بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی فناوری های نوین

گروه مهندسی نانوفناوری- نانو الکترونیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی نانو فناوری- نانوالکترونیک

عنوان

تولید امواج تراهرتز با استفاده از اندرکنش لیزر فمتوثانیه با کریستال غیرخطی

استاد راهنما

دکتر حامد باغبان

استاد مشاور

دکتر محبوبه دولتیاری

پژوهشگر

ناهید اکبری

شهریور ماه ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

به روح پاک برادرم اسوه تلاش و پشتکار

و به خواهران عزیزم که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است

تقدیر و تشکر

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. به شکرانه انجام این تحقیق و نگارش پایان نامه بر خود لازم می دانم که از زحمات اساتید بزرگوار جناب آقای پروفسور علی رستمی، جناب آقای دکتر حامد باغبان و سرکار خانم دکتر محبوبه دولتیاری که در تمام مراحل انجام این پایان نامه مرا یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از همراهی و حمایت های بی دریغ تمام دوستانم در طی این مسیر سپاسگزارم.

ناهید اکبری- شهریور ماه ۱۳۹۰

نام خانوادگی دانشجو: اکبری نام: ناهید
عنوان پایان‌نامه: تولید امواج تراهرتز با استفاده از اندرکنش لیزر فمتوثانیه با کریستال غیرخطی
استاد راهنمای اول: دکتر حامد باغبان استاد مشاور اول: دکتر محبوبه دولتیاری
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی نانوفناوری گرایش: نانوالکترونیک دانشگاه: تبریز دانشکده: مهندسی فناوریهای نوین تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۲/۶/۱ تعداد صفحات: ۸۸
کلیدواژه‌ها : امواج تراهرتز، طیف سنجی حوزه زمانی تراهرتز، منابع تراهرتز، یکسوسازی نوری، سوئیچ نور- رسانا، سری کردن یکسوسازی نوری، پالس لیزر چیرپ شده
چکیده: امروزه تابش تراهرتز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردش مورد توجه خاصی قرار گرفته است. در این پایان نامه سعی بر آن است که با استفاده از پالس‌های لیزرهای فمتو ثانیه به تولید پالس‌های تراهرتز دست یابیم. پالس‌های تراهرتز تولید شده به منظور طیف سنجی حوزه زمان و به منظور شناسایی مواد مختلف که دارای اثر انگشت در حوزه فرکانس‌های تراهرتز هستند، استفاده خواهند شد. برای این منظور ابتدا سیستم‌های طیف سنجی حوزه زمان را مورد بررسی قرار خواهیم داد و همچنین

منابع مختلف را جهت تولید تابش تراهرتز مطالعه می کنیم. یکی از روش‌های تولید پالس تراهرتز استفاده از پروسه غیرخطی یکسوسازی نوری پالس لیزر در کریستال غیرخطی ZnTe می باشد. با اعمال پالس لیزر به کریستال میدان الکتریکی پالس لیزر باعث القای پلاریزاسیون غیرخطی در کریستال شده و این پلاریزاسیون را می توان به عنوان منبعی برای تولید پالس تراهرتز در نظر گرفت. به منظور مطالعه طیف تراهرتز تولیدی توسط این پروسه غیر خطی شبیه سازی معادلات حاکم مورد بررسی قرار داده و راندمان پروسه را از نظر تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولیدی مطالعه می‌کنیم. در نهایت برای دست یافتن به حداکثر راندمان تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده از سری کردن پروسه یکسوسازی در کریستال می کنیم.

یکی از راهکارهای افزایش توان پالس تراهرتز تولید شده افزایش شدت پمپ تابشی می باشد. یکسوسازی نوری پروسه‌ای حاصل از تضعیف یک فوتون پالس لیزر و ایجاد یک پالس تراهرتز می باشد. چنانچه از red shift های فوتون پمپ نیز برای بازتولید تابش تراهرتز استفاده کنیم، به وضوح می توانیم افزایش راندمان تبدیل انرژی را ببینیم و این پروسه را می توان معادل با سری شدن یکسوسازی نوری در کریستال دانست. ایده‌ای که در این پایان نامه از آن استفاده کردیم استفاده از پالس لیزر چیرپ شده به جای افزایش توان پمپ می باشد، راندمان تبدیل به ازای ضریب چیرپ معینی بیشینه خواهد شد. از آنجاییکه به ازای مقادیر بیشتر از ضریب چیرپ مورد نظر طیف تراهرتز تولید شده پهن‌تر می شود ممکن است راندمان به شدت کاهش یابد. بنابراین با انتخاب مناسب ضریب چیرپ می توان به راندمانی بیشتر از حالت سری شدن یکسوسازی در کریستال دست یافت بدون اینکه نیاز به افزایش شدت پمپ داشته باشیم.

فهرست مطالب

فهرست شکل ها..... V

فهرست جداول..... VIII

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲ تابش تراهرتز..... ۳

۱-۳ سیستم های تراهرتز..... ۵

۱-۳-۱ سیستم‌های تراهرتز موج پیوسته (CW)..... ۵

۱-۳-۲ سیستم های تراهرتز پالسی..... ۶

۱-۴ کاربردهای تراهرتز..... ۶

۱-۴-۱ علوم بیولوژی، پزشکی و داروئی..... ۷

۱-۴-۲ نیمه‌هادی و سایر کاربردهای صنعتی..... ۸

۱-۴-۳ تصویر برداری تراهرتز..... ۹

۱-۴-۴ علوم زمین و فضا..... ۱۰

۱-۴-۵ علوم پایه..... ۱۱

۱-۵ طیف سنجی حوزه زمانی تراهرتز..... ۱۳

۱-۶ روش های آشکار سازی پالس تراهرتز..... ۱۵

۱-۶-۱ آشکارسازی نور رسانا..... ۱۵

۱-۶-۲ آشکار سازی الکترواپتیک.....۱۷

۱-۷ منابع تراهرتز.....۱۸

۱-۸ روش های نوری تولید امواج تراهرتز.....۲۴

۱-۸-۱ تولید پالس تراهرتز با استفاده از سوئیچینگ نور- رسانا.....۲۵

۱-۸-۱-۱ مفهوم سوئیچ های نور – رسانا.....۲۵

۱-۸-۱-۲ بررسی مواد.....۲۷

۱-۸-۲ یکسوسازی نوری.....۲۹

۱-۸-۱-۱ شرط همفازی ۳۲

۱-۸-۲-۱-۱ تطبیق سرعت با منحرف کردن جلوی پالس پمپ.....۳۳

۱-۸-۲-۱-۲ کریستال های مورد استفاده برای تولید پالس تراهرتز.....۳۸

فصل دوم: مواد و روش ها

۲-۱ لیزر های فمتو ثانیه.....۴۴

۲-۲ ساختار ZnTe.....۴۸

۲-۲-۱مشخصات الکترواپتیکی ZnTe ۵۰

۲-۲-۱-۱ طیف انتقال ZnTe.....۵۰

۲-۲-۱-۲ ضریب جذب ZnTe.....۵۱

۲-۲-۱-۳ رابطه ضریب شکست بر حسب طول موج.....۵۳

۲-۲-۱-۳-۱ ضریب شکست در رژیم نور مرئی و مادون قرمز برای ZnTe.....۵۴

۲-۲-۱-۳-۲ ضریب شکست در رژیم تراهرتز برای کریستال ZnTe.....۵۴

۲-۲-۱-۴ ضریب الکترواپتیک کریستال ZnTe.....۵۵

۲-۲-۱-۵ جهت گیری کریستال ZnTe نسبت به پلاریزاسیون غیر خطی مرتبه دوم.....۵۶

۲-۳ معادله موج در مواد غیرخطی.....۵۸

۲-۳-۱ استفاده از معادلات ماکسول برای بدست آوردن معادله موج.....۵۸

۲-۳-۲ حل معادله موج در حالتیکه شدت نور تابشی لیزر تخلیه نمی شود.....۶۱

۲-۳-۳ حل معادله موج در حالتیکه شدت نور تابشی لیزر ضعیف نباشد.....۶۲

۲-۳-۳-۱ مفهوم سری کردن یکسوسازی نوری.....۶۳

۲-۳-۳-۲ معادلات کوپل شده انتشار میدان های پمپ و تراهرتز در کریستال.....۶۴

۲-۴ اعمال ضریب چیرپ به پالس لیزر.....۶۶

۲-۵ روش محاسبه.....۶۷

۲-۵-۱ روش عددی تفاضلات محدود.....۶۷

فصل سوم: بحث و نتایج

۳-۱ ساختار پیشنهادی.....۷۰

۳-۲ محاسبه ضریب شکست در نواحی نوری و تراهرتز..... ۷۱

۳-۳ بررسی انتشار پالس لیزر در کریستال در حالتی که این پالس در حین انتشار تخلیه نشده و بدون تغییر می ماند..... ۷۲

۳-۳-۱ همفازی کامل و عدم جذب در کریستال..... ۷۲

۳-۳-۲ جذب در کریستال و عدم همفازی..... ۷۳

۳-۴ بررسی انتشار پالس لیزر در کریستال در حالتی که این پالس در حین انتشار تخلیه می شود..... ۷۴

۳-۴-۱ همفازی کامل و عدم جذب در کریستال..... ۷۵

۳-۴-۲ جذب در کریستال و عدم همفازی..... ۷۶

۳-۵ اعمال چیرپ به پالس لیزر فمتو ثانیه..... ۷۷

۳-۵-۱ اعمال چیرپ به پالس لیزر در شرایطی که پالس لیزر تخلیه نمی شود..... ۷۸

۳-۵-۲ اعمال چیرپ به پالس لیزر در شرایطی که پالس لیزر تخلیه می شود..... ۸۰

۳-۶ نتیجه گیری..... ۸۱

۳-۷ پیشنهادات..... ۸۲

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱) طیف الکترومغناطیسی و گپ تراهرتز.....۴

شکل (۱-۲) طیف جذب تراهرتز باربیتال. الف) THz-TDS. ب) FT-FIR.....۹

شکل (۱-۳) کشف خرابی MOSFET با LTEM. الف) تصویر انعکاس- لیزری یک دسته از MOSFETها. (ب) و (ج) تصاویر LTEM به ترتیب مربوط به نمونه عادی و نمونه آسیب دیده.....۱۰

شکل (۱-۴) سیستم طیف سنجی حوزه زمانی تراهرتز.....۱۴

شکل (۱-۵) توان گسیل تراهرتز به صورت تابعی از فرکانس.....۲۰

شکل (۱-۶) منبع امواج تراهرتز نیمه هادی مبتنی بر طرح QCL. الف) نیمرخ نوار هدایت QCL بر پایه چاه کوانتومی GaAs-AlGaAs. ب) طیف گسیل پیوسته بالای آستانه در دمای k ۶۴.....۲۱

شکل (۱-۷) طراحی نمونه‌ای یک منبع حالت جامد از امواج تراهرتز تنظیم‌پذیر بر اساس مولد پارامتریکی موج- تراهرتز Seed تزریقی (IS-TPG).....۲۲

شکل (۱-۸) طرحی از یک سوئیچ نور – رسانا.....۲۶

شکل (۱- ۹) مکانیزم یکسوسازی نوری.....۲۹

شکل (۱-۱۰) الف) پوش میدان الکتریکی پالس لیزر، ب) پلاریزاسیون القا شده در کریستال.....۳۱

شکل (۱-۱۱) تطبیق سرعت با استفاده از TPFP.....۳۴

شکل (۱-۱۲) مدل چرنکو تابش گسیل شده بواسطه یکسوسازی نوری پالس های نوری زیر پیکوثانیه که با سرعت $v_g(\omega_0)$ که بزرگتر از سرعت فاز تراهرتز $v(\Omega)$ می باشد جابجا می شود.....۳۵

شکل (۱-۱۳) الف)ساختار آزمایشی برای تولید تراهرتز بوسیله ی TPFP در $LiNbO_3$. ب) جهت کریستال $LiNbO_3$.....۳۶

شکل (۱-۱۴) scaling انرژی پالس تراهرتز خروجی نسبت به انرژی پالس پمپ برای منابع مختلف برای دو کریستال ZnTe و $LiNaO_3$.....۳۸

شکل (۲-۱) طیف جذب و بهره کریستال Ti:Sapphire.....۴۵

شکل ۲-۲) طرحی از یک لیزر Ti:sapphire ۴۶

شکل(۲-۳) تنظیم طول موج با استفاده از پروسه های نوری غیر خطی.....۴۷

شکل (۲-۴) تقویت پالس چیرپ شده.....۴۷

شکل (۲-۵) ساختار کریستال ZnTe.....۴۸

شکل (۲-۶) انرژی پتانسیل الکتریکی و حرکت غیر خطی برای یک الکترون در یک ماده بدون تقارن مرکزی.....۵۰

شکل (۲-۷) طیف انتقال بر حسب طول موج ۵۱

شکل (۲-۸) تغییر ضریب جذب ZnTe بر حسب انرژی فوتون نور تابشی.....۵۲

شکل (۲-۹) تغییر پارامتر $(\alpha hv)^2$ با انرژی فوتون تابشی.....۵۳

شکل(۲-۱۰) موج نوری پلاریزه شده خطی که به کریستال ZnTe می تابد.....۵۸

شکل(۲-۱۱) تکنیک تولید موج تراهرتز بر اساس موج نوری سری شده.....۶۴

شکل (۳-۱) ضریب شکست در ناحیه الف) نوری ، ب) تراهرتز.....۷۲

شکل (۳-۲) (الف)طیف توان پالس تراهرتز تولید شده (ب) بازدهی تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده.در حالتی که پالس لیزر بدون تغییر باقی مانده و تخلیه نمی شودو و شرایط ایده آل است.....۷۳

شکل (۳-۳) (الف) طیف توان پالس تراهرتز تولید شده (ب) بازدهی تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده. در حالتی که پالس لیزر تخلیه نمی شود ولی شرایط عدم همفازی و جذب را داریم.....۷۴

شکل (۳-۴) (الف) طیف توان پالس لیزر (ب) طیف توان پالس تراهرتز تولید شده (ج) بازدهی تبدیل توان پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده. شرایط کاملاً ایده ال در نظر گرفته شده است.....۷۶

شکل (۳-۵) (الف) طیف توان پالس تراهرتز تولید شده، (ب) بازدهی تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده. شرایط به طوری در نظر گرفته شده است که پالس لیزر تخلیه شده و جذب در کریستال صورت می گیرد و عدم همفازی در کریستال داریم.....۷۷

شکل (۳-۶) طیف توان پالس تراهرتز تولید شده به ازای ضرایب چیرپ مختلف.....۷۸

شکل (۳-۷) بازدهی تبدیل انرژی در حالتی که ضریب چیرپ به پالس لیزر اضافه شده و شرایط کاملا ایده آل است.....۷۹

شکل (۳-۸) بازدهی تبدیل انرژی در حالتی که ضریب چیرپ به پالس لیزر اضافه شده و شرایط ایدهآل نیست.....۸۰

شکل (۳-۹) بازدهی تبدیل انرژی پالس لیزر به پالس تراهرتز تولید شده. الف) شرط همفازی و عدم جذب. ب) شرط عدم همفازی و جذب در کریستال صورت می گیرد.....۸۱

فهرست جداول

جدول (۱-۱) مزایا و معایب منابع تراهرتز.....۲۳

جدول (۱-۲) نتایج آزمایشگاهی برای تولید تراهرتز با استفاده ار TPFP در انرژی ها، طول موج ها و نرخ های تکرار مختلف.....۳۶

جدول (۱-۳) نیمه هادی های مورد استفاده در یکسوسازی نوری.....۳۹

جدول (۲-۱) مواد استفاده شده برای سیستم های لیزری فمتوثانیه.....۴۵

فصل اول:

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱مقدمه

در چند دهه گذشته، تابش تراهرتز به خاطر ویژگی‌های منحصربه فردش توجه زیادی را به خود جلب کرده و به عنوان ابزار مفیدی برای مطالعه زمینه‌هایی نظیر ستاره‌شناسی و علوم آنالیزی مورد استفاده قرار گرفته است. پیشرفت‌ها و ابداعات تکنولوژیکی‌های اخیر در حوزه‌های فوتونیک و نانوفن‌آوری، این امکان را فراهم آورده که تحقیقات تراهرتز بتواند در بسیاری از زمینه‌های دیگر بکار برده شود. امروزه، فن‌آوری تراهرتز بطور فزاینده‌ای در کاربردهای بسیار وسیعی نظیر: فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات (TCT)، رویدادهای غیرمخرّب،[۱] امنیت داخلی،[۲] کنترل کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی، مونیتورینگ محیطی ، تصویربرداری بافت‌های بیولوژیکی و مخصوصاً طیف سنجی حوزه زمانی استفاده دارد. از این‌رو مطالعات بسیاری برای طراحی و ساخت منابع تراهرتز با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است[۱-۷].

منابع سینکروترون[۳]، لیزرهای الکترون آزاد، امیتر اسمیت پارسل[۴] و نوسان سازهای موج برگشتی[۵] وسایل تک رنگ و قابل تنظیم برای تولید موج تراهرتز می باشند. ولی بزرگترین عیب این منابع بزرگی ابعادشان می باشد. لیزرهای گازی نوع دیگری از منابع تراهرتز هستند که قادر به تولید رنج فرکانسی وسیعی (کمتر از ۳۰۰ گیگاهرتز تا بیش از ۱۰ تراهرتز) می باشند. توان خروجی این منابع در حد چندین میلی وات می باشد، ولی لیزرهای گازی منابع نسبتاً گرانی هستند. برای بیشتر کاربردها، لیزرهای نیمه هادی مشکل قیمت و اندازه دیگر منابع را ندارند ولی اصلی ترین مشکل عملکرد این لیزرها خنک کننده برودتی[۶] می باشد. لیزرهای کوانتومی آبشاری (QCL) تکنولوژی دیگری برای تحقق یافتن منابع تراهرتز فشرده و یک پارچه می باشند که

[1]- non- destructive
[2]-homeland security
[3] Synchrotron sources
[4] Smith Purcell
[5] backward-wave oscillators
[6] cryogenic cooling

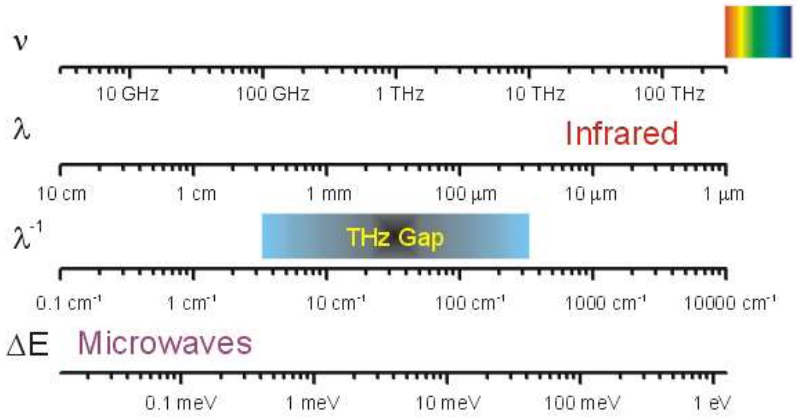
در دمای اتاق کار می کنند. از لحاظ تئوری، برای دستکاری مسیر الکترون می توان از طریق تغییر ضخامت لایه های نواحی فعال به طول موج‌های مختلف دست یافت. ولی در عمل برای این منظور نواحی فعال با مجذور طول موج رشد می‌کنند. وسایل الکترونیک حالت جامد با استفاده از یک ساختار نیمه هادی لایه شده قادر به تولید نور مادون قرمز و تقریباً تا حدود ۱ تراهرتز می‌باشند. لیزرهای دیودی داخل باندی که در طول موج‌های ۳ میکرومتر کار می‌کنند، از بازترکیب الکترون‌های باند هدایت با حفره‌های باند ظرفیت در سرتاسر باند گپ ماده فعال نور مادون قرمز تولید می‌کنند. این نوع لیزرها نمی‌توانند برای گسیل امواج تراهرتز به‌کار برده شوند زیرا نیمه هادی مناسب برای این نوع تحریک وجود ندارد.

متأسفانه منابع تراهرتز ذکر شده در بالا به دلیل عواملی چون پهنای باند و شدت پرتو تولید شده ، اندازه و قیمت برای بسیاری از کاربردها مناسب نمی‌باشند. از این رو تکنیک‌های تمام نوری مانند لیزرهای پالس شده فمتو ثانیه اهمیت پیدا می‌کنند. تکنیک‌های نوری در حالت کلی به دو دسته ، گسیل تابش تراهرتز از یک ماده غیرخطی(یکسو سازی نوری) و گسیل امواج تراهرتز حاصل از شتاب الکترون‌ها (سوئیچینگ نور-رسانا) تقسیم می شوند[۸و۹].

۱-۲ تابش تراهرتز

تابش تراهرتز می‌تواند به طور گسترده به عنوان ناحیه‌ای بین رژیم‌های ماکروویو و مادون قرمز توصیف شود، که این ناحیه از طیف الکترومغناطیسی رنج فرکانسی تقریباً از ۰/۱تا ۱۰ تراهرتز را پوشش می دهد، در واقع می توان گفت این تابش پلی بین الکترونیک و فوتونیک می باشد. به خاطر فقدان تکنولوژی‌های مناسب برای منابع و آشکارسازها به ناحیه تراهرتز اغلب به عنوان گپ تراهرتز نیز اشاره می شود (شکل۱-۱). اما بعد از

میانه دهه ۷۰، پیشرفت‌ها در زمینه ادوات الکترونیکی (بالاتر از فرکانس ماکروویو) و ادوات نوری (پایین تر از رنج فرکانسی مادون قرمز) دستگاه‌های جدیدی را به وجود آورد که گپ تراهرتز را قابل دستیابی نمود و افزایش پیشرفت شتاب یافته میدان تراهرتز را در دو عرصه تحقیقاتی و کاربردی به همراه داشت[۱۰].



شکل ۱-۱) طیف الکترومغناطیسی و گپ تراهرتز [۱۱]

انرژی پایین فوتون‌های تراهرتز در مقایسه با متوسط انرژی گرمایی باعث می شود بسیاری از گذارهای اتمی تحریک نشوند، از این رو بسیاری از مواد دی الکتریک در برابر نور مرئی شفاف و در برابر امواج تراهرتز مات باشند و می تواند بهترین ویژگی برای استفاده از این تابش فرکانسی باشد. بنابراین تابش تراهرتز برای مطالعه پدیده‌هایی با فرکانس‌های خیلی پایین مانند چرخش در مولکول‌های خیلی کوچک مفید است. علاوه بر این تابش تراهرتز غیر یونیزه کننده نیز می باشد و می تواند جایگزین خوبی برای اشعه ایکس که باعث یونیزه کردن بافت‌های بدن می شود باشد، البته این خصوصیت در مورد امواج ماکروویو نیز صادق است ولی طول موج پایین امواج تراهرتز باعث می شود که رزولوشن فضایی بهتری را نسبت به امواج ماکروویو نشان دهد. یکی دیگر از

مزایای تابش تراهرتز این است که طول موج‌ها در این رنج فرکانسی آنقدر بلند هستند که به وسیله مواد غیر قطبی و غیر فلزی جذب نشوند، ولی همچنین به اندازه کافی هم کوتاه هستند که بتوان از آنها با استفاده از مولفه‌های نوری برای ساخت یک تصویر استفاده کرد. بنابراین می توان گفت این مشخصه از موج تراهرتز پتانسیل استفاده از این امواج را در کاربردهای امنیتی، پزشکی، کشاورزی، زیست محیطی و غیره نشان می دهد.

۱-۳ سیستم های تراهرتز

سیستم‌های تراهرتز را می‌توان به دو دسته عمومی تقسیم بندی کرد: سیستم‌های باند پهن پالسی و سیستم های موج پیوسته (CW).

۱-۳-۱ سیستم‌های تراهرتز موج پیوسته (CW)

در سیستم تراهرتز پیوسته یک فرکانس در زمان فرض می شود. در این سیستم دو لیزر دیودی که به صورت فضایی همپوشانی دارند به ساختار آنتن فوتوکاتد هدایت شده‌اند و دو فرکانس ترکیب می‌شوند تا مجموع و تفاضل فرکانس‌ها را تولید کنند و این فرکانس‌های تولید شده در رنج تراهرتز گسترده می‌شوند و می‌توانند با تنظیم هرکدام از دو لیزر دیودی تغییر کنند. بنابراین رنج فرکانسی پله پله جاروب می‌شود. در طرف دیگر آنتن نور- رسانا امکان نمونه برداری همدوس را برای سیگنال تراهرتز فراهم می‌کند. سیستم cw علاوه بر قیمت پایین همچنین دارای مشخصه تفکیک پذیری طیفی بالا (زیر GHz ۱۰) می‌باشد و برای اندازه‌گیری دقیق خطوط جذب نیز توانا می باشد.

۱-۳-۲ سیستم های تراهرتز پالسی

عملکرد سیستم‌های تراهرتز پالسی به این صورت است که از نمونه مورد مطالعه، یک اسکن با پالس خیلی کوتاه تراهرتز انجام می‌شود. این سیستم‌ها در مقایسه با سیستم‌های تراهرتز پیوسته، توان پایینی دارند. یک حالت استثنا قابل توجه به وسیله آقای هافمن و همکاران با استفاده از کریستال‌های غیرخطی به دست آمده است [۱۲]. متأسفانه پهنای باند پالس‌های تراهرتز به دست آمده با این روش، تا اندازه‌ای محدود شده است. قیمت سیستم پهن باند پالسی عموماً بالاتر از سیستم CW است، چرا که در این سیستم ها از لیزر فمتوثانیه استفاده شده و محیط فعال این لیزرها (کریستال Ti:Sapphire یا فیبر) گران قیمت می باشد، در مقابل لیزرهای دیودی قابل تنظیم چندان گران قیمت نیستند.

۱-۴ کاربردهای تراهرتز

کاربردهای اصلی فن‌آوری تراهرتز به دو گروه تقسیم می‌شود: سنجش (حسگری[1]) و ارتباطات. طیف سنجی حوزه زمانی[2] و طیف سنجی حوزه فرکانسی[3](TDS و FDS) تراهرتز روش‌های تکنولوژیکی آنالیزی توسعه یافته‌ای هستند که قابل استفاده برای مواد مختلف می‌باشند. استفاده از این ابزارها، قابلیت‌های سنجش بی‌سابقه‌ای را در اختیار بسیاری از حوزه‌های تحقیقاتی نظیر بیولوژی، داروسازی، علوم پزشکی، مونیتورینگ محیط، امنیت، ستاره‌شناسی و علوم پایه قرار داه است. موارد کاربردی متعددی در هر یک از حوزه‌ها وجود دارد [۱۳-۱۵]، نظیر: تراشه‌های DNA، تشخیص سرطان پوست، تست مدار مجتمع مقیاس بزرگ (LSI)، بازرسی و تشخیص مواد منفجره و موارد دیگر. فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات نیز از فواید فن‌آوری تراهرتز بهره‌مند می‌شود

[1]- sensing
[2] - THz time domain spectroscopy
[3] - THz Frequency domain spectroscopy