



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



شناسایی ماده منفجره RDX با استفاده از بیناب نمایی حوزه زمان تراهرتز

سیدشایان شریف، محسن شاهین زاده، سیدمحمد رضا دربانی، بهاره یحیی‌ئی، عبدالله اسلامی مجد

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر

Shayan.sh41@gmail.com, M.shahinzade1371@gmail.com, Darbany2002@yahoo.com, Baharehyahyaei2@gmail.com,
Sina_majd@yahoo.com

چکیده - در این پژوهش چیدمان آزمایشگاهی بیناب نمایی تراهرتز حوزه زمان در مد بازتابی ۳۰ درجه برپا و جهت شناسایی ماده منفجره RDX مورد استفاده قرار گرفته است. در برپایی فوق با استفاده از آنتن گالیم آرسناید بیناب حوزه زمانی تراهرتز تولید و آشکارسازی شده است. چیدمان برپا شده محدوده بینابی ۰/۱ تا ۲ تراهرتز را پوشش می‌دهد. با استفاده از داده‌های استخراجی، ضرایب جذب و شکست RDX به ترتیب ۱/۵ و 108.7 cm^{-1} محاسبه شد که با داده‌های معتبر تطابق خوبی دارد.

کلید واژه- آنتن نور رسانا، بیناب نمایی حوزه زمان تراهرتز، RDX

Detection of RDX by Terahertz Time Domain Spectroscopy

Seyyed Shayan Sharif, Mohsen Shahinzade, Seyyed Mohammad Reza Darbani, Bahareh Yahyaei, Abdollah Eslami Majd

Optics and Laser Science and Technology Research Center, Malek-Ashtar University of Technology, Shahin Shahr, Iran

Abstract- In this research, Terahertz Time Domain Spectroscopy (THz-TDS) system in reflection 30 degree mode has been established for detection of RDX. In this setup, two gallium arsenide photoconductive antennas have been used to generate and detect the terahertz pulses with frequency range between 0.1 and 2 THz. By using of data detection, absorption and refraction coefficient are calculated 1.5 and 108.7. That data good agree with reference.

Keywords: Photoconductive antenna, Terahertz Time Domain Spectroscopy (THz-TDS), RDX

مقدمه

ناحیه ترهرتز (THz) در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۱۰ ترهرتز در بیناب الکترومغناطیسی واقع است. فرکانس‌های ارتعاشی و چرخشی اکثر مولکول‌ها در بازه‌ی بینایی امواج ترهرتز قرار دارند، از طرف دیگر رفتار این امواج در برابر مواد مختلف متغیر است که این دو ویژگی سبب ترغیب دانشمندان به مطالعه این دسته از امواج به‌خصوص در حوزه تصویربرداری و بیناب‌نمایی در علوم مختلف از جمله پزشکی [۱]، شیمی [۲] و صنایع دفاعی و امنیتی [۳] شده است.

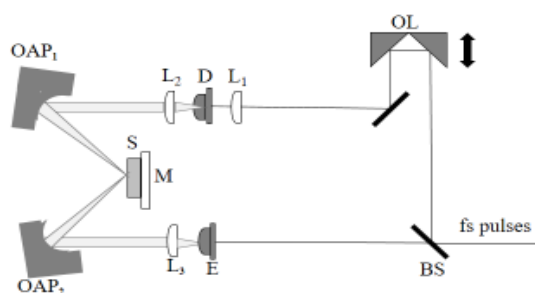
چون ناحیه فرکانسی این امواج بین نواحی الکترونیکی و اپتیکی قرار دارد و یا به‌عبارتی دیگر ترکیبی از اپتیک و الکترونیک می‌باشند، در نتیجه برای تولید، آشکارسازی و تحلیل این امواج می‌توان از روش‌های الکترواپتیکی استفاده کرد. تا چند دهه گذشته به‌دلیل فقدان چشمه و آشکارساز، این قسمت از بیناب فرکانسی کمتر مورد استفاده قرار گرفته و تا چند دهه قبل کمتر ابزاری قادر به تولید این بخش از بیناب الکترومغناطیسی شده است، بر همین اساس این ناحیه بینابی ناشناخته باقی مانده بود. امروزه روش‌های متفاوتی برای تولید امواج ترهرتز از جمله روش آنتن نوررسانش، روش‌های آمیختگی نوری، لیزر الکترون آزاد، یکسوسازی نوری و تولید پلاسما وجود دارد [۴].

خصوصیات امواج ترهرتز باعث شده این امواج کاربردهای بسیاری در شناسایی‌های امنیتی به‌خصوص در آشکارسازی اجسام پنهان شده داشته باشند. امواج ترهرتز در موادی که دارای پوشش هستند، (اغلب از جنس نارسانا)، به‌راحتی نفوذ کرده و یا به عبارت دیگر این مواد در برابر امواج ترهرتز شفاف هستند. این ویژگی باعث شده تصویر برداری و بیناب‌نمایی به وسیله این امواج نسبت به دیگر روش‌ها در صنایع دفاعی و امنیتی کاربرد بیشتری

داشته باشد [۵]. در این پژوهش چیدمان بیناب‌نمایی ترهرتز در حالت بازتابی برپا و برای شناسایی ماده منفجره RDX مورد استفاده قرار گرفته است. سپس با گرفتن تبدیل فوریه از بیناب تجربی به‌دست آمده از نمونه، الگوهای بینابی منحصربه‌فرد ماده مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

چیدمان تجربی

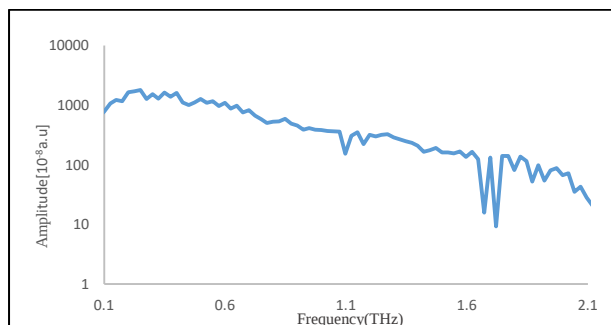
طرحواره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی بیناب‌نمایی حوزه زمانی ترهرتز (THz-TDS) در شکل ۱ نشان داده شده است. در این چیدمان برای تولید و آشکارسازی پالس‌های ترهرتز از یک لیزر فمتوثانیه با طول موج ۸۰۰ نانومتر، نرخ تکرار ۸۰ مگاهرتز و پهنای زمانی ۶۰ فمتوثانیه استفاده شده است.



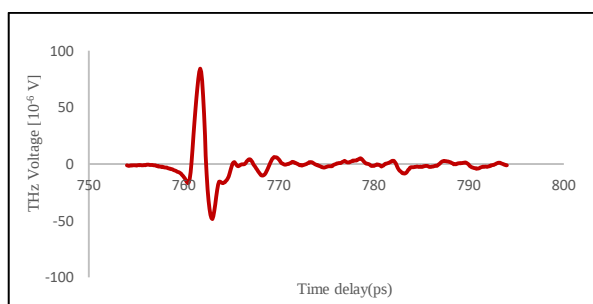
شکل ۱: طرحواره چیدمان بیناب‌نمایی بازتابی ۳۰ درجه ترهرتز fs لیزر فمتوثانیه، BS پرتو شکاف، M آینه، OL تاخیر انداز اپتیکی، E و D به‌ترتیب آنتن فرستنده و گیرنده، OAP₁ و OAP₂ آینه‌های پارابولیک، L₁ عدسی نوری، L₂ و L₃ عدسی‌های تفلونی و S نشانگر نمونه

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، پرتو لیزری به‌وسیله یک تقسیم‌کننده به دو شاخه تقسیم شده و برای دمش آنتن‌های فرستنده و گیرنده در تولید و آشکارسازی تپ‌های ترهرتز استفاده می‌شود. در شاخه دمش پرتو لیزری بر روی آنتن فرستنده متمرکز شده و تپ‌های ترهرتز تولید می‌شوند. این تپ‌ها چون در ابتدا واگرا هستند، به‌وسیله یک عدسی تفلونی موازی شده و به طرف آینه سهموی طلا هدایت می‌شوند. آینه سهموی

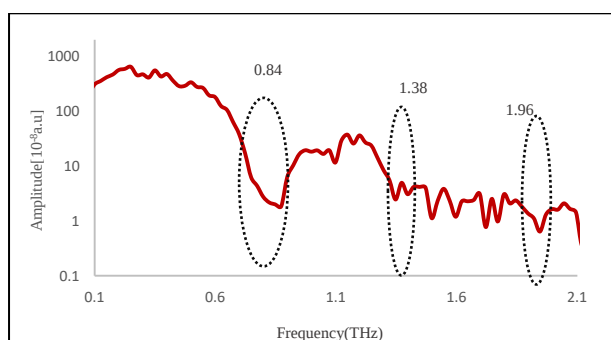
شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب بیناب زمانی تراهرتز در حضور نمونه و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهند. تحلیل بیناب نمونه نسبت به بیناب مرجع، بیناب بازتابی RDX را در محدوده فرکانسی تراهرتز به دست می‌دهد.



شکل ۳: نمودار تبدیل فوریه دامنه برحسب فرکانس موج بازتابی از مرجع



شکل ۴: بیناب تراهرتز در حوزه زمان پس از برهمکنش با نمونه RDX



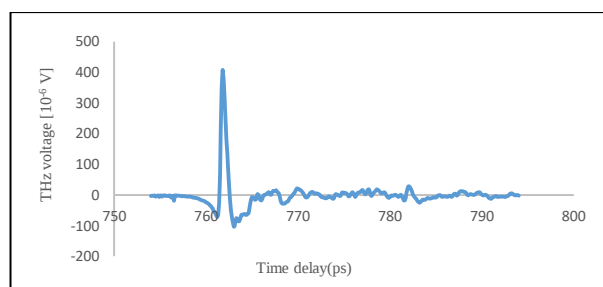
شکل ۵: نمودار تبدیل فوریه دامنه برحسب فرکانس موج بازتابی از RDX

تغییرات ضرایب شکست و جذب RDX برحسب فرکانس در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در فرکانس 0.84 تراهرتز که به اصطلاح

طلا به گونه‌ای در چیدمان قرار داده شده که بتوانند پرتوهای تراهرتز را تحت زاویه 30° درجه روی نمونه متمرکز نمایند. پرتوهای بازتابی از نمونه به وسیله دیگر آینه سهموی طلا به سمت آنتن هدایت می‌شود. فاصله کانونی آینه سهموی طلا و عدسی تفلونی به ترتیب 10 و 3 سانتی‌متر است. پرتو بازتاب شده از نمونه هم‌زمان با پرتو کاوشگر وارد آنتن گیرنده شده و جریان الکتریکی ایجاد شده ناشی از شتاب‌گیری حامل‌ها در حضور میدان الکتریکی تراهرتز هم‌زمان با جابه‌جایی تاخیر انداز اپتیکی، جهت تعیین دامنه و فاز موج تراهرتز اندازه‌گیری می‌شود. به منظور جلوگیری از اتلاف موج تراهرتز توسط جو، نمونه در محفظه‌های با شار نیتروژن که بین دو آنتن تعبیه شده است، قرار داده می‌شود. برای تهیه قرص نمونه پودر RDX را در قالب مخصوص قرار داده و به وسیله دستگاه پرس تحت فشار قرار می‌دهیم که در نهایت قرص با قطر $3/2$ سانتی‌متر و ضخامت 2 میلی‌متر حاصل می‌شود.

نتایج و تحلیل

شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب بیناب زمانی تراهرتز در غیاب نمونه و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهند. بیناب مرجع ثبت شده دارای پهنای زمانی در حدود 1 ps و پهنای فرکانسی 0.1 تا 2 تراهرتز است. همانطور که مشاهده می‌نماید در بیناب تبدیل فوریه (شکل ۳) افت‌هایی وجود دارد که ناشی از جذب مولکول‌های اندک بخار آب موجود در گاز محیط داده‌برداری است.



شکل ۲: بیناب تراهرتز در حوزه زمان در غیاب RDX

نتیجه گیری

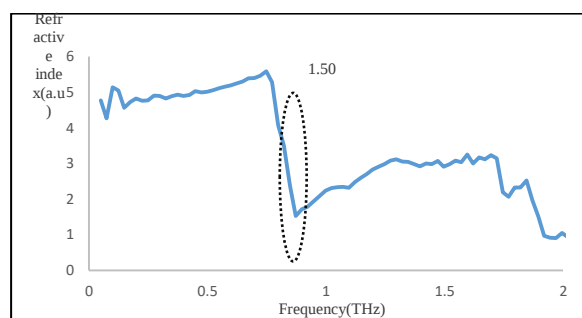
در این پژوهش چیدمان تراهرتز در مد بازتابی ۳۰ درجه با استفاده از آنتن‌های نور رسانا به عنوان فرستنده و گیرنده برپا شده است. از این چیدمان پهنای بینایی ۲ تراهرتز حاصل گردید. با استفاده از چیدمان بازتابی به جای عبوری و محاسبه میزان بازتاب به راحتی می‌توان اثر انگشت نمونه را به دست آورد. افت‌ها در نمودار بازتاب و قله‌ها جذبی در نمودار ضریب جذب مشاهده شده کاملاً منطبق با مراجع بوده و قابلیت چیدمان در بیناب نمایی را به خوبی اثبات می‌کند.

مرجع‌ها

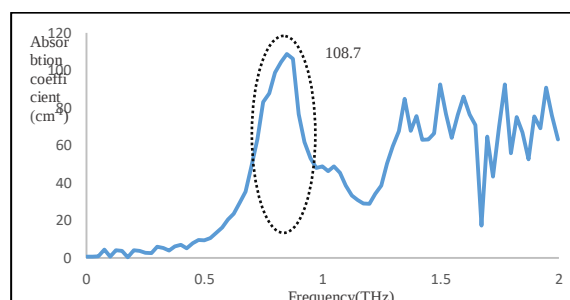
- [1] A. G. Markelz, "Terahertz Dielectric Sensitivity to Biomolecular Structure and Function", Selected Topics in Quantum Electronics, Journal of IEEE, vol. 14, 180- 190, 2008.
- [2] B. Ferguson & X. C. Zhang, "Materials for terahertz science and technology", Journal of nature materials, vol. 1, 26-33, 2002.
- [3] J. F. Federici, B. Schulkin, F. Huang, D. Gary, R. Barat, F. Oliveira & D. Zimdars, "THz Imaging and Sensing for security applications - explosives, weapons and drugs", Semiconductor Science and Technology, vol. 20, 266-280, 2005.
- [4] Y. S. Lee, "Principles of Terahertz Science and Technology", 1st ed. NewYork; Springer, 2008.
- [5] Z. H. Michalopoulou, S. Mukherjee, Y. L. Hor, K. Su, Z. Liu, R. B. Barat & D. E. Gary, "RDX Detection with THz Spectroscopy", Journal of Infrared, Milimeter and Terahertz Waves, Springer Nature, vol. 31, 1171-1181, 2010.
- [6] R. A. Isbell & M. Q. Brewster, "Optical properties of RDX and HMX", Journal of materials research society, vol. 418, 85-90, 1996.
- [7] N. Palka, "THz Reflection Spectroscopy of Explosives Measured by Time Domain Spectroscopy", Acta physica polonica A, vol. 120, 713-715, 2011.

اثر انگشت اصلی RDX در بیناب نمایی تراهرتز شناخته می‌شود، ضرایب شکست و جذب به ترتیب برابر ۱/۵۰ و ۱۰۸/۷ است. تطابق این داده‌ها با اندازه واقعی این ضرایب با توجه به منبع، بیانگر یکی دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد بیناب نمایی تراهرتز است [۶].

تغییرات ضرایب شکست و جذب RDX برحسب فرکانس در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در فرکانس ۰/۸۴ تراهرتز که به اصطلاح اثر انگشت اصلی RDX در بیناب نمایی تراهرتز شناخته می‌شود، ضرایب شکست و جذب به ترتیب برابر ۱/۵۰ و ۱۰۸/۷ است. تطابق این داده‌ها با اندازه واقعی این ضرایب با توجه به منبع، بیانگر یکی دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد بیناب نمایی تراهرتز است [۶].



شکل ۶: تغییرات ضریب شکست برحسب فرکانس بازتابی



شکل ۷: تغییرات ضریب جذب برحسب فرکانس بازتابی