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

تقویت توان خروجی آنتن های نوررسانشی تراهرتز بر پایه آرایه های منظم از ساختارهای نانو ذرات فلزی مس

امیر علیزاده، مجید ناظری و احمد ساجدی

گروه لیزر و فوتونیک دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
amiralizadeh@grad.kashanu.ac.ir

چکیده: در این مقاله، طرح آنتن های نوررسانشی تراهرتز بر پایه آرایه‌های منظم از نانو ذرات فلزی مس ارائه شده است. مشکل عمده در توسعه آنتن های نوررسانشی تراهرتز، کم بودن توان خروجی آنها می باشد، برای غلبه بر این محدودیت، استفاده از نانو ذرات فلزی مس در ناحیه گپ آنتن، پیشنهاد و پیاده‌سازی شده است. با بهینه سازی اندازه و فاصله نانو ذرات فلزی مس، می توانیم توان خروجی پالس تراهرتز را بدون تغییر در قله فرکانسی آنتن افزایش دهیم. با طراحی و شبیه سازی یک آنتن نوررسانشی تراهرتز مدل پروانه ای بر پایه نانو ذرات فلزی مس و مقایسه آن با آنتن حالت ساده، خواهیم دید، در شرایط کاملا یکسان، بازده آنتن و توان خروجی پالس تراهرتز تقویت می شود.

کلید واژه: خروجی پالس تراهرتز، نانو ذرات، نوررسانشی.

Enhancement of Terahertz Photoconductive Antenna Output Power Based on Regular Arrays of Copper Metal Nanoparticles

Amir Alizadeh, Majid Nazeri and Ahmad Sajedi

Department of Laser & Photonics, Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract- In this paper, the design of terahertz (THz) photoconductive (PC) antenna based on regular arrays of copper metal nanoparticles is proposed. The major problem in development of THz PC antennas is their low output power. To overcome this limitation, the THz PC antenna based on copper metal nanoparticles is proposed and implemented. By optimizing the size and space of copper nanoparticles, we can enhance the output power and increase efficiency of the antenna without change in the peak frequency of antenna. By designing and simulating a bow-tie THz PC antenna based on copper metal nanoparticles and compare with simple state, in absolutely same conditions, we will see, the antenna efficiency and output power of THz pulse is amplified.

Keywords: terahertz pulse output, nanoparticles, photoconductive.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-15]

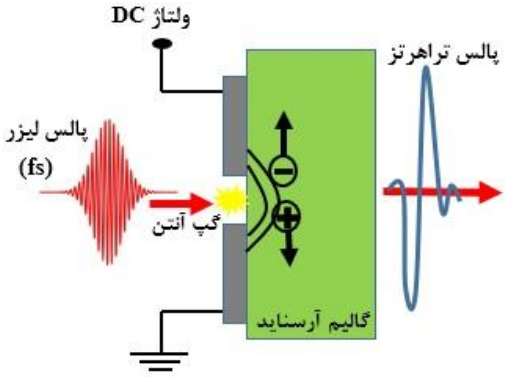
۱- مقدمه

در چند سال اخیر، تحقیق و توسعه تکنولوژی تراهرتز به دلیل کاربردهای گوناگون از قبیل ارتباطات، اسپکتروسکوپی، پزشکی، امنیتی، تصویربرداری، کنترل از راه دور و ... مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و رشد وسیعی را تجربه کرده است. بازه فرکانسی بین نواحی فرکانسی مادون قرمز دور و مایکروویو از طیف الکترومغناطیسی (۰,۱ تا ۱۰ تراهرتز) را ناحیه تراهرتز می‌نامند. رایج ترین منبع در تولید امواج تراهرتز، آنتن های نوررسانشی تراهرتز هستند که در در دهه ۸۰ میلادی ارائه شد [۱]. آنتن‌های نوررسانشی تراهرتز به دلیل ویژگیهای برتری که نسبت به دیگر منابع تراهرتز دارند، از قبیل: ساختار چیدمان ساده، ارزان بودن، نسبت سیگنال به نویز بهتر، پهنای باند پیوسته، گسترده و عملکرد در دمای اتاق، رشد چشمگیری داشته اند. ضعف عمده این آنتن‌ها، پایین بودن بازده آنتن است، عموما بازده این آنتن‌ها کمتر از ٪۰,۱ است. برای افزایش بازده آنتن و تقویت توان پالس تراهرتز خروجی ، تحقیقات بسیاری مانند بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد آنتن‌های نوررسانشی تراهرتز با استفاده از روشهای عددی، آنتن روزنه بزرگ [۲]، استفاده از فینگرهای در هم تنیده ذوزنقه ای در ناحیه گپ آنتن [۳]، انجام شده است. یکی از روشهایی که می تواند عملکرد آنتن های نوررسانشی تراهرتز را بهبود بخشد، استفاده از ماده ای است که بتواند میزان جریان نوری در سطح آنتن را افزایش دهد، نانو ساختارهای فلزی با تولید میدان های الکتریکی قوی محلی در اطراف خود، می توانند شدت جریان در سطح آنتن را افزایش دهند، استفاده کاتوره ای از نانو ساختارهای نقره در آنتن نوررسانشی تراهرتز در سال ۲۰۱۷ ارائه شد [۴].

در این مقاله، در ادامه کار فوق، طرح استفاده از آرایه‌های منظم از نانو ذرات فلزی مس در آنتن‌های نوررسانشی تراهرتز پیشنهاد و پیاده سازی شده است، استفاده از نانو ساختارهای فلزی مس در ناحیه گپ آنتن، روی سطح زیرلایه، باعث افزایش شدت جریان نوری در گپ آنتن شده و در نهایت توان خروجی و بازده آنتن را افزایش می دهد. علاوه بر این با مدلسازی های مختلف از رفتار آنتن، ابعاد و فاصله بهینه نانو ذرات برای دستیابی به بالاترین توان خروجی پالس تراهرتز استخراج شد.

۲- مکانیزم تابش

آنتن‌های نوررسانشی تراهرتز همانند شکل۱ از دو الکترود فلزی که بر روی یک زیرلایه از ماده نیمه رسانا قرار دارند، تشکیل می شوند. ماده نیمه رسانا دارای حامل هایی با طول عمر بسیار کوتاه (حدود ۳۰۰ فمتوثانیه) هستند. نحوه عملکرد این آنتن‌ها به این صورت است که یک پالس لیزر که انرژی آن از انرژی باند گپ ماده نیمه رسانا بیشتر است، به ناحیه فعال آنتن تابیده می شود، در اثر این تابش، جفت‌های الکترون حفره تولید می‌شود و با اعمال یک میدان الکتریکی ثابت بین دو الکترود فلزی، الکترون حفره‌ها شتاب گرفته و یک جریان نوری تولید می‌کنند.



شکل ۱ – مکانیزم تابش پالس تراهرتز

از آنجا که طول عمر الکترون‌ها و حفره‌ها بسیار کوتاه است، از تغییرات زمانی سرعت حامل‌ها، یک پالس الکترومغناطیسی در فرکانس تراهرتز تولید می شود. چگالی جریان ایجاد شده در گپ آنتن، به مشخصات پالس لیزر فرودی و ماده نیمه رسانا بستگی دارد، مطابق با مدل درود، جریان نوری ایجاد شده در گپ آنتن به صورت رابطه زیر است [۲]:

$$I = \frac{eV_b \mu_e \tau \eta_L P_L}{h f_L l^2}$$

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-15]

که در آن e بار الکترون، V_b ولتاژ بایاس اعمال شده، μ_e تحرک‌پذیری حامل‌های بار، τ زمان واهلش جریان نوری، η_L بازده نوری، P_L توان لیزر فرودی، h ثابت پلانک، f_L فرکانس لیزر و l طول گپ آنتن می باشد. از آنجا که چگالی جریان نوری در گپ آنتن، ارتباط مستقیم با میدان الکتریکی دارد، استفاده از نانو ذرات مس در ناحیه گپ آنتن، باعث تشدید الکترونهای رسانش و تولید میدان های الکتریکی محلی در اطراف هر کدام از نانو ذرات فلزی مس می نماید. بنابراین با تابش پالس لیزر روی ماده نیمه رسانای گالیم آرسناید و اعمال میدان الکتریکی ثابت بین دو الکترود و تشکیل میدان‌های الکتریکی محلی در اطراف هر کدام از ذرات مس، جریان نوری در گپ آنتن، نسبت به آنتن ساده، تقویت می شود.

تابش پالس تراهرتز مستقیما با مشتق زمانی مرتبه اول چگالی جریان نوری آنتن نسبت دارد [۲].

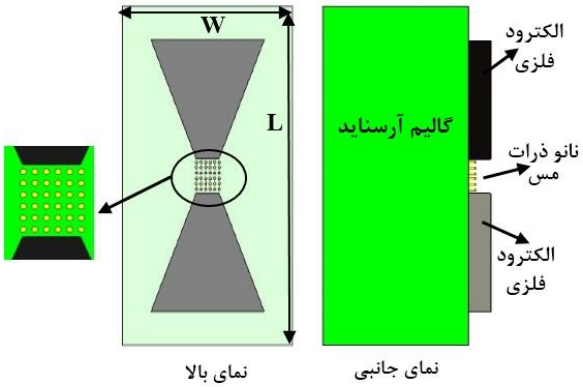
$$E_{THZ} \propto \frac{dI(t)}{dt}$$

مطابق رابطه زیر، بازده آنتن با افزایش چگالی جریان در سطح آنتن، افزایش می یابد. افزایش بازده آنتن، منجر به تقویت توان پالس تراهرتز خروجی آنتن می شود [۳].

$$\eta_{LE} = \frac{eV_b^2 \mu_e \tau^2 \eta_L P_L}{h f_L l^2}$$

۳- طراحی ساختار

آنتن نوررسانشی تراهرتز شامل دو الکترود فلزی به شکل پروانه‌ای به ضخامت ۰/۱ میکرومتر است که روی ماده نیمه رسانای گالیم آرسناید قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، طول و عرض آنتن به ترتیب $L = 140\mu m$ و $W = 90\mu m$ است، گپ بین دو الکترود که همان ناحیه فعال آنتن را تشکیل می‌دهد به ترتیب دارای طول و عرض ۱۰ و ۵ میکرومتر می باشد. جنس الکترودها از فلز رسانای کامل انتخاب شده است. آنتن نوررسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات فلزی مس، دقیقا دارای مشخصات ابعادی آنتن ساده است. با این تفاوت که ساختارهای آرایه‌ای از نانو ذرات فلزی در گپ آنتن به صورت منظم قرار گرفته اند.



شکل۲- آنتن نوررسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات مس

پارامترهای مختلفی از جمله ابعاد، فاصله و نحوه چیدمان نانو ذرات می توانند در نتایج خروجی و عملکرد آنتن در محدوده فرکانسی مورد نظر تاثیرگذار باشند. قطر نانو ذرات از ۵۰ تا ۲۵۰ نانومتر، ضخامت از ۵ تا ۲۰ نانومتر و فاصله آنها از یکدیگر، از ۰/۶ تا ۲ میکرومتر شبیه سازی شد. براساس طراحی و شبیه سازی انجام شده، بهینه ترین حالت، برای دستیابی به ماکزیمم توان خروجی آنتن پیاده سازی شد. بر همین اساس، قطر هر کدام از نانو ذرات مس ۱۰۰ نانومتر، ضخامت آنها ۱۰ نانومتر و فاصله ذرات از یکدیگر ۱/۴ میکرومتر انتخاب شده است.

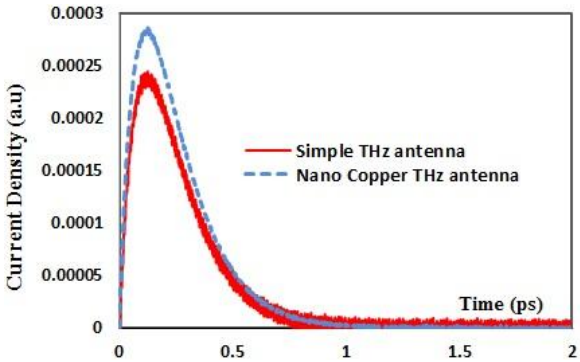
۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش، آنتن نوررسانشی تراهرتز در دو حالت ساده و بر پایه نانو ذرات فلزی مس، مورد تحلیل و شبیه سازی قرار می گیرد. نتایج تمامی شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار CST Microwave Studio و در حوزه زمان انجام شده است. خواهیم دید، آنتن نوررسانشی تراهرتز ساده که قله فرکانسی آن در ۰/۸ تراهرتز قرار دارد، با اضافه کردن نانو ذرات فلزی مس به صورت آرایه های منظم، در شرایط کاملا یکسان، شدت و توان خروجی پالس تراهرتز، نه تنها در قله فرکانسی آنتن، بلکه در تمام بازه فرکانسی صفر تا ۵ تراهرتز نیز افزایش می یابد. این

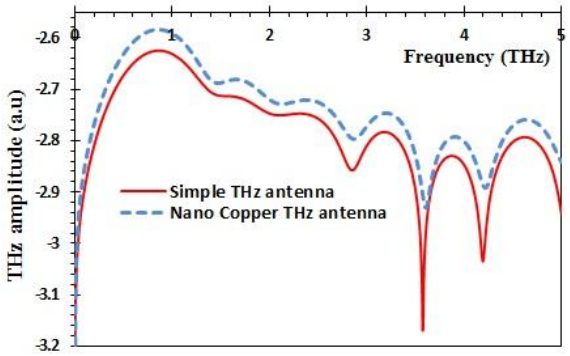
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-15]

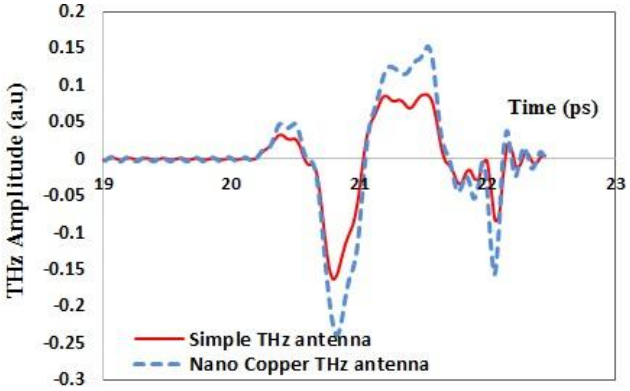
ایده برای آنتن‌های نوررسانشی تراهرتز که توان خروجی پایینی دارند، می تواند کمک شایانی در تقویت توان خروجی و بهبود بازده تبدیل اپتیک به تراهرتز آنها باشد. شکل ۳ چگالی جریان نوری وابسته به زمان تولید شده در ناحیه گپ آنتن در بازه زمانی ۲ پیکو ثانیه را نشان می دهد. ماکزیمم شدت جریان نوری تولید شده در آنتن نوررسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات فلزی مس برابر با ۰/۲۹ میلی آمپر، در حالی که شدت جریان نوری تولید شده در گپ آنتن ساده ۰/۲۴ میلی آمپر است، که نشان می دهد استفاده از نانو ذرات فلزی مس در گپ آنتن تراهرتز می تواند در تقویت و افزایش شدت جریان نوری موثر باشد. شکل۴ طیف پالس تراهرتز ساطع شده از هر دو آنتن را در بازه فرکانسی بین صفر تا ۵ تراهرتز نشان می دهد، قله فرکانسی در هر دو آنتن در ۰/۸ تراهرتز بدست آمده است، در حالی که در آنتن نورسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات مس، علاوه بر اینکه شدت و توان خروجی پالس تراهرتز در قله فرکانسی آنتن افزایش داشته است، در تمام بازه فرکانسی بین صفر تا ۵ تراهرتز نیز افزایش شدت و توان خروجی پالس تراهرتز را نشان می دهد.



شکل۳- چگالی جریان نوری در ناحیه گپ آنتن



شکل۴- طیف پالس تراهرتز ساطع شده از آنتن



شکل۵- نمودار زمانی پالس تراهرتز ساطع شده از آنتن

شکل ۵ نمودار زمانی پالس تراهرتز ساطع شده از هر دو آنتن را نشان می دهد، نکته حائز اهمیت در این نمودار این است که در آنتن نوررسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات مس، شدت و توان خروجی در هر دو قله مثبت و قله منفی بهبود داشته و تقویت پالس تراهرتز خروجی را نشان می دهد.

۵- جمع بندی

در این مقاله عملکرد آنتن های نوررسانشی تراهرتز بر پایه نانو ذرات فلزی مس مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس طراحی و شبیه سازی انجام شده، نشان دادیم که استفاده از نانو ذرات فلزی مس در ناحیه گپ آنتن به دلیل تشدید الکترون های رسانش مس و ایجاد میدان های الکتریکی محلی، باعث افزایش شدت جریان نوری در ناحیه گپ آنتن و در نهایت افزایش بازده و تقویت توان خروجی پالس تراهرتز آنتن نوررسانشی می شود.

۶- مرجع‌ها

[1] D. H. Auston, K. P. Chung, and P. R. Smith, "Picosecond photoconducting hertzian dipoles," Appl. phys. Lett. vol. 45, pp. 284, 1984.

[2] M. Nazeri and R. Massudi, “Study of a large area THz antenna by using a finite difference time domain method and lossy transmission line,” semiconductor science and technology, Vol. 25, P. 045007, 2010.

[3] N. Khiabani, Y. Huang, L.E. Garcia, Y. Shen and A. Lavado, “A novel sub-THz photomixer with nano trapezoidal electrodes,” IEEE trans on, Vol. 4, pp. 501-508, 2014.

[4] S. Lepeshov, A. Gorodetsky, A. Krasnok, and N. Toropov “Boosting the terahertz photoconductive antenna performance with optimized plasmonic nanostructure” phy.optics. 2017.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-15]