سامانه عکس برداری تراهرتز بر اساس آنتن های نوررسانا

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 ساخت یک سیستم عکس برداری تراهرتز در مد عبوری که از آنتن های نور رساناش بعنوان فرستنده و گیرنده و برنامه نوشته شده بهمراه تقویت کننده قفل شونده به منظور ثبت داده ها استفاده می کند، انجام شده است. در این چیدمان از اجسام مختلف که درون یک جعبه (چوبی-پلاستیکی) قرار گرفته اند عکس برداری شده است. در پایان تاثیر گام جابجایی جسم بر تصویر تراهرتز بررسی شده است.

کلید واژه- آنتن نور رسانش، موج تراهرتز، عکس برداری.

THz-wave imaging system based on photoconductive antenna

Omid Panahi 1, Mehrdad Kheyrollahi 2, Bahareh Yahyaei 3, Seyed Mehdi Mossavi 4, Amin Ahmadi 4, Alireza Mojtaba 5, Sedigheh Malek Mohammadi 6, Javad Sadegipanah 4, ,ohamad neshat7

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 an imaging system based on the transmission modes in the terahertz (THz) region is developed by using a photoconductive antenna as source, and another photoconductive antenna as detector, and a program and a Lock-in amplifier as data acquisition unit. The imaging of different objects in the composite box (wood and plastic) is tested at the THz band. The influence of object's translation step on the THz imaging is discussed.

Keywords: photoconductive antenna, THz wave, imaging.

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

۱- مقدمه

تابش تراهرتز (THz) بخشی از تابش الکترومغناطیسی است که بسامد آن بین ناحیه های طیفی ماکروویو و فروسرخ قرار دارد و بخشی از ویژگی های هر دو طیف را دارا می باشد. به عنوان نمونه این امواج غیر یونیزه کننده بوده و با عبور از مواد باعث یونیزاسیون آن ها نمی شوند همچنین قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد غیر رسانا مانند لباس، کاغذ، پلاستیک، مصالح ساختمانی و سرامیک را دارند. و با استفاده از این خصوصیات می توان از این امواج در موارد بسیاری مانند عکس برداری در حوزه پزشکی و امنیتی ، طیف سنجی، تست غیرمخرب و ... استفاده نمود.

ایده استفاده از امواج تراهرتز جهت عکس برداری و سنجش، مشابه با دیگر کاربردهای تابش های اپتیکی و ماکروویو در دهه های اخیر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۱]. ظهور لیزرهای پرتوان امکانات جدیدی برای سیستم های تراهرتز مهیا ساخت و در اوایل دهه هفتاد میلادی گروه های زیادی قادر به تولید تراهرتز کوک پذیر با استفاده از روش تولید بسامد تفاضلی[1] در کریستال های غیرخطی شدند [۲]. این روش در نهایت الهام بخش توسعه طیف سنجی در حوزه زمان با استفاده از امواج تراهرتز شد که با استفاده از پالس های کمتر از پیکو ثانیه تابش های پهن تراهرتز ایجاد می کنند. Hu و Nuss برای اولین بار عکس گرفته شده با استفاده از روش THz-TDS را در سال ۱۹۹۵ گزارش کردند [۳]. و این عکس زمینه ساز توسعه های بیشتر در زمینه عکس برداری با استفاده از امواج تراهرتز شد.

۲- خصوصیات موج تراهرتز

ویژگی ها و رفتار امواج تراهرتز، از معادلات ماکسول پیروی می کنند. در حالی که امواج طیف تراهرتز به علت جایگاه ویژه طیف، نسبت به امواج طیف مجاور، امکان دستیابی بسیار دشوارتری دارند. در گذشته، تحقیقات روی طیف الکترومغناطیس، به دو حوزه اپتیک و الکترومغناطیس تقسیم می شد. در قواعد، روش ها و ابزار های مورد استفاده در امواج اپتیکی و الکترومغناطیسی، بسیار متفاوت هستند. امواج تراهرتز بسادگی درون هیچ یک از این دو گروه بندی جای نمی گیرند، چرا که ممکن است تقریب های مورد استفاده در امواج اپتیک و الکترومغناطیس در رژیم امواج تراهرتز برقرار نباشد. بنابراین لازم است، قواعد جدید، فناوری های جدید و ابزار های جدیدی به جهت درک و بکارگیری امواج تراهرتز ایجاد شود.

با وجود این دشواری ها، خصوصیات منحصربفرد امواج تراهرتز، پژوهشگران را به توسعه این باند فرکانسی برای کاربردهای زیر رهنمون ساخته است:

امواج تراهرتز فوتون های کم انرژی دارند، بنابراین، بر خلاف پرتو X، سبب یونش فوتونی بافت های زیستی نمی شوند. در نتیجه هم برای نمونه و هم کاربر ایمن هستند.

همچنین به جهت جذب شدید در آب، برخلاف امواج مایکروویو، امواج تراهرتز در بدن انسان رخنه نمی کنند. پس حتی اگر هم ، سبب افزایش دمایی شود، باز هم به لایه های پوستی محدود می شود.

امواج تراهرتز نسبت به امواج نور مرئی و فروسرخ، طول موج های بزرگتری دارند. این یعنی امواج THz تحت پراکندگی می[2]، اثر پذیری کمتری دارند. بیشترین گذر امواج تراهرتز از مواد نارسانای خشک مانند، لباس، کاغذ، چوب و پلاستیک است. این امواج در کاربردهای ارزیابی غیر مخرب بسیار مورد توجه است. طول موج تراهرتز، برای داشتن قدرت تفکیک تا سطح زیر میلیمتر، به اندازه کافی کوچک است. اما اگر روش های میدان نزدیک استفاده شود، قدرت تفکیک بیشتر و تا حدود نانومتر قابل دستیابی است.

در کاربردهای نظامی نیز تمامی انفجارهای شیمیایی در طیف تراهرتز هر کدام دارای یک اثر مجزا هستند. وجود این اثرات باعث می‌شود که بتوانیم از روی طیف عبوری آن بسیاری از فعالیت‌های شیمیایی را تشخیص دهیم. همچنین سلاح‌های پنهان‌شده در زیر لباس یا پوشش‌های پلاستیکی را می‌توان در این طیف مشاهده کرد.

در بخش فن آوری اطلاعات و ارتباطات نیز از طیف تراهرتز، کاربردهای تراهرتز از توانایی‌های بالقوه‌ای برخوردار است. امواج تراهرتز در ارتباطات بی‌سیم، انتقال

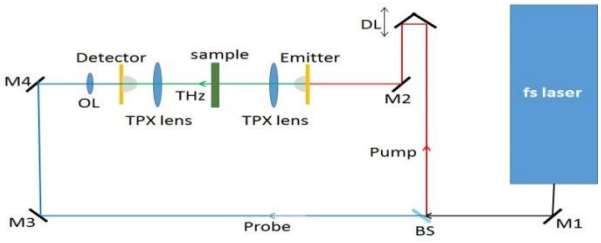
[1] Difference-frequency generation

[2] Mie Scattering

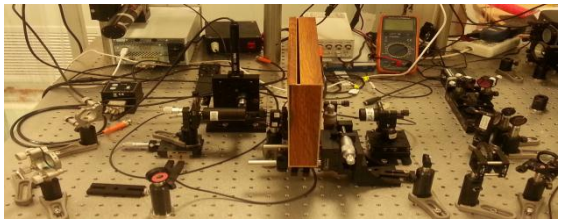
فوق سریع اطلاعات و مخابرات بین ماهواره‌ای می‌توان استفاده نمود. در مقایسه با مخابرات پر سرعت نوری، مخابرات بی‌سیم هم اکنون دارای ظرفیت انتقال بسیار پایین است. با استفاده از امواج تراهرتز می‌توان جهشی بزرگ در ظرفیت کانال‌های مخابراتی بی‌سیم بوجود آورد. تاکنون لینک‌های بی‌سیم با ظرفیت انتقال ۱۰ گیگا بیت بر ثانیه محقق شده‌اند [۴] و انتظارمی رود در آینده‌ای نزدیک با به‌کارگیری حامل‌های فرکانسی تراهرتز، این مقدار به ۱۰۰گیگا بیت بر ثانیه نیز افزایش یابد. مهم‌ترین محدودیتی که برای مخابرات تراهرتز با آن مواجه است جذب قوی انرژی امواج توسط مولکول‌های بخار آب موجود در جو است که مانع انتقال اطلاعات به مسافت‌های طولانی می‌گردد. ولی برای خارج جو این محدودیت وجود ندارد و می‌تواند برای ارتباطات بین ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

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 نوری۵۰-۵۰ 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 مجددا 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 هم‌کانون[۳] موج تراهرتز مابین دو آنتن (محل قرار گرفتن نمونه) متمرکز می شود در این حالت بر همکنش موج تراهرتز با نمونه مورد نظر برای عکس برداری با چگالی توان بیشتر انجام یافته و سیگنالی با دامنه بر هم کنشی قوی تر ثبت خواهد شد. در شکل ۱ چیدمان شماتیک عکس برداری عبوری و در شکل ۲ چیدمان آزمایشگاهی آن نمایش داده شده است.



شکل ۱: چیدمان شماتیک عکس برداری عبوری تراهرتز



شکل ۲:چیدمان آزمایشگاهی عکس برداری 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 و می توان شکل سیگنال تراهرتز را ثبت کرد (مطابق شکل ۴). در این حالت با اسکن کردن نمونه در صفحه xz، سیگنال عبوری از هر نقطه ی جسم ثبت می شود و شدت سیگنال در هر پیکسل ذخیره گردیده و به این ترتیب آرایه ای دو بعدی از شدت میدان ها تشکیل می شود و به این صورت تصویری از جسم تشکیل می گردد.

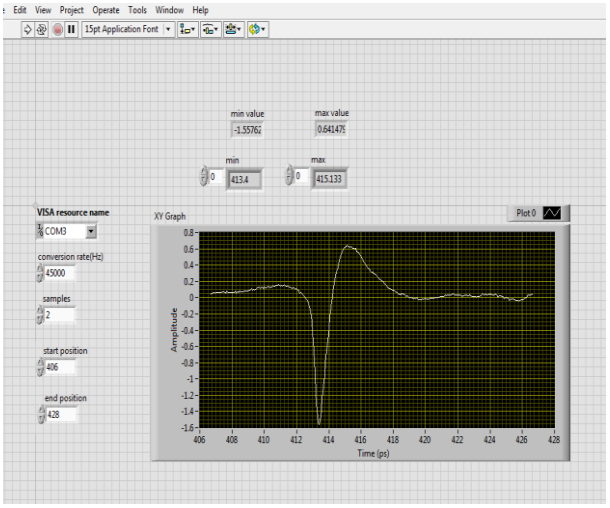
۴- نتایج تجربی

در این آزمایش مطابق شکل ۵ حروف T، H و Z با استفاده از فویل الومینیوم و با ابعاد ۲.۵*۲.۵ سانتی متر ساخته شد و در داخل یک جعبه چوبی با ضخامت ۵ میلی متر قرار گرفت همچنین یک قطعه ی پلاستیکی مطابق شکل ۳ درون این جعبه قرار گرفت که بتوان توانایی عبور امواج تراهرتز از اجسام پلاستیکی را سنجید. سپس این جعبه در میان دو لنز TPX با فاصله کانونی ۵ سانتی متر و قطر ۵.۱۲ سانتی متر قرار گرفت و هر کدام

[3] Confocal

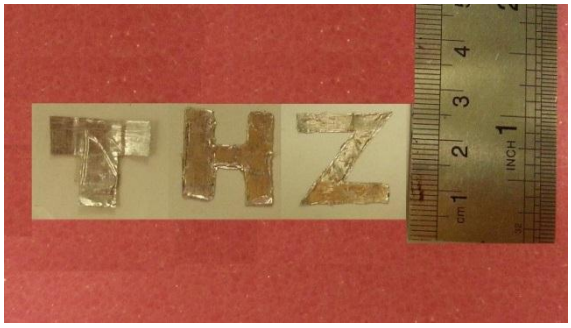
از حروف به روش پیکسل به پیکسل[۴] اسکن گردید.

شکل ۳: نمایی از جعبه و نمونه عکس برداری شده



شکل 4: سیگنال تراهرتز ثبت شده در حوزه زمان برای هر پیکسل

همانگونه که در شکل ۶ نشان داده شده است از سه حرف H،T و Z که در شکل ۵ تصویر مرئی آن نمایش داده شده است، به ترتیب با سه گام جابجایی ۲، ۱.۵ و ۱ میلیمتر، به صورت عبوری، عکس برداری شد و رزولوشن های حاصله برای هرکدام به ترتیب برابراند با 13*13، 17*17 و 27*27 و همانگونه که در این شکل مشاهده می شود با کاهش گام جابجایی کیفیت و لبه های تیز حروف بیشتر مشخص می شود.



شکل ۵: تصویر مرئی نمونه های عکس برداری شده

شکل ۶: عکس گرفته شده توسط امواج تراهرتز که در این عکس T دارای گام جابجایی ۲ میلی متر، H دارای گام جابجایی ۱.۵ میلی متر و Z دارای گام جابجایی ۱ میلی متر می باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده ازامواج تراهرتز تولید شده از آنتن های نوررسانا با ثبت مقدار شدت در هر پیکسل، عکس برداری فعال از حروف T، H و Z تعبیه شده در یک جعبه چوبی و پلاستیکی با گام های مختلف ۲، ۱.۵ و ۱ میلی متر در مد عبوری صورت پذیرفت، و نشان می دهد که با کاهش گام های عکس برداری کیفیت تصاویر گرفته شده بهبود یافته و لبه های تیز اجسام نیز به خوبی قابل مشاهده است.

مراجع

[1] D. Mittleman, "sensing with terahertz radiation", Springer, 2002.
[2] D. H. Auston, A. M. Glass, P. Fur Le, "tunable far-infrared generation by difference frequency mixing of dye lasers in reduced lithium niobate", Appl. Phys. Lett, vol. 23, pp. 47-48, 1973
[3] B. B. Hu, M.C. Nuss, "imaging with terahertz waves" Opt. Lett, Vo. 20, pp. 1716-1719, 1995
[4] A. Hirata et al. ,"120-GHz-band millimeter -wave photonic wireless link for 10-Gb/s data transmission", IEEE Trans. Microwave Theory Technol., Vol. 54, pp 1937-1944,2006

[4] Pixel by pixel