

طیف سنجی تراهرتز حوزه زمان جهت شناسایی لاکتوز

امید پناهی^۱، مهرداد خیراللهی^۲، بهاره یحیی‌ئی^۳، سید مهدی موسوی^۴
امین احمدی^۴، علیرضا مجتبی^۵، صدیقه ملک محمدی^۶، جواد صادقی پناه^۴، محمد نشاط^۷
^۱ پژوهشکده لیزر و پلاسما دانشگاه شهید بهشتی
^۲ دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف
^۳ گروه شیمی فیزیک، دانشگاه بوعلی همدان
^۴ گروه فیزیک، دانشگاه شیراز
^۵ گروه فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
^۶ گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان
^۷ دانشگاه تهران

چکیده - در این مقاله از دو آنتن نور رسانا گالیوم آرسناید دو قطبی، جهت تولید و آشکارسازی سیگنال تراهرتز در حوزه زمان استفاده شده است. از این چیدمان تپ‌هایی با طول کمتر از یک پیکو ثانیه و محدوده‌ی طیفی ۱۰۰ گیاهرتز تا ۳.۵ تراهرتز حاصل می‌شود. در نهایت با اضافه کردن دو لنز کانونی ساز به چیدمان تراهرتز، یک نمونه آزمایشگاهی طیف نگار حوزه زمان (TDS) در مد عبوری بر پا گشت و نمونه لاکتوز مورد شناسایی قرار گرفت.

کلید واژه- آنتن نور رسانش، موج تراهرتز، طیف نگاری، لاکتوز.

THz Time-domain spectroscopy to detect lactose

Omid Panahi 1, Mehrdad Kheyrollahi 2, Bahareh Yahyaei 3, Seyed Mehdi Mossavi 4, Amin Ahmadi 4, Alireza Mojtaba 5, Sedigheh Malek Mohammadi 6, Javad Sadegipannah 4, Mohamad Neshat 7

1 Laser and Plasma Research Institution, Shahid Beheshti University

2 Department of Physics, Sharif University of Technology

3 Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, Bu-Ali Sina University

4 Department of Physics, Shiraz University

5 Institute of Photonic, Graduate University of Advanced Technology

6 Department of Physics, Isfahan University

7 Tehran University

Abstract- In this paper we used two dipole Ga-As antenna to generate and detect THz wave in time domain. In this setup we could generate pulses with 1ps duration time and frequency range between 100GHz and 3.5THz. Finally we added two confocal lenses to this arrangement and set up a THz-TDS system in transmission mode and we could identify a lactose sample by this arrangement.

Keywords: photoconductive antenna, THz wave, spectroscopy, lactose.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

آزمودن ترکیبات شیمیایی مولکول‌ها، می‌تواند از پرتو تراهرتز استفاده نمود. این توانمندی می‌تواند، برای سنجش عارضه‌ها، آلودگی‌ها، حسگری عوامل زیستی و شیمیایی، و کنترل کیفیت تولیدات غذایی به کار گرفته شود. همچنین، بر اساس ساختارهای مولکولی، مواد منفجره پلاستیکی از درون چمدان‌ها، لباس‌ها، مواد خانگی مرسوم، و تجهیزات، کاملاً قابل شناسایی است. از اینرو امروزه پژوهش در کاربردهای بالقوه استفاده از تابش تراهرتز، بطور پیوسته در حال افزایش است؛ بطوریکه منجر به بهبود چشمه‌ها و آشکارسازها و معرفی کاربردهای متنوع در این باند شده است.

۲- خصوصیات موج تراهرتز

تصویربرداری پزشکی در فرکانس‌های تراهرتز در چند سال اخیر رشد چشمگیری داشته است [2]، زیرا مولکول‌ها را یونیزه نمی‌کنند. همچنین با توجه به انرژی کمتر فوتون‌های امواج تراهرتز (۱۴/۴ meV) نسبت به پرتو X با انرژی فوتون در حد چند کیلوولت، کم‌خطرتر می‌باشند. درعین حال قادر به ارائه تصاویر با کیفیت بالایی هم از سطح و هم از عمق می‌باشند.

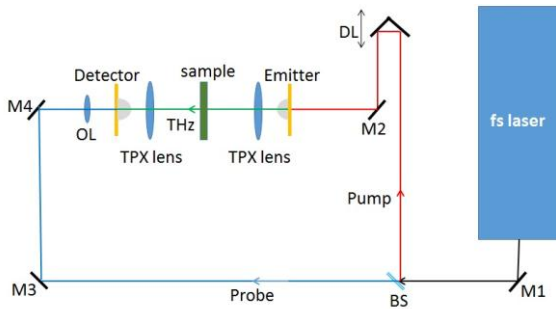
طیف‌سنجی تراهرتز در حوزه زمان و فرکانس کاربردهای فراوانی در علوم مختلف داد، به طوری که بسیاری از مواد شامل مولکول‌های زیستی، داروها، بافت‌های سرطانی، پروتئین‌ها و باکتری توسط این روش طیف‌سنجی شده‌اند [3]. اطلاعات ناشی از مودهای نوسانی بین مولکولی در باند تراهرتز قابل ثبت هستند [4]. به علاوه، میزان جذب امواج تراهرتز توسط یک بافت به شدت تابع چگالی مولکول‌های قطبی موجود در آن، مانند مولکول‌های آب می‌باشد. بنابراین، بافت‌های سرطانی که دارای میزان متفاوتی آب نسبت به بافت‌های سالم هستند طیف جذبی متفاوتی در باند تراهرتز از خود نشان می‌دهند که تشخیص آن‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. برای مثال سرطان پوست با استفاده از تصویربرداری تراهرتز قابل تشخیص است.

امواج تراهرتز قادر به نفوذ در بسیاری از مواد نارسانا نظیر پلاستیک، کاغذ، چوب و لباس می‌باشند. این پتانسیل این امکان را فراهم می‌سازد که در کاربردهای امنیتی از امواج تراهرتز در آشکارسازی بسیاری از سلاح و ادوات

طیف الکترومغناطیس بازه وسیعی از فرکانس‌های مختلف از RF و مایکروویو گرفته تا تابش فرسرخ، نور مرئی، و پرتو ایکس را در بر می‌گیرد. فرکانس تابش تراهرتز (THz) بین فرکانس‌های مایکروویو و فرسرخ قرار دارد که محدوده ۰/۱ تا ۱۰ تراهرتز را می‌پوشاند. امروزه ما در معرض حجم وسیعی از چشمه‌های تابش تراهرتز، از تابش‌های کیهانی گرفته تا تابش جسم سیاه از اشیا در دمای اتاق، قرار داریم. بیشتر این چشمه‌های تراهرتز ناهمدوس بوده و از لحاظ توان بسیار پائین هستند. بنابراین، در عمل، قسمت بسیار وسیع باند تراهرتز از طیف الکترومغناطیس، تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است. چرا که نه چشمه‌های مناسب برای ارسال سیگنال‌های کنترل شده تراهرتز وجود داشته و نه حسگرهای کارآمد برای جمع‌آوری و ثبت اطلاعات موجود بوده است. به همین خاطر، باند تراهرتز از طیف الکترومغناطیس شکاف تراهرتز نامگذاری شده است. تا کنون تلاش‌های فوق‌العاده‌ای به منظور پوشش این شکاف صورت گرفته است، که می‌توان به روش آنتن‌های نور رسانش، نوسانگر موج بازگشتی، لیزرهای گازی، لیزرهای آبشار کوانتومی و دیودگان اشاره نمود.

در فرکانس‌های تراهرتز، بسیاری از مولکول‌ها، از خود، جذب و پاشندگی قوی ناشی از گذارهای چرخشی و ارتعاشی، نشان می‌دهند. این گذارها برای هر مولکول منحصر به فرد است و بنابراین در محدوده تراهرتز، یک اثرانگشت طیف‌نگاری فراهم می‌شود [۱]. سیگنال‌های همدوس تراهرتز، با نگاشت میدان الکتریکی گذرا در دامنه و فاز، در حوزه زمان قابل شناسایی هستند. این امکان دستیابی به طیف‌نگاری خصوصیات پاشندگی و جذب ماده را بدست می‌دهد. طیف‌نگاری حوزه زمان سیگنال تراهرتز با پهنای باند بسیار گسترده، روش جدیدی را برای شناسایی ویژگی‌های الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی، و ویژگی‌های ترکیبی، جامدات، مایعات، و گازها و همچنین شعله‌ها و شارش‌ها فراهم می‌کند. بطوریکه در بالا بیان شد، بصورت نظری، بسیاری از ترکیبات زیستی و شیمیایی نسبت به موج تراهرتز پاسخ امضای متفاوتی دارند، که در نتیجه فونون‌ها و سطوح انرژی چرخشی مولکولی یکتای آنهاست، و این به معنی آن است که، برای

دامنه بر هم کنشی قوی تر ثبت خواهد شد. در شکل ۱ چیدمان طیف نگار عبوری نمایش داده شده است.

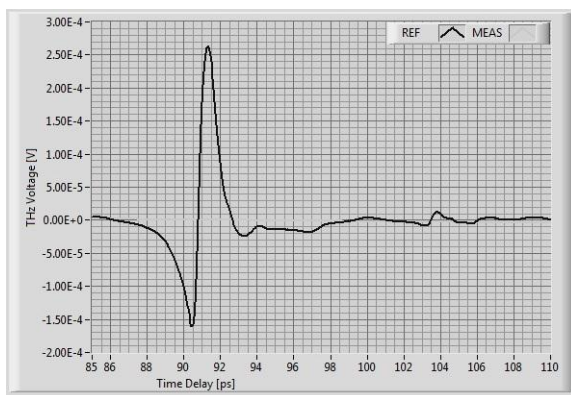


شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی طیف نگار عبوری تراهرتز

پرتو تراهرتز همزمان با پرتو پروب وارد آنتن گیرنده شده و حاملهای بوجود آمده توسط پرتو پروب بوسیله میدان الکتریکی تراهرتز شتاب گرفته و جریان الکتریکی توسط آمپر سنج ثبت شده که با اسکن تاخیر انداز نمونه گیری از تپ تراهرتز نقطه به نقطه انجام می گیرد و دامنه و فاز موج تراهرتز با جاروب طول بازوی دمش انجام می شود. همچنین با توجه به تلفات موج تراهرتز در جو یک محفظه با شار نیتروژن بین دو آنتن تعبیه شده است که از تضعیف و جذب های ناخواسته جو جلوگیری شود.

۴- نتایج تجربی

در شکل ۲ سیگنال زمانی تراهرتز و معادل طیفی آن در فضای فوریه در غیاب نمونه لاکتوز نمایش داده شده است. طول زمانی سیگنال ثبت شده ۱ پیکوثانیه است که گستره ی فرکانسی ۱۰۰ گیگاهرتز تا نزدیکی ۳.۵ تراهرتز را می پوشاند.



شکل ۲: سیگنال تراهرتز در حوزه زمان

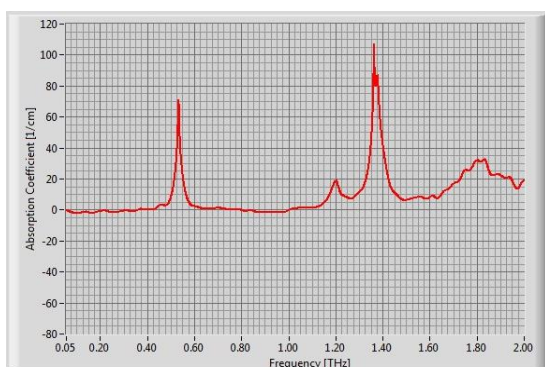
پنهان شده استفاده کرد، این در حالی است که با روش های تصویربرداری توسط پرتو X امکان شناسایی این ادوات وجود ندارد. در کاربردهای نظامی نیز تمامی انفجارهای شیمیایی در طیف تراهرتز هر کدام دارای یک اثر مجزا هستند. وجود این اثرات باعث می شود که بتوانیم از روی طیف عبوری آن بسیاری از فعالیت های شیمیایی را تشخیص دهیم. همچنین سلاح های پنهان شده در زیر لباس یا پوشش های پلاستیکی را می توان در این طیف مشاهده کرد. در بخش فن آوری اطلاعات و ارتباطات نیز از طیف تراهرتز کاربردهای تراهرتز از توانایی های بالقوه ای برخوردار است. امواج تراهرتز در ارتباطات بی سیم، انتقال فوق سریع اطلاعات و مخابرات بین ماهواره ای می توان استفاده نمود. در مقایسه با مخابرات پر سرعت نوری، مخابرات بی سیم هم اکنون دارای ظرفیت انتقال بسیار پایین است. با استفاده از امواج تراهرتز می توان جهشی بزرگ در ظرفیت کانال های مخابراتی بی سیم بوجود آورد. تاکنون لینک های بی سیم با ظرفیت انتقال ۱۰ گیگا بیت بر ثانیه محقق شده اند.

۳- چیدمان تجربی

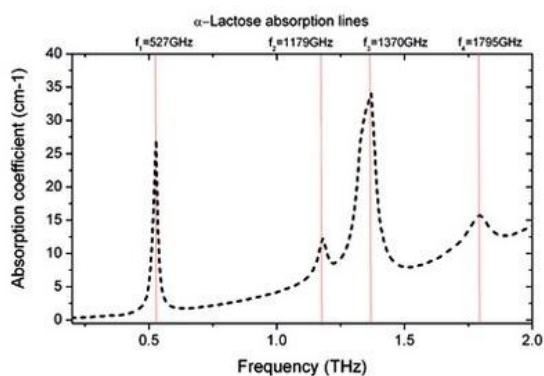
در این چیدمان از یک لیزر تیتانیوم سفایر با توان خروجی یک وات و طول موج ۸۰۰ نانومتر که دارای پهنای پالس ۳۰ فمتو ثانیه و نرخ تکرار ۱۰۰ مگا هرتز می باشد، استفاده شده است. لیزر فمتو نخست توسط یک تقسیم کننده نوری ۵۰-۵۰ به دو شاخه تقسیم شده و جهت دمش آنتن فرستنده و گیرنده به منظور تولید و آشکارسازی تپ تراهرتز بکار گرفته می شود. از آنتن های دو قطبی با زیر لایه گالیوم آرسناید دما پایین بعنوان فرستنده و گیرنده در این چیدمان استفاده شده است. تپ های تراهرتز تولیدی از آنتن نور رسانا توسط یک لنز سیلیکون و یک لنز تفلونی بصورت موازی به سمت گیرنده فرستاده می شوند که مجدداً با استفاده از یک مجموعه لنز تفلونی و سیلیکونی بر روی گاف آنتن گیرنده متمرکز می شوند. سپس با اضافه کردن دو لنز TPX با فاصله کانونی ۵ سانتی متر در چیدمان هم کانون^۱ موج تراهرتز مابین دو آنتن (محل قرار گرفتن نمونه) متمرکز می شود در این حالت بر همکنش موج تراهرتز با نمونه تحت طیف نگاری با چگالی توان بیشتر انجام یافته و سیگنالی با

^۱ Confocal

گیری شده نشان داده شده است که هر دو نمودار دارای قله های جذبی یکسانی می باشند [5].



شکل ۶: طیف جذبی لاکتوز



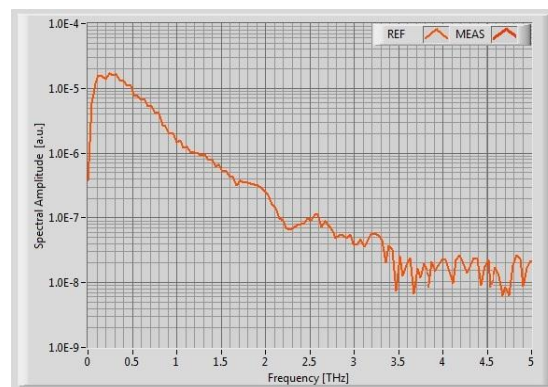
شکل ۷: طیف جذبی لاکتوز توسط گروه فیشر

۵- نتیجه گیری

در این مقاله چیدمان تراهرتز پالسی مبتنی بر آنتن های نور رسانش در مد عبوری با پهنای طیفی ۳.۵ تراهرتز برپا شد. در ادامه این چیدمان جهت طیف نگاری حوزه زمان برای شناسایی لاکتوز به کار گرفته شد که نتایج حاصل از این طیف نگاری ارائه گردید. که قله های جذبی لاکتوز تا فرکانس ۲ تراهرتز ثبت گردید.

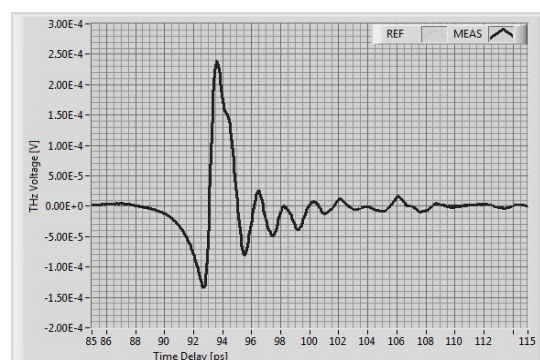
مراجع

- [1] Susan L.D Exheimer, terahertz spectroscopy, CRC press, 2008
- [2] P.H.Siegel, " terahertz technology", IEE trans. Micrometer theory and techniques, vol. 50, pp. 916-928, 2002
- [3] B.M. Fischer et al., " terahertz time domain spectroscopy and imaging of artificial RNA", opt Express, vol. 13, pp. 5205-5215, 2005
- [4] N.Negai et al. " direct evidence of inter molecular vibration THz spectroscopy", Chem.phy Lett, vol. 413, pp 495-500, 2005
- [5] B Fischer, M Hoffmann, H Helm, G Modjesch and P Uhd Jepsen, "Chemical recognition in terahertz time-domain spectroscopy and imaging", Semicond. Sci. Technol. 20 (2005), pp. S246-S253.

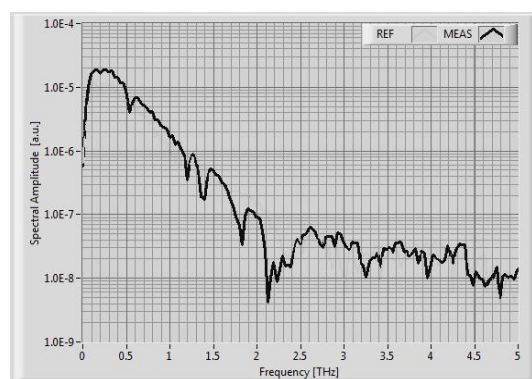


شکل ۳: طیف فرکانسی تراهرتز در فضای فوریه

در ادامه با اضافه کردن نمونه لاکتوز در نقطه کانونی بین دو لنز TPX, سیگنال و طیف عبوری امواج تراهرتز اندازه گیری شد که در شکل ۴ و ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۴: سیگنال تراهرتز با حضور نمونه لاکتوز



شکل ۵: طیف فرکانسی تراهرتز در حضور نمونه لاکتوز

نمودار طیف جذبی لاکتوز با تحلیل سیگنال نمونه نسبت به مرجع در محدوده فرکانسی تراهرتز حاصل شد که در شکل ۶ نتایج آن نشان داده شده است. همچنین در شکل ۷ طیف جذبی لاکتوز که توسط فیشر^۲ و همکارانش اندازه

² Fischer