بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲۴۶۷-۱۰-A

تولید امواج تراهرتز در موجبر پلاسمونی پیوندی

مرضیه اسدنیای فرد جهرمی، سمیه زارع

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، امیرآباد شمالی، تهران

Kh.asasdnia@gmail.com

چکیده - طراحی منابع تولید تراهرتز در ابعاد کوچک از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور استفاده بهینه از امواج تراهرتز این امواج باید به روشی تولید شوند که پیوسته و همدوس باشند به همین در دلیل بیشتر دستگاه‌های تولید تراهرتز از روش تولید تفاضل بسامدی (DFG) استفاده می‌شود. در این مقاله تولید و انتشار امواج با روش فرکانس تفاضلی در فلز- هوا- فلز (MAM) انجام گرفته است و نشان داده شده است که ضمن دستیابی به بهره‌ی بالا، کاربردهای امواج تولید شده نیز بیشتر است همچنین نشان داده می‌شود که در این ساختار نیز جورشدگی فاز مطلوب، اتلاف کم و بهره بالا حاصل می‌شود.

کلید واژه- امواج تراهرتز- موجبر پلاسمونیک- ثابت انتشار

Terahertz wave generation in coupled plasmonic waveguide

Marzieh Asadniayefardejahromi, SomayeZare

Laser and Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute

Kh.asadnia@gmail.com

Abstract- Designing terahertz resources on a small scale is of great importance. In order to make the best use of terahertz waves, these waves must be generated in a way that is continuous and coherent. For this reason, most terahertz generation devices use the frequency difference generation (DFG) method. In this paper, the generation and propagation of waves by differential frequency method in metal-air-metal (MAM) has been done and it has been shown that while achieving high efficiency, the applications of generated waves are also more. In this structure, the desired phase sorting, low loss and high gain are achieved.

Keywords: Terahrtz waves- Plasmonic waveguide

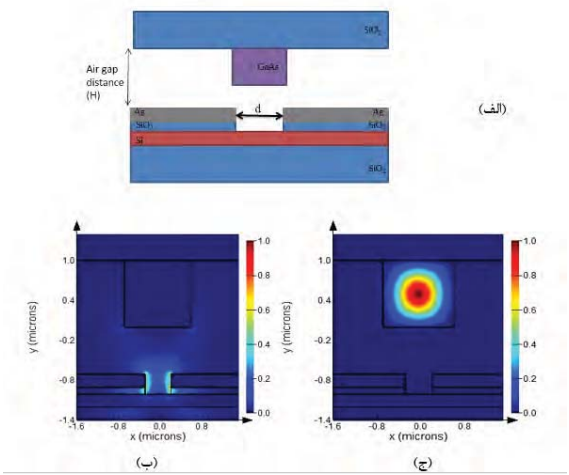
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

امواج تراهرتز (THz) دارای کاربردهای فراوانی در زمینه-های مختلف پزشکی، صنعت، ارتباطات و تصویربرداری است. از این رو طراحی منابع تولید تراهرتز در ابعاد کوچک از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور استفاده بهینه از امواج تراهرتز این امواج باید به روشی تولید شوند که پیوسته و همدوس باشند به همین در دلیل بیشتر دستگاه‌های تولید تراهرتز از روش تولید تفاضل بسامدی (DFG) استفاده می‌شود. در این روش دو پرتو لیزری پیوسته با بسامدهای ω_1و ω_2 در یک بلور غیرخطی مخلوط می شوند تا بسامد تراهرتز از رابطه-یω_{THz}،$\omega_1-\omega_2$=حاصل شود. در این روش، شرط جورشدگی فاز لازمه‌ی تولید موج تفاضلی است. تولید این امواج از طریق روش DFG در کریستال‌های حجیم نظیرGaAs، LiNbO3 و ZnTe نیز حاصل شده است، اما استفاده از موجبرها موجب کسب توان تولید بسامدی بیشتر و در نتیجه بهره‌ی بالاتر می‌شود. در این مقاله راجع به طراحی، شبیه سازی و مشخصه‌یابی میکرو و نانو موجبرهای نوری که با طراحی مناسب ابعاد موجبر و انتخاب صحیح جنس قطعات تشکیل دهنده دارای پاسخ غیر خطی هستند و می‌توانند شرایطی را برای تولید امواج THz فراهم کنند، می‌پردازیم. شبیه‌سازی و بدست آوردن داده‌های اصلی مانند ضرایب شکست و پاشندگی موجبرها با روش FDTD انجام می‌شود و در تمام محاسبات موج دمش تخت در نظر گرفته می‌شود و از شرط مرزیPML استفاده می‌شود.

محاسبات عددی و مدل‌سازی

در سالهای اخیر تلاش‌های زیادی برای یافتن روش‌های نوین تولید و انتشار امواج در فرکانس تفاضلی در فلز-هوا- فلز[1](MAM) انجام گرفته است [۱] و نشان داده شده است که ضمن دستیابی به بهره‌ی بالا، کاربردهای امواج تولید شده نیز بیشتر است [۲و۳]. در این مقاله محاسبات بر روی ساختار موجبرپلاسمونی پیوندی، به منظور بررسی نحوه‌ی تولید و انتشار این امواج در MAM ، انجام می‌گیرد و نشان داده می‌شود در این ساختار نیز جورشدگی فاز مطلوب، اتلاف کم و بهره بالا حاصل می-شود. شکل ۱ سطح مقطع موجبر معلق پلاسمونی پیوندی را نشان می‌دهد. این موجبر شامل دو تیغه سیلسکونی است که در فاصله H از هم واقع شده‌اند. بلور غیر خطی GaAs به تیغه بالایی متصل است و هدایت موج اپتیکی و فعالیت غیرخطی را بر عهده دارد. بر روی قطعه سیلیکونی پایینی, نوار سیلیس و پیوند فلز-سیلیکون قرار دارد و هدایت موج تراهرتز در آن صورت می‌گیرد. توزیع شدت موج اپتیکی در ۱/۵۵ mμ و موج تراهرتز در ۰/۶۱ THz در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: الف) سطح مقطع موجبر معلق پلاسمونی پیوندی ب) توزیع شدت موج اپتیکی در ۱.۵۵ mμ ج) موج تراهرتز در ۰/۶۱ THz

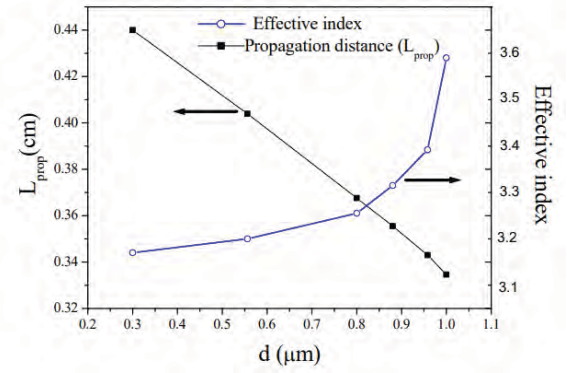
همانطور که گفته شد هدف از طراحی این موجبر بررسی نحوه‌ی تولید و انتشار این امواج در MAM است به

[1]Metal-air-metal

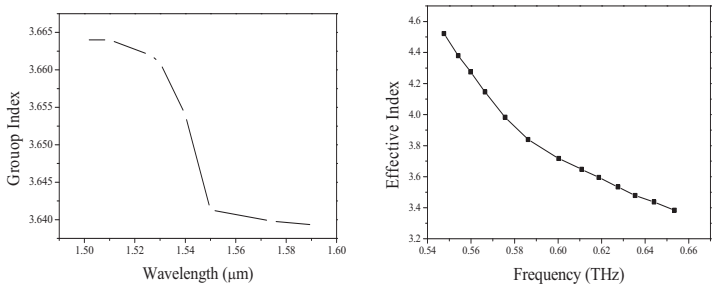
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

همین منظور از نحوه پیکربندی موجبرهای پیوندی بهره می‌گیریم. برای هدایت موج دمش بلور GaAs در نظر گرفته می‌شود و مکان قرارگیری آن اصولاً باید در نزدیکی محل انتشار موج تراهرتز باشد تا بدین ترتیب عامل همپوشانی عدد بزرگتری بدست آید اما مشکلی که پیدا می‌شود این است که در اینصورت حضور فلز موجب القای اتلاف در انتشار موج دمش می‌شود. برای کاهش اتلاف، ابعاد بلور غیر خطی را در اندازه‌ای انتخاب می‌کنیم که موج دمش کاملاً در آن محدود شود و اتلاف ناشی از فلز به حداقل مقدار ممکن برسد. ضخامت فلز $\mu 200\,m$ در نظر گرفته می‌شود و محاسبات بر روی بررسی شرایط جور شدگی فاز انجام می‌شود. جهت کریستال GaAs را نیز به گونه‌ای تنظیم می‌کنیم که جهت [۱ ۱ ۰] آن در راستای محورyوجهت [۰ ۰ ۱] آن در راستای محور xباشد. در این حالت قطبش میدان الکتریکی امواج تراهرتز درجهتx می شود و از مؤلفه‌ی $\chi^{(2)}$ تانسور $d_{14} = 46.1 \frac{pm}{v}$ گالیم آرسنایدبرای تولید بسامد تفاضلی استفاده می‌شود.

پس از انتخاب هندسه و ابعاد موجبر، محاسبات برروی مشخصه‌های انتشار دو موج نوری و تراهرتز به روش FDTD انجام می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد ناحیه‌ی مدی مؤثر اپتیکی $A_{Optical}^{eff} = 0.702(\mu m)^2$ و موج تراهرتز $A_{THz}^{eff} = 4.201(\mu m)^2$ است. همانطور که گفته شد این ساختار به گونه‌ای طراحی شده است که مد اپتیکی به طور مؤثر در GaAs هدایت شود و موج تراهرتز در موجبر پایینی هدایت شود. مزیت این ساختار این است که به منظور کاهش اتلاف در ناحیه تراهرتز، طراحی به گونه‌ای انجام گرفته که موج تراهرتز در فلز و هوا منتشر شود. فاصله‌ی انتشار L_{prop} و ضریب شکست مؤثر این موجبر بر حسب فاصله دو پیوند در شکل ۲ رسم شده است. شکل ۳ تغییرات ضریب شکست گروه اپتیکی بر حسب طول موج و همچنین تغییرات ضریب شکست مؤثر موج تراهرتز را بر حسب بسامد نشان می‌دهد. در شکل۳ دیده می‌شود که منحنی تغییرات ضریب شکست مؤثر نسبت به بسامد تراهرتز روند غیر خطی دارد. از آنجایی که تغییرات این ضرایب مرتبط با تغییرات پاشندگی است پاسخ را می‌توان در رفتار پاشندگی موج تراهرتز جستجو کرد. قسمت حقیقی ثابت پاشندگی برای موج‌های دمش و تراهرتز در شکل ۴ رسم شده است. نتایج بدست آمده با روش FDTD نشان می‌دهد که تغییرات ثابت پاشندگی برای موج دمش خطی است در حالی که برای موج تراهرتز این تغییرات غیر خطی است.



شکل ۲: فاصله‌ی انتشار و ضریب شکست مؤثر موجبر پلاسمونی پیوندی



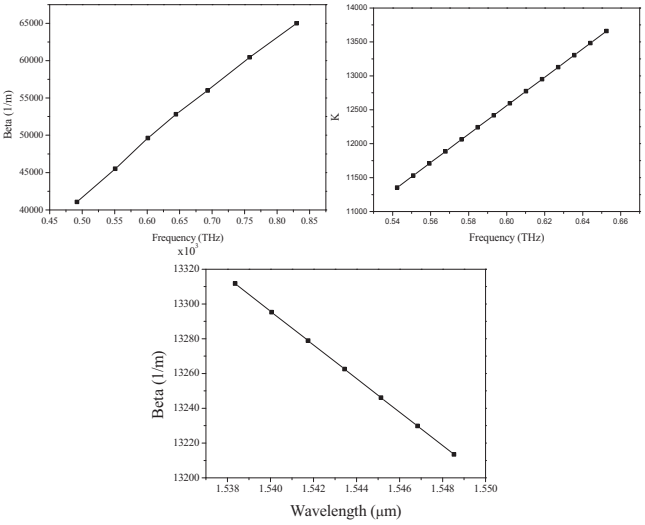
شکل ۳: الف) تغییرات ضریب شکست گروه اپتیکی بر حسب طول موج ب) تغییرات ضریب شکست مؤثر موج تراهرتز بر حسب بسامد

بعد از انجام محاسبات لازم، به بررسی شرط جورشدگی فاز می‌پردازیم. به عنوان مثال هنگامی که فاصله دو پیوند ۳۰۰nm باشد برای تولید بسامد ۰/۶ THz ضریب

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

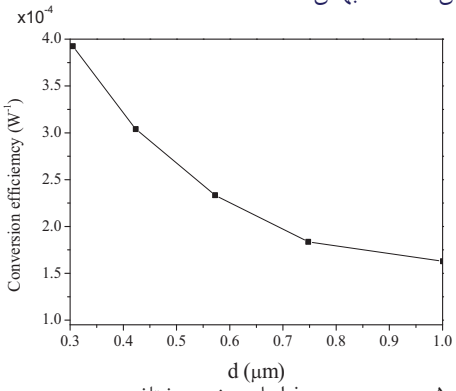
شکست مؤثر برابر با n_{THz}=۳/۵۶ است که باید با ضریب شکست گروه اپتیکی n_g برابر باشد و این مقدار ضریب شکست گروه در طول موج مرکزی λ=۱/۵۴ μm دیده می‌شود. با در نظر گرفتن اینکه تفاضل بسامدهای دو طول موج باید ۰/۶ THz باشد مقدار دقیق دو طول موج دمش λ_1=۱/۵۴۲ μm و λ_2=۱/۵۴۷ μm بدست می‌آید.

نمودار پاشندگی موج تراهرتز در خلاء و در موجبر و همچنین نمودار پاشندگی موج اپتیکی در شکل ۴ رسم شده است.



شکل ۴ الف) نمودار پاشندگی موج تراهرتز در موجبر ب) نمودار پاشندگی موج تراهرتز در خلاء ج) نمودار پاشندگی موج اپتیکی در موجبر پلاسمونی پیوندی

در شکل ۵نتایج محاسبه مقدار بهره نمایش داده شده است و دیده می‌شود که در این وسیله به بیشترین مقدار بهره $\eta = 3.95\times10^{-4}(W^{-1})$ می‌توان دست یافت. همچنین در فواصل پیوندی بزرگتر، همانطور که قبلاً هم گفته شد، بدلیل اینکه میزان اتلاف افزایش می‌یابد میزان بهره نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۵: بهره‌ی موجبردر فواصل پیوندی مختلف

نتیجه‌گیری

در این مقاله نحوه تولید امواج تراهرتز در ساختار فلز-هوا-فلز در یک موجبر کم اتلاف پیوندی محاسبه و بررسی شده است. مشخصه‌های نوری موجبر مانند ضریب شکست و ضریب گروه و فاصله انتشار با روش FDTD محاسبه و نمایش داده شده است و در نهایت با بررسی جورشدگی فاز موجبر، بهره برای فواصل مختلف پیوندی محاسبه شده است و و دیده می‌شود که در این وسیله به بیشترین مقدار بهره $\eta = 3.95\times10^{-4}(W^{-1})$ می‌توان دست یافت.

مرجع‌ها

[1] Hamid Reza Zangeneh and Marzieh AsadniaFardJahromi, "Terahertz wave generation by nanoconfinement of light," Appl. Opt. 53, 1826-1831 (2014)

[2] Zhang, Q., Qi, J., Wu, Q. et al. Surface enhancement of THz wave by coupling a subwavelength $LiNbO_3$ slab waveguide with a composite antenna structure. Sci Rep 7, 17602 (2017).

[3] Montasir Qasymeh" Terahertz Generation in Nonlinear Plasmonic Waveguides," IEEE Journal of Quantum Electronics 52(4):1-1(2019)

[4] R. C. Dunn, "Near-Field Scanning Optical Microscopy" hem. Rev. 99

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