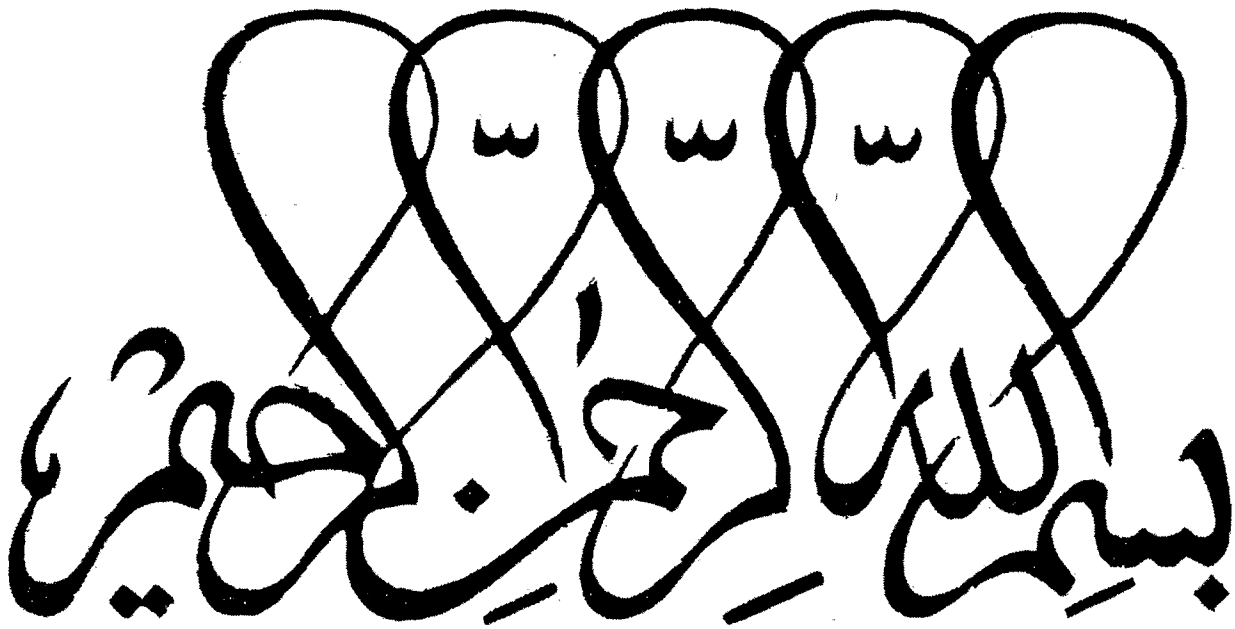

١٢٩٤٩

بسمه تعالی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه شهید بهشتی

پژوهشکده لیزر و پلاسما

رساله جهت اخذ درجه دکتری Ph . D

رشته / گرایش

فوتونیک

عنوان

طراحی و ساخت ایزولاتورهای مگنتوفوتونی بر پایه موجبر کاواک‌های تزویج شده

استاد راهنما

دکتر محمد مهدی طهرانچی

استاد مشاور

دکتر علیرضا بنانج

نگارنده

سیده مهری حمیدی سنگدهی

نیمسال دوم سال تحصیلی ۸۸ - ۸۷

۱۳۸۸/۱۰/۲۷

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران

تست مدارک

۱۲۹۳۲۶

اقرار و تعهدنامه

اینجانب سیده مهری حمیدی سنگدهی دانشجوی مقطع دکتری دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما رشته فوتونیک، رساله حاضر را بر اساس مطالعات و تحقیقات شخصی خود انجام داده و در صورت استفاده از داده‌ها، مآخذ، منابع به‌طور کامل به آن ارجاع داده‌ام، این رساله پیش از این به‌هیچ‌وجه در مرجع رسمی یا غیر رسمی دیگری به‌عنوان گزارش یا طرح تحقیقاتی عرضه نشده است. در صورتی که خلاف آن ثابت شود، درجه‌ی دریافتی اینجانب از اعتبار ساقط شده، عواقب و نتایج حقوقی حاصله را می‌پذیرم.

تاریخ ۱۳۸۸/۵/۱۹

امضاء

بسم الله الرحمن الرحیم

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می رود ممد حیاتست و چون برمی آید مفرح ذات.

پس در هر نفسی دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکری واجب.

از دست و زبان که برآید — کز عهده شکرش بدرآید

اکنون که با لطف پروردگار به نگاشتن رساله‌ام پرداخته‌ام، بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی دریغ، تلاشهای بی وقفه و راهنماییهای ارزشمند استاد گرامی‌ام جناب آقای دکتر طهرانچی تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از دلسوزی‌ها و راهنمایی‌های مفید استاد مشاورم جناب آقای دکتر بنانج سپاسگزارم.

بر خود لازم می‌دانم که به خاطر ایجاد فضای آموزشی و پژوهشی در پژوهشکده لیزر و پلاسما، که بدون همت والا و تلاشهای اعضاء هیات علمی این محیط پژوهشی ممکن نبود، از آنان تشکر نمایم.

همچنین از همکاران آزمایشگاهی و خستگی ناپذیرم، آقایان مرادی، محسنی، افتخاری و چینی فروشان و دوست خوبم خانم انصاری به خاطر همه کمک‌هایشان متشکرم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم، همسر خوب و مهربانم

و خانواده ام

که بدون حمایتشان طی این دوره ممکن نبود.

چکیده:

ایزولاتورهای مگنتواپتیکی به دلیل محافظت منابع نوری از باریکه‌های بازگشتی، از اهمیت ویژه‌ای در تکنولوژی مخابرات نوری برخوردارند. در این رساله طراحی و ساخت ایزولاتورهای مگنتوفوتونی بر پایه موجبر کاواکهای تزویج شده صورت پذیرفته است.

با بررسی در ساختار بلورهای فوتونی، اثبات وابستگی پهنای گاف نواری به نسبت تباین اپتیکی اجزا سازنده بلور صورت پذیرفته و با کمک اعمال تئوری لایه‌های معادل، مهندسی در پهنای گاف نواری انجام شده است. به دنبال آن با تحقیق در ساختار بلورهای مگنتوفوتونی، با اعمال تئوری لایه‌های معادل در این ساختارها به افزایش چرخش در کنار افزوده شدن مقدار عبور نور رسیدیم.

از سوی دیگر در ساختار موجبر کاواکهای تزویج شده با کمک تئوری لایه‌های معادل به سرعت گروه قابل تنظیم، افزایش قدر مطلق میزان پاشندگی برای جبران پاشندگی ایجاد شده در فیبرهای تک مد، کاهش افت در تغییرات منحنی عبور و عبور پالس‌های فوق کوتاه از ساختار موجبر، از بین رفتن ناهماهنگی بین میزان عبور و نوسانات تاخیر گروه و کم شدن نوسانات در منحنی پاشندگی مرتبه سوم منجر شد که پس از آن موجبر کاواک‌های تزویج شده مغناطیسی با کمترین ضخامت به عنوان ایزولاتورهای مگنتواپتیکی با میزان چرخش فارادی بیشینه در کنار میزان عبور مناسب طراحی گردید.

پس از طراحی، در مرحله ساخت با ترکیب روشهای لایه‌نشانی لیزری و باریکه الکترونی ایزولاتورهای مگنتواپتیکی بر پایه موجبر کاواکهای تزویج شده ساخته و مشخصه‌یابی گردید. به

این ترتیب به هدف همزمانی افزایش میزان چرخش و میزان عبور با طراحی و ساخت ایزولاتورهای مگنتوفوتونی با ضریب کیفیت بالای ۳۰ دسی بل رسیدیم. نتایج شبیه سازی از تطابق نسبتا خوبی برخوردار بود.

با انجام این تحقیق، ضمن ارائه یک ساختار جدید مگنتوفوتونی امکان دستیابی به ایزولاتورهایی با ضخامت کمتر، افزایش همزمان میزان نور عبوری و اثر فارادی و قابل بکارگیری در مدارهای مجتمع فوتونی فراهم گردید.

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: بلورهای مگنتوفوتونی: مقدمات تئوری و تکنیک‌های مشخصه‌یابی

۲-۱) مقدمه‌ای بر بلورهای فوتونی ۲۷

۲-۱-۱)گاف نواری بلورهای فوتونی ۲۸

۲-۱-۲)تئوری لایه‌های معادل و عرض باند کنترل پذیر ۳۱

۲-۲) بلورهای مگنتوفوتونی ۳۷

۲-۲-۱)بلورهای مگنتوفوتونی و انواع آن ۳۸

۲-۲-۲)چرخش فارادی و افزایش آن در بلورهای مگنتوفوتونی

چرخش فارادی در محیطهای مگنتواپتیک ۳۹

افزایش چرخش فارادی در بلورهای مگنتواپتیک ۴۵

۲-۲-۳)محاسبه چرخش فارادی در بلورهای مگنتوفوتونی

روش محاسباتی ماتریس ۴×۴ ۴۸

چرخش فارادی در بلورهای مگنتوفوتونی ۵۲

۲-۲-۴)وابستگی طول موجی چرخش فارادی در بلورهای مگنتوفوتونی ۶۰

۲-۲-۵)اندازه‌گیری منحنی پسماند با میدان متناوب ۶۵

فصل سوم: بلورهای مگنتوفوتونی: ساخت فیلم

۳-۱)تولید فیلم به روش لایه‌نشانی لیزری

چیدمان سیستم لایه‌نشانی لیزر پالسی ۷۱

۳-۲) مواد مغناطیسی آمورف در بلور مگنتوفوتونی

۳-۲-۱) لایه نانومتری آمورف آهن پایه در بلور مگنتوفوتونی ۷۴

۳-۲-۱-۱) رشد لایه‌های نانومتری آهن پایه آمورف با روش لایه‌نشانی لیزری ۷۶

قطرک‌ها در فیلم‌های لایه‌نشانی شده ۷۷

تغییر شکل قطرک‌ها و رفتار مغناطیسی لایه نازک ۷۹

۲-۱-۲-۳) آماده سازی بلور مگنتوفوتونی آهن پایه ۸۲

۳-۱-۲-۳) مشخصه‌یابی بلور مگنتوفوتونی آمورف ۸۵

۲-۲-۳) لایه نانومتری آمورف کبالت پایه در بلور مگنتوفوتونی ۸۸

۱-۲-۲-۳)آماده سازی بلور مگنتوفوتونی کبالت پایه ۸۸

۲-۲-۲-۳)مشخصه‌یابی بلور مگنتوفوتونی کبالت پایه ۹۰

۳-۳) مواد مغناطیسی بلورین گارنت در بلورهای مگنتوفوتونی ۹۲

۱-۳-۳)رشد و مشخصه‌یابی لایه‌های نانومتری گارنت با روش لایه‌نشانی لیزری ۹۳

۲-۳-۳)لایه نانومتری گارنت در بلور مگنتوفوتونی ۱۰۲

۱-۲-۳-۳)ایزولاتور چند کاناله ۱۰۲

۲-۲-۳-۳)چرخش فارادی تنظیم پذیر دربلورهای مگنتوفوتونی ۱۰۵

فصل چهارم: موجبر کاواکهای تزویج شده

۱-۴) موجبر کاواکهای تزویج شده بر پایه بلورهای فوتونی ۱۱۳

۱-۱-۴) موجبر کاواک‌های تزویج شده و باند موجبر ۱۱۷

۲-۱-۴) ضریب جفت شدگی کاواک‌ها در موجبر ۱۲۰

۳-۱-۴)سرعت گروه تنظیم پذیر در موجبر کاواکهای تزویج شده ۱۳۰

۴-۱-۴) پاشندگی و جبران تنظیم پذیر آن در سیستم‌های جداکننده چند کاناله

۱-۴-۱-۴) پاشندگی در فیبر ۱۳۲

۲-۴-۱-۴)پاشندگی در موجبر کاواکهای تزویج شده ۱۴۰

۳-۴-۱-۴)جبران پاشندگی در فیبر توسط موجبر کاواکهای تزویج شده ۱۴۱

۵-۱-۴)افت در موجبر کاواکهای تزویج شده ۱۴۶
۶-۱-۴) تاخیر گروه و پاشندگی‌های مرتبه بالاتر ۱۵۱
۲-۴) موجبر کاواک‌های تزویج شده مغناطیسی بر پایه بلورهای مگنتوفوتونی ۱۵۵
۱-۲-۴) موجبر کاواک‌های تزویج شده مغناطیسی به عنوان ایزولاتور چند کاناله مگنتواپتیکی ۱۵۶
۱-۱-۲-۴) ضریب جفت شدگی در موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی۱۵۹
۲-۱-۲-۴) موجبر چند نقصی و ایزولاتور چند کاناله ۱۶۰
۲-۲-۴) موجبر کاواک‌های تزویج شده مغناطیسی به عنوان ایزولاتور مگنتواپتیکی ۱۶۳
۱-۲-۲-۴)ضریب جفت شدگی و چرخش فارادی در موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی ۱۶۴
۲-۲-۲-۴)بهینه سازی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی ۱۶۷
۳-۲-۲-۴) ساخت موجبر کاواکهای تزویج شده ۱۷۰
۳-۲-۴)موجبر کاواکهای تزویج شده با عرض باند در منحنی عبور ضریب کیفیت ایزولاتور ۱۷۲ ۱۷۷
فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۱۸۲
پیوست ۱۹۰
مراجع ۱۹۳

فهرست شکلها:

شکل۱-۲: طرحواره ساختار بلور فوتونی یک بعدی ۲۸

شکل۲-۲: عرض باند نواری به عنوان تابعی از نسبت تباین اپتیکی محیط. ۳۱

شکل۳-۲: سیستم سه لایه‌ای متقارن و تک لایه معادل با آن. ۳۲

شکل۴-۲: منحنی تغییرات p_e برحسب ω/ω_0 به ازای مقادیر ۱/۶، ۱/۸، ۲/۰ و ۲/۲= n_{e0} (n_{e0} ضریب شکست معادل در فرکانس ω_0) ۳۴

شکل۵-۲: منحنی تغییرات n_e برحسب ω/ω_0 به ازای مقادیر ۱/۶، ۱/۸، ۲/۰ و ۲/۲= n_{e0} (n_{e0} ضریب شکست معادل در فرکانس ω_0) ۳۵

شکل۶-۲: پروفایل ضرایب شکست ساختار بلور فوتونی با نسبت تباین اپتیکی ۱/۴۵. ۳۶

شکل۷-۲: چگونگی تغییرات ضریب بازتاب بر حسب فرکانس نسبی به ازای مقادیر مختلف نسبت تباین اپتیکی که در جدول ۱ آمده است. ۳۷

شکل ۸-۲: طرحواره چرخش قطبش نور فرودی خطی در حال عبور از نمونه مگنتواپتیکی ۴۳

شکل ۹-۲: طرحواره چرخش قطبش نور فرودی خطی در حال عبور از نمونه مگنتواپتیکی جاذب. ۴۴

شکل ۱۰-۲: طرحواره چگونگی افزایش چرخش در اثر چندین بار بازتاب از آینه‌های براگ اطراف محیط مگنتواپتیکی. ۴۶

شکل ۱۱-۲: طرحواره بلور مگنتوفوتونی با ساختار میکروکاواک. ۵۲

شکل ۱۲-۲: طرحواره سیستم اندازه‌گیری وابستگی طول موجی چرخش فارادی. ۶۰

شکل ۱۳-۲: تغییرات شدت با زاویه آنالیزور به ازای مقدار ثابت چرخش فارادی ($\theta_F = 0$) و برای مقادیر مختلف بیضی گونگی فارادی(۹۲). ۶۲

شکل ۱۴-۲: تغییرات شدت بر حسب زاویه آنالیزور با اعمال میدانهای مغناطیسی راست و چپ(۹۲). ۶۳

شکل ۱۵-۲: چیدمان اندازه‌گیری وابستگی طول موجی چرخش فارادی بر اساس آنالیزور چرخان ۶۴

شکل ۱۶-۲: طرحواره اندازه‌گیری منحنی پسماند با استفاده از میدان متناوب. ۶۵

شکل ۱۷-۲: چیدمان اندازه‌گیری منحنی پسماند با استفاده از میدان متناوب. ۶۷

شکل ۱-۳: طرحواره چیدمان سیستم آزمایشگاهی لایه‌نشانی لیزر پالسی ۷۱

شکل ۲-۳: چیدمان انجام لایه‌نشانی لیزری در آزمایشگاه ۷۳

شکل ۳-۳: طیف پراکندگی بازگشتی رادرفورد نمونه لایه نشانی شده. ۷۷

شکل ۴-۳: سطح فیلم لایه‌نشانی شده (طول عکس برابر با ۲۵۰ میکرومتر می‌باشد.) ۷۸

شکل۵-۳: تغییر ولتاژ کر نمونه آهن پایه در دو هندسه عرضی و قطبی. ۷۸

شکل۶-۳:روند تغییر ولتاژ هال و ولتاژ کر در نمونه آهن پایه. ۸۰

شکل۷-۳: سطح فیلم لایه نشانی شده بعد از عبور جریان و انداه گیری ولتاژ هال. (طول عکس برابر با ۲۵۰ میکرومتر می‌باشد.) ۸۱

شکل۸-۳: مقادیر قطری و غیر قطری تانسور پذیرفتاری لایه آمورف آهن پایه به عنوان لایه نقص ۸۴

شکل۹-۳: منحنی تغییرات طول موجی درصد عبور و چرخش فارادی ، نتایج حاصل از محاسبات نیز برای مقایسه آمده است. ۸۵

شکل۱۰-۳: منحنی پسماند بلور مگنتوفوتونیک با لایه نقص آمورف آهن پایه. ۸۷

شکل ۱۱-۳: مولفه‌های قطری و غیر قطری تانسور پذیرفتاری لایه مغناطیسی آمورف کبالت پایه. ۸۹

شکل ۱۲-۳: منحنی تغییرات طول موجی چرخش فارادی و درصد عبور در بلور مگنتوفوتونیک با لایه نقص آمورف کبالت پایه، نتایج حاصل از محاسبات نیز برای مقایسه آمده است. ۹۰

شکل ۱۳-۳: منحنی پسماند بلور مگنتوفوتونیک با لایه نقص آمورف کبالت پایه. ۹۱

شکل۱۴-۳: تصویر گدازه پلاسمای ایجاد شده در لایه نشانی YIG. ۹۴

شکل ۱۵-۳: طیف پراش پرتو ایکس از نمونه گارنت آلاییده به بیسموت. ۹۵

شکل ۱۶-۳: سطح ثبت شده فیلم Bi:YIG(طول عکس برابر با ۲۵۰ میکرومتر می باشد.) ۹۷

شکل۱۷-۳: منحنی پسماند چرخش فارادی نمونه Bi: YIG. ۹۸

شکل۱۸-۳: وابستگی طول موجی چرخش فارادی در لایه نازک گارنت آلاییده به بیسموت. ۹۸

شکل ۱۹-۳: منحنی تغییرات قسمت حقیقی ضریب شکست نمونه های YIGو Bi: YIG. ۹۹

شکل۲۰ -۳: منحنی پسماند چرخش فارادی نمونه Bi: YIG روی زیرلایه GGG با دمای زیرلایه ۶۰۰ درجه. ۱۰۰

شکل ۲۱-۳: وابستگی طول موجی چرخش فارادی نمونه با دمای زیرلایه ۱۰۱

شکل ۲۲-۳: طیف پراش پرتو ایکس نمونه گارنت با دمای زیرلایه. ۱۰۲

شکل۲۳-۳: عناصر قطری و غیر غطری تانسور پذیرفتاری لایه مغناطیسی گارنت آلاییده به بیسموت ۱۰۴

شکل۲۴-۳:پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی بلور مگنتوفوتونیک شامل لایه نقص گارنت آلاییده به بیسموت (الف) نتایج حاصل از محاسبه و (ب) نتایج اندازه‌گیری شده، محاسبه چرخش فارادی به منظور هدایت آمده است. ۱۰۵

شکل ۲۵-۳: منحنی تغییرات درصد عبور و چرخش فارادی در بلور مگنتوفوتونیک با لایه نقص گارنت آلاییده به بیسموت. ۱۰۸

شکل ۲۶-۳: خصوصیات اپتیکی و مگنتواپتیکی بلور مگنتوفوتونیک با اعمال لایه‌های معادل، (الف) درصد عبور و (ب) چرخش فارادی. ۱۰۹

شکل ۲۷-۳: بیشینه چرخش فارادی و درصد عبور متناسب با آن به صورت تابعی از net. بیانگر درصد عبور برای چهار ضخامت لایه نقص در ساختار بدون لایه معادل است. ۱۱۰

شکل ۲۸-۳: بیشینه چرخش فارادی و طول موج جایگزیدگی متناسب با آن به صورت تابعی از net. بیانگر طول موج جایگزیدگی برای چهار ضخامت لایه نقص در ساختار بدون لایه معادل است. ۱۱۰

شکل ۱-۴: طرحواره (الف) موجبر کاواکهای تزویج شده دی الکتریک بر پایه بلورهای فوتونی یک بعدی و (ب)موجبر کاواکهای تزویج شده دی الکتریک صفحه ای. ۱۱۴

شکل ۲-۴: چگونگی توزیع ضرایب شکست در موجبر کاواکهای تزویج شده دی‌الکتریک. ۱۲۲

شکل ۳-۴: طیف عبور محاسبه شده برای (الف) بلور فوتونی اولیه، (ب) ساختار موجبر با یک لایه نقص، (ج) موجبر با دو لایه نقص. ۱۲۳

شکل ۴-۴: توزیع میدان مربوط به ساختار موجبر با یک لایه نقص و دو لایه نقص بر حسب فاصله اپتیکی از محیط. (الف) توزیع میدان ساختار با یک لایه نقص، (ب) توزیع میدان ساختار با دو لایه نقص به ازای $\lambda_1 = 1519.96\,nm$ و (ج) توزیع میدان ساختار با دو لایه نقص به ازای $\lambda_2 = 1581.17\,nm$ ۱۲۵

شکل ۵-۴: منحنی تغییرات مقدار قدر مطلق ضریب جفت شدگی بر حسب ضریب شکست معادل. ۱۳۱

شکل ۶-۴: منحنی تغییرات سرعت گروه به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست معادل ۱۳۱

شکل ۷-۴: :(الف) منحنی تغییرات طول موجی پارامتر پاشندگی در موجبر کاواکهای تزویج شده با نسبت تباین اپتیکی ۱/۵۶(بدون لایه معادل) در باند L طیف مخابرات نوری (ب) جزییات منطقه با پارامتر پاشندگی منفی بزرگ. ۱۴۱

شکل ۸-۴:(الف) منحنی تغییرات طول موجی پارامتر پاشندگی در موجبر کاواکهای تزویج شده با مقادیر مختلف نسبت تباین اپتیکی (ب) جزییات منطقه با پارامتر پاشندگی منفی بزرگ در باند L طیف مخابرات نوری. ۱۴۴

شکل ۹-۴: طیف عبور ساختار موجبر کاواکهای تزویج شده $(LH)^{4}L_{in})^{N}$ با تعداد تشدیدگرهای (الف)۴، (ب)۶، (ج) ۸و (د)۱۰. ۱۴۷

شکل ۱۰-۴: شکل پالس خروجی در مقایسه با پالس فرودی گاوسی ۱۴۸

شکل ۱۱-۴: پالس خروجی از موجبر کاواکهای تزویج شده در مقایسه با پالس ورودی به ازای مقادیر مختلف ضریب شکست معادل. ۱۴۹

شکل ۱۲-۴: بستگی طول موجی عبور در موجبر کاواکهای تزویج شده به همراه تغییرات شکل پالس خروجی از موجبر در مقایسه با پالس فرودی (الف) و (ج) بدون اعمال لایه معادل و (ب) و (د) با اعمال لایه معادل با نسبت تباین اپتیکی برابر با ۱/۱۳. ۱۵۰

شکل ۱۳-۴: منحنی تغییرات طول موجی تاخیر گروه در موجبر کاواکهای تزویج شده با ساختار $(LH)^{4}L_{in})^{N}$ به ازای تعداد تشدیدگرها برابر با (الف)۴، (ب)۶، (ج) ۸و (د)۱۰.. ۱۵۲

شکل ۱۴-۴: منحنی تغییرات تاخیر گروه بر حسب طول موج در ساختار موجبر کاواکهای تزویج شده $(LH)^{۴}L_{in})^{۱۰}$ بدون اعمال لایه معادل و با اعمال لایه معادل با نسبت تباین اپتیکی ۱/۱۳. ۱۵۳

شکل ۱۵-۴: منحنی تغییرات پاشندگی مرتبه سوم در موجبر کاواکهای تزویج شده (الف)بدون لایه معادل در مقایسه با موجبر با نسبت تباین اپتیکی ۱/۱۳. ۱۵۵

شکل ۱۶-۴: طرحواره موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی به منظور استفاده از آن به عنوان ایزولاتور چند کاناله مگنتواپتیکی. ۱۵۷

شکل ۱۷-۴ : پاسخ اپتیکی (الف) و مگنتواپتیکی (ب) موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با رویکرد استفاده در ایزولاتورهای چند کاناله. ۱۵۹

شکل ۱۸-۴: پاسخ اپتیکی (الف) و مگنتواپتیکی (ب) موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با رویکرد استفاده در ایزولاتورهای چند کاناله. ۱۶۰

شکل ۱۹-۴: پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با تعداد لایه‌های نقص برابر با (الف)۳، (ب)۴ و (ج) ۷. ۱۶۲

شکل ۲۰-۴: طرحواره ساختار موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی به منظور استفاده از آنها به عنوان ایزولاتور مگنتواپتیکی. ۱۶۳

شکل ۲۱-۴: (الف) پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی و (ب) ضریب تبدیل بر حسب ضخامت موجبر. ۱۶۵

شکل ۲۲-۴: توزیع میدان الکتریکی در موجبر کاواکهای تزویج شده به ازای مقادیر مختلف تعداد رزوناتورها (الف) مقادیری با رفتار یکسان و (ب) مقادیر تعداد رزوناتورها با رفتار متفاوت در پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی. ۱۶۶

شکل۲۳-۴: (الف) پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با ضخامت $3\lambda_0/4$ برای لایه های مغناطیسی و (ب) ضریب تبدیل و (ج) افت بر حسب ضخامت موجبر. ۱۶۸

شکل۲۴-۴: تغییرات طول موجی چرخش فارادی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی.۱۷۱

شکل ۲۵-۴: پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با ۵ لایه نقص. ۱۷۳

شکل ۲۶-۴: پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با ۶ لایه نقص. ۱۷۴

شکل ۲۷-۴: توزیع میدان الکتریکی در موجبر کاواکهای تزویج شده با عرض باند در منحنی عبور به ازای (الف) ۵ لایه نقص و (ب) ۶ لایه نقص ۱۷۵

شکل ۲۸-۴: (الف) پاسخ اپتیکی و مگنتواپتیکی موجبر کاواکهای تزویج شده مغناطیسی با عرض باند در منحنی عبور و (ب) ضریب تبدیل مدهای TE و TM. ۱۷۶

شکل ۲۹-۴: روند تغییرات ضریب ایزولاسیون با میزان چرخش فارادی ۱۸۰

ایزولاتورهای مگنتواپتیکی به دلیل محافظت منابع نوری از باریکه‌های بازگشتی، از اهمیت ویژه‌ای در تکنولوژی مخابرات نوری برخوردارند. این ایزولاتورها با دارابودن قابلیت تشخیص جهت‌های رفت و برگشت به عنوان عنصر غیر متقابل[۱]، از برگشت نور به درون منبع نوری جلوگیری به عمل می‌آورند. در واقع نورهای بازگشتی از بخشهای مختلف مدارهای مجتمع شامل سیستم‌های ارتباط دهنده مانند مدارهای مجتمع فوتونی (PIC[۲]) و مدارهای مجتمع اپتوالکترونیکی (OEIC [۳])، موجب ایجاد تغییراتی در دامنه و شدت و حتی طول موج نور خروجی از لیزر می‌شود. به همین دلیل به منظور محافظت لیزرها و ثبات عملکرد مدارهای مجتمع از ایزولاتورهای اپتیکی برای ایزوله کردن مسیر نور برگشتی استفاده می‌شود. که این ایزولاتورها از لحاظ ابعاد بزرگ و از لحاظ قیمت نیز گران هستند و در نتیجه استفاده از آنها در مدارهای مجتمع مشکل و حتی غیر ممکن می‌گردد. در این میان، توجه به حجم کم المانهای مورد استفاده در مدارهای مجتمع ضروری است و استفاده از ساختارهای نانوفوتونی به عنوان ایزولاتور در مدارهای مجتمع بسیار با اهمیت می‌شود.

از طرفی گسترش تولید فیلم‌های نازک مغناطیسی و روشهای رشد آنها، ساخت ساختارهای مگنتواپتیکی خیلی کوچک و مناسب مدارهای مجتمع را ممکن ساخت. مهمترین مزیت این ساختارها ابعادکوچک، قیمت پایین و سازگاری آنها با منابع نوری است و از آنجا که

[۱] Nonreciprocal
[۲] Photonic Integrated Circuits
[۳] Optoelectronic Integrated Circuits

کلیه منابع نوری نیازمند محافظت از پرتو بازگشتی هستند، ساخت همزمان آنها با لیزرها نیز ممکن گردید[۱].

استفاده از این ترکیبات مگنتواپتیکی به عنوان ایزولاتور، نیازمند چرخش مناسب قطبش باریکه برخوردی در مسیر بازگشت نور است. که به منظور تحقق ایده به کارگیری ایزولاتورهای مگنتواپتیکی در مدارهای مجتمع، از فیلم‌های مغناطیسی گارنت به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها یاد می‌شود. فیلم‌های مغناطیسی گارنت به دلیل شفافیت در منطقه مادون قرمز نزدیک و خصوصیات مگنتواپتیکی خوب مانند چرخش فارادی[۱] زیاد در محدوده مرئی تا مادون قرمز نزدیک از اهمیت بسزایی در ساخت قطعاتی مانند حافظه‌های مغناطیسی و ایزولاتورهای اپتیکی [۲] و مگنتواپتیکی فیلم نازک [۵-۲] برخوردارند. افزودن چرخش فارادی این فیلم‌ها و در عین حال کم کردن حجم آنها به منظور استفاده به عنوان ایزولاتور در صنعت مخابرات مورد توجه قرار گرفته است. در میان این دسته از مواد، گارنت ییتریوم آهن (YIG)[۳] دارای چرخش فارادی $-۰/۸۴ \times ۱۰^{-۱}$ درجه بر واحد میکرومتر [۶] در طول موج ۶۳۳ نانومتر است و با افزودن بیسموت به این ساختار توانسته‌اند میزان چرخش فارادی را به ۲/۱- درجه بر واحد میکرومتر برسانند و با جایگزین کردن کامل بیسموت به جای ییتریوم این میزان به ۶/۲ درجه بر واحد میکرومتر رسیده است. از طرفی دیگر افزودن بیسموت به این ترکیب موجب کاسته شدن شفافیت این فیلم‌ها می‌شود و بنابراین فیلم YIG آلاییده به بیسموت به صورت Bi:YIG از نقطه نظر کاربردی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

تهیه این مواد به صورت فیلم نازک با استفاده از روشهای مختلفی مانند رشد همبافته فاز مایع[۴] [۱۰-۷]، کندوپاش باریکه یون فعال[۵] [۱۳-۱۱] و کندوپاش مغناطیسی فرکانس

---

[۱] Faraday rotation
[۲] Waveguide optical isolator
[۳] Yttrium iron garnet
[۴] Liquid Phase Epitaxy
[۵] Reactive Ion Beam Sputtering

رادیویی[1] [۱۶-۱۴] انجام شده است ولی این روش‌ها دارای نقص‌هایی مانند ناخالصی‌های وارده و نرخ لایه نشانی پایین و تغییرات زیاد در ترکیب می‌باشند. به همین دلیل، بـه منظـور تولیـد نانوساختارها، از روش لایه‌نشانی لیزر پالسی[2] به عنوان روش جایگزین استفاده شده اسـت کـه بزرگترین مزیت این روش، انتقال کامل و بدون تغییر ترکیب شیمیایی از هـدف بـه زیرلایـه و همچنین امکان کنترل ترکیب با وارد کردن گاز اکسیژن (به دلیل عدم حضور منبع انـرژی در سیستم) در طول لایه‌نشانی می‌باشد.

لایه نازک گارنت به عنوان ایزولاتور مگنتواپتیکی:

برای بار نخست کیدو[3][۱۷] و همکارانش در سال ۱۹۹۱، با اسـتفاده از روش لایـه نشـانی لیزری موفق به آماده سازی فیلم گارنت آلاییده به بیسموت شدند. این گروه با استفاده از لیـزر ArF با طول موج ۱۹۳ نانومتر و عرض پالس ۱۰ نانوثانیه و انرژی ۷۰ میلـی ژول بـه ازای هـر پالس و در حضور فشار گاز اکسیژن ۰/۲۷ تا ۱/۳۳ میلی‌بار، هدف $Bi_{1.5}Y_{1.5}Fe_5O_{12}$ را روی زیر لایه گادالینیوم گالیوم گارنت[4] که در دمای ۲۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد نگهداری شـده بـود، لایه‌نشانی کردند. نتایج حاصل از مشخصـه‌یـابی فـیلم رشـد داده شـده در دمـای ۵۳۰ درجـه سانتیگراد و با فشار ۰/۲۷ میلی‌بار، با استفاده از پراش پرتو ایکـس[5]، نشـان دهنـده وجـود فـاز گارنت در جهت (۱۱۱) بود که همان جهت مغناطش آسان این فیلم‌ها را نشان می‌داد. میـزان چرخش فارادی فیلمی که در دمای زیر لایه ۵۱۰ درجه و فشار ۱/۳۳ میلی‌بار رشـد داده شـد، بر حسب میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد و میزان بیشـینه چـرخش ۰/۰۳ درجـه بـر واحـد میکرومتر (۰/۰۱۵ درجه) در طول موج ۸۳۰ نانومتر گزارش شده است. فیلم‌هـای تهیـه شـده

[1] RF-Magnetron Sputtering
[2] Pulsed Laser Deposition
[3] Kidoh
[4] Gadolinium Gallium Garnet
[5] X-ray Diffraction