ب)- روش‌های حل عددی در بلورهای فوتونی ۸۳
پیوست (ج)- واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۸
پیوست (د)- واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۱

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۴-۱. ضرایب سلمیر سیلیکا بدون ناخالصی ۴۳

جدول ۴-۲. باندهای مخابراتی ۵۰

جدول ۴-۳. ضرایب سلمیر سیلیکا ناخالص شده با فلورین ۶۶

جدول ۵-۱. خلاصه ای از ساختارهای پیشنهادی در این پایان نامه برای جبران پاشیدگی در باند وسیع ۷۱

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. سطح مقطع فیبرهای بلور فوتونی دو هسته هم مرکز (a) نوع۱ (b) نوع۲ (c) نوع۳ ۸

شکل ۲-۲. منحنی‌های پاشندگی مد اصلی برای فیبرهای نوع ۱، ۲ و ۳ ۸

شکل ۲-۳. سطح مقطع فیبر جبران پاشندگی ارائه شده توسط سلیم حبیب و همکارانش ۹

شکل ۲-۴. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی ارائه شده توسط سلیم حبیب و همکارانش ۹

شکل ۲- ۵. حساسیت ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی به تغییر شعاع حفره هسته حلقه خارجی ۱۰

شکل ۲- ۶. سطح مقطع فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی با حذف حلقه هسته خارجی ۱۱

شکل ۲- ۷. پاشندگی ساختار پیشنهاد شده توسط یانگ و همکارانش ۱۱

شکل ۲-۸. تغییر پاشندگی با تغییر قطر حفره‌ها ۱۲

شکل ۲-۹. تغییر پاشندگی با تغییر ثابت شبکه ۱۲

شکل ۲-۱۰. تغییر پاشندگی با تغییر ضریب شکست هسته داخلی ۱۳

شکل ۲-۱۱. سطح مقطع فیبر جبران پاشندگی با پرکردن حفره‌های حلقه هسته خارجی با محلول قند ۱۳

شکل ۲-۱۲. منحنی پاشندگی فیبر جبران با پرکردن حفره‌های هسته خارجی با محلول قند ۱۴

شکل ۲-۱۳. ساختار فیبر شبه بلور فوتونی ارائه شده توسط کیم و همکارانش ۱۵

شکل ۲-۱۴. توزیع میدان مد اصلی PCF دو هسته((a)-(c)) و PQF دو هسته((d)-(f)) وقتی $\lambda < \lambda_p$((a) $\lambda = ۱/۶\mu m$ و (d) $\lambda = ۱/۲\mu m$) ، $\lambda = \lambda_p$ ((b) $\lambda = ۱/۸۶\mu m$ و (e) $\lambda = ۱/۵\mu m$)، $\lambda > \lambda_p$((c) $\lambda = ۲/۱\mu m$ و (f) $\lambda = ۱/۸\mu m$). ۱۶

شکل ۲-۱۵. ضریب پاشندگی رنگی فیبر بلور فوتونی و فیبر شبه بلور فوتونی ۱۶

شکل ۲-۱۶. نمودار پاشندگی فیبر با چند پنجره جبران پاشندگی ارائه شده توسط لیو ۱۷

شکل ۲-۱۷. سطح مقطع فیبر جبران پاشندگی با چند پنجره جبران پاشندگی ۱۸
شکل ۲-۱۸. تمودار پاشندگی در دو طول موج ۱/۱۱ و ۱/۵۵ میکرومتر ۱۹
شکل ۲-۱۹. سطح مقطع فیبر جبران پاشندگی حفره دایره‌ای و حفره مربعی ۲۰
شکل ۲-۲۰. ضریب شکست موثر فیبر جبران پاشندگی حفره دایره‌ای(سبز) و حفره مربعی(آبی) ۲۰
شکل ۲- ۲۱. ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی حفره دایره‌ای و مربعی ۲۱
شکل ۲-۲۲. فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ارائه شده توسط احتشامی ۲۱
شکل ۲-۲۳. مشخصه پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ارائه شده توسط احتشامی ۲۲
شکل ۲-۲۴. فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ۲۲
شکل ۲-۲۵. نمودار ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ۲۳
شکل ۲-۲۶. فیبر جبران پاشندگی شبکه مستطیلی ۲۳
شکل ۲-۲۷. نمودار ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مستطیلی ۲۴
شکل ۲-۲۸. فیبر جبران پاشندگی با شبکه لانه زنبوری ۲۵
شکل ۲-۲۹. تغییر منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه لانه زنبوری با تغییرات ثابت شبکه ۲۵
شکل ۲-۳۰. فیبر بلور فوتونی در فیبر بلور فوتونی ۲۶
شکل ۲-۳۱. منحنی پاشندگی فیبر بلور فوتونی در فیبر بلور فوتونی ۲۶
شکل ۲-۳۲. فیبر جبران پاشندگی شبکه هشت ضلعی ۲۷
شکل ۲-۳۳. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه هشت ضلعی ۲۷
شکل ۲-۳۴. فیبر جبران پاشندگی فوق تخت ۲۸
شکل ۲-۳۵. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی فوق تخت ۲۸
شکل ۳-۱. ساختار بلورهای فوتونی یک، دو و سه بعدی ۳۰
شکل ۳-۲. نسبت پاشندگی برای (a) یک ماده متجانس و (b) یک ماده با شکاف باند فوتونی ۳۱
شکل ۳-۳. (a) فیبر حفره‌دار (b) فیبر شکاف باند فوتونی (c) فیبر براگ ۳۲
شکل ۳-۴. ضرایب پاشندگی رنگی برای فیبر تک مد ۳۶

شکل ۴-۱. ضریب شکست سیلیکا خالص بکار رفته در شبیه سازی‌ها بر حسب طول موج ۴۳
شکل ۴-۲. فیبر جبران پاشیگی باند وسیع ارائه شده توسط سلیم حبیب و همکارانش ۴۴
شکل ۴-۳. مشخصه پاشندگی حاصل از شبیه‌سازی دوباره ساختار ارائه شده توسط سلیم حبیب و همکارانش ۴۴
شکل ۴-۴. فیبر جبران پاشندگی باند وسیع شبکه مربعی ارائه شده توسط احتشامی و همکارش ۴۵
شکل ۴-۵. مشخصه پاشندگی فیبر جبران پاشندگی باند وسیع شبکه مربعی ارائه شده توسط احتشامی و همکارش ۴۶
شکل۴-۶. فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی باند وسیع ۴۶
شکل ۴-۷. فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده ۴۷
شکل ۴-۸. توزیع میدان مد اصلی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۴۷
شکل ۴-۹. منحنی شاخص موثر فیبرشبکه مربعی ساده برحسب طول موج ۴۸
شکل ۴-۱۰. منحنی ضریب پاشندگی رنگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده ۴۸
شکل ۴-۱۱. توزیع میدان مد فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی پیشنهادی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۴۹
شکل ۴-۱۲. منحنی شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی پیشنهادی برحسب طول موج ۵۰
شکل ۴-۱۳. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی پیشنهادی ۵۰
شکل ۴-۱۴. مشخصه پاشندگی برای قطر حفره‌های ساختار ستاره‌ای ۰/۲۸، ۰/۳۰ و ۰/۳۲ میکرومتر ۵۱
شکل ۴-۱۵. فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای ۵۲
شکل ۴-۱۶. فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده ۵۲
شکل ۴-۱۷. توزیع میدان مد اصلی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۵۳

شکل ۴-۱۸. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده ۵۳
شکل ۴-۱۹. نمودار ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی ساده ۵۴
شکل ۴-۲۰. توزیع میدان مد فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۵۴
شکل ۴-۲۱. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای ۵۵
شکل ۴-۲۲. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای ۵۵
شکل ۴-۲۳. فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای و دایره‌ای ۵۶
شکل ۴-۲۴. توزیع میدان مد فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای و دایره‌ای ۵۶
شکل ۴-۲۵. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای و دایره‌ای ۵۷
شکل ۴-۲۶. منحنی پاشندگی فیبر جبران پاشندگی با پوشش ستاره‌ای و دایره‌ای ۵۷
شکل ۴-۲۷. اثر تغییر قطر حفره‌های ساختار ستاره‌ای روی مشخصه پاشندگی ۵۸
شکل ۴-۲۸. اثر تغییر قطر حفره‌های دایره‌ای پوشش هسته داخلی روی مشخصه پاشندگی ۵۹
شکل ۴-۲۹. مشخصه پاشندگی نسبتا تخت با قطر حفره‌های دایره‌ای ۰/۹۸ میکرومتر پوشش داخلی ۵۹
شکل ۴-۳۰. فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی ساده ۶۰
شکل ۴-۳۱. توزیع میدان مد اصلی فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی ساده در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۶۱
شکل ۴-۳۲. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی ساده ۶۱
شکل ۴-۳۳. منحنی ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی ساده ۶۲
شکل ۴-۳۴. فیبر جبران پاشندگی بلور فوتونی شبکه شش ضلعی با حفره‌های بیضی ۶۲
شکل ۴-۳۵. توزیع میدان مد فیبر جبران پاشندگی با حفره‌های بیضی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۶۳
شکل ۴-۳۶. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی با حفره‌های بیضی ۶۳
شکل ۴-۳۷. منحنی ضریب پاشندگی فیبر جبران پاشندگی با حفره‌های بیضی ۶۴

شکل ۴-۳۸. اثر تغییر قطر بیضی در راستای محور Y روی مشخصه پاشندگی فیبر ۶۵
شکل ۴-۳۹. اثر تغییر قطر بیضی در راستای محور X روی مشخصه پاشندگی فیبر ۶۵
شکل ۴-۴۰. ضریب شکست سیلیکا ناخالص شده با فلورین بر حسب طول موج ۶۶
شکل ۴-۴۱. فیبر جبران پاشندگی با حفره‌های بیضی و میله‌های سیلیکا ناخالص شده با فلورین ۶۷
شکل ۴-۴۲. توزیع میدان مد اصلی فیبر با میله‌های سیلیکا ناخالص شده با فلورین در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر ۶۷
شکل ۴-۴۳. شاخص موثر فیبر جبران پاشندگی با میله‌های سیلیکا ناخالص شده با فلورین ۶۷
شکل ۴-۴۴. نمودار پاشندگی فیبر جبران پاشندگی با میله‌های سیلیکا ناخالص شده با فلورین ۶۸
شکل ۱. سلول محاسباتی یی ۸۴
شکل ۲. نحوه گسسته سازی فضای دوبعدی در روش تفاضل های متناهی برای قطبش TE ۸۵

فهرست علائم

علامت	نشانه
$A_{eff}\,(\mu m^{2})$	ناحیه مد
$C(m/s)$	سرعت نور
D (ps/(nm.km))	ضریب پاشندگی رنگی
d (μm)	قطر حفره‌ها
k (μm^{-1})	عدد موج
L (km)	طول فیبر
n	ضریب شکست
n_{eff}	ضریب شکست موثر
$\Lambda(\mu m)$	ثابت شبکه
λ_p (μm)	طول موج تطبیق فاز
β	ثابت انتشار
Δt (ps)	پاشندگی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

در این فصل ابتدا انگیزه و ضرورت انجام تحقیق بر روی فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی بیان می‌شود. سپس تاریخچه‌ای مختصر از تحقیقات انجام شده بر روی بلورهای فوتونی و جبران پاشندگی آورده شده است. در ادامه به دستاوردهای جدید این پایان نامه در زمینه فیبر بلور فوتونی جبران پاشندگی می‌پردازیم و در پایان، مروری اجمالی بر ساختار پایان نامه خواهیم داشت.

۱-۲- انگیزش و اهداف تحقیق

پردازش، ذخیره‌سازی، ارسال و دریافت اطلاعات از جمله نیازهایی است که روز به روز در حال گسترش است. از این رو توجه به افزاره‌های تمام نوری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. با تحول سریع ارتباطات سیمی و بدون سیم در سرتاسر جهان، ترافیک داده‌ها بسیار افزایش یافته است. رشد کاربردهای جدید با ارتباطات سرعت زیاد مانند پخش ویدئویی، افزایش خدمات اطلاعاتی، افزایش استفاده از اینترنت و... مستلزم ارتباط داده‌ها با سرعت خیلی زیاد می‌باشد. در حالی که پهنای باند کانال-های سیمی و بدون سیم محدود است. ارتباط‌های نوری پهنای باند وسیعی را فراهم می‌کنند[۱].

یکی از مهمترین ساختارهایی که در علم فوتونیک بسیار استفاده می‌شود بلور فوتونی می‌باشد. بلورهای فوتونی از موضوع-های علمی است که در سال‌های اخیر کاربردهای بسیار وسیع آن در حوزه پژوهش‌های بنیادی و تکنولوژی مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است. این بلورها انقلابی در صنعت مخابرات و فناوری‌های اپتیکی فراهم کرده است. که در آینده نزدیکی شاهد رشد فزاینده کاربردهای آنها خواهیم بود[۲].

به هر ساختاری که در آن ضریب شکست به صورت متناوب تغییر کند بلور فوتونی گفته می‌شود. در بلورهای فوتونی همانند مواد نیمه‌رسانا، نوارهای ممنوعه‌ای وجود دارد که امکان انتشار موج الکترومغناطیسی در این نوارها وجود ندارد. بسته به این که ساختار بلورهای فوتونی در چند بعد متناوب باشد آنها را بلورهای فوتونی یک بعدی، دو بعدی و یا سه بعدی می-نامند.

چون سرعت نور در همه محیط‌ها بجز خلاء به طول موج نور وابسته است، یک پالس نوری هنگام انتشار در فیبر به دلیل پاشندگی[1] از نظر زمانی پهن می‌شود. در واقع به همین پهن شدن یا فشرده شدن پالس از نظر زمانی پاشندگی می‌گویند. انتقال در مسافت‌های طولانی باعث پهن شدن بیش از حد پالس و از بین رفتن اطلاعات می‌شود و لازم است از فیبر جبران پاشندگی[2] (DCF) در مسیر انتقال استفاده کنیم. یک فیبر جبران پاشندگی که دارای مقدار پاشندگی منفی است پالسی را

[1] Dispersion
[2] Dispersion Compensating Fiber

که پهن شده دوباره فشرده می‌کند. استفاده از فیبرهای بلور فوتونی دو هسته هم مرکز[3] در جبران پاشندگی، امکان دستیابی به پاشندگی منفی بزرگتر و تلفات کمتر را فراهم می‌کند. تزویج مدهای هدایتی هسته‌های داخلی و خارجی باعث ایجاد مشخصه پاشندگی مقعر با ضریب پاشندگی منفی بزرگ می‌شود. به دلیل مشخصه پاشندگی مقعر فیبرهای دو هسته هم مرکز، پهنای باند طول موج در دسترس برای جبران پاشندگی فیبر تک مد خیلی باریک است. بنابراین، برای کاربردهای باند وسیع لازم است شیب پاشندگی نیز به خوبی جبران شود.

۱-۳- مروری بر تاریخچه بلورهای فوتونی و جبران پاشندگی

اگرچه مطالعه بر روی بلورهای فوتونی از سال ۱۸۸۷ آغاز شد اما اصطلاح بلور فوتونی برای اولین بار حدود ۱۰۰ سال بعد پس از اینکه یابلونوویچ[4] و جان[5] دو مقاله درباره بلورهای فوتونی در سال ۱۹۸۷ منتشر کردند، استفاده شد[۳-۴]. قبل از سال ۱۹۸۷، بلورهای فوتونی یک بعدی به صورت لایه‌های دی‌الکتریک متناوب به طور گسترده مطالعه شدند. لرد ریلی[6] در سال ۱۸۸۷، با نشان دادن اینکه یک سیستم یک بعدی بلور فوتونی دارای یک محدوده طیفی است که در آن نور به طور کامل بازتاب می‌شود، مطالعات خود را آغاز کرد[۵].

با ظهور شبکه‌های فیبر نوری مسافت طولانی در دهه ۱۹۸۰، نیاز برای مدیریت پاشندگی در شبکه‌های مخابرات نوری بوجود آمد. در اواسط دهه ۱۹۸۰ مشکل مدیریت پاشندگی با فیبر پاشندگی انتقال داده شده[7](DSF) تا حدودی حل شد. اما با افزایش نرخ داده در فیبرها، پاشندگی قابل تحمل فیبر که با توان دوم نرخ داده رابطه عکس دارد کاهش می‌یافت و این احساس نیاز به فیبرهای جبران پاشندگی را بیشتر کرد. در ۱۹۸۷، یکی از اولین نمایش‌های تجربی جبران پاشندگی گریتینگ براگ فیبر چیرپ شده[8] بود. در ۱۹۹۲، یک گروه از کرنینگ[9] (آنتوس و کورکر[10]) به طور خاص از یک فیبر تک مد[11] (SMF) طراحی شده برای تحقق بخشیدن پاشندگی منفی استفاده کردند و به طور همزمان یک گروه از آزمایشگاه‌های AT&T Bell(پل و کورکر [12]) پاشندگی منفی بزرگی را در مد LP_{11} فیبر دو مد نشان دادند[۶]. ایده استفاده از فیبرهای بلور فوتونی[13] برای جبران پاشندگی اولین بار توسط برک[14] و همکارانش[۷] در سال ۱۹۹۹ مطرح شد.

---

[3] Dual-Concentric-Core Photonic Crystal Fibers
[4] E. Yablonovitch
[5] S. John
[6] L. Rayleigh
[7] Dispersion Shifted Fiber
[8] Chirped fiber Bragg grating
[9] Corning
[10] Antos and Coworkers
[11] Single Mode fiber
[12] Pool and Coworkers
[13] Photonic Crystal Fibers
[14] T. A. Birks

۱-۴- دستاوردهای پایان نامه

در این پایان نامه سه ساختار جدید برای فیبرهای جبران پاشندگی بلور فوتونی به منظور پهن کردن مشخصه پاشندگی و افزایش قابلیت جبران پاشندگی در محدوده وسیعی از طول موج ارائه شده و با شبیه‌سازی این فیبرها با استفاده از روش عددی تفاضل محدود حوزه زمان[۱۵](FDTD) تاثیر این ساختارها بر مشخصه پاشندگی بررسی می‌شود. ابتدا دو فیبر جبران پاشندگی شبکه مربعی با افزودن ساختار ستاره‌ای به پوشش هسته داخلی آنها پیشنهاد می‌شود که باعث افزایش محدوده طول موج جبران پاشندگی فیبر می‌شوند. سپس یک فیبر جبران پاشندگی شبکه شش ضلعی با حفره‌های بیضوی در حلقه اول پوشش هسته داخلی پیشنهاد می‌شود که این ساختار نیز موجب افزایش محدوده طول موج جبران پاشندگی می‌شود و همچنین اثر ایجاد هسته خارجی با استفاده میله‌های سیلیکا ناخالص شده با فلورین در این ساختار بررسی می‌شود.

۱-۵- مروری اجمالی بر پایان نامه

در فصل دوم برخی ساختارهای ارائه شده برای فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی[۱۶] بررسی می‌شود. در همه این ساختارها هسته دوم هم مرکز با هسته اول است به همین دلیل به این ساختارها فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی دو هسته هم مرکز می‌گویند.

فصل سوم شامل مباحث پایه در مورد بلورهای فوتونی، پاشندگی و جبران پاشندگی در فیبرهای بلور قوتونی است. در این فصل مختصری درباره بلورهای فوتونی و برخی کاربردهای آن، انواع فیبرهای بلور فوتونی و نحوه انتشار نور در هر یک، انواع پاشندگی و روابط مربوط به پاشندگی رنگی و در پایان جبران پاشندگی و شرط ایجاد تزویج کامل بین دو مد هسته داخلی و خارجی توضیح داده می‌شود

در فصل چهارم چند ساختار جدید برای فیبرهای جبران پاشندگی بلور فوتونی به منظور پهن کردن مشخصه پاشندگی و افزایش قابلیت جبران پاشندگی در محدوده وسیعی از طول موج ارائه شده و نتایج شبیه‌سازی این ساختارها بر پایه روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان بیان می‌شود.

فصل پنجم شامل نتیجه گیری و ارائه برخی پیشنهادها در این زمینه است که هر یک از موارد پیشنهادی می‌تواند در ادامه تحقیقات مد نظر قرار گیرد. در پیوست نیز معادلات ماکسول حاکم بر انتشار نور در بلورهای فوتونی و روش‌های عددی مورد استفاده در این زمینه ضمیمه شده است. روش تفاضل محدود حوزه زمان که روش محاسباتی مورد استفاده در این پایان نامه است با تفصیل بیشتر بیان می‌شود.

---

[15] Finite-Difference Time-Domain
[16] Dispersion Compensating Photonic Crystal Fiber (DCPCF)

روش عددی تفاضل محدود حوزه زمان تا کنون توسعه بسیاری یافته به طوری که توانسته در بسیاری از زمینه‌های علوم و تکنولوژی وارد شود. شاهدی بر مدعای گسترش توجه به FDTD، میزان مقالاتی است که پیرامون این موضوع سالانه چاپ می‌گردد.

فصل دوم

مروری بر فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی

۲-۱- مقدمه

استفاده از فیبرهای بلور فوتونی دو هسته هم مرکز در جبران پاشندگی، امکان دستیابی به پاشندگی منفی بزرگتر با تلفات کمتر را فراهم می‌کند. در این ساختارها تزویج مدهای هدایتی هسته داخلی و خارجی فیبر باعث ایجاد مشخصه پاشندگی مقعر با ضریب پاشندگی منفی بزرگ می‌شود. در این فصل برخی ساختارهای ارائه شده برای فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی بررسی می‌شود. در همه این ساختارها هسته دوم هم مرکز با هسته اول است به همین دلیل به این ساختارها فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی دو هسته هم مرکز نیز می‌گویند. هسته دوم به روش‌های مختلفی می‌تواند در فیبر ایجاد شود از جمله کاهش قطر حفره‌های یکی از حلقه‌ها یا پرکردن حفره‌های یک حلقه یا کلا حذف یک حلقه، که همه منجر به افزایش ضریب شکست در حلقه مربوطه می‌شود.

۲-۲- فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی با کاهش حفره‌های حلقه هسته خارجی

در برخی فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی هسته دوم با کاهش قطر حفره‌های یکی از حلقه‌ها بوجود می‌آید[۸-۱۱]. تاکشی فوجیساوا[۱۷] و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مشخصه پاشندگی رنگی فیبرهای بلور فوتونی دو هسته هم مرکز را با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک با روش عنصر محدود تمام بردار[۱۸] در تمام باند C (از ۱/۵۳۰ تا ۱/۵۶۵ میکرومتر) برای جبران پاشندگی فیبرهای تک مد بهینه کردند.

همان طور که در شکل ۲-۱ دیده می‌شود این فیبر یک نمونه از فیبرهای بلور فوتونی جبران پاشندگی با ساختار شبکه شش ضلعی(یا شبکه مثلثی) است که هسته دوم با کاهش قطر حفره‌های یکی از حلقه‌ها ایجاد شده است. فوجیساوا و همکارانش سه نوع فیبر جبران پاشندگی با ساختار شبکه مثلثی نشان داده شده در شکل ۲-۱ را بررسی کردند. در نوع ۱، ۲ و ۳ به ترتیب حلقه دوم، چهارم و ششم هسته خارجی است. ماده زمینه این فیبر سیلیکا خالص است و پارامترهای طراحی بهینه این ساختار به صورت زیر می‌باشد.

نوع ۱: $\Lambda=2.5\mu m,\ d/\Lambda=0.65,\ d_r/\Lambda=0.22$

نوع ۲: $\Lambda=1.8\mu m,\ d/\Lambda=0.45,\ d_r/\Lambda=0.25$

نوع ۳: $\Lambda=1.6\mu m,\ d/\Lambda=0.4,\ d_r/\Lambda=0.25$

[17] Takeshi Fujisawa
[18] full-vector finite-element method