طراحی و شبیه سازی آنتن نوررسانا تراهرتز خودبایاس بر اساس GaN، با استفاده از سد شاتکی نامتقارن

پویا ترکمان، سارا درباری کوزه کنان، محمد جواد محمد زمانی

دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده - در این منبع تراهرتز با استفاده از دو اتصال شاتکی نامتقارن بر روی لایه ای از جنس بلور GaN، میدان داخلی لازم را ایجاد کرده ایم. با این کار نیاز به بایاس خارجی حذف می‌گردد، که یکی از مزایای این ساختار است. سپس با تابش یک پالس زمانی گوسی باریک با طول موج ۳۵۰ nm بر روی نیمه هادی باعث تولید حامل‌ها درون منطقه فعال می‌شویم. تغییرات زمانی سریع پالس ورودی عامل تولید فرکانس های بالا در جریان تراهرتز تولیدی می‌باشد. این جریان متغیر با زمان باعث تولید و انتشار میدان تراهرتز به سمت کف افزاره می‌گردد. در این مقاله، شبیه سازی‌ها دو بعدی و به روش عنصر متناهی انجام می‌شود.

کلید واژه- تراهرتز، نوررسانا، GaN، خودبایاس

Simulation and design of a photoconductive self-bias antenna based on GaN with dis-similar schottky contacts

Pouya Torkaman, Sara Darbari, Mohamad Javad Mohamad-Zamani

Tarbiat modares university,Tehran

Abstract-in this paper we introduce a photoconductive terahertz antenna. This emitter consists of asymmetric Schottky contacts on GaN layer, inducing an internal electric field. By radiating a short pulse with the wavelength of 350 nm, carriers are generated in the photoconductive active region. Rapid transition in the incident laser pulse, results in generation of high frequency components in the generated electric current. The resulted time varying current generates the THz radiation toward the bottom of the device.

Keywords: GaN- photoconductive- self-bias- antenna- terahertz.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

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

۱- مقدمه

یکی از روش های تولید امواج تراهرتز استفاده از آنتن های نوررسانا می‌باشد. در این روش بر روی بستری از جنس ماده نور رسانا پالسی با انرژی بزرگتر از گاف انرژی نیمه هادی بر روی آن می‌تابانیم. این نور تابیده شده باعث تولید حامل ها درون منطقه فعال می‌شود. این حامل‌ها با استفاده از میدان الکتریکی حرکت کرده و باعث تولید موج تراهرتز می‌گردند[۱]. مشکل اصلی این روش تولید، نیاز به بایاس های در حدود چند کیلوولت در افزاره های با سطح نورگیر بزرگ و یا احتمال اتصال کوتاه شدن در افزاره‌های شانه‌ای می‌باشد. همانگونه که در مقالات پیشین نشان داده شده است[۲]، منبع نوررسانا بدون بایاس با اتصالات شاتکی با ارتفاع سد متفاوت، می توانند به خوبی حامل‌های نوری تولید شده را جداسازی کرده و باعث حرکت حامل‌ها با سرعت زیاد به سمت اتصالات فلزی شود. در عین حال از امکان اتصال کوتاه شدن افزاره نیز جلوگیری نماید.

۲- معادلات حاکم

با تابیدن نور لیزر بر روی افزاره، جفت الکترون- حفره در داخل نیمه هادی تولید می‌شود. برای یک لیزر گوسی با طول موج ۳۵۰ nm و پهنای زمانی ۱۰۰ fs، توزیع شدت در داخل افزاره، با حل معادلات ماکسول و سپس بدست آوردن بردار پوینتینگ[۱] (s_{av}) از رابطه (۱)، حاصل می شود[۱]:

$$S_{av} = \frac{1}{2}\,\mathrm{Re}(E \times H^{*}) \qquad (۱)$$

که E و H به ترتیب فازورهای میدان الکتریکی و مغناطیسی نوری می‌باشند. توزیع چگالی توان W از رابطه (۲) محاسبه می‌شود[۱]:

$$w = -\nabla . s_{av} \qquad (۲)$$

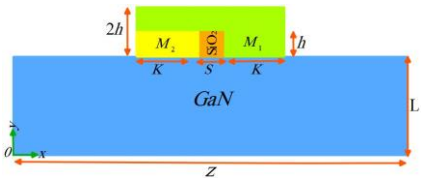
و در نهایت متوسط نرخ تولید حامل‌ها (G_{av}) از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد[۱]:

$$G_{av} = \eta \frac{w}{h\nu} \qquad (۳)$$

که در آن h ثابت پلانک ν طول موج نور و η بازدهی کوانتومی می‌باشد. پس از محاسبه نرخ حامل‌های تولید شده، این نرخ را در معادلات انتقال حامل‌ها به کار می-بریم و با استفاده از آن جریان تراهرتز و میدان‌های الکتریکی در حوالی منطقه فعال را محاسبه می‌نماییم. در این مقاله از مدل Drift-Diffusion برای محاسبه جریان تراهرتز نوری استفاده شده است.

۳- ساختار افزاره

در شکل-۱ نمای دو بعدی از افزاره‌ی بدون بایاس برای تولید موج تراهرتز نمایش داده شده است. در این افزاره با استفاده از دو فلز متفاوت که بین آنها یک لایه عایق وجود دارد، یک جفت سد شاتکی با ارتفاع متفاوت بر روی بستری از جنس GaN ایجاد نموده ایم.



شکل ۱- ساختار یک سلول از افزاره

بر روی این افزاره یک پالس نوری به طول موج ۳۵۰ nm می‌تابانیم. حامل‌های تولید شده در داخل افزاره تحت میدان ناشی از اختلاف ارتقاع سد شاتکی درون افزاره حرکت کرده و جریان تراهرتز را تولید می‌نمایند. در جدول زیر متغیر های به کار رفته در شبیه سازی، به نمایش درامده است.

جدول ۱. متغیر های شبیه سازی افزاره

متغیر	مقدار
طول یک سلول *(z)*	۹۰۰ nm
ضخامت اتصال فلزی*(h)*	۱۰۰ nm
فاصله بین دو اتصال(s)	۵۰ nm
عرض اتصال(K)	۲۰۰ nm
ضخامت افزاره(L)	۱ µm
شدت نور لیزر	۴۰۰ $\mu w/\mu m^2$
طول پالس لیزر	۱۰۰ fs
طول عمر[۲]حامل‌ها	۱۰ ns
موبیلیتی[۳]الکترون	۴۰۰ $c.m^2/v.s$

[۱] Poynting vector

[۲] Life time

[۳] Mobility

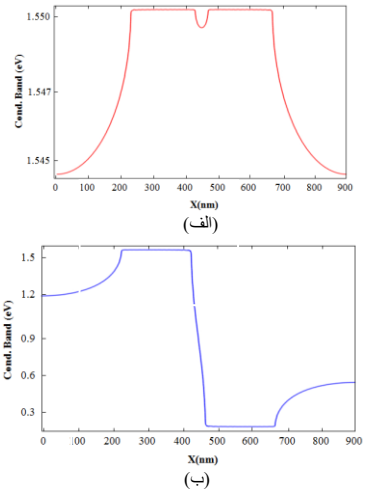
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

ارتفاع سد شاتکی M_1	۱,۱۱ eV[۳]
ارتفاع سد شاتکی M_2	۰,۵۶ eV[۳]

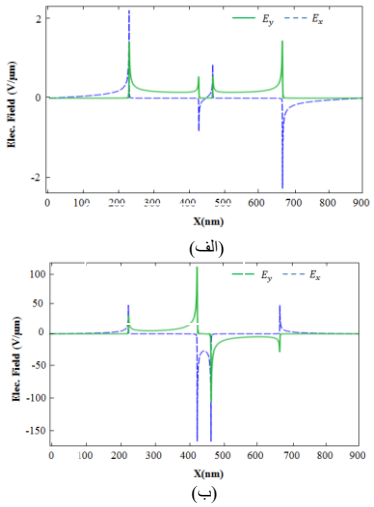
۴- نتایج شبیه سازی

همانطور که پیشتر گفته شد، در این افزاره از دو فلز با سد شاتکی متفاوت استفاده شده است. اکنون با بررسی الکترواستاتیک افزاره به دلیل استفاده از سد شاتکی نامتقارن می‌پردازیم. در شکل ۲-الف نوار هدایت برای حالتی که هر دو فلز یکسان هستند و سد شاتکی هر دو φ= ۱,۱۱eV می‌باشد و در قمست۲-ب حالتی که فلز M_2 سد شاتکی معادل φ=۰,۵۶ eV دارد برای y=۱ nm رسم گردیده است.

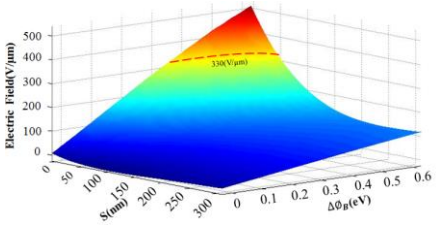


شکل۲-نوار هدایت (الف) برای دو فلز مشابه (ب) زمانی که دو فلز متفاوت باشند

و در شکل‌های ۳-الف و۳-ب میدان‌های الکتریکی متناظر با شکل-۲ را می‌بینیم. همانگونه که از شکل مشخص است. وقتی هردوفلز یکسان هستند،جهت میدان الکتریکی به شکلی می‌گردد که جریان های تولیدی در دو طرف اتصالات در خلاف جهت یکدیگر حرکت کرده و یکدیگر را خنثی می‌کنند. در حالی که وقتی هر دو فلز متفاوت اند جریان ها در جهت یکدیگر بوده و یکدیگر را تقویت می-کنند. از طرف دیگر اندازه‌ی میدان الکتریکی نیز بسیار بزرگتر می‌گردد. پس از این مرحله با تغییر فاصله بین دو اتصال و اندازه ارتفاع سد شاتکی ها ناحیه مجاز برای طراحی را به دست می‌آوریم. در مورد GaN حداکثر میدان الکتریکی مجاز قبل از شکست الکتریکی $V/\mu m$ ۳۳۰ می‌باشد که در شکل-۴ با خط چین مشخص شده است.



شکل۳-میدان الکتریکی در دو راستا (الف) برای دو فلز مشابه (ب) زمانی که دو فلز متفاوت باشند

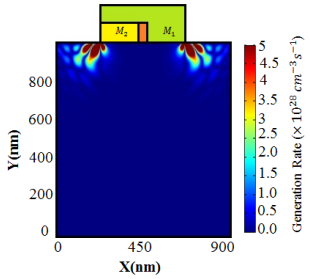


شکل۴-منطقه مجاز برای انتخاب فاصله بین دو اتصال و اختلاف سد شاتکی

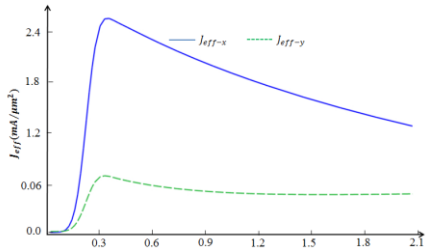
پس از انتخاب بهترین ناحیه، که مشخصات آن در جدول-۱ اورده شده است. نرخ تولید حامل ها در اثر تابش پالس را محاسبه می‌کنیم. این نرخ در شکل-۵ قابل مشاهده است. همانگونه که از شکل می‌بینیم نرخ تولید حامل‌ها در لبه فلزات به بیشترین مقدار خود می‌رسد، که دقیقا در نقطه ای است که بیشترین میدان الکترو استاتیک در آن قرار دارد. پس از محاسبه نرخ تولید حامل‌ها با به کار بردن معادلات جریان، جریان درون افزاره را محاسبه می-کنیم. با توجه به این که طول موج جریان ایجاد شده داخل افزاره بسیار بزرگتر از طول افزاره است، می‌توان بدون در نظر گرفتن اختلاف فاز در جریان های نقاط مختلف داخل افزاره آنها را با هم جمع کرد. در شکل-۶ جریان را مشاهده می‌کنیم.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

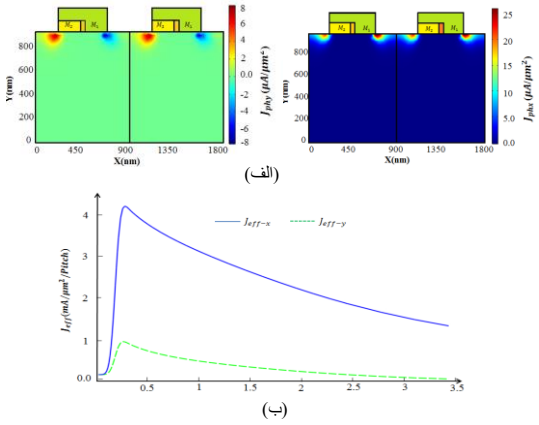


شکل۵-نرخ تولید حامل‌ها درون افزاره



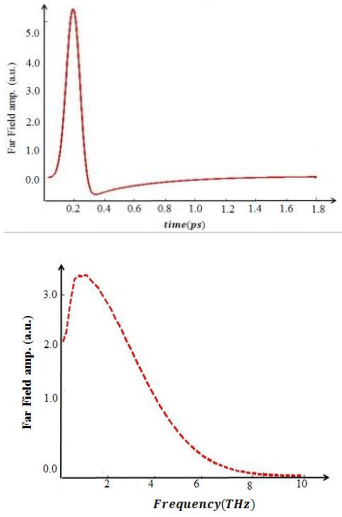
شکل-۶ جریان در داخل یک افزاره واحد.

با توجه به کوچک بودن جریان تراهرتز نیاز به طراحی یک آرایه از افزاره وجود دارد. تا بتوانیم توان خروجی را به مقدار مورد نیاز افزایش دهیم. در شکل ۷-الف توزیع دو بعدی دو مولفه جریان و در شکل ۷-ب کل جریان را مشاهده می‌کنیم.



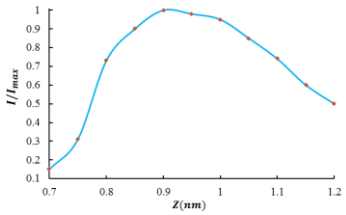
شکل-۷ جریان برای یک واحد از آرایه افزاره(الف)مولفه های جریان در افزاره(ب) جریان کل درون افزاره

همانگونه که از شکل مشخص است این جریان در راستای طول افزاره (x) نسبت به عرض افزاره (Y) افزایش پیدا کرده است که ناشی از میدان موثر در این راستا است. از روی جریان در راستای طول افزاره که جریان موثرتری است میدان تشعشعی ناشی از این پالس را محاسبه و در شکل-۸ رسم می‌کنیم. در این شکل میدان تشعشعی تراهرتز در حوزه زمان و فرکانس آورده شده است.



شکل-۸ میدان تشعشعی تراهرتز (الف) درحوزه زمان (ب) تبدیل فوریه آن.

در نهایت نیز بهترین طول برای افزاره را با تغییر عرض افزاره محاسبه و به دست می‌آوریم که در شکل-۹رسم گردیده است.



شکل-۹ بهترین عرض افزاره برای بیشترین جریان در آرایه.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از میدان داخلی ایجاد شده از سد شاتکی نامتقارن یک آنتن پالسی تراهرتز را بر پایه GaN طراحی و شبیه سازی نمودیم. همچنین با آرایه سازی ساختار جریان را افزایش و توان را بهبود بخشیدیم.

مراجع

[1] X.-C. Zhang and J. Xu, “Generation and Detection of THz Waves,” Introduction to THz Wave Photonics, pp. 27–48, 2009.
[2] M. J. Mohammad-Zamani, M. K. Moravvej-Farshi, and M. Neshat, “Unbiased continuous wave terahertz photomixer emitters with dis-similar Schottky barriers,” Optics Express, vol. 23, no. 15, p. 19129, 2015.
[3] Schmitz, A. C., et al. “Metal contacts to n-Type GaN.” Journal of Electronic Materials, vol. 27, no. 4, 1998, pp. 255–260.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]