روش های تولید امواج تراهرتز

گروه آموزشی فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا همدان
*فاطمه پناهی شکوه f.panahishokoh@gmail.com

چکیده تابش تراهرتز معمولا به عنوان تابش الکترومغناطیس در محدوده فرکانس تقریبا ۰.۱تراهرتز تا ۱۰تراهرتز شناخته می شود که مربوط به طول موج‌های ۳میلی متر تا ۳۰میکروتر است. تولید این فرکانس ها باوسایل الکترونیکی معمولی که می توانند تنها به انتهای پایین منطقه تراهرتز دسترسی داشته باشند، دشواراست بنابراین، تعدادی از انواع دیگر منابع تراهرتز، از دهه ۱۹۹۰توسعه یافته اند. سیستم های تراهرتز بسته به نوع پیکر بندی آنها به دونوع پالسی وپیوسته تقسیم می‌شوند:**سیستم‌های پالسی**: برای تولید تراهرتز پالسی از لیزر فمتوثانیه استفاده می‌شود.به همین دلیل شکل پالس تراهرتز خروجی وموج جریان به صورت یکتک پالس بدست می آید.در نتیجه برای زمانی که کل محدوده‌ی طیفی از انتشار تابش تراهرتز تابش تراهرتز نیاز باشد از سیستم تراهرتزپالسی استفاده می‌شود.**سیستم‌های پیوسته**: برخلاف سیستمهای های پالسی که از لیزر فمتو ثانیه استفاده میشود در این روش معمولااز لیزرهای دیودی قابل تنظیم استفاده می‌شود وشکل خروجی تابش به صورت پیوسته است. در این روش دو لیزر با طول موج های نزدیک به هم مورد استفاده قرار میگیرد. این دو لیزر با یکدیگر تداخل می‌کنند وشدت نور لیزر با فرکانس ω_1-ω_2تغییر می‌کند از طرفی چون تبدیل فوریه موج سینوسی یک تک فرکانس در فضای فوریه می‌باشد برای زمانی که یک طول موج از تابش تراهرتز نیاز باشد از سیستم پیوسته استفاده می‌شود. روش های تولید تراهرتز پیوسته شامل روش های ترکیب کننده ی نوری، لیزر الکترون آزاد ولیزر آبشار کوانتومی است.

مقدمه

اخیراً محققان دانشگاه پرینستون به تازگی یک میکرو تراشه که به کوچکی نوک انگشتان است تولید کرده اند. این میکرو تراشه امواج تراهرتز تولید میکند پالسهای الکترومغناطیسی که پایداری آنها از مرتبه یک میلیونیم یک میلیونیوم ثانیه است، ممکن است کلید اصلی در پیشرفتهای مربوط به تصویر برداری پزشکی ،ارتباطات، ودارو باشند.اما تولید این پالسها، که امواج تراهرتز نام دارند، نیازمند تجهیزات گران قیمت وپیچیده است . در حال حاضر محققان دانشگاه پرینستون مقدار زیادی از این تجهیزات را کاهش داده اند ویک چیدمان آزمایشگاهی (شامل تعدادی لیزر وآینه که باید روی یک میز قرار گیرند)را به یک جفت میکرو تراشه که به اندازه ی نوک انگشتان است تبدیل کرده اند،این محققان همچنین یک تراشه دوم که میتواند جزئیات پیچیده این امواج را دریافت کرده وبخواند، توصیف کرده اند.

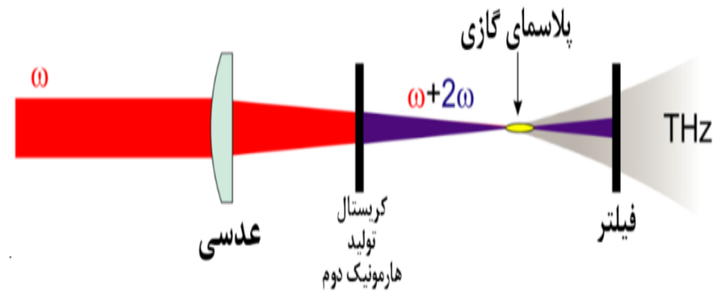
Kaushik sengupta استاد یار مهندسی برق دانشگاه پرینستون میگوید :«این سامانه روی تراشه سیلیکونی که برای ساخت همه ی وسایل الکترونیکی امروزی از تلفن های هوشمند گرفته تا تبلت ها به کار می رود ساخته شده است وبنابراین برای تولید آن در مقیاس های بزرگ هزینه کمی لازم است.»چالش عمده ای که محققان در تولید امواج تراهرتز ، خصوصاً در میکروتراشه ، با آن روبرو هستند تولید شدن یک طیف گسترده از طول موج ها در داخل باند تراهرتز است.محققان پی بردند که برای رفع این مشکل می توانند با تولید طول موج ها با استفاده از یک زمان بندی دقیق ، پالس های بسیار تیز تراهرتز تولید کنند.

همچنین یک گروه تحقیقاتی موقف شده است با استفاده از گرافن ، امواج تراهرتز را دست کاری کنند .مدت ها بود که محققان به دنبال روشی برای دست کاری این امواج بودند.مانع اصلی در سر راه فناوری تراهرتز فقدان ماده ای کارا برای دست کاری امواج این طیف است:داشتن ماده ای دو بعدی ، مستحکم وقابل تنظیم مانند گرافن میتواند فرصت تازه ای برای طراحی ادوات تراهرتز ارائه کند.

مواد و روش‌ها

مکانیزم تولید تابش تراهرتز در برهمکنش پالس لیزر دورنگ با گاز

بر اساس نتایج نظری و تجربی محققان بهترین روش برای تولید تابش تراهرتز از برهمکنش لیزر با گاز استفاده از پالس های لیزر دو رنگ است. در شکل زیر شماتیکی از متداول ترین چیدمانی که برای تولید تابش تراهرتز از برهمکنش لیزر دورنگ با محیط مادی (گاز یا پالسما) مورد استفاده محققان قرار گرفته است در شکل مشاهده می‌شود که هارمونیک اصلی پالس لیزر فرودی با فرکانس زاویه ای ω پس از عبور از عدسی بر یک کریستال هارمونیک دوم همچون بتا باریوم بوریت فرود می آید . سپس هارمونیکهای اول و دوم پالس بر گاز متمرکز میشوند و تولید پالسمایی می کنند که جریان سوق عرضی ایجاد شده در این پالسما تابش تراهرتز تولید میکند .



شکل۱) شماتیکی از متداول ترین چیدمان آزمایشگاهی برای تولید تابش تراهرتز از برهمکنش پالس لیزر دو رنگ با گاز یا پلاسما

بحث

انواع روشهای تولید تابش ترا هرتز

حال روشهای تولید تابش ترا هرتز را بررسی میکنیم.

الف) تولید تابش ترا هرتز از محیطهای غیرخطی اپتیکی

یکی از روشهای تولید ترا هرتز برخورد موج الکترومغناطیسی با موادی است که دارای ساختار غیرخطی هستندکه اساس آن بر خواص غیر خطی مرتبه دوم مواد است. فرکانس موج الکترومغناطیسی با برخورد به ماده یا به فرکانس پایین‌تر و یا فرکانس بالاتر تبدیل میشودو در اثر این برخورد فرکانس ترا هرتز ایجاد میشود. در منابع غیرخطی امواج ترا هرتز طی فرآیندهایی مانند یکسوسازی نوری، تولید فرکانس تفاضل و یا تولید هارمونیک‌های مرتبه بالاتر تولید میشوند. درروش یکسوسازی اپتیکی پالس لیزر فمتوثانیه به کریستال غیرخطی برخورد میکند و درنتیجه باند ترا هرتز به صورت پالسی تولید میشود. درروش تولید ترا هرتز در فرکانسهای مختلف، کریستال غیرخطی تحت زنش اپتیکی قرار میگیرد و طیف پیوسته‌ای از ترا هرتز ایجادمیشود و درروش آخر امواج ماکروویو از منبع به وسیله‌ی دیود غیرخطی به هارمونیک‌های آن تبدیل می‌شود وموج پیوسته تراهرتز تولید می‌شود.

در برهمکنش پالس لیزر با محیط بسیار پاشنده‌ی پلاسما که میتوان گستره‌ی خوبی از فرکانس تراهرتز را همزمان تولید کند، در دسته‌ی تولید تابش تراهرتز به‌وسیله‌ی محیط خطی قرار میگیرد که در این فصل به‌اجمال به توضیح آن پرداخته‌شده است .

ب) منابع مبتنی بر تشعشع از بار های شتاب داده شده

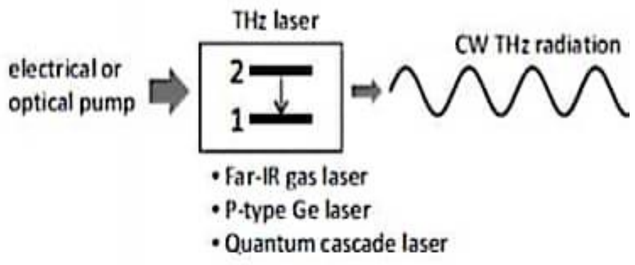
بر طبق نظریه‌ی الکترومغناطیس بارهای شتابدار یا به‌طور معادل جریان متغیر بازمان امواج الکترومغناطیس تابش میکنند. این موضوع اساس عملکرد گروه دوم از منابع امواج ترا هرتز میباشد. یک روش تولید چنین جریان‌هایی تحریک یک ماده نور رسانا توسط پرتو لیزر و شتاب دادن حامل‌های نوری تولیدشده تحت تأثیر میدان بایاس می-باشد. جریان نوری تولیدشده بازمان تغییر میکند و نهایتاً پالسهای ترا هرتز تولید می‌شود.

روش دیگر در تولید بار های شتابدار استفاده از شتابدهنده های الکترونی است. در این روش الکترونها تا سرعتهای نسبیتی شتاب میگیرند و سپس به یک صفحه‌ی فلزی برخورد می‌کنند و با اعمال یک میدان مغناطیسی حرکت دایروی به آنها می‌دهند که نهایتاً این شتاب متغیر بازمان برای الکترونها ، باعث تولید امواج ترا هرتز میشود.

ج) منابع لیزری تابش ترا هرتز

علاوه بر دو نوع منابع ذکرشده، انواع مختلفی از لیزرهای ترا هرتز نیز وجود دارند به طور مثال لیزرهای گازی و لیزرهای آبشار کوانتومی از این قبیل منابع می‌باشند . لیزرهای آبشاری کوانتومی و لیزرهای گازی به ترتیب جزء قدیمی‌ترین و جدیدترین منابع همدوس در ناحیه‌ی تراهرتز هستند. لیزرهای گازی بیشتر به‌صورت اپتیکی پمپ میشوند و بیشتر از گاز متانول در آنها استفاده میشود.

لیزرهای کوانتومی نیز یک منبع قوی و مفید در ناحیه‌ی ترا هرتز هستند . در این لیزرها الکترونهایی که در یک ساختار ابر شبکه‌ای تحت یک میدان الکتریکی قرار میگیرند باعث گذار از یک تراز به ترازدیگر میشوند و این باعث گسیل فوتون میشود واژه آبشاری به طبیعت تکراری گذار زیرترازی چندتایی برمیگردد.



شکل۲) منبع لیزری تابش تراهرتز

نتایج

هنگامی که یک پالس لیزر پرتوان فمتوثانیه در گاز متمرکز میشود اگر شدت بیشتر از آستانه 10^{12} w/cm^2 گاز یونیزه باشد وپلاسمایی تولید میشود که طیف گسترده ای از تابش همدوس وغیر همدوس را تولید میکند اخیرا با هدف فراهم آوردن انرژی کافی (میکروژول تا میلی ژول)برای تولید تابش تراهرتز با بازده مناسب در مقیاس رومیزی، لیزرهای فمتوثانیه با نرخ تکرار کم (به عنوان مثال با نرخ تکرارهایی از مرتبه هرتز تا کیلو هرتز)مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است .در آزمایشگاه های تولید تابش **تراهرتز دو عامل کلیدی** شامل **قدرت بیشینه میدان الکتریکی تابش تراهرتز تولید شده** (یا انرژی پالس تراهرتز تولیدی)وهمچنین **پهنایی باند فرکانسی** آن میشوند. هامستر وهمکارانش برای اولین بار تولید تابش تراهرتز را در برهم کنش لیزر با پلاسما به صورت تجربی وتئوری گزارش دادند، در این فرآیند آنها مشاهده کردند که متمرکز کردن پالس های لیزر فوق کوتاه با انرژی بیش از چند ده میکروژول منجر به یونیزه شدن ملکول های گاز وتولید پلاسما میشود .

مکانیزم تولید تابش تراهرتز بر اساس شتاب گرفتن الکترون های پلاسما در راستایی شعاعی به دلیل نیروی پاندرموتیو تولید شده به وسیله گرادیان شعایی شدت باریکه اپتیکی بود، که منجر به تولید تابش تراهرتز مخروطی در زاویه ای خاص نسبت به راستای انتشار پالس لیزرمیشد. پس از آن روش های دیگری برای تولید تابش تراهرتز پیشنهاد شد که از جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

*منابع برگرفته از فناوری مایکروویو
*لیزرهای الکترون آزاد وسنکترون ها
*لیزرهای گازی
*لیزرهای آبشاری کوانتومی
*آنتن های نور رسانا

سپاس فراوان از

استاد راهنما جناب آقای دکتر داود رئوفی به پاس کمک های بی دریغشان

منابع

[1] Nagel, M., P. Haring Bolivar, M. Brucherseifer, H. Kurz, A. Bosserhoff, and R. Büttner. "Integrated THz technology for label-free genetic diagnostics." *Applied Physics Letters* 80, no. 1 (2002): 154-156.

[2] Woodward, Ruth M., Bryan E. Cole, Vincent P. Wallace, Richard J. Pye, Donald D. Arnone, Edmund H. Linfield, and Michael Pepper. "Terahertz pulse imaging in reflection geometry of human skin cancer and skin tissue." *Physics in Medicine & Biology* 47, no. 21 (2002): 3853.

[3] Yamashita, Masatsugu, Kodo Kawase, Chiko Otani, Kiyoshi Nikawa, and Masayoshi Tonouchi. "Inspection of semiconductor devices without bias voltage using a Laser-THz Emission Microscope." In *Optical Terahertz Science and Technology*, p. TuC4. Optical Society of America, 2005.