

صلى الله عليه وسلم



پردیس بین المللی ارس

گروه مهندسی فتونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی فتونیک گرایش نانو فتونیک

مدل سازی تاثیر امواج تراهرتز بر روی بافت های بدن

استاد راهنما:

دکتر حامد باغبان

استاد مشاور:

دکتر غلامرضا کیانی

دانشجو:

سحر فرج زاده

شهریور ۹۳

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که
هر قدم از موفقیت هایم را
مدیونشان هستم.

با تقدیر و سپاس فراوان از
جناب آقای دکتر باغبان که در
تمامی مشکلات این راه،
همواره مرا یاری نموده اند.

| | |
|--|------------------------|
| نام خانوادگی: فرج زاده | نام: سحر |
| عنوان پایان نامه: مدل سازی تاثیر امواج تراهرتز بر روی بافت های بدن | |
| استاد راهنما: دکتر حامد باغبان | |
| استاد مشاور: دکتر غلامرضا کیانی | |
| مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد | رشته: مهندسی فتونیک |
| دانشکده: پردیس بین المللی ارس | گرایش: نانو فتونیک |
| تاریخ فارغ التحصیلی: ۲۵ شهریور ۱۳۹۳ | دانشگاه: دانشگاه تبریز |
| تعداد صفحه: ۶۷ | |
| کلید واژه ها: ضریب شکست، ضریب جذب خطی و غیر خطی، آب، بافت انسانی، تصویر برداری تراهرتز پالسی، موارد استفاده پزشکی | |
| چکیده: | |
| <p>اولین مشاهده ها از تصویر برداری تراهرتز در پزشکی، سال ها پیش انجام گرفته است اما اطلاعات کمی در مورد ویژگی های اپتیکی بافت انسان در فرکانس های تراهرتز وجود دارد.</p> <p>نمودارهایی از میزان افزایش دمای سطح مورد نظر که تحت تابش تراهرتز قرار گرفته، منتشر شده است.</p> <p>تصویر برداری تراهرتز با پهنای باند ۰/۵ تا ۲/۵ تراهرتز معمولا در این زمینه مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق، فرکانس استفاده شده ۱ تراهرتز فرض شده است.</p> <p>مهمترین نکته در این قسمت ضخامت منطقه مورد نظر است که معمولا در حوزه میلی متر در نظر گرفته می شود.</p> <p>دو بافت پوست و عصب در این تحقیق بررسی شده است. در نهایت افزایش دما در آب، پوست و عصب توسط نرم افزار متلب مورد بررسی قرار گرفت که با توجه پائین بودن توان پرتوی تراهرتز و سایر فرضیات مساله، افزایش دما در دیسکی از بافت مفروض بسیار ناچیز به دست آمد. به طوری که می توان از این پرتو در تصویربرداری های پزشکی و آشکار سازی بافت های سرطانی و سایر کاربردهای پزشکی بسیار مورد استفاده قرار داد که آسیبی به بافت نرسد.</p> | |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| فصل اول: کلیات تحقیق | |
| ۱-۱- تراهرتز در پزشکی و زیست شناسی..... | ۲ |
| ۲-۱- سنجش تراهرتز پروتئین..... | ۵ |
| ۳-۱- سنجش تراهرتز بافت‌های زیستی..... | ۶ |
| ۴-۱- اسپکتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز (THz- TDS)..... | ۷ |
| ۵-۱- آنالیز دامنه فرکانسی..... | ۱۱ |
| ۶-۱- تصویر برداری پالسی تراهرتز..... | ۱۱ |
| ۷-۱- کاربردهای اولیه این مدل در موقعیت‌های مختلف..... | ۱۴ |
| ۸-۱- کاربرد در اسپکتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز..... | ۱۵ |
| ۹-۱- کاربرد در بدن انسان..... | ۱۷ |
| فصل دوم: مواد و روش‌ها | |
| ۱-۲- طرح مساله..... | ۲۱ |
| ۲-۲- روش حل..... | ۲۳ |
| ۳-۲- فرضیات و شرایط مرزی..... | ۲۴ |
| ۴-۲- حل $U(r,z)$ | ۲۵ |
| ۵-۲- رسانای گرمایی و ضریب جذب..... | ۲۸ |
| ۶-۲- محاسبه تاثیر عبور..... | ۲۹ |

فصل سوم: نتایج تحقیق

- ۳-۱- شرایط اولیه: ۳۱
- ۳-۳- وابستگی فرکانسی و دمائی ۳۸
- ۳-۴- پوست ۳۸
- ۳-۵: عصب ۴۵
- ۳-۵- ضریب SAR ۴۹
- ۳-۶- محاسبه مقدار ضریب SAR ۵۰
- مراجع و منابع: ۵۱

فهرست اشکال

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| شکل ۱-۱: نمایش شماتیک ناحیه های طیف مولکولی مختلف در منطقه فرکانسی تراهرتز..... | ۳ |
| شکل ۲-۱: پالس های دامنه زمانی بازتاب تراهرتز یک صفحه نازک کاغذ به ضخامت ۰/۱ میلی متر و یک صفحه نازک پلاستیک با ضخامت ۰/۵ میلی متر [۷]..... | ۹ |
| شکل ۵-۱: چیدمان تصویر برداری پالسی تراهرتز..... | ۱۴ |
| شکل ۱-۲: شرایط مرزی مساله..... | ۲۳ |
| شکل ۱-۳: تغییرات دمایی دیسک آب نسبت به شعاع..... | ۳۲ |
| شکل ۴-۳: تغییرات دمایی بر حسب متغیر ضخامت..... | ۳۲ |
| شکل ۵-۳: تغییرات دمایی نسبت به متغیر تعداد جملات مجموع..... | ۳۳ |
| شکل ۵-۳: تغییرات دمایی دیسک آب نسبت به متغیر شعاع نمونه..... | ۳۳ |
| شکل ۶-۳: تغییرات دمایی دیسک آب بر حسب متغیر ضخامت نمونه..... | ۳۵ |
| شکل ۷-۳: تغییرات دمایی بر حسب متغیر شعاع نمونه..... | ۳۵ |
| شکل ۸-۳: $U(r, z)/U_{max}$ تغییر دمای نرمالیزه شده تابعی از شعاع نرمالیزه شده r/a و ضخامت Z | ۳۷ |
| ۹-۳- تغییرات دمایی نمونه پوست بر حسب متغیر شعاع پرتوی فرودی..... | ۳۹ |
| ۱۰-۳- تغییرات دمایی نمونه پوست بر حسب متغیر شعاع نمونه پوست..... | ۴۰ |
| ۱۱-۳: تغییرات دمایی نمونه پوست بر حسب متغیر ضخامت نمونه پوست..... | ۴۱ |
| ۱۲-۳: تغییرات U/U_{max} نمونه پوست بر حسب متغیر r/a | ۴۲ |

-
- ۳-۱۳: تغییرات دمایی به عنوان تابعی از تعداد جملات محاسبه شده ۴۳
- ۳-۱۴: تغییرات دمایی نمونه پوست برحسب متغیر شعاع ۴۳
- ۳-۱۵: تغییرات دمایی نمونه پوست برحسب متغیر ضخامت ۴۴
- ۳-۱۶: افزایش دمای رشته عصب در متغیر شعاع نمونه عصب ۴۵
- ۳-۱۷: تغییرات دمایی نمونه عصب برحسب متغیر ضخامت نمونه ۴۶
- ۳-۱۸: تغییرات دمایی برحسب تعداد جملات محاسبه شده ۴۷
- ۳-۱۹: تغییرات دمایی به عنوان تابعی از فاصله شعاعی ۴۷
- ۳-۲۰: تغییرات دمایی به عنوان تابعی از ضخامت ۴۸

فهرست جداول

| صفحه | عنوان |
|----------|--|
| ۲۵ | جدول ۱-۲: [۳] جزئیات دو متغیر فرض شده |
| ۳۱ | جدول ۱-۳: مقادیر اولیه محیط جهت انجام محاسبات [۴] |
| ۵۰ | جدول ۲-۳: [۶] پارامترهای ورودی برای بافت های مختلف بدن |

فصل اول:
کلیات تحقیق

تابش تراهرتز (THz یا T-ray، $1\text{THz}=1\text{e}12$) گونه ای از تابش الکترومغناطیسی است که در فاصله بین تابش میکروویو و فرسرخ قرار دارد. همچنین در فاصله فرکانسی بین ۱۰۰ گیگاهرتز و ۱۰ تراهرتز نیز گاهی تا فرکانس های ۴۰ تراهرتز در شاخه رنج فرکانسی به شمار می رود. فرکانس های بالا و پایین تراهرتز، فرکانس های فرسرخ و میکروویو را می پوشاند و به همین دلیل فرکانس پایین تراهرتز به امواج میلیمتری تقریبی و همچنین فرکانس بالای تراهرتز به امواج فرسرخ دور شناخته شده است.

امواج تراهرتز ویژگی هایی از امواج فرسرخ و میکروویو دارد اما در عین حال ویژگی های خاصی دارد که آنها ندارند. به عنوان مثال، همانند امواج میکروویو، سیگنال های پالسی تراهرتز تفکیک پذیری موقتی خوبی دارند. در صورتی که تفکیک پذیری فضایی امواج تراهرتز بهتر از امواج میکروویو است. علاوه براین، انرژی فوتون تراهرتز تقریباً $1\text{e}-3$ الکترون ولت است که شش مرتبه مغناطیسی پایین تر از تابش یونیزه شده ای مثل امواج ایکس است. دراین تراز انرژی فوتونی پایین، ترازهای توان آماده پایین تر از سطحی هستند که ایجاد حرارت کنند که در این صورت امواج تراهرتز در استفاده طولانی در بیو بافت زنده، امن و بی خطر در نظر گرفته می شود [1],[8],[9],[19].

۱-۱- تراهرتز در پزشکی و زیست شناسی

ویژگی های طیفی باند المان های شیمیائی و محلول ها قبل از اسپکتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز در سال ۱۹۸۵ مورد علاقه دانشمندان بوده است.

اسپکتروسکوپیست های مولکولی، بر روی ویژگی های جذب فروسرخ گاز های کیهانی و المان های شیمیائی از زمان فرانهورفر در سال ۱۹۵۰ مطالعه کرده اند.

در سل ۱۹۰۰ فعالیت های مولکولی، نه فعالیت های اتمی، توسط Knut angstrom به عنوان دلیل ویژگی های طیفی واحد گازها در رنج فرکانس فروسرخ ارائه شده است. با اندازه گیری مولفه های ۲ گاز هرکدام شامل کربن و اکسیژن، آقای انگستروم ۲ طیف فروسرخ متفاوت مشاهده کرد. این مساله او را به این تفاوت که می بایست به فعالیت های نوسانی و چرخشی کربن و اکسیژن مربوط باشد جلب کرد. این تئوری، امروزه هم مورد قبول است و پایه اسپکتروسکوپی تراهرتز بیولوژیکی و مولکولی است.

با پیشرفت هایی در منابع تابش در سال های نخست قرن ۲۰، رنج فروسرخ به ۴ بخش تقسیم شد:

۱. فروسرخ نزدیک^۱ (۷۸۰-۳۰۰۰ نانومتر) (۳۸۵-۱۰۰ تراهرتز)

۲. فروسرخ میانی^۲ (۱۰۰-۵۰ تراهرتز) (۳۰۰۰-۶۰۰۰ نانومتر)

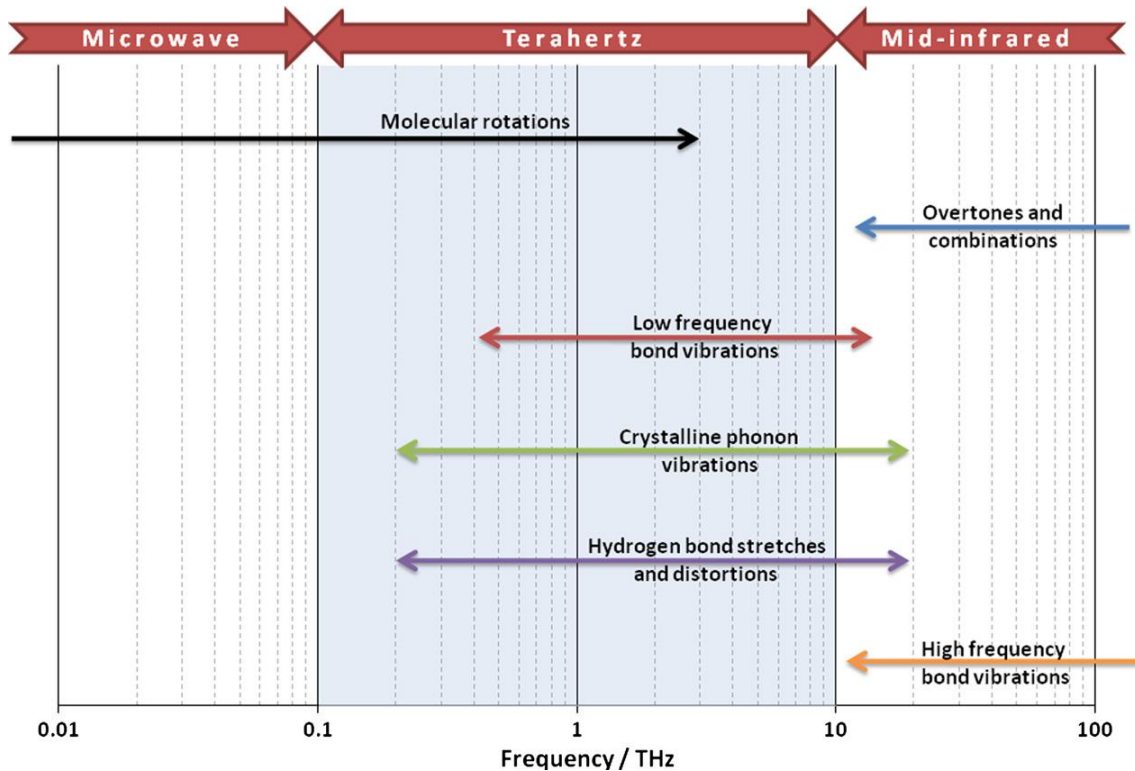
۳. فروسرخ دور^۳ (۶۰۰۰-۱۵۰۰۰ نانومتر و ۲۰-۵۰ تراهرتز)

۴. فروسرخ خیلی دور^۱ (۱۵۰۰۰ نانومتر-۱ میلیمتر و ۰,۳-۲۰ تراهرتز)

^۱ Near infrared

^۲ Mid infrared

^۳ Far infrared



شکل ۱-۱: نمایش شماتیک ناحیه های طیف مولکولی مختلف در منطقه فرکانسی تراهرتز

قسمت تراهرتز پر رنگ تر شده است [۷].

منابع فروسرخ دور (FIR) در دهه ۱۹۵۰ لامپ های جیوه ای و تولید هارمونیک از اسپلاتور های فرکانس بالا مثل سیستم کلایسترون^۲ و مگنترون^۳ و تیوپ های حامل موج رونده بودند. اسپکتروسکوپی FIR مواد شیمیائی، در دهه ۱۹۳۰، به دست آمد زمانی که ویژگی های اپتیکی سدیم کلراید برای تمام رنج FIR به دست آمد. در دهه ۱۹۵۰ طیف عبوری FIR به مواد مختلفی از جمله

¹ Ultra far infrared

² klystrons

³ magnetron

اتمسفرد، جامدات (مثل کریستال کوارتز، پارافین، تفلون و پلی اتیلن)، بخار آمونیاک و هیدروژن کلراید، گزارش شده است.

علیرغم این پیشرفت ها، هنوز نیاز به پیشرفت تفکیک پذیری طیفی ناحیه FIR پائین، احساس می شود. پیشرفت ها در دهه ۱۹۶۰ در بیان اسپکتروسکوپی انتقال فوریه^۱ ارائه شد. اسپکتروسکوپی انتقال فوریه که تکنیکی بر پایه تداخل سنجی است، توسط P.B. Fellgett برای پایان نامه ایشان در سال ۱۹۵۱ ارائه شد.

اکنون اسپکتروسکوپی انتقال فوریه، در بیان اسپکترومترهای انتقال فوریه فروسرخ در (FTIRS) ارائه می شود. اسپکترومترهای مدرن FTIR، توانایی تولید یک رنج پهنی از فرکانس های فروسرخ توسط انتخاب جفت کریستال آشکارساز-گسیل کننده مناسب را دارد. فرکانس های FIR بالاتر، بالای ۱۲ تراهرتز قابل دسترس است اما جهت خنک سازی سیستم به هلیوم مایع نیاز خواهیم داشت. فرکانس های پائین تر از ۱۲ تراهرتز کاملاً برای اسپکترومترهای FTIR مناسب نیستند چون حساسیت فرکانسی محدودی روی سخت افزار تولیدی دارند مثل گسیل کننده پرتو^۲.

به مواد مختلفی شامل اتمسفرد، جامدات (مثل کریستال کوارتز، پارافین، تفلون و پلی اتیلن) بخار آمونیاک و هیدروژن کلراید گزارش شده است. علیرغم این پیشرفت ها، هنوز نیاز به پیشرفت تفکیک پذیری طیفی ناحیه FIR پائین دیده می شود. پیشرفت ها در دهه ۱۹۶۰ در بیان اسپکتروسکوپی انتقال فوریه ارائه شد.

اسپکتروسکوپی انتقال فوریه که یک تکنیکی بر پایه تداخل سنجی است، توسط P.B. Fellgett برای پایان نامه ایشان در سال ۱۹۵۱ ارائه شد.

^۱ Fourier transform spectroscopy(FTS)

^۲ Beam splitter

اکنون اسپکتروسکوپی انتقال فوریه، در بیان اسپکترومترهای انتقال فوریه فروسرخ دور (FRIRS) ارائه می‌شود. اسپکترومترهای مدرن FTIR، توانایی تولید یک رنج پهنی از فرکانس‌های مرونرخ توسط انتخاب جفت کریستال آشکار ساز- گسیل کننده مناسب را دارد. فرکانس‌های FIR بالاتر، بالای ۱۲THZ، قابل دسترسی است اما جهت خنک سازی سیستم به هلیوم نیاز خواهیم داشت فرکانس‌های پائین تراز ۱۲THZ، کاملاً برای اسپکترومترهای FTIR مناسب نیستند چون حساسیت فرکانسی محدودی روی سخت افزای تولیدی دارند مثل گسیل کننده پرتو^۱.

برای مثال، پتاسیم برومید (KBr) یک ماده مشهور استفاده شده در گسیل کننده پرتو فقط 10/5 THz حساسیت دارد، ر حالیکه سدیم یدید (CsI) پائین از آن یعنی 6/75 THz حساسیت دارد. بنابراین اسپکتروسکوی دامنه زمانی (THz- TDs) هنوز هم شیمی از بهترین تکنیک‌های قابل اعتماد برای تولید تراهرتز باند پهن است [۱]، [۲۱]، [۲۰]، [۱۶].

۱-۲- سنجش^۲ تراهرتز پروتئین

سنجش تراهرتز پروتئین‌ها، یکی از بهترین کاربردهای اسپکتروسکوپی تراهرتز است. سنجش لغتی است که معمولاً با آشکار سازی^۳ استفاده می‌شود، و سنجش تراهرتز پروتئین بیشتر به مطالعه ساختاری دینامیک درون یک کریستال پروتئین، مربوط است.

مثل مطالعه‌های FTIR در پروتئین، نمونه‌های استفاده شده در سیستم‌های اسپکتروسکوپی دامنه زمانی^۱ شامل مقادیر کمی از پروتئین خالص است که با یک ماده متراکم، مخلوط شده است، مثل پلی اتیلن، و سپس به گلوله‌های نازکی، پرس شده است [۱].

^۱ Beam splitters

^۲ Sensing

^۳ detection

ورق یک پروتئین خالص توسط تابش تراهرتز که روشن می‌شود، مولکول‌های درونی‌اش مثل یک فیلتر در جلوگیری از فرکانس‌های تراهرتز خاص از رسیدن به آشکار ساز THz عمل می‌کنند.

به طور خلاصه اسکپتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز (THz- TDs) برای مطالعه DNA^۲ و RNA^۳ مدهای ترکیب پروتئین، دینامیک‌های پروتئین، و ترتیب پروتئین‌ها استفاده می‌شود.

۱-۳- سنجش تراهرتز بافت‌های زیستی^۴

موفقیت مطالعه پروتئین تراهرتز، منجر به استفاده از امواج تراهرتز در مواد بیولوژیکی مختلط بیشتری مثل پوست، ارگان‌ها، و دندان شد.

مثل پروتئین‌های پودری خالص، پروتئین‌های موجود در مواد بیولوژیکی مختلط در تئوری نیز بایستی بیک‌های طیفی خاصی ر یخ فرکانسی تراهرتز، تولید کند. اگر یک پروتئین تغییر شیمیایی داشته باشد یا به دلیل بسیاری مثل سرطان، اثر تراهرتز، یک نشانگر^۵ شناسائی برای بیماری تولید می‌کند.

نشانگرها برای بیماری‌ها، برای تشخیص پزشکی، بسیار مهم و حیاتی هستند با نشانگرهای بسیار جدیدی کیفیت مدیریت بسیاری پیشرفت کرده است. امواج تراهرتز، پتانسیل تولید نشانگرهای جدید را دارد [۱].

اگر ابزارهای اسکپتروسکوپی و تصویر برداری تراهرتز زنده تجاری و پزشکی، بتواند در آینده نزدیک در روش‌های تصویر برداری به وجود آمده مثل X-ray تصویر برداری رزونانس مغناطیسی (MRI) و تودوگرافی محاسبه شده (CT) را تکمیل کند.

¹ THz TDs

² Deoxyribonucleic

³ ribonucleic acid

⁴ Terahertz Sensing biotissue

⁵ marker

۱-۴- اسپکتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز (THz- TDs)^۱

ناحیه تراهرتز یا فرسرخ دور از یک اسکتو مغناطیسی، اهمیت ویژه‌ای در اسپکتروسکوپی سیستم‌های مواد متراکم دارد. ویژگی‌های الکتریکی نیمه رساناها و فلزات که به خوبی توسط تراز باند تحت تاثیر قرار می‌گیرند که انرژی‌شان با فوتون‌های تراهرتز رزونانس می‌کنند.

ناحیه تراهرتز همچنین با نرخ پروسه‌های غیر الاستیک در جامدات، مثل تونل‌زنی و پراکندگی شبه ذرات هم زمان است.

علاوهم اهمیت این اسپکتروسکوپی در اسپکتروسکوپی تراهرتز کمبود امکانات مناسب، همیشه مانع پیشرفت کار است.

از سوی دیگر اسپکتروسکوپی فرسرخ تبدیل فرویه (FTIR)^۲، به دلیل کمی وضوح منابع ناهم دوس، مانع پیشرفت کار است.

اسپکتروسکوپی دامنه زمانی تراهرتز (THz- TDs)، یک تکنیک اسپکتروسکوپی جدی است که این مشکلات را برای رسیدن به هدفمان حل می‌کنند.

مزایایش در گسترش سلاح‌های هسته‌ای سریع، در چند سال اخیر از تعداد انگشت شماری متخصصین لیزر سریع، برای تحقیق در سطح وسیعی از این کار، به نتیجه رسیده است.

THz- TDs بر پایه انتقالات الکترومغناطیسی تولید شده اپتو الکتریکی به همراه استفاده از پالس‌های لیزری فمتو ثانیه ($1\text{fs} = 10\text{s}$) است.

¹ Terahertz time domain spectroscopy

² Fourier transform Infrared

چگالی طیفی آنها از رنج پایین تر از 100GHz تا بیشتر از 5 THz است.

آشکارسازی اپتیکی، اندازه‌گیری‌های مستقیم میدان الکتریکی تراهرتز با تفکیک‌پذیری زمانی یک بخشی از پیکو ثانیه را ممکن می‌سازد.

با استفاده از این اندازه‌گیری هر دو قسمت حقیقی و عمومی تابع دی الکتریک محیط ممکن است به دست آید، بدون دسترسی به رابطه‌های کرونیک کرامر.

علاوه‌براین، وضوح گذار تراهرتز تجاوز از منبع حرارتی معمولی است. پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد که آشکارسازی دامنه زمانی (THz- TDs) ظرفیت بردن به فراتر از اسپکتروسکوپی فرو سرخ را دارد.

چون گذارهای تراهرتز به خوبی با پالس‌های اپتیکی ای که آنها را تولید می‌کنند از لحاظ زمانی موزون هستند.^۱

اسپکتروسکوپی (THz- TDs) به صورت ایده آل برای آزمایشات پمپ قابل مشاهده، پروب THz مناسب است. در این آزمایش‌ها، پالس اپتیکی، برای برانگیختن و تحریک یک نمونه استفاده می‌شود و پلاس THz تغییرات منابع دی الکتریک را به عنوان تابعی از زمان بعد از برانگیختگی اپتیکی، آشکار می‌کند.

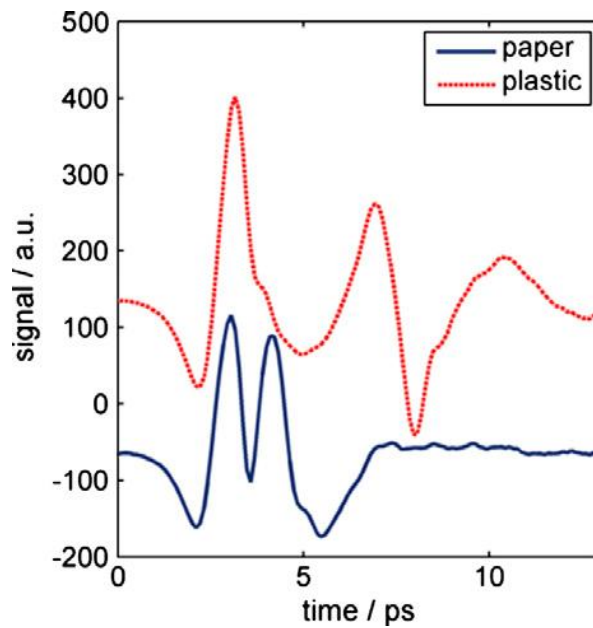
یک تکنیک قدرتمند دیگر، آشکارسازی گسیل THz در پی برانگیختگی لیزر پالسی است از بسیاری از جهات، این تکنیک‌های غیر خطی حتی بیشتر از اسپکتروسکوپی (THz- TDs) پیشرفت کرده است و اطلاعاتی را به دست می‌دهد که ممکن است مشاهده‌اش بسیار مشکل باشد.

¹ time synchronized

علاوه بر مشخصه‌های مواد جدید و مطالعه پدیده‌های فیزیکی پایه، اسکپتوسکوپی تراهرتز در دنیای تجاری روبه رشد است.

کاربردهای مهم آن، شامل کنترل پروسه صنعتی، آنالیز شیمیایی، مشخصه‌های ویفر، سنجش از راه دور و سنجش محیطی است [۷].

یک تحقیق در این زمینه روی یک نمونه انجام گرفته است که جزئیات ساختاری نمونه را نشان می‌دهد. شکل زیر، ۲ آزمایش دامنه زمانی معمولی انجام شده با یک پروب پزشکی PTI را نشان می‌دهد [۷]، [۱۴]، [۱۵].



شکل ۱-۲: پالس‌های دامنه زمانی بازتاب تراهرتز یک صفحه نازک کاغذ به ضخامت ۰/۱ میلی‌متر و یک صفحه

نازک پلاستیک با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر [۷]

هر دو نمودار، پیک‌های متمایزی را نشان می‌دهد. این پیک‌ها به دلیل بازتاب پالسی تراهرتز به ۲ صفحه مجزا است.