

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین

گروه مهندسی فوتونیک - نانوفوتونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فوتونیک گرایش نانوفوتونیک

عنوان:

**تحلیل، شبیه سازی و طراحی سیستم تولید امواج تراهرتز مبتنی بر آنتن
های فتوکانداکتیو**

استاد راهنما:

آقای دکتر علی رستمی

استاد مشاور:

خانم دکتر محبوبه دولت‌یاری

پژوهشگر:

سیده هلنا جعفری ثابت

تابستان ۹۳

نام خانوادگی: جعفری ثابت	نام: سیده هلنا
عنوان پایان نامه: تحلیل، شبیه سازی و طراحی سیستم تولید امواج تراهرتز مبتنی بر آنتن‌های فتوکانداکتیو	
استاد راهنما: آقای دکتر علی رستمی استاد مشاور: خانم دکتر محبوبه دولتیاری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی فوتونیک گرایش: نانوفوتونیک دانشگاه: تبریز تعداد صفحه: ۹۳	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۶/۱۸
کلید واژه ها: امواج تراهرتز، توان تراهرتز بالا، آنتن های فرکتال درختی، تولید تراهرتز، آنتن نوررسانا	
<p>چکیده: امواج تراهرتز در طیف الکترومغناطیسی، از نظر فرکانسی در حد فاصل محدوده علم الکترونیک و اپتیک قرار می گیرد. به همین دلیل تا مدت ها این محدوده فرکانسی، به گپ تراهرتز معروف بود. اما امروزه تحقیقات گسترده‌ای بر روی این بازه از فرکانس ها انجام می گیرد تا از روش های مختلف بتوان به فرکانس و توان تراهرتز مورد نظر دست یافت. در این پایان نامه تولید امواج پیوسته تراهرتز به روش فوتومیکس تحلیل و شبیه سازی شده است. در این روش آنتن بر روی زیرلایه فتوکانداکتیو مانند گالیم- آرسناید ساخته می شود و دارای دو الکتروود فلزی است که با فاصله از هم قرار گرفته اند. لیزر فمتو ثانیه به فاصله میان الکتروودها تابیده می شود، همچنین یک ولتاژ مستقیم به گپ، از طریق الکتروودها اعمال می گردد، بنابراین زوج الکترون-حفره تولید شده تحت میدان بایاس، شتاب دار می شوند و یک جریان بسیار کوتاه در زیرلایه ایجاد می کنند. جریان متغیر با زمان تابش الکترومغناطیس کوتاهی را تولید می کند که در محدوده تراهرتز می باشد. در تحلیل این افزاره هر دو بخش نیمه هادی و الکترومغناطیسی آن در نظر گرفته شده اند. در بخش نیمه هادی تحلیل و شبیه سازی جریان نوری تراهرتز تولید شده و تاثیر پارامترهای مختلف از جمله شرایط ولتاژ و توان نوری اعمالی، ویژگی های زیرلایه و اندازه ناحیه فعال مورد بحث و شبیه سازی قرار گرفته اند. هم چنین در بخش الکترومغناطیسی تحلیل این دستگاه، به بررسی تاثیر هندسه آنتن بر روی خروجی تراهرتز پرداخته شده است و ساختار بهبود یافته تری که توان خروجی تراهرتز بیشتری را حاصل می کند، پیشنهاد و شبیه سازی شده است. این ساختارهای بهینه، ساختارهای فرکتالی هستند که به گونه ای الهام گرفته از طبیعت می باشند. آنتن فرکتال درختی فیبوناچی و تو-مورس از جمله این ساختارهاست که در صورتی که از آن به عنوان آنتن نور رسانا استفاده شود، خروجی تراهرتز را به میزان ۱۲۰ تا ۱۷۵ درصد نسبت به ساختار آنتن دوقطبی معمول افزایش می دهد.</p>	

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱	مقدمه:.....	۲
۱-۱-۱	تعریف تراهرتز:.....	۲
۲-۱-۱	خواص منحصر به فرد تراهرتز:.....	۳
۳-۱-۱	کاربردهای امواج تراهرتز:.....	۴
۲-۱	روشهای تولید امواج تراهرتز:.....	۶
۱-۲-۱	منابع پرتو الکترونی:.....	۷
۲-۲-۱	لیزرهای گازی مادون قرمز دور با پمپ نوری:.....	۸
۳-۲-۱	منابع حالت جامد:.....	۸
۴-۲-۱	لیزرهای نیمه هادی تراهرتز:.....	۹
۵-۲-۱	نوسانگرهای پارامتری تراهرتز:.....	۱۰
۶-۲-۱	ضرب کننده های فرکانسی:.....	۱۱
۷-۲-۱	فوتومیکسر- آنتن فتوکانداکتیو:.....	۱۲
۳-۱	بهینه سازی دستگاه:.....	۱۳
۱-۳-۱	بهینه سازی ماده زیرلایه:.....	۱۳
۲-۳-۱	منابع لیزر و کوپلینگ نور به گپ (فاصله میان الکترودها):.....	۱۵

۳-۳-۱	تاثیر بایاس الکتریکی بر روی عملکرد دستگاه فوتومیکسر:	۱۷
۴-۳-۱	تاثیر گرما بر عملکرد دستگاه فوتومیکسر:	۱۸
۵-۳-۱	تاثیر اندازه ناحیه فعال بر عملکرد فوتومیکسر:	۱۹
۶-۳-۱	بهینه سازی آنتن:	۲۰
۴-۱	تعریف فرکتال:	۲۱
۱-۴-۱	تشابه به خود:	۲۳
۲-۴-۱	تشکیل از راه تکرار:	۲۳
۳-۴-۱	ابعاد کسری:	۲۳
۵-۱	آنتن های فرکتالی:	۲۴
۱-۵-۱	استفاده از ساختار فرکتالی به منظور کوچک سازی آنتن:	۲۵
۲-۵-۱	کاربرد ساختار فرکتالی در افزایش عرض باند و ویژگی چند باندى:	۲۶
۶-۱	مدل مدار معادل برای فوتومیکسر متصل به یک آنتن فتوکانداکتیو:	۲۷
۱-۶-۱	محاسبه توان خروجی تراهرتز از مدار معادل:	۲۸

فصل دوم: تحلیل و شبیه سازی

۱-۲	تولید تراهرتز به روش فوتومیکسر-آنتن فتوکانداکتیو:	۳۶
۲-۲	نرخ تولید زوج الکترون-حفره:	۳۷
۳-۲	معادلات نیمه هادی:	۳۸
۴-۲	فرآیندهای باز ترکیب زوج الکترون-حفره:	۴۰
۱-۴-۲	فرآیند باز ترکیب شاگلی-رد-هال:	۴۰

۴۱.....	۲-۴-۲	فرآیند بازترکیب اوژه:	۴۱.....
۴۲.....	۳-۴-۲	بازترکیب سطحی:	۴۲.....
۴۲.....	۵-۲	شرایط مرزی:	۴۲.....
۴۲.....	۱-۵-۲	اتصالات اهمی:	۴۲.....
۴۳.....	۲-۵-۲	اتصال شاتکی:	۴۳.....
۴۵.....	۳-۵-۲	فصل مشترک عایق - نیمه هادی:	۴۵.....
۴۵.....	۶-۲	ساختارهای آنتن کوپل شده به فوتومیکسر:	۴۵.....
۴۵.....	۱-۶-۲	آنتن پاپیونی:	۴۵.....
۴۶.....	۲-۶-۲	آنتن فرکتالی سرپینسکی:	۴۶.....
۴۷.....	۳-۶-۲	آنتن دو قطبی:	۴۷.....
۴۷.....	۴-۶-۲	آنتن درختی فیبوناچی:	۴۷.....
۵۰.....	۵-۶-۲	آنتن فرکتالی درختی تو-مورس:	۵۰.....

فصل سوم: نتایج شبیه سازی و بحث

۵۳.....	۱-۳	مقدمه ای بر نرم افزار سیلواکو:	۵۳.....
۵۳.....	۲-۳	ساختار شبیه سازی شده:	۵۳.....
۵۶.....	۳-۳	نرخ تولید زوج الکترون-حفره تولید شده از جذب نور لیزر اعمالی به گپ:	۵۶.....
۵۶.....	۴-۳	جریان نوری تولید شده در نیمه هادی در ناحیه میان الکترودها برای گپ با ساختار ساده و عرض یک میکرومتر:	۵۶.....
۵۹.....	۵-۳	تاثیر پارامترهای مختلف در دامنه جریان نوری تولید شده:	۵۹.....

تاثیر فرکانس تپش بر جریان تراهرتز تولیدی:.....	۱-۵-۳	۵۹
تاثیر چگالی توان لیزر فرودی به گپ بر روی دامنه جریان تراهرتز تولیدی:.....	۲-۵-۳	۶۰
تاثیر مقدار طول عمر زوج الکترون-حفره بر دامنه جریان نوری تراهرتز تولید شده در گپ:.....	۳-۵-۳	۶۱
تاثیر اندازه ناحیه فعال بر دامنه جریان تراهرتز:.....	۴-۵-۳	۶۲
شبیه سازی آنتن دوقطبی کوپل شده به فوتومیکسر با گپ ساده ۱ میکرومتری:.....	۶-۳	۶۳
تاثیر طول آنتن بر روی مقاومت تشعشی آنتن دوقطبی:.....	۱-۶-۳	۶۴
تاثیر عرض آنتن بر روی مقاومت تشعشی آنتن دوقطبی:.....	۲-۶-۳	۶۶
شبیه سازی آنتن پاپیونی کوپل شده به فوتومیکسر با گپ ۱ میکرومتری:.....	۷-۳	۶۶
شبیه سازی آنتن فرکتال سرپینسکی کوپل شده به فوتومیکسر با گپ ۱ میکرومتری:.....	۸-۳	۶۸
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی فیبوناچی کوپل شده به فوتومیکسر با گپ ۱ میکرومتری:.....	۹-۳	۷۱
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی فیبوناچی با پیکر بندی باریک:.....	۱-۹-۳	۷۲
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی فیبوناچی با پیکر بندی پهن:.....	۲-۹-۳	۷۴
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی تو-مورس کوپل شده به فوتومیکسر با گپ الکترودهای به هم جفت شده:.....	۱۰-۳	۷۶
شبیه سازی فوتومیکسر با ساختار الکترودهای به هم جفت شده:.....	۱-۱۰-۳	۷۶
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی تو-مورس کوپل شده به فوتومیکسر:.....	۲-۱۰-۳	۷۸
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکر بندی باریک:.....	۳-۱۰-۳	۷۹
شبیه سازی آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکر بندی پهن:.....	۴-۱۰-۳	۸۱

نتیجه گیری: ۸۳

پیشنهادات: ۸۴

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): محدوده امواج الکترومغناطیسی ۳
- شکل (۲-۱): نمای کلی از دستگاه فوتومیکسر-آنتن فتوکاندکتیو ۱۳
- شکل (۳-۱): بازده تبدیل توان نوری به تراهرتز بر حسب توان نوری متوسط برای دو ضریب انعکاس مختلف. ۱۶
- شکل (۴-۱): بازده تبدیل توان نوری به تراهرتز بر حسب توان نوری متوسط برای سه ضریب جذب مختلف ۱۷
- شکل (۵-۱): توزیع میدان الکتریکی در عرض ناحیه فعال فوتومیکسر (فاصله میان دو الکتروود) ۱۸
- شکل (۶-۱): فوتومیکسر با گپ ساده، شکل پایین: فوتومیکسر با گپ ساختار به هم جفت شده ۲۰
- شکل (۷-۱): تصویری از ساختار فرکتالی نوعی گل کلم ۲۲
- شکل (۸-۱): ساختارهای فرکتال ریاضی ۲۴
- شکل (۹-۱): نمونه ای از الگوی فرکتال سرپینسکی مورد استفاده در آنتن‌ها ۲۷
- شکل (۱۰-۱): شکل سمت چپ: نمای عرضی فوتومیکسر، شکل سمت راست: مدار معادل با فوتومیکسر متصل شده به یک آنتن ۲۸
- شکل (۱۱-۱): کارایی کوانتومی خارجی نسبت به عرض گپ برای چند ضریب جذب متفاوت ۳۲
- شکل (۱-۲): (الف): نمای کلی از دستگاه فوتومیکسر شبیه سازی شده، (ب): نمای عرضی از گپ فوتومیکسر (هسته آنتن) ۳۷
- شکل (۲-۲): زیر فرآیندهای باز ترکیب شاگلی-رد-هال ۴۰
- شکل (۳-۲): زیر فرآیندهای باز ترکیب اوژه ۴۱
- شکل (۴-۲): نمای کلی از آنتن پاپیونی شبیه سازی شده ۴۶

- شکل (۵-۲): نمونه ای از آنتن فرکتال سرپینسکی ۴۶
- شکل (۶-۲): نمای کلی از آنتن دوقطبی شبیه سازی شده ۴۷
- شکل (۷-۲): ساختار کلی آنتن فرکتال درختی فیبوناچی با پیکربندی باریک ۴۹
- شکل (۸-۲): ساختار کلی آنتن فرکتال درختی فیبوناچی با پیکربندی پهن ۴۹
- شکل (۹-۲): ساختار کلی آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکربندی باریک ۵۱
- شکل (۱۰-۲): ساختار کلی آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکربندی باریک ۵۱
- شکل (۱-۳): ساختار شبیه سازی شده در دستگاه فوتومیکسر با ساختار گپ الکترودی ساده ۵۴
- شکل (۲-۳): نرخ تولید زوج الکترون-حفره نوری در ماده نور رسانا ۵۶
- شکل (۳-۳): جریان نوری تولید شده در گپ نور رسانا ۵۷
- شکل (۴-۳): جریان مستقیم در فاصله میان الکترودها نسبت به ولتاژ اعمالی ۵۸
- شکل (۵-۳): (الف): توزیع چگالی جریان الکترون، (ب): توزیع چگالی جریان حفره، (ج): توزیع چگالی جریان کل، (د): توزیع میدان الکتریکی در ناحیه فعال فوتومیکسر ۵۸
- شکل (۶-۳): دامنه جریان نوری تولید شده بر حسب ولتاژ اعمالی به گپ برای سه فرکانس تپش مختلف ... ۵۹
- شکل (۷-۳): دامنه جریان نوری تراهرتز بر حسب فرکانس تپش در ولتاژ اعمالی ۲۰ ولت در ساختار الکترودی ساده ۶۰
- شکل (۸-۳): دامنه جریان نوری بر حسب توان نور فرودی در ولتاژ اعمالی ثابت ۲۰ ولت در فرکانس ۰/۵ تراهرتز ۶۱
- شکل (۹-۳): دامنه جریان نوری تراهرتز بر حسب طول عمر زوج الکترون-حفره برای دو فرکانس تپش مختلف ۶۲

- شکل (۱۰-۳): دامنه جریان نوری تراهرتز برحسب ولتاژ اعمالی برای سه اندازه گپ‌های مختلف در فرکانس ۰/۵ تراهرتز ۶۳
- شکل (۱۱-۳) امپدانس آنتن دوقطبی ۶۴
- شکل (۱۲-۳): توان تراهرتز خروجی از آنتن دوقطبی متصل به ساختار فوتومیکسر ۶۴
- شکل (۱۳-۳): دامنه امپدانس تشعشعی آنتن دوقطبی بر حسب طول آنتن ۶۵
- شکل (۱۴-۳): فرکانس رزونانس آنتن بر حسب طول آنتن ۶۵
- شکل (۱۵-۳): امپدانس تشعشعی آنتن را برای عرض‌های مختلف ۵ میکرومتر تا ۱۲ میکرومتر ۶۶
- شکل (۱۶-۳): امپدانس آنتن پاپیونی ۶۷
- شکل (۱۷-۳): توان تراهرتز خروجی از آنتن پاپیونی ۶۷
- شکل (۱۸-۳): توزیع میدان الکتریکی در اطراف آنتن پاپیونی ۶۸
- شکل (۱۹-۳): ضریب انعکاس آنتن دوقطبی و آنتن فرکتال سرپینسکی ۶۹
- شکل (۲۰-۳): توزیع میدان الکتریکی در آنتن سرپینسکی ۶۹
- شکل (۲۱-۳): توزیع جریان سطحی در آنتن سرپینسکی ۷۰
- شکل (۲۲-۳): مقاومت تشعشعی سه آنتن سرپینسکی حاصل از سه مرتبه تکرار ۷۰
- شکل (۲۳-۳): توان تراهرتز خروجی از سه آنتن سرپینسکی حاصل از سه مرتبه تکرار ۷۱
- شکل (۲۴-۳): ضریب انعکاس آنتن دوقطبی و آنتن درختی فیبوناچی جمله دوم ۷۲
- شکل (۲۵-۳): مقاومت تشعشعی آنتن فرکتال درختی برای پنج جمله اول فیبوناچی با پیکربندی باریک ... ۷۳
- شکل (۲۶-۳): توان تراهرتز آنتن‌های فرکتال درختی برای پنج جمله اول فیبوناچی با پیکربندی باریک ۷۳

- شکل (۲۷-۳): توزیع میدان الکتریکی در آنتن فرکتال درختی جمله چهارم فیبوناچی با پیکربندی باریک .. ۷۴
- شکل (۲۸-۳): مقاومت تشعشعی آنتن فرکتال درختی برای شش جمله اول فیبوناچی با پیکربندی پهن ۷۵
- شکل (۲۹-۳): توان ترهترز آنتن های فرکتال درختی برای شش جمله اول فیبوناچی با پیکربندی پهن ۷۵
- شکل (۳۰-۳): توزیع میدان الکتریکی در آنتن فرکتال درختی جمله چهارم فیبوناچی با پیکربندی پهن ۷۶
- شکل (۳۱-۳): نمای عرضی ساختار فوتومیکسر با گپ به هم جفت شده ۷۷
- شکل (۳۲-۳): جریان ترهترز تولیدی در گپ با ساختار به هم جفت شده ۷۷
- شکل (۳۳-۳): دامنه جریان نوری ترهترز بر حسب فرکانس تپش در ولتاژ اعمالی ثابت ۲۰ ولت در ساختار الکترودهای به هم جفت شده ۷۸
- شکل (۳۴-۳): ضریب انعکاس آنتن های دوقطبی (خطوط سیاه رنگ)، آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکربندی باریک (خطوط سبز رنگ)، آنتن فرکتال درختی تو-مورس با پیکربندی پهن (خطوط قرمز رنگ) ۷۹
- شکل (۳۵-۳): مقاومت تشعشعی آنتن فرکتال درختی تو-مورس برای چهار جمله اول در پیکربندی باریک ۸۰
- شکل (۳۶-۳): توان ترهترز آنتن فرکتال درختی تو-مورس برای چهار جمله اول در پیکربندی باریک ۸۰
- شکل (۳۷-۳): توزیع میدان الکتریکی در آنتن فرکتال درختی جمله چهارم تو-مورس با پیکربندی باریک .. ۸۱
- شکل (۳۸-۳): مقاومت تشعشعی آنتن فرکتال درختی تو-مورس برای پنج جمله اول در پیکربندی پهن ۸۲
- شکل (۳۹-۳): توان ترهترز از آنتن فرکتال درختی تو-مورس برای پنج جمله اول در پیکربندی پهن ۸۲
- شکل (۴۰-۳): توزیع میدان الکتریکی در آنتن فرکتال درختی جمله چهارم تو-مورس با پیکربندی پهن ۸۲

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱): فرکانس و توان خروجی ادوات مختلف نیمه هادی ۹

جدول (۲-۱): توان خروجی لیزرهای کوانتومی تراهرتز در دما و فرکانس کاری ۱۰

جدول (۳-۱): فرکانس و توان تراهرتز خروجی از کریستال‌های غیرخطی مورد استفاده در نوسانگرهای

پارامتری تراهرتز ۱۱

جدول (۱-۲): نسبت طول شاخه‌های آنتن درختی فیبوناچی ۴۸

جدول (۲-۲): نسبت طول شاخه‌های آنتن فرکتال تو-مورس ۵۰

جدول (۱-۳): پارامترهای فیزیکی فوتومیکسر شبیه‌سازی شده ۵۵

فصل اول:

کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه:

۱-۱-۱ تعریف تراهرتز:

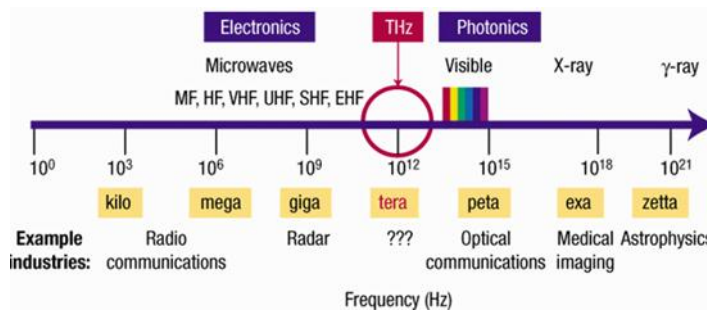
برای اولین بار آقای فلیمینگ در سال ۱۹۷۴، واژه تراهرتز را برای توصیف پوشش فرکانسی خط طیف تداخل سنج مایکلسون به کار برد. بعد از او آقای کریسمن، از تراهرتز برای پوشش فرکانسی آشکارسازهای دیود اتصال نقطه‌ای استفاده کرد. بعداً آقایان اشلی و پالکی، از این اسم برای نشان دادن فرکانس تشدید لیزر آب استفاده نمودند. تا اینکه تا این سال‌های اخیر، طیف نگارها، این اصطلاح را به فرکانس‌های گسیل زیر مادون قرمز اطلاق کردند. اما امروزه، باند تراهرتز به رنج فرکانسی گفته می‌شود که در آن امواج الکترومغناطیسی، در محدوده فرکانسی بالاتر از تکنولوژی شناخته شده الکترونیک (بالاتر از فرکانس‌های میکروویو) و پایین تر از فرکانس اپتیک (پایین تر از رنج مادون قرمز) قرار دارد. امواج تراهرتز در محدوده تقریبی بین یک میلی متر (برای فرکانس ۳۰۰ گیگاهرتز) تا ۳۰ میکرومتر (برای فرکانس ۱۰ تراهرتز) قرار دارد. منابع تولید فرکانس‌های پایین تر شامل RF و میکروویو، براساس تولید الکتریکی می‌باشند که توسط ترابرد کلاسیکی الکترون‌ها اداره می‌شود. بیشتر مواد دی الکتریک در این فرکانس‌ها هادی نور می‌باشند. در فرکانس‌های بالاتر شامل تشعشعات مادون قرمز، نور مرئی و فرابنفش، نور توسط گذارهای کوانتومی تولید می‌شود که با استفاده از لیزرها می‌توان شدت‌های بسیار بالا تولید کرد [۱]. محدوده امواج تراهرتز بین این دو ناحیه قرار گرفته و چون گذار بین منابع الکتریکی و فوتونیک را نشان می‌دهد، تابش الکترومغناطیس در محدوده تراهرتز را می‌توان با هر دو روش تولید کرد.

با مشاهده اثر نوررسانایی^۱ در سیلیکون در سال ۱۹۷۰ از روش‌های الکترواپتیک و رساناهای نوری برای تولید و آشکارسازی تشعشعات در محدوده فرکانس تراهرتز استفاده شده است. در نتیجه، توجه به این محدوده فرکانس به سرعت افزایش پیدا کرده و امروزه تلاش‌ها بیشتر بر روی توسعه

^۱Photoconductivity

منابع مؤثر، آشکارسازهای حساس در این محدوده معطوف شده است. توسعه تکنیک‌های مدرن ساخت در ابعاد میکرو، همچنین قابلیت ساخت ساختارها در مرتبه طول موج تراهرتز، حدود چند ده میکرومتر در قطعات الکترونیکی و الکترونیک نوری هیبرید برای توسعه منابع و گیرنده‌های تراهرتز ضروری است.

طیف الکترومغناطیسی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱): محدوده امواج الکترومغناطیسی

۱-۱-۲ خواص منحصر به فرد تراهرتز:

۱- فرکانس ارتعاشی بیشتر مولکول‌ها در حوزه تراهرتز قرار دارد و مثل اثر انگشت که برای هر آدمی منحصر به فرد است، فرکانس ارتعاشی هر مولکول و ماده شیمیایی هم منحصر به فرد است. امواج تراهرتز نسبت به امواج مرئی و مادون قرمز به علت طول موج پایین ترشان، پراکندگی کمتری دارند. اجزای شیمیایی و بیولوژیکی به سبب انتقالات چرخشی و ارتعاشی، الگوی جذبی و پاشندگی خاصی را در ناحیه تراهرتز از خود نشان می‌دهند. بنابراین امکان تمییز دادن اجزای مختلف و مواد بخاطر ویژگی‌های جذبی و بازتابی مختلف آنها در رنج تراهرتز وجود دارد [۴-۲].

۲- این امواج قابلیت نفوذ به بیشتر مواد مثل کاغذ، پلاستیک، چوب، خاک، پارچه را دارند، بنابراین می توان از این امواج برای آشکارسازی اجسام پنهان شده استفاده کرد. عمق نفوذ تابش تراهرتز کمتر از تابش ریزموج خواهد بود. نفوذ تابش تراهرتز در مه و ابرها ناچیز است و نمی تواند در آب مایع و فلز نفوذ کند [۵].

۳- خاصیت غیریونیزه کنندگی این امواج تصویربرداری ایمن تر از امواج ایکس را فراهم می کند. بنابراین می توان برای تشخیص بیماری هایی مثل سرطان استفاده کرد. همچنین در داروسازی به خاطر اثر غیرمخرب این امواج بر روی داروها از این رنج امواج مورد استفاده قرار می گیرد [۶].

۱-۱-۳ کاربردهای امواج تراهرتز:

۱-۱-۳-۱ تصویربرداری تراهرتز:

تصویربرداری تراهرتز از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا نه تنها امواج در این باند می توانند مانند اشعه ایکس به داخل مواد نفوذ کنند بلکه تشعشع آنها برخلاف تصویربرداری توسط امواج پرانرژی ایکس غیر مضر است. به علاوه امواج تراهرتز دارای اطلاعات ارزشمندی درباره ماده و یا جزیی است که مورد تصویربرداری قرار می گیرد. به عنوان مثال می توان برخی از کاربردهای تصویربرداری تراهرتز را به صورت زیر برشمرد:

- تصویربرداری از بیرون برای تشخیص اسلحه یا مواد منفجره که فرد ممکن است در داخل بدن و یا زیر لباس خود قرار داده باشد.

- تشخیص جنس و نوع مواد، به عنوان مثال تشخیص مواد در بسته های مشکوک در گیت های فرودگاه.

- کنترل کیفیت برای تولید کنندگان چیپ الکترونیکی، با این کار نواقص ایجاد شده در فرآیند

ساخت که ممکن است با تصویربرداری مرئی پنهان شده باشد، آشکار می شود [۷].

• تصویربرداری پزشکی مانند تصویربرداری از غدد سرطانی که زندگی افراد را تحت تاثیر قرار می دهد. پرتوهای ترهترتز به وسیله آب جذب می شوند. سلول های سرطانی نسبت به سلول های سالم محتوای آب بیشتری دارند. بنابراین تصویربرداری با پرتوهای ترهترتز می تواند به جراحان نشان دهد که بافت سالم در کجا تمام می شود و بافت سرطانی شروع می شود [۶].

۱-۱-۳-۲ تولید داروهای جدید:

اسکن کننده های پرتوهای ترهترتزی تنها شیوه ای نیست که تکنولوژی ترهترتز می تواند علوم پزشکی را دگرگون کند. با قرار دادن داروهای جدید در معرض پرتوهای ترهترتز شرکت های داروسازی می توانند خصوصیات شیمیایی ظریفی را مشخص کنند که می تواند به طور ریشه ای بر رفتار آنها در بدن انسان تاثیر بگذارد. پالس های پرتوهای ترهترتز برای ایجاد ارتعاش در مولکول های تشکیل دهنده دارو به کار می روند. با تحلیل کامپیوتری این ارتعاشات تاثیرات پیوندهای شیمیایی را می توان مشخص کرد. این امر به نوبه خود می تواند بر قدرت دارو هنگام مصرف آن به وسیله بیمار تاثیر بگذارد. تکنولوژی پرتوهای ترهترتز به شرکت های دارویی اجازه خواهد داد داروهای کمتر موثر را در همان مراحل مقدماتی کنار بگذارند. این تکنولوژی همچنین به حفظ کنترل کیفیت در فرآیند تولید کمک می کند [۸ و ۹].

۱-۱-۳-۳ ارتباطات سرعت بالا:

ناحیه ترهترتز نسبت به امواج میلی متری، ریز موج و مادون قرمز دارای پهنای باند وسیع تری است بنابراین امواج ترهترتز می توانند به صورت کاملا امن، حجم بالایی از اطلاعات را رد و بدل کنند. به لحاظ تئوری باند ترهترتز ظرفیت رسیدن به نرخ صد گیگابایت بر ثانیه در انتقال داده را دارد. ولی محدودیت های گوناگون در عمل باعث می شود که بهره برداری فعلی از این ظرفیت کمتر باشد. در حال حاضر دستگاه های کاربردی که بتوانند از این ظرفیت اسفاده کنند ساخته نشده اند و از طرفی تجهیزات مورد استفاده برای رسیدن به این حد نصاب به علت بزرگی در دستگاه های امروزی جا نمی

گیرد. با اینکه برد کنونی این فناوری در حدود نه متر است ولی با این وجود می تواند برای شبکه‌های خانگی گزینه مناسبی باشد.

۱-۱-۳-۴ انجام تحقیقات کیهان شناسی:

از اوایل دهه ۱۹۶۰، از سوی اختر فیزیک توجه جدی به توسعه آشکارسازها در محدوده تراهرتز شده، زیرا طیف فرکانسی بعضی از مواد محیطی و گازهای اختر فیزیکی که از بعضی سیارات و اجرام آسمانی ناشی می شود، در این محدوده قرار دارد [۱۰]. در واقع تعدادی از سؤالات مهم در کیهان‌شناسی فقط با مشاهدات و رصد در فرکانس‌های تراهرتز پاسخ داده می‌شود [۱۱].

کاربرد سیستم‌های تراهرتز با اهداف فضائی در چهارچوب سه دسته اساسی زیر قابل طبقه بندی است:

- کاربردهای نجومی و تلسکوپ‌های رصد فضائی تراهرتز (ماهواره‌ای، بالونی، هواپیمائی و زمینی)
- ارتباطات و مخابرات تراهرتز بین ماهواره‌ای
- آنالیزهای طیف تراهرتز جوی و اتمسفری

اگر چه برای کاربردهای فضایی، سیستم‌های تراهرتز هنوز در مراحل نخستین رشد هستند، مزایای ذاتی امواج تراهرتز باعث جلب توجه به سمت آنها شده است.

۱-۲ روش‌های تولید امواج تراهرتز:

روش‌های تولید امواج پیوسته تراهرتز را می توان به هفت دسته تقسیم بندی کرد: [۱۲]

- منابع پرتو الکترونی^۱

^۱ Electron beam sources

- لیزرهای گازی مادون قرمز دور با پمپ نوری^۱
- منابع حالت جامد^۲
- لیزرهای نیمه هادی تراهرتز^۳
- نوسانگرهای پارامتری تراهرتز^۴
- ضرب کننده های فرکانسی^۵
- فوتومیکسر^۶

۱-۲-۱ منابع پرتو الکترونی :

از منابع پرتو الکترونی می توان به ژیروترون ها^۷ [۱۳] ، لیزرهای الکترون آزاد^۸ [۱۴ و ۱۵]، و نوسانگر موج برگشتی^۹ [۱۶] اشاره کرد. که همه این روش ها بر اساس اندرکنش پرتوهای الکترون با یک میدان مغناطیسی قوی درون کاواک های نوسانگر یا موجبرها، کار می کنند. در اثر این اندرکنش انرژی از الکترون به به یک موج الکترومغناطیسی منتقل می شود. این دسته از روش های تولید تراهرتز می توانند سیگنال های نسبتا توان بالا را تولید کنند. ژیروترون هایی که تا به حال ساخته شده اند در فرکانس ۱۰۰ گیگاهرتز با توان خروجی ۱۰۰ کیلو وات [۱۷] یا در فرکانس ۱۴۰ گیگاهرتز با توان یک مگاوات [۱۸] کار می کنند.

FEL ها در واقع ژیروترون هایی اند که در فرکانس کاری خیلی بالا کار می کنند [۱۹]. در این روش از یک شتاب دهنده الکترون انرژی بالا و یک کاواک نوری استفاده می شود. FEL ها نسبت به ژیروترون ها قابلیت تنظیم پذیری بیشتری دارند [۲۰-۲۳].

¹ Optically pumped far-infrared gas lasers

² Solid state sources

³ Terahertz semiconductor lasers

⁴ Terahertz parametric oscillators

⁵ Frequency multipliers

⁶ Photomixers

⁷ Gyrotron

⁸ Free electron laser (FEL)

⁹ Backward wave oscillator (BWO)