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

کد مقاله : ۲-۲۴۶۷-۱۰-A

تولید امواج تراهرتز در نانوموجبر پلاسمونیک

مرضیه اسدنیای فرد جهرمی، سمیه زارع

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، امیرآباد شمالی

Kh.asasdnia@gmail.com

چکیده - در این مقاله طراحی و شبیه سازی منحصر به فرد از یک نانو موجبر پلاسمونیک با محدود سازی نور در ابعاد نانومتری، به منظور تولیدامواج تراهرتز تنظیم‌پذیر معرفی می‌گردد. محاسبات انجام شده با روش تفاضل محدود نشان می‌دهد که نانو موجبر حاضر، قادر به تولید امواج تراهرتز با بهره $\eta_p = 6.1\times10^{-5}W^{-1}$ است. این مقدار ۵ برابر بیشتر از موجبرهای دی‌الکتریک میکرومتری است.

کلید واژه- امواج تراهرتز- موجبر دی الکتریک- امواج پلاسمونیک

Terahertz generation in nonlinear plasmonic nano-waveguide

Marzieh Asadniayefardejahromi, SomayeZare

Laser and Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, I. R. I

Kh.asadnia@gmail.com

Abstract- In this paper, a unique design and simulation of a plasmonic nano waveguide with limitation of light in nanometer dimensions in order to produce adjustable terahertz waves is introduced. Calculations performed with the Finite Difference Time method show that the present nano waveguide is able to generate terahertz waves with gain. This is 5 times more than micrometer dielectric waveguides.

Keywords: Terahrtz waves- Dielectric waveguide- Plasmonic waves

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

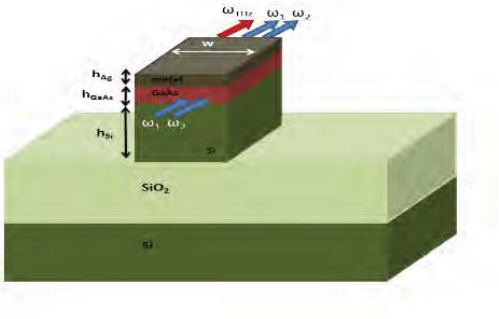
مقدمه

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. ساخت منابع تولید امواج تراهرتز با بهره‌گیری از مزیت محدود سازی نور در ابعاد نانومتری، علاوه بر اینکه شرایط لازم را برای یک منبع در ابعاد کوچک فراهم می‌سازد، بهره‌ی تولید امواج تراهرتز را نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.چالش تولید بسامد تفاضلی در این نوع موجبر تنها شرط جورشدگی فاز نیست بلکه باید شرایطی در موجبر فراهم شود که موج نوری بتواند در ابعاد بسیار کوچک متمرکز شود ضمن اینکه موج تراهرتز تولید شده نیز بتواند با حداقل اتلاف منتشر شود. محدود شدن و هدایت نور در ابعاد بسیار کوچک نانومتری اخیراً مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و در ساختارهای مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است[۳-۱]. محدود سازی نور در ابعاد نانومتریکی از پدیده های مرتبط با مبحث اپتیک میدان نزدیک است که براثر برهمکنش پلاسمونی نور و فلز ایجاد می‌شود. در مبحث اپتیک میدان نزدیک پدیده های نوینی که امواج الکترومغناطیسی میرا در ابعاد زیر طول موجی بر جای می‌گذارند، بحث می‌شود[۴].

در این مقاله، شبیه‌سازی و داده‌های اصلی مانند ضرایب شکست و پاشندگی موجبرها با روش *FDTD* انجام می-شود و در تمام محاسبات موج دمش تخت در نظر گرفته می‌شود و از شرط مرزی*PML* استفاده می‌شود.

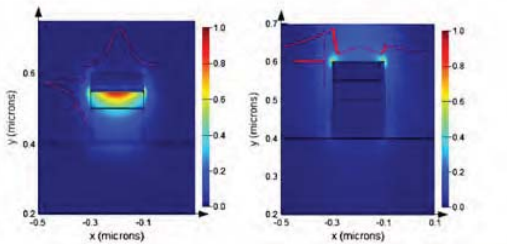
مدل‌سازی و شبیه‌سازی

شکل ۱ سطح مقطع موجبر پلاسمونی پیشنهاد شده برای تولید امواج *THz* همدوس با استفاده از متمرکز کردن موج نوری را نشان می‌دهد. موجبر شامل یک نوار سیلیکون بر روی عایق است که بر روی آن یک لایه*GaAs* با سرپوش فلز نقره قرار دارد.



شکل ۱: سطح مقطع موجبر پلاسونیک $h_{Si}=100nm$, $h_{GaAs}=50nm$, $w=100nm$.

نحوه انتخاب ابعاد موجبر به شرح زیر است. محدود سازی و هدایت نور در ابعاد نانومتری عمدتاً تحت تأثیر ابعاد *GaAs* و فلز قرار دارد بنابراین ابتدا به تعیین ابعاد این دو می‌پردازیم. هنگامی که ضخامت نقره $h_{Ag}=100nm$ در نظر گرفته شود و ضخامت *GaAs* بیشتر از ۵۰ *nm* باشد مد نوری اصلی در *Si* محدود می‌شود و موجبر رفتاری مانند یک موجبر معمولی خواهد اشت. اما هنگامی که ضخامت کمتر از *50 nm*باشد فلز باعث متمرکز شدن نور در *GaAs* می‌شود. محاسبات ما نشان می‌دهد هنگامی که ضخامت فلز بیشتر از ۱۰۰ *nm* باشد کیفیت تمرکز نور در *GaAs* کاهش می‌یابد. شکل (۲) توزیع شدت را در موجبر برای هر دو موج نوری و *THz* نشان می‌دهد.

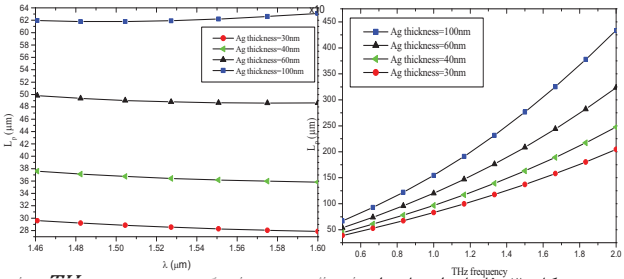


شکل ۲: توزیع شدت برای الف) مد نوری در $\lambda=1/5\ nm$ ب)مد تراهرتز در THz ۰/۸ ، هنگامی که $hAg=100\ nm$

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

پس از انتخاب هندسه و ابعاد موجبر، محاسبات برروی مشخصه‌های انتشار دو موج نوری و تراهرتز به روش *FDTD* انجام می‌گردد. یکی از مشخصه‌هایی که در موجبرهای پلاسمونی مورد بررسی قرار می‌گیرد فاصله انتشار است که آن را با *Lp* نشان می‌دهند و به صورت $L_p = \frac{1}{n_{im}K_0}$ تعریف می‌شود که در آن n_{im}قسمت موهومی ضریب شکست مؤثر و K_0 عدد موج در خلاء است. موجبرهای پلاسمونی معمولی فاصله انتشار حدود چند میکرون دارند اما دراین ساختار دیده می‌شود فاصله انتشار را می‌توان تا چند ده میکرون افزایش داد. شکل ۳ فاصله انتشار را برای هر دو موج اپتیکی و *THz* برای ضخامت‌های مختلف فلز نقره نشان می‌دهد.

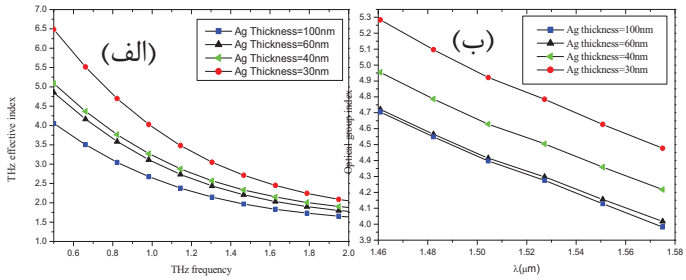
(ب) (الف)



شکل ۳: فاصله انتشار را برای الف) موج اپتیکی و ب) موج *THz* برای ضخامت‌های مختلف نقره

بررسی جور شدگی فاز

جهت گیری بلور *GaAs* مانند قبل در نظر گرفته می¬شود و فرض می‌شود دو موج نوری در راستای *y* قطبیده باشند در نتیجه موج *THz* تولید شده مطابق با جورشدگی فاز نوع *I* در راستای *x* خواهد بود و ضریب غیر خطی $d_{eff}=d_{14}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور رسیدن به بیشترین مقدار بهره در تبدیل بسامد، لازم است شرط جورشدگی فاز برقرار شود به عبارت دیگر $n_g=n_{THz}$که در آن $n_{THz} = c\beta_3/\omega_3$. ضریب شکست گروه نوری و ضریب شکست مؤثر موج *THz* در ضخامت‌های مختلف فلز نقره در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: الف) ضریب شکست گروه نوری و ب) ضریب شکست مؤثر موج *THz* برای ضخامت‌های مختلف فلز نقره

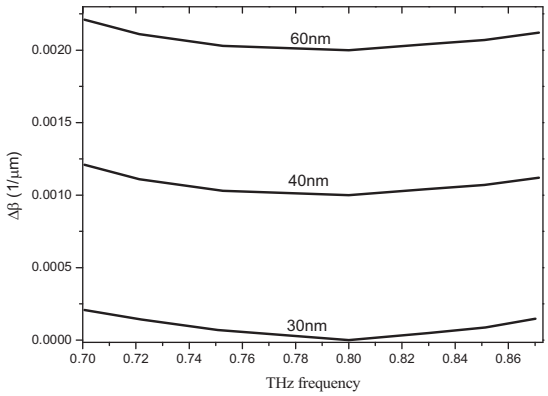
همانطور که در شکل ۴الف، دیده می‌شود برای ضخامت-های ۶۰ nm و بیشتر مقدار ضریب شکست گروه نوری تقریبا یکسان است. دلیل این امر آن است که در این ضخامت‌ها تمرکز نور به طور مؤثرتر صورت می‌گیرد(موج دمش بیشتر در ابعاد نانو محدود می‌شود) و در نتیجه ضریب شکست گروه در این ضخامت‌ها دچار تغییرات قابل مشاهده‌ای نمی‌شود. در شکل ۴ ب، دیده می‌شود که با افزایش ضخامت نقره ضریب شکست مؤثر کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش آن است که هنگامی که ضخامت فلز کم باشد موج *THz* در اطراف فلز ، هوا، *Si*وGaAs منتشر و دچار افت شدت می‌شود و در نتیجه میزان اتلاف بالاست. اما هنگامی که ضخامت به اندازه کافی زیاد باشد برانگیزش دسته جمعی پلاسمون‌ها به حدی می‌رسد که می‌تواند این موج را طور عمده در اطراف فلز متمرکز نگه دارد و در نتیجه ضریب شکست مؤثر آن تحت تأثیر هوا و فلز قرار می‌گیرد و مقدار آن کمتر از حالت قبل می‌شود.

در شکل ۵ دیده می‌شود که پاشندگی موجبر در هر دو رژیم نوری و تراهرتز تحت تأثیر فلز نقره قرار دارد. با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده، نمودار شبه جور شدگی فاز $\Delta\beta$ برای ضخامت‌های مختلف فلز نقره در بسامد مرکزی λ=۱/۵۲μm رسم شده است.

توان خروجی از موجبر هنگامی که جورشدگی فاز کامل برقرار نباشد از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

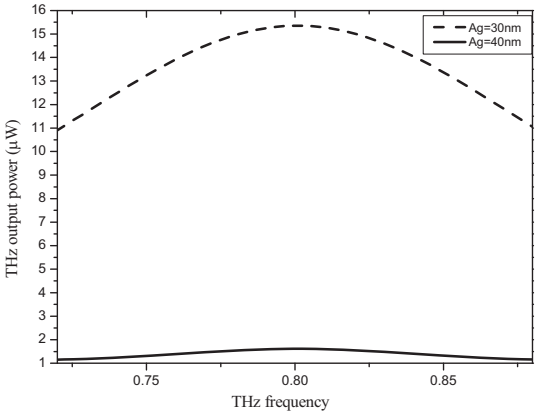
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

$$P_{THz}=\frac{A_{THz}^{eff}}{(A_{optical}^{eff})^2}(d\Gamma)^{\frac{3}{2}}\frac{P_1P_2\Omega_{THz}^2}{n_1n_2n_{THz}}\left(\frac{e^{\frac{-\alpha_{THz}L}{2}+i\Delta\beta L}-1}{\frac{\alpha_{THz}}{2}+i\Delta\beta}\right)^2$$



شکل ۵: نمودار شبه جورشدگی فاز $\Delta\beta$ برای تولید THz ۰/۷ تا THz ۰/۸۶ در طول موج مرکزی μm ۱/۵۵ در ضخامت‌های مختلف نقره.

نمودار توان تراهرتز خروجی طبق رابطه(۱)در شکل ۶ رسم شده است و دیده می‌شود در ضخامت‌هایی که مقدار جور ناشدگی کمتر است میزان توان خروجی بیشتر است.



شکل ۶: نمودار توان تراهرتز خروجی.$p_1=p_1=50\mu W$

بهره تبدیل بسامداز رابطه $\eta_p = {P_3}/{(p_1p_2)}$ به‌دست می‌آید و مقدار برای موجبر طراحی شده برابر با $\eta_p=6.1\times10^{-5}W^{-1}$ است. این مقدار ۵ برابر بیشتر از موجبرهای دی‌الکتریک میکرومتری است.

نتیجه گیری

در اینمقاله نحوه‌یمحدود سازی نور در ابعاد نانومتر و تولید امواج THzبا روش تولید فرکانس تفاضلی، بحث و شبیه-سازیشده است. این نوع موجبر، ضمن انتقال نور در فرکانس‌هایمتفاوت، مولد فرکانس THz نیز هست و از آن می‌توان به عنوان منبع تولید امواج THzهمدوس و عمدتاً کوک‌پذیر در ابعاد بسیار کوچک استفاده نمود. پارامترهای اپتیکی موجبر نظیر ثابت انتشار، پاشندگی و اتلاف از طریق روش تفاضل متناهی در حوزه زمان مشخصه‌یابی شده‌اند و دیده می‌شود که انتخاب صحیح جنس اجزای موجبر و همچنین هندسه و ابعاد اجزای موجبر و نیز نحوه چیدمان آنها از جمله عامل‌های مهم و تعیین کننده در پاسخ موجبر به نور فرودی است.

مرجع‌ها

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

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

[3] 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)

[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.