



دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی نانوفوتونیک

عنوان

طراحی و ساخت لنز در حوزه‌ی طیف تراهرتز

اساتید راهنما

دکتر حامد باغبان

دکتر قاسم رستمی

پژوهشگر

سعیده شایانفر

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نام خانوادگی دانشجو : شایانفر

نام : سعیده

عنوان پایان نامه : طراحی و ساخت لنز در حوزه تراهرتز

استاد راهنما اول : دکتر حامد باغبان

استاد راهنما دوم : دکتر قاسم رستمی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : مهندسی نانوفناوری گرایش : مهندسی فوتونیک دانشگاه : تبریز

دانشکده : مهندسی فناوریهای نوین تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۲/۰۶/۲۰ تعداد صفحه : ۱۳۲

۱ کلید واژه ها : تراهرتز، لنز، پلیمر، قالب گیری

چکیده

هدف از این پروژه طراحی و ساخت لنز در محدوده‌ی فرکانسی تراهرتز است.

پرتو تراهرتز شامل فرکانس‌های ۰/۱ تا ۱۰ تراهرتز می‌شود، در واقع حدفاصل رنج امواج ماکرون و مادون‌قرمز دور از طیف امواج مغناطیسی می‌باشد. پرتو تراهرتز می‌تواند در مواد طبیعی نفوذ کند و به دلیل انرژی پایین فوتون به آن آسیبی نمی‌رساند. امواج تراهرتز در فلز نفوذ نمی‌کنند و از این ویژگی در فرآیند کنترل کیفیت و ... استفاده می‌شود. یکی از اجزای مهم در تصویربرداری نوری و سیستم‌های پردازش داده لنز می‌باشد چون یکی از ویژگی‌های شناخته شده لنز توانایی آن در ساخت تصویر است. یک لنز از مواد مترکم نوری ساخته می‌شود و فاصله‌ی کانونی پارامتر اساسی برای تنظیم ابعاد لنز است. عناصر و ترکیبات مختلفی از جمله کریستال‌های (سیلیکون مقاوم بالا رشدیافته به روش ناحیه‌ی شناور^۱، کوارتز، سیلیکات آلومینوم و منیزیم) و پلیمرها (پلی‌اتیلن، پلی‌متیل پنتن، پیکارین، پلی‌تترافلورواتیلن و...)، در ساختار لنز تراهرتز به کار برده می‌شوند. در این میان پلیمرها انتقال یکنواخت پایداری با بازده بالای ۹۰٪، ۸۰٪ دارند و طول موج‌های بلند را نیز عبور می‌دهند. مواد کریستالی انتقال دهنده ضعیفی هستند به دلیل اتلاف بازتاب موجود حدود ۵۰٪ تا ۷۰٪ از میدان را منتقل می‌کنند. در این پایان‌نامه با توجه به درصد بالای عبور و جذب پایین در پلیمر پلی‌اتیلن غلظت بالا با استفاده از قالب‌گیری فشاری، لنزی با فاصله‌ی کانونی ۶۰ میلی‌متر طراحی می‌کنیم. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار **comsol multiphysics 4.3 b** استفاده شده‌است و توزیع میدان در کانون نشان داده می‌شود. برای کاهش فاصله‌ی کانونی در این لنز باید شعاع انحنا لنز کروی طراحی شده یا ضریب شکست مواد تشکیل دهنده را افزایش دهیم. افزایش انحنا باعث افزایش انحرافات کروی می‌شود از این رو با توجه به این نکته که با ترکیب پلی‌اتیلن با ناخالصی‌های دیگر، می‌توان ضریب شکست کلی را افزایش داد، میزان فاصله‌ی کانونی را کاهش می‌یابد، بدین منظور ترکیب سیلیسیم کربید با جذب کم و ضریب شکست بالا و تقریباً ثابت برابر با ۳/۱ انتخاب شد. نتایج شبیه‌سازی گویای صحت فرضیه فوق بود.

¹ High resistive float zone silicon

تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را نمونه‌مان شد و به
همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌مان
ساخت.

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول	۱
۱.....	مقدمه	۱-۱
۱.....	تابش تراهرتز	۲-۱
۳.....	کاربرد امواج تراهرتز	۳-۱
۷.....	دسته بندی سیستم‌های تراهرتز	۴-۱
۷.....	سیستم‌های تراهرتز پالسی	۱-۴-۱
۸.....	سیستم‌های تراهرتز موج پیوسته	۲-۴-۱
۹.....	تعریف لنز	۵-۱
۱۱.....	تقسیم‌بندی لنزها	۶-۱
۱۴.....	تعیین ضخامت یک لنز مثبت	۷-۱
۲۰.....	انواع لنزهای کروی	۸-۱
۲۰.....	لنز دو کوژ	۱-۸-۱
۲۰.....	لنز دو کاو	۲-۸-۱
۲۰.....	لنز تخت کوژ	۳-۸-۱
۲۱.....	لنز مقعر و محدب	۴-۸-۱
۲۲.....	لنز تخت کاو	۵-۸-۱
۲۳.....	لنز محدب و مقعر	۶-۸-۱
۲۳.....	انواع انحرافات	۹-۱
۲۳.....	انحرافات کروی	۱-۹-۱
۲۴.....	کُما	۲-۹-۱

۲۵.....	انحراف کروماتیک یا رنگی	۳-۹-۱	
۲۷.....	پراش	۱۰-۱	
۲۷.....	پراش فرانیهوفر و پراش فرنل	۱-۱۰-۱	
۲۹.....	انواع لنزهای تراهرتز	۱۱-۱	
۲۹.....	کریستال‌ها	۱-۱۱-۱	
۳۳.....	پلیمرها	۲-۱۱-۱	
۴۲.....	متمواد	۳-۱۱-۱	
۴۴.....	لنزهای با فاصله‌ی کانونی قابل تنظیم	۱۲-۱	
۴۴.....	لنز کریستال مایع نماتیک	۱-۱۲-۱	
۴۸.....	لنز پلاسمونیک قابل تنظیم بر پایه میکروشکاف‌های نیمه هادی	۲-۱۲-۱	
۵۰.....	لنز تراهرتز کانون متغییر	۳-۱۲-۱	
۵۳.....	فصل دوم		۲
	محاسبه‌ی ضریب شکست و ضریب جذب در محدوده‌ی تراهرتز به وسیله‌ی طیف‌سنجی حوزه‌ی	۱-۲	
۵۳.....	زمان تراهرتز		
	مقایسه‌ی ضریب جذب و ضریب شکست فرکانس تراهرتز برای پلیمرها به وسیله‌ی طیف‌سنجی	۲-۲	
۵۶.....	حوزه‌ی زمان تراهرتز		
۶۱.....	بهینه‌سازی انتقال	۳-۲	
۶۳.....	پیش‌زمینه روش ساخت	۴-۲	
۶۴.....	شرایط میکروپودرهای به کار رفته	۵-۲	
۷۲.....	تئوری محیط موثر	۱-۵-۲	
۸۰.....	ترکیبات مواد همسانگرد	۲-۵-۲	
۸۴.....	بحث و نتایج		۳

۸۴.....	محاسبه‌ی ضریب جذب و ضریب شکست به کمک نرم‌افزار متلب	۱-۳
۸۶.....	بررسی اثر فرکانس بر فاصله‌ی کانونی	۲-۳
۸۶.....	توزیع میدان درصدهای حجمی متفاوت از ترکیب	۳-۳
۱۰۹.....	پیشنهادات.....	۴-۳
۱۱۰.....	مراجع	۵-۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱) طیف تراهرتز (.....) ۲.....
- شکل ۲-۱) (نمونه کاربردها) ۳.....
- شکل ۳-۱) انتقال امواج در فرکانس‌های پایین تراهرتز ۰ تا ۱ تراهرتز (رطوبت هوا ۰/۰۰۱ میلی‌متر است)..... ۴.....
- شکل ۴-۱) عبور فضایی در فرکانس‌های بالای باند ۱ تراهرتز تا ۳ تراهرتز (رطوبت هوا ۰/۰۰۱ میلی‌متر است)..... ۴.....
- شکل ۵-۱) شماتیک طیف سنجی تراهرتز (.....) ۶.....
- شکل ۶-۱) (نمونه کاربرد تصویرسازی پزشکی) ۶.....
- شکل ۷-۱) شماتیک فرستنده و گیرنده تراهرتز (.....) ۸.....
- شکل ۸-۱) تفاوت در خمش بین یک منحنی کروی و غیر کروی (.....) ۱۲.....
- شکل ۹-۱) (انواع لنز) ۱۴.....
- شکل ۱۰-۱) (a) سطح روبرو (b) سطح جانبی لنز) ۱۴.....
- شکل ۱۱-۱) (تعیین ضخامت) ۱۵.....
- شکل ۱۲-۱) (انواع لنز) ۱۸.....
- شکل ۱۳-۱) (a) لنز دو کوژ (b) لنز دو کاو) ۱۹.....
- شکل ۱۴-۱) لنز تخت کوژ ۲۱.....
- شکل ۱۵-۱) لنز مقعر و محدب ۲۲.....
- شکل ۱۶-۱) (لنز تخت کاو) ۲۲.....
- شکل ۱۷-۱) (لنز محدب و مقعر) ۲۳.....
- شکل ۱۸-۱) (انحرافات کروی) ۲۴.....
- شکل ۱۹-۱) (کُما) ۲۵.....
- شکل ۲۰-۱) (انحرافات رنگی) ۲۶.....
- شکل ۲۱-۱) (انتقال و بازتاب HRFZ-Si با ضخامت ۰/۵ در رنج تراهرتز) ۳۰.....
- شکل ۲۲-۱) (مقایسه حبه‌ی موج) ۳۰.....
- شکل ۲۳-۱) (نمودار ثابت دی‌الکتریک بر حسب غلظت ناخالصی) ۳۱.....
- شکل ۲۴-۱) (عبور و بازتاب کریستال کوارتز) ۳۲.....
- شکل ۲۵-۱) (گراف تغییرات انتقال نسبت به جهت‌گیری کریستالی و ضخامت سیلیکات آلومینیوم و منیزیم)..... ۳۳.....

- شکل ۱-۲۶ (ساختار مونومر پلی متیل پنتن) ۳۴
- شکل ۱-۲۷ (انتقال برای نمونه با ضخامت ۲ میلی متر در محدوده‌ی امواج تراهرتز) ۳۵
- شکل ۱-۲۸ (انتقال نمونه پلی متیل پنتن با ضخامت ۲ میلیمتر برای امواج فرسرخ میانی و فرسرخ نزدیک) ۳۵
- شکل ۱-۲۹ (انتقال نمونه پلی متیل پنتن با ضخامت ۲ میلیمتر در رنج فرابنفش، مرئی، فرسرخ نزدیک) ... ۳۵
- شکل ۱-۳۰ (وابستگی دمایی ضریب شکست) ۳۶
- شکل ۱-۳۱ (عبور نمونه‌هایی به ضخامت ۲ میلی متر از جنس پلی متیل پنتن، پیکارین، پلی اتیلن غلظت بالا) ۳۷
- شکل ۱-۳۲ (ساختار مونومر پلی اتیلن، دانه‌های پلی اتیلن) ۳۷
- شکل ۱-۳۳ (a) انتقال موج در نمونه‌ای با ضخامت ۲ میلی‌متر در محدوده‌ی امواج تراهرتز، b انتقال موج در نمونه‌ای با ضخامت ۲ میلی‌متر در محدوده‌ی امواج فرسرخ میانی و فرسرخ نزدیک) ۳۹
- شکل ۱-۳۴ (انتقال موج نمونه با ضخامت ۲ میلیمتر در رنج مرئی و فرسرخ نزدیک) ۳۹
- شکل ۱-۳۵ (وابستگی ضریب شکست به دما) ۴۰
- شکل ۱-۳۶ (a درصد انتقال موج برای یک نمونه از پلی‌تترافلورواتیلن با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر در محدوده‌ی امواج فرسرخ میانی و فرسرخ نزدیک، b درصد انتقال موج برای یک نمونه از پلی‌تترافلورواتیلن با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر در محدوده‌ی امواج) ۴۱
- شکل ۱-۳۷ (ساختار یک زنور) ۴۱
- شکل ۱-۳۸ ((a) شماتیک یک سلول واحد، (b) ۲۵ سلول با شعاع متفاوت شیار در کنار هم) ۴۳
- شکل ۱-۳۹ ((a) قسمت حقیقی ضریب شکست موثر با شعاع داخلی متفاوت (b) عبور برای سه سلول واحد که در جهت انتشار قرار گرفته‌اند). ۴۳
- شکل ۱-۴۰ (نفوذپذیری و گذردهی موثر برای یک شیار داخلی با شعاع ۲۰ میکرومتر) ۴۴
- شکل ۱-۴۱ (ساختار یک لنز کریستال مایع) ۴۵
- شکل ۱-۴۲ (جهت‌گیری هدایت‌کننده‌های کریستال مایع در اثر میدان الکتریکی) ۴۶
- شکل ۱-۴۳ (پروفایل شدت در ۱۱۸ میکرومتر ارائه شده است، ولتاژها به ترتیب ۱/۰۱، ۵/۰، ۱۵ Vrms) ۴۷
- شکل ۱-۴۴ (نقشه میکروشکاف InSb با عرض شکاف A=۸۰، B=۵۴، C=۴۴، D=۳۸، E=۳۴ و F=۳۲ میکرومتر، ضخامت لایه ۳۰۰ میکرومتر است. (b) توزیع فاز (نقاط مربعی) و منحنی معادله‌ی فاز به ازای f=۱۰ میلی‌متر است. (c) عبور تراهرتز به صورت تابعی از کسر شکاف‌ها. (d) توزیع شدت به وسیله‌ی تغییرات محدود حوزه‌ی زمان) ۴۹
- شکل ۱-۴۵ (نتایج توزیع شدت میدان با طراحی یکسان. خط مشکی نقاط کانونی را مشخص میکند (a) ۳۲۵،

- (b) ۲۹۵، (c) ۲۷۰، (d) ۲۵۵ کلوبین فواصل کانونی به ترتیب ۳/۷۷، ۳/۷۴، ۳/۵، ۳/۰۵ میلی متر می باشند. (۴۹..)
- شکل ۱-۴۶ (ساختار یک لنز الاستیک با فاصله‌ی کانونی متغییر) ۵۰
- شکل ۱-۴۷ (ضریب شکست و ضریب جذب white oil) ۵۰
- شکل ۱-۴۸ ((a) و (b) پروفایل پرتو برای فاصله‌ی کانونی ۱۴۳، ۷۳ میلی‌متر به ترتیب (c) و (d) تقریب گوسین شدت در طول محور x و y برای دو کانون.) ۵۱
- شکل ۲-۱ (مقایسه‌ی ضریب جذب و ضریب شکست پلی اتیلن غلظت بالا، پلی تترافلوئوراتیلن، پلی استرن، تفلون به وسیله‌ی طیف سنجی حوزه‌ی زمان تراهرتز) ۵۶
- شکل ۲-۲ (ضریب توان جذبی، پلی استرن اتصال عرضی (مثلثی)، پلی متیل پنتن (دوایر توخالی)، زئور نقطه) ۵۷
- شکل ۲-۳ (ضریب شکست پلی استرن اتصال عرضی (مثلثی)، پلی متیل پنتن (دوایر توخالی)، زئور نقطه) ۵۷
- شکل ۲-۴ ((a) پالس تراهرتز مرجع و نمونه (b) مقایسه دامنه طیفی پالس مرجع و پالس نمونه) ۵۸
- شکل ۲-۵ ((a) ضرایب شکست (b) ضریب جذب) ۵۹
- شکل ۲-۶ ((a) قسمت حقیقی و (b) موهومی ثابت دیالکتریک ۵۹
- شکل ۲-۷ ((a) لنز منطبق کننده، (b) لنز فراتر از نیم کره) ۶۱
- شکل ۲-۸ ((a) ساختار کلی سیستم قالب گیری لنز، (b) قالب گیری تزریقی) ۶۳
- شکل ۲-۹ ((a) ضریب شکست، (b) ضریب جذب، برای میکروپودرهای پلی بلند XF ۱۰۰ و پروپیل تکس ۳۲۵s میزان ضریب اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شده است.) ۶۳
- شکل ۲-۱۰ (ابعاد لنز و پرتوهای ورودی) ۶۶
- شکل ۲-۱۱ ((a) پرس هیدرولیک (b) دو قالب لنز (c) یک لنز ساخته شده با قالب گیری فشاری) ۶۷
- شکل ۲-۱۲ (پروفایل کمانی (a)، پروفایل عرضی (b) پرتو تراهرتز برای لنز قالب گیری فشاری از ، (c) برش افقی و عمودی پروفایل پرتو) نرمالیزه ۶۷
- شکل ۲-۱۳ (پروفایل کمانی (a)، پروفایل عرضی (b) پرتو تراهرتز برای لنز قالب گیری فشاری از پروپیل تکس ۳۲۵s، پلی اتیلن غلظت بالا/ پلی تترافلوئورپنتن (c) برش افقی و عمودی پروفایل پرتو نرمالیزه) ۶۸
- شکل ۲-۱۴ ((a) ضریب شکست، (b) ضریب جذب ، (c) مقایسه‌ی نتایج با فرمول براگمن) ۶۹
- شکل ۲-۱۵ ((a) ضریب شکست و ضریب نابودی ترکیب آلومینا و پلی پروپیلن، (b) ضریب شکست و ضریب نابودی ترکیب زینک سولفید و پلی پروپیلن ۷۰
- شکل ۲-۱۶ (برخورد بین یک موج الکترومغناطیس و یک سیستم مرکب برای توصیف نفوذپذیری موثر) ۷۱
- شکل ۲-۱۷ (در قطعات کوچک نسبت به طول موج، مدل شبه نوری کافیسیت در غیر این صورت اثر پراکندگی

- در نظر گرفته می شود.)..... ۷۱
- شکل ۱۸-۲ (استخراج قطبش پذیری حاصل از یک ذره کروی تنها با مدل ماکسول - گارنت ۷۲
- شکل ۱۹-۲ (ذره کروی پوسته دار شامل هسته و پوسته) ۷۴
- شکل ۲۰-۲ (مقادیر فاکتور قطبش زدایی N_x به صورت تابعی از شعاع بین محور x و y در شکل a و در محور x و z در شکل b) ۷۶
- شکل ۲۱-۲ (مقادیر فاکتور قطبش زدایی N_x a یک میله b یک کره و c یک دیسک) ۷۷
- شکل ۲۲-۲ (قانون اساسی مدل LLL) ۸۰
- شکل ۲۳-۲ (ضریب شکست محاسبه شده برای ترکیب فیبرهای شیشه و پلی اتیلن غلظت بالا در ۴۰۰ GHz ۸۱
- (..... ۸۱
- شکل ۱-۳ (طرح قالب) ۸۴
- شکل ۲-۳ a توزیع میدان برای پلی اتیلن غلظت بالا، b دامنه توزیع در فرکانس 0.1 تراهرتز نسبت به فاصله، c دامنه میدان در صفحه ی کانون، d توزیع میدان برای پلی اتیلن غلظت بالا در فرکانس 0.3 تراهرتز، e دامنه میدان نسبت به فاصله در 0.3 تراهرتز) ۸۴
- شکل ۳-۳ a توزیع میدان الکتریکی در فرکانس 5 تراهرتز، b دامنه میدان نسبت به فاصله در فرکانس 5 تراهرتز، c توزیع میدان الکتریکی در فرکانس 6 تراهرتز، d دامنه میدان نسبت به فاصله در 6 تراهرتز، e توزیع میدان الکتریکی در فرکانس $7/5$ تراهرتز، f دامنه میدان نسبت به فاصله در $7/5$ تراهرتز، g توزیع میدان الکتریکی در فرکانس 8 تراهرتز، h دامنه میدان نسبت به فاصله در 8 تراهرتز) ۸۵
- شکل ۴-۱ (ضریب شکست و ضریب جذب سیلیکون کربید) ۸۶
- شکل ۵-۱ (ضریب جذب ترکیب سیلسیم کربید و پلی اتیلن با غلظت بالا با درصد حجمی متفاوت در بازه ی طیفی 0.4 تا 2 تراهرتز) ۸۶
- شکل ۶-۳ a بخش حقیقی و b بخش موهومی ضریب شکست ترکیب سیلسیم کربید و پلی اتیلن با غلظت بالا با درصد حجمی متفاوت در بازه ی طیفی 0.4 تا 2 تراهرتز) ۸۷
- شکل ۷-۳ (ضریب شکست و ضریب جذب سیلیکون کربید) ۸۸
- شکل ۸-۳ (ضریب جذب ترکیب سیلسیم کربید و پلی اتیلن با غلظت بالا با درصد حجمی متفاوت در بازه ی طیفی 0.4 تا 2 تراهرتز) ۸۸
- شکل ۹-۳ a توزیع میدان با درصد حجمی 0.4 از سیلسیم کربید و 0.6 از پلی اتیلن غلظت بالا، b دامنه توزیع

در فرکانس 0.3 تراهرتز نسبت به فاصله، c تمرکز توزیع در کانون (89)

شکل ۳-۱۰ (a توزیع میدان با درصد حجمی 0.5 از سیلیسیم کربید و 0.5 از پلی اتیلن غلظت بالا b دامنه توزیع

در فرکانس 0.3 تراهرتز نسبت به فاصله، c تمرکز توزیع در کانون (89)

شکل ۳-۱۱ (ضریب جذب و قسمت موهومی و قسمت حقیقی ثابت دی الکتریک برای ذرات کروی) (90)

شکل ۳-۱۲ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای پلی اتیلن

غلظت بالا و b توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز، c توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز

در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.2 تراهرتز، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، g توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز، l توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xz) (91)

شکل ۳-۱۳ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات

کروی با درصد حجمی 0.2 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.2 ، c توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی

میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع

سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت

(xz) (92)

شکل ۳-۱۴ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات

کروی با درصد حجمی 0.3 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.3 ، c توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی

میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع

سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت

(xz) (93)

شکل ۳-۱۵ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات

کروی با درصد حجمی 0.4 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.4 ، c توزیع سه بعدی میدان در

فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی

میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع

سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت

۹۴..... (XZ)

شکل ۳-۱۶) a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس‌های ۰/۱ تراهرتز، ۰/۲ تراهرتز، ۰/۳ تراهرتز برای ذرات کروی با درصد حجمی ۰/۵، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی ۰/۵، c توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xy، d توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xz، e توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xy، f توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xz، h توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xy، m توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xz..... ۹۵

شکل ۳-۱۷) a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس‌های ۰/۱ تراهرتز، ۰/۲ تراهرتز، ۰/۳ تراهرتز برای ذرات کروی با درصد حجمی ۰/۶، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی ۰/۶، c توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xy، d توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xz، e توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xy، f توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xz، h توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xy، m توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xz..... ۹۶

شکل ۳-۱۸) (ضریب جذب و قسمت موهومی و حقیقی ثابت دی‌الکتریک برای ذرات دیسک شکل)..... ۹۷

شکل ۳-۱۹) a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس‌های ۰/۱ تراهرتز، ۰/۲ تراهرتز، ۰/۳ تراهرتز برای ذرات دیسکی با درصد حجمی ۰/۲، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی ۰/۲، c توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xy، d توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xz، e توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xy، f توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xz، h توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xy، m توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xz..... ۹۸

شکل ۳-۲۰) a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس‌های ۰/۱ تراهرتز، ۰/۲ تراهرتز، ۰/۳ تراهرتز برای ذرات دیسکی با درصد حجمی ۰/۳، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی ۰/۳، c توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xy، d توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۱ تراهرتز در جهت xz، e توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xy، f توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۲ تراهرتز در جهت xz، h توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xy، m توزیع سه‌بعدی میدان در فرکانس ۰/۳ تراهرتز در جهت xz..... ۹۹

شکل ۳-۲۱) a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس‌های ۰/۱ تراهرتز، ۰/۲ تراهرتز، ۰/۳ تراهرتز برای ذرات

دیسکی با درصد حجمی $b, 0/4$ قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی $c, 0/4$ توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xy , d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xz , e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xy , f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xz , h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xy , m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xz ۱۰۰

شکل ۳-۲۲ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های $0/1$ تراهرتز، $0/2$ تراهرتز، $0/3$ تراهرتز برای ذرات دیسکی با درصد حجمی $b, 0/5$ قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی $c, 0/5$ توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xy , d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xz , e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xy , f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xz , h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xy , m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xz ۱۰۱

شکل ۳-۲۳ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های $0/1$ تراهرتز، $0/2$ تراهرتز، $0/3$ تراهرتز برای ذرات دیسکی با درصد حجمی $b, 0/6$ قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی $c, 0/6$ توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xy , d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xz , e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xy , f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xz , h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xy , m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xz ۱۰۲

شکل ۳-۲۴ (ضریب جذب و قسمت موهومی و قسمت حقیقی ثابت دی الکتریک برای ذرات کروی) ۱۰۳

شکل ۳-۲۵ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های $0/1$ تراهرتز، $0/2$ تراهرتز، $0/3$ تراهرتز برای ذرات میله ای منظم شده با درصد حجمی $b, 0/2$ قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی $c, 0/2$ توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xy , d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xz , e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xy , f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/2$ تراهرتز در جهت xz , h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xy , m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/3$ تراهرتز در جهت xz) ۱۰۴

شکل ۳-۲۶ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های $0/1$ تراهرتز، $0/2$ تراهرتز، $0/3$ تراهرتز برای ذرات میله ای مرتب شده با درصد حجمی $b, 0/3$ قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی $c, 0/3$ توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xy , d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس $0/1$ تراهرتز در جهت xz)

جهت xz ، e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xz (.....). ۱۰۵

شکل ۳-۲۷ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات میله ای مرتب شده با درصد حجمی 0.4 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.4 ، c توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xz (.....). ۱۰۶

شکل ۳-۲۸ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات میله ای مرتب شده با درصد حجمی 0.5 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.5 ، c توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xz (.....). ۱۰۷

شکل ۳-۲۹ (a نمودار یک بعدی رسم کانون در فرکانس های 0.1 تراهرتز، 0.2 تراهرتز، 0.3 تراهرتز برای ذرات میله ای مرتب شده با درصد حجمی 0.6 ، b قسمت حقیقی ضریب شکست در درصد حجمی 0.6 ، c توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xy ، d توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.1 تراهرتز در جهت xz ، e توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xy ، f توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.2 تراهرتز در جهت xz ، h توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xy ، m توزیع سه بعدی میدان در فرکانس 0.3 تراهرتز در جهت xz (.....). ۱۰۸

فصل اول

مقدمہ و بررسی

۱ فصل اول

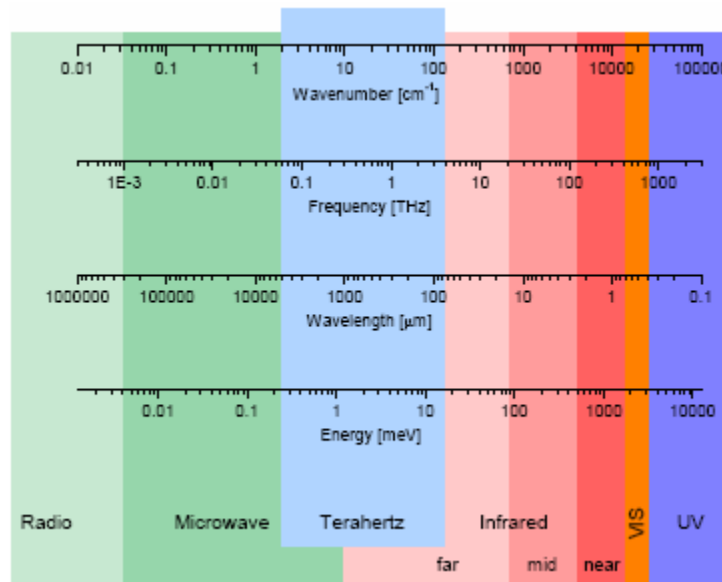
۱-۱ مقدمه

تا به امروز، مطالعات اندکی در ارتباطات تراهرتز، عمدتاً به دلیل عدم وجود اجزاء مناسب مانند منابع تولید تراهرتز، مدولاتورها، آشکارسازها و اجزاء شبه نوری انجام شده است. تکنولوژی تراهرتز حیطة تحقیقاتی جدیدی را در مقابل دانشمندان و اهالی فن گشوده است. امواج تراهرتز در علوم مختلفی چون فیزیک، علم مواد، مهندسی الکترونیک، شیمی، زیست شناسی، پزشکی قانونی، داروسازی و... کاربرد دارد. با رشد سریع تکنولوژی تراهرتز و فراوانی کاربردهای امیدبخش آن، نیاز به گسترش ابزارهای منتقل کننده و تولیدکننده آن نیز بیشتر نمود پیدا می کند. این ابزارها شامل فیلترهای فرکانس گزین، بازتابنده ها، موجبرها، فیبرها، شکاف دهنده ها، آشکارسازها، مدلاتورها، متمرکز کننده های نوری و موازی کننده های نوری که هسته اصلی هر سیستم تراهرتزی هستند، می باشد [۱].

۲-۱ تابش تراهرتز

پرتو تراهرتز، باند فرکانسی بین 10^{11} تا 10^{13} هرتز را شامل می شود که در واقع طول موج های ۳ میلیمتر تا ۳۰ میکرومتر را دربرمی گیرد. در علم فیزیک به پرتو تراهرتز، پرتو زیرمیلی متر، T-rays، T-lux و THz نیز گفته می شود. این رنج فرکانسی به دلیل اینکه فرکانس های پایین آن انتهای حوضه ای امواج رادیویی (امواج ماکرون) و فرکانس های بالای آن در رنج مادون قرمز دور قرار دارند مورد توجه قرار گرفته است. اثبات شده که رنج تراهرتز یکی از دست نیافتنی ترین قسمت های طیف الکترومغناطیس است. برای مدت مدیدی به این قسمت از طیف فرکانسی نام گپ یا شکاف تراهرتز اطلاق می شد. در حالی که نه ابزارهای نوری و نه ابزارهای میکروویو نمی توانند گنجینه های علمی فراوانی را که رنج تراهرتز فراهم می کند، پوشش دهند. در نتیجه انتشار پرتو

تراهرتز در هر دو شاخه‌ی مهندسی الکترونیک و اپتیک بررسی می‌شود و بهره‌برداری از آن نیاز به ابزارهایی از هر دو حوزه دارد. برای مثال میدان تراهرتز به وسیله‌ی فرآیند نوری و یا فرآیند فتورسانایی تولید می‌شود، میدان تراهرتز درون فضای آزاد به وسیله‌ی یک آنتن منتشر می‌شود و به وسیله‌ی موجبرهای نوع میکروموجی مانند موجبر موج هم‌سطح^۲ هدایت می‌شود. [۲]



شکل ۱-۱ (طیف تراهرتز)

در واقع علت اطلاق نام شکاف به این حوزه، به این دلیل است که تامدت‌ها روش‌های موثر تولید کنترل شده و تشخیص موج تراهرتز قابل دسترس نبودند. امروزه دو روش اصلی برای تولید موج تراهرتز موجود است. روش اول استفاده از الکترونیک نیمه‌هادی است، اما این روش مشکلات زیادی را نیز در پی دارد. روش دوم تولید نوری است که در این روش، یک لیزر سرعت بالا به سطوح نیمه‌هادی تابانده می‌شوند. روش دوم بیشترین توجهات را به خود منعطف کرده است. تولید نوری از فتورسانایی و یکسوسازی نوری مشتق می‌شود. از منظر تجاری برای توسعه سیستم‌های تراهرتز به دلیل منابع موجود مانند سینکروترون، فرستنده اسمیت پارسل^۳،

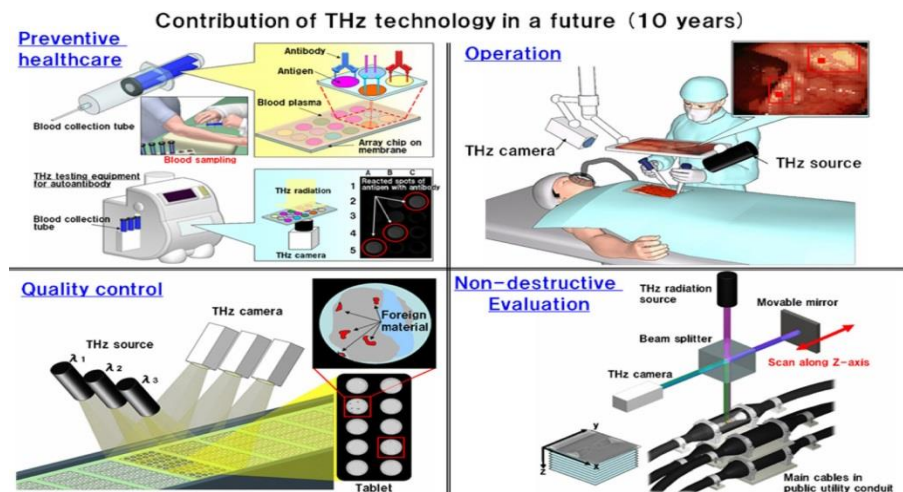
^۲ coplanar wave waveguide (CPW)

^۳ Smith-Purcell

نوسان گر موج برگشتی^۴، لیزرهای الکترون آزاد که تجهیزات پرهزینه‌ای هستند توجه کمتری شده‌است. عدم توجه به سیستم‌های تراهرتز با توسعه لیزرهای فمتوثانیه‌ای یا قوت کبود تیتانیم^۵ از ۱۷ سال قبل به پایان رسیده و ابتکارات متنوعی در ارتباط با تولید و انتشار پهن باند صورت گرفته‌است. بعلاوه تولید و تشخیص موج تراهرتز پیوسته، براساس ترکیب نوری دو لیزر دیودی قابل تنظیم در اواسط قرن نوزدهم معرفی شده است.[۳]

۳-۱ کاربرد امواج تراهرتز

ماهیت چندرشته‌ای تحقیقات انجام شده در مورد میدان‌های تراهرتز نیاز به دانش عمیقی در اپتیک و فوتونیک، مهندسی میکروموج و فیزیک نیمه‌هادی دارد. ماهیت چندرشته‌ای تحقیقات انجام شده در این رنج فرکانسی فقط به رشته‌هایی که پایه و اساس آن را تشکیل می‌دهند محدود نمی‌شود، بلکه کاربردهای متنوع آن در فضاوردی، فیزیک پلاسما، طیف‌سنجی، تصویربرداری پزشکی، زیست‌شناسی و مخابرات مصداق مسلم آن است.



شکل ۲-۱ (نمونه کاربردها)

در حوزه مخابراتی برای رنج تراهرتز پهنای باند بیشتری مورد انتظار است. یک سیگنال پیوند ارتباطی

⁴ Backward wave oscillator

⁵ titan sapphire (Ti:Sa)