بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

تصویربرداری پالسی تراهرتز در مد بازتابی

امید پناهی، مهرداد خیراللهی کوهانستانی، بهاره یحیی‌ئی، معین آجودانیان، سید مهدی موسوی

پژوهشکده لیزر اصفهان

چکیده – در این مقاله یک سیستم تصویربرداری پالسی تراهرتز با استفاده از آنتن های نور رسانا در مد بازتابی طراحی و برپا شد و تصاویری از دو نمونه به دو روش ثبت گردید. برای تشکیل تصاویر، در روش نخست زمان رسیدن قله پالس ها و در روش دوم بیشنه شدت بازتابی از جسم مورد نظر برای هر پیکسل ثبت شد. به منظور بهبود کیفیت تصویربرداری یک روزنه در نزدیکی جسم قرار داده شد و وضوح تصویر ثبت شده افزایش یافت.

کلید واژه- ، تراهرتز، مد بازتابی، تصویربرداری، آنتن نوررسانا.

Terahertz pulse imaging in reflection geometry

Omid Panahi, Mehrdad Kheyrollahi Kouhanestani, Bahareh Yahyaei, Moein Ajoudaniyan, Mahdi Mousavi

Laser Research Institution , Isfahan

Abstract- In this paper, a THz pulse imaging system in reflection geometry has been designed and established by using photoconductive antennas and images of two samples were captured in two methods. At the first method the arrival time of THz peak pulse and in the second one the peak intensity of reflected power was recorded for each pixel of object. To improve imaging quality, an aperture was putted in front of the object and the resolution of the captured images was increased.

Keywords: Terahertz, Reflection Geometry, Imaging, Photoconductive Antenna.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

تابش تراهرتز بخشی از تابش الکترومغناطیسی است که بسامد آن در بازه ۰/۱ تا ۱۰ تراهرتز بوده و در میان ناحیه های طیفی ماکروویو و فروسرخ قرار دارد [۱] که بخشی از ویژگی های هر دو طیف را دارا می باشد. موج تراهرتز همانند امواج ماکروویو و فروسرخ غیریونیزه کننده است و با عبور از مواد باعث یونیزاسیون آن ها نمی شود. علاوه بر این همانند امواج ماکروویو قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد غیررسانا مانند لباس، کاغذ، چوب، مصالح ساختمانی، سرامیک و پلاستیک را دارد در حالی که مولکول های آب جاذب این امواج بوده و توسط فلزات بازتاب می‌شوند.

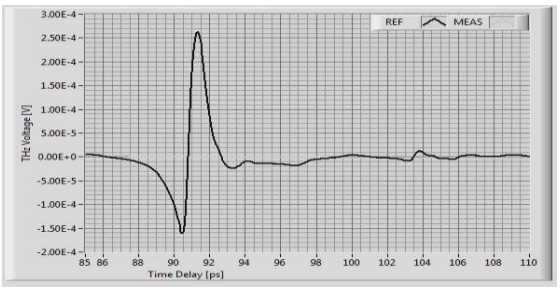
یکی از مهمترین کاربردهای فناوری تراهرتز تصویربرداری می‌باشد. می‌توان فناوری تصویربرداری تراهرتز را به دو دسته همدوس و غیرهمدوس تقسیم کرد. فناوری همدوس شامل تصویربرداری حوزه زمانی (time domain) ، تصویربرداری نمونه برداری الکترواپتیکی (electro-optic sampling) و سطح نگاری (tomography) است [۲]. از طرف دیگر تصویربرداری غیرهمدوس با استفاده امواج پیوسته (CW) صورت می گیرد [۳،۴]. نخستین تصویربرداری تراهرتز در حوزه زمان انجام شد که مزیت آن پهن بودن بازه طیفی و وضوح مناسب بود. یکی از عیوب این سیستم‌ها پایین بودن انرژی است که استفاده از آن‌ها را در فاصله‌های دور محدود می‌کند. شایان ذکر است که تصویربرداری تراهرتز پالسی در مد عبوری توسط گروه ما در کار گذشته، انجام شده است[۵].

در این مقاله در ابتدا چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده به منظور تصویربرداری در مد بازتابی توضیح داده خواهد شد. و در قسمت آخر نتایج حاصل از تصویربرداری شدتی و سه بعدی برای دو جسم ارائه شده است.

۲- چیدمان آزمایشگاهی

در این آزمایش جهت تولید و آشکارسازی امواج تراهرتز از آنتن های نور رسانا استفاده می‌گردد. جهت تولید موج تراهرتز لیزر فمتو ثانیه آنتن فرستنده را که تحت بایاس متناوب (±10V) قرار دارد پمپ می کند. در اثر دمش لیزری زوج های الکترون-حفره درون آنتن فرستنده تشکیل می گردد. حامل های ایجاد شده تحت بایاس خارجی شتاب گرفته که باعث تابش امواج الکترومغناطیسی می گردد، موج تابشی به دلیل پهنای پالس لیزر دمش و طول عمر حامل های ایجاد شده در باند تراهرتز قرار می گیرد.

به منظور آشکارسازی پالس های تراهرتز از یک آنتن مشابه که تحت دمش لیزر فمتو قرار دارد استفاده شده است(آنتن گیرنده تحت بایاس خارجی قرار ندارد) . حامل های ایجاد شده در آنتن، تحت تاثیر میدان پالس تراهرتز شتاب گرفته و باعث ایجاد جریان در آنتن می گردد. به منظور ثبت سیگنال زمانی پالس تراهرتز از یک تاخیر انداز اپتیکی استفاده می گردد. با حرکت این تاخیر انداز، بخش های مختلف سیگنال تراهرتز توسط لیزر فمتو نمونه برداری شده و جریان تولید شده در آنتن گیرنده بر حسب زمان ثبت می گردد. جریان اندازه گیری شده متناسب با میدان پالس تراهرتز بوده و در نتیجه میدان تراهرتز در حوزه ی زمان اندازه گیری می شود. شکل ۱ سیگنال تراهرتز ثبت شده در حوزه ی زمان را نمایش می دهد.

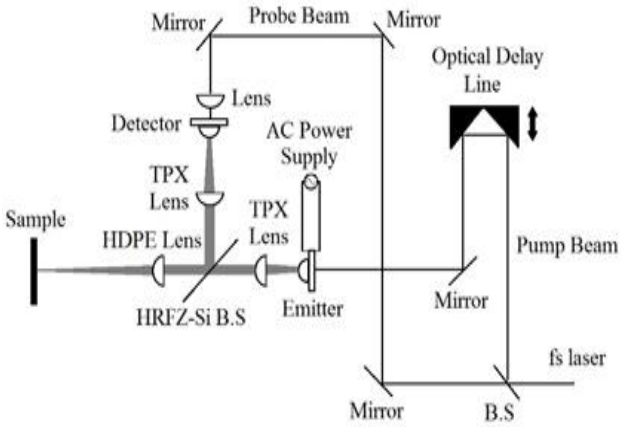


شکل ۱: سیگنال زمانی تراهرتز

در شکل ۲ چیدمان آزمایشگاهی برپا شده نشان داده شده است. در چیدمان مذکور با استفاده از آنتن‌های نوررسانا یک سیستم تصویربرداری بازتابی در زاویه عمودی برپا گردید. امواج تراهرتز تولید شده توسط یک لنز بر روی جسم کانونی می شود. پالس تراهرتز بازتاب شده از سطح جسم به‌وسیله یک شکافنده پرتو به سمت آنتن گیرنده هدایت می‌شود. تصویربرداری از نمونه‌ها با دو روش صورت پذیرفت. در روش نخست، جسم در راستای xz اسکن و زمان رسیدن قله پالس‌های تراهرتز (مکان نسبی تاخیر انداز اپتیکی) برای هر پیکسل ثبت و تصویر سه بعدی تشکیل شد. تصویر ثبت شده به این روش بیانگر اختلاف نسبی سطوح جسم می باشد که معادل زمان نسبی رسیدن پالس تراهرتز به گیرنده است. در روش دوم، جسم در راستای xz اسکن و بیشنه شدت بازتابی از جسم در حوزه زمان برای هر پیکسل ثبت و تصویر دو بعدی تشکیل شد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

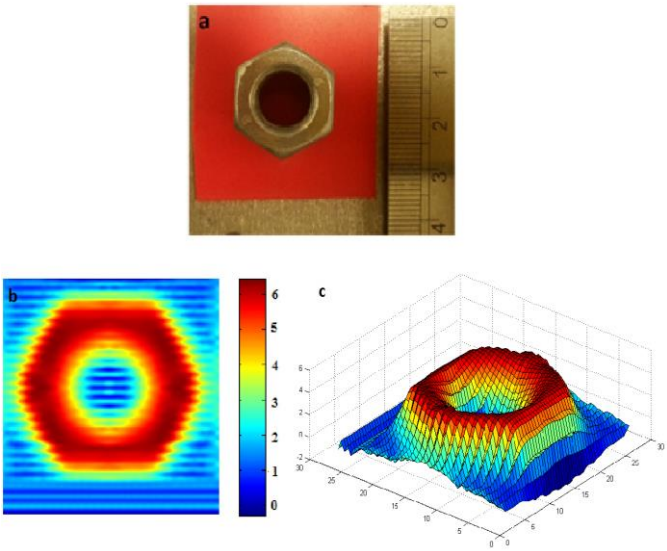


شکل ۲: شماتیک چیدمان تصویربرداری تراهرتز در مد بازتابی

مهمترین پارامتر در تعیین کیفیت تصویربرداری، تفکیک پذیری عرضی می باشد که توسط حد پراش محدود می گردد. با توجه به اینکه آنتن‌های مورد استفاده در این آزمایش فرکانس ۲-۰٫۱ تراهرتز را تولید می کنند حد پراش توسط طول موج های بلند محدود شده و جزییات جسم مشخص نمی گردد. به منظور افزایش وضوح تصویربرداری یک روزنه در نزدیکی جسم قرار داده شد . قرار دادن این روزنه موجب حذف طول موج های بلند می گردد و در نتیجه وضوح تصویر افزایش می یابد.

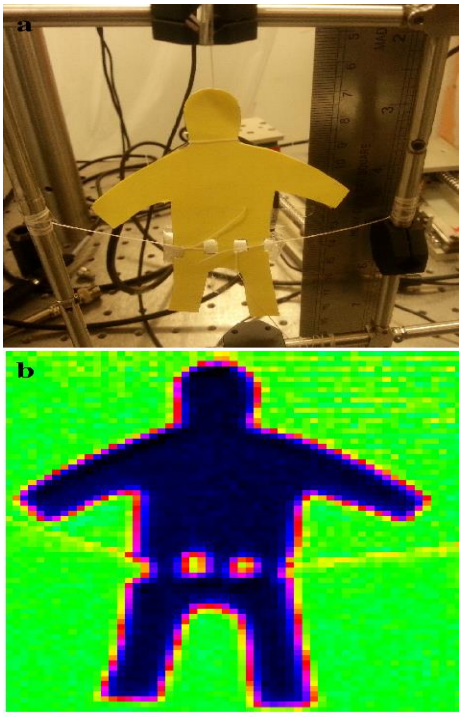
۳- نتایج تجربی

در اولین آزمایش یک مهره فلزی ب ضخامت 5mm بر روی یک صفحه پلاستیکی قرار داده شد و زمان بیشینه پالس تراهرتز بازتابی برای هر نقطه از جسم ثبت گردید (هر پیکوثانیه معادل سیصد میکرون است). با اسکن کامل جسم تصویر سه بعدی آن تشکیل شد. در شکل ۳ تصویر مرئی و تصویر تراهرتز مهره نشان داده شده است. تصویر سه بعدی حاصل شده، ضخامت و هندسه مهره را به‌خوبی نمایش می-دهد.



شکل ۳: a)تصویر مرئی و b) تصویر تراهرتز از نمای بالا c) تصویر نمای کناری مهره (واحد تمام اعداد میلیمتر است)

در آزمایش دوم بیشنه شدت بازتابی از مدل تهیه شده اندازه‌گیری شد. در شکل ۴ تصویر تراهرتز و مرئی این مدل نشان داده شده است. در این تصویر ریسمان نگهدارنده مدل و دو حفره به ابعاد ۵×۳mm به وضوح مشخص است که نشان دهنده وضوح بالای تصویربرداری می‌باشد.



شکل ۴: a) تصاویر مرئی و b) تراهرتز گرفته شده از مدل

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از آنتن‌های نوررسانا امواج تراهرتز

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

تولید گردید و در یک چیدمان بازتابی با اندازه‌گیری زمان بیشینه پالس و شدت آن از نمونه ها تصویربرداری شد. در این آزمایش به منظور بهبود کیفیت تصاویر گرفته شده یک روزنه در مقابل جسم قرار داده شد و نتایج حاصل از تصویربردای ارائه گردید.

مراجع

[1] Gang Chen, Jie Pei, Fei Yang, Xiao Yang Zhou, Z. L. Sun, and Tie Jun Cui, “Terahertz-Wave Imaging System Based on Backward Wave Oscillator,” IEEE TRANSACTIONS ON TERAHERTZ SCIENCE AND TECHNOLOGY, VOL. 2, NO. 5, SEPTEMBER 2012

[2] B. B. Hu and M. C. Nuss, “Imaging with terahertz waves,” Opt. Lett., vol. 20, no. 16, pp. 1716–1718, Aug. 1995.

[3] B. Hu, X. C. Zhang, and D. Auston, “Free-space radiation fromelectrooptic crystals,” Appl. Phys. Lett., vol. 56, no. 6, pp. 506–508, Feb. 1990.

[4] Q. Wu and X. C. Zhang, “Free-space electro-optic sampling of terahertz beams,” Appl. Phys. Lett., vol. 67, no. 24, pp. 3523–3525, Dec. 1995.

[۵] ا. پناهی، م. خیرالهی و ب. یحیی ئی، " سامانه عکس برداری تراهرتز بر اساس آنتن های نور رسانا " ، انجمن اپتیک و فوتونیک ایران، جلد ۲۲، شماره ۸، صفحات ۲۹۲-۲۹۵، ۱۳۹۴.

.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]