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 : ۱-۲۵۵۸-۱۰-A

بهبود عملکرد و بررسی عمق کانونی فرالنز دی‌الکتریک با فرااتم‌های صلیبی‌شکل

الهه بازوبند[۱و۲]، مهدیه هاشمی[۱] و فاطمه بازوبند[۱]

[۱]گروه فیزیک- دانشکده علوم پایه -دانشگاه فسا- ایران

[۲]دانشگاه جامع علمی کاربردی منطقه ویژه پارس جنوب-عسلویه- ایران

با توجه به کاربرد عمده فراسطوح با ابعاد کوچک در کانونی کردن نور فرودی، در این مقاله بررسی تعداد حداقلی از فرااتم ها جهت تشکیل کانون در محل مناسب و با شدت مورد قبول انجام شده است. فرااتم های بکار رفته در فرالنز پیشنهادی این مقاله از جنس سیلیکون و به شکل صلیب بوده که پوشش فازی کامل ۰ تا 2π را فراهم می سازند.از نتایج شبیه سازی دیده می‌شود که در طراحی فرالنزی با فاصله کانونی $15\ \lambda$، حداقل روزنه عددی ۰/۶۸ جهت داشتن کانونی با کیفیت مورد نیاز می باشد. پس از یافتن تعداد فرااتم های مورد نیاز جهت کانونی کردن موثر نور، شاهد عمق کانون بیشتر برای فواصل کانونی بزرگتر نیز خواهیم بود.

کلید واژه- فرااتم، فرالنز، فاصله کانونی، روزنه عددی، عمق کانونی

Focusing improvement and depth of focus investigation of a dielectric Metalens with cross-shaped metaatoms

Elahe Bazouband[1,2], Mahdieh Hashemi[1], and Fatemeh Bazouband[1]

[1]Department of Physics, College of Science, Fasa University, Fasa 74617-81189, Iran
[2]Pars Especial Economic Zone University of Applied Science, Asaluye, Iran
elahe.bazouband.68@gmail.com

Considering the wide range applications of small metasurfaces in light focusing, in this paper effect of the included number of metaatoms and consequently metalens's diameter on the focusing quality is considered.The results indicate that the number of metaatoms cannot be less than that is required to focus the incident light in a suitable place with an acceptable intensity.Metaatoms that are used in our proposed metalensin this paper are silicon cross-shaped on a silica substratethatprovide a complete phase coverage between0 to 2π. Simulation results show that for the designed metalens with focal length of 15 λ, the least numerical aperturevalue of 0.68 is required to have an acceptable quality of the focal spot. Using the required number of metaatoms, effect of the focal length on the focal depth isalso studied. It is observed that for larger focal lengths, the focal depth will be longer.

Keywords:Metaatom, Metalens, Focal distance, Numerical aperture, Depth of focus

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

مقدمه

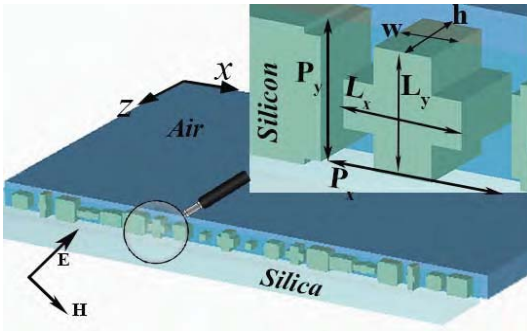
ابعاد کوچک و طیف گسترده طول موج کاری فراماواد، این ساختارهای مصنوعی را به قطعاتی مناسب برای کنترل جبهه موج امواج الکترومغناطیسی تبدیل کرده است[1]. فراسطوح، چیدمان دوبعدی از فراماواد می‌باشند که ضخامت آنها از طول موج نور فرودی کوچکتر می‌باشد[2]. اجزای سازنده فراسطوح، فرااتم‌ها می‌باشند که به واسطه تحریک دوقطبی‌های الکتریکی و مغناطیسی در آنها فاز، دامنه و قطبش موج الکترومغناطیسی فرودی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. فرااتم‌های دی‌الکتریک با توجه به مقاومت اهمی پایین آنها گزینه مناسبی جهت کنترل جبهه موج فرودی می‌باشند. در این مقاله با استفاده از فرااتمهای سیلیکونی صلیبی شکل، موج فرودی با طول موج ۷۰۰نانومتر را کانونی می‌کنیم.

کاربرد گسترده فرا سطوح برای کانونی کردن نور فرودی و به کارگیری آن در میکروسکوپها، دوربینها و صفحات نمایش[3] ما را برآن داشت در این مقاله به بررسی کمینه گستردگی مورد نیاز در طراحی یک فرالنز بپردازیم. نتایج مشاهده شده حاکی از آن است که حداقلی از روزنه عددی (~ 0.68) در طراحی فرا لنز بایستی در نظر گرفته شود تا کانون در محل پیش‌بینی شده و با شدتی قابل قبول به وجود بیاید. با درنظر گرفتن تعداد مناسبی از فرااتم ها در چیدمان لنز، مشاهده گردید در فواصل کانونی بزرگتر عمق کانون بیشتر می شود. افزایش تعداد متااتم های به کار رفته در سهمی مرکزی پروفایل فازی هایپربولیک لنز، دلیل دستیابی به عمق کانون بیشتر در فواصل کانونی بزرگتر است.

$$\varphi(x) = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\sqrt{(x^2+f^2)}-f\right) \quad (1)$$

تاثیر قطر فرالنز بر کیفیت کانون

شکل ۱ نمایی از فرالنز طراحی شده را نشان میدهد که از کنار هم قرار گرفتن فرااتم های سیلیکونی صلیبی شکل ساخته شده است. نور فرودی با طول موج $\lambda = 700\ nm$ از سمت زیرلایه سیلیکا با میدان الکتریکی قطبیده در راستای x فرااتم های سیلیکونی را روشن کرده و سپس در خلا انتشار پیدا می کند. ضریب شکست موثر فرااتمها نه تنها به ضریب شکست مواد سازنده آنها بلکه به ابعاد و هندسه آنها نیز وابسته است. در این مقاله، فرااتم های سیلیکونی با دوره تناوب $P_x = P_y = 360\ nm$، ارتفاع $h = 200\ nm$ و $w = 180\ nm$ انتخاب شده‌اند. جهت دستیابی به کنترل کامل فاز و دامنه نور فرودی طول صلیب در راستای x و y (L_x و L_y) را در محدوده 90 تا 350nm و در بازه های 3nm تغییر

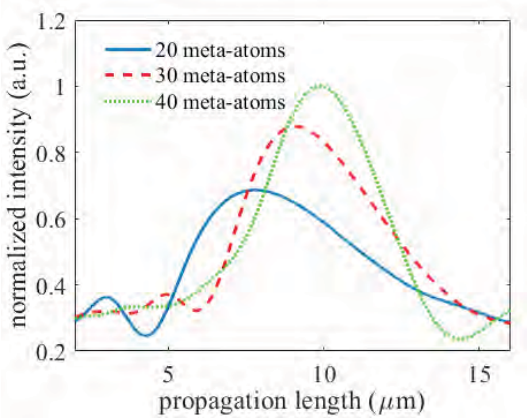


شکل ۱: نمای کلی ساختار فرالنز

داده و فاز و دامنه میدان الکتریکی در راستای قطبش فرودی را ثبت نموده‌ایم. جهت محاسبه فاز و دامنه نور عبوری در شبیه سازی، فرااتم ها در راستای x و y تکرار می شوند. بررسی نمودار توزیع میدان در فرااتم ها حاکی از برانگیزش موثر دوقطبی و چهارقطبی های الکتریکی و مغناطیسی در آنها می باشد که شرط لازم پوشش کامل فازی توسط فرااتم ها است. چینش فرااتم ها در کنار یکدیگر و در راستای x براساس رابطه فازی هایپربولیک عدسی همگرا:

انجام می شود[4]. اتم های چیده شده در ساختار فرالنز در راستای y تکرار شده و در راستای x از طرفین توسط سطوح مرزی خاتمه می یابند.

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

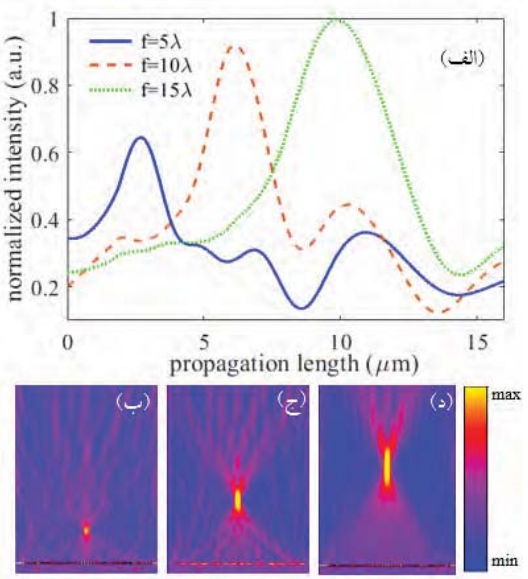


شکل ۲: کانونی شدن نور در فاصله 15λ برای تعداد متفاوتی از فرااتم ها که در ساخت فرالنز بکار رفته‌اند.

جهت یافتن کمینه تعداد لازم از فرااتم ها در ساخت یک فرالنز، در شکل (۲) لنزی با فاصله کانونی $f = 15\ \lambda$را بررسی می نماییم.در این شکل، نمودار های آبی، قرمز و سبز به ترتیب برای ساختار فرالنزهایی شامل ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متااتم رسم شده اند.لازم به ذکر است که قطر فرالنز(D) برابر با حاصل‌ضرب تعداد فرااتم های بکار رفته در ساخت فرالنز در سایز یک فرااتم($P_x = 360nm$) می باشد. همانطور که مشاهده می شود نمودار سبز رنگ که با تعداد ۴۰ فرااتم در ساختار فرالنزرسم شده است، کانون در محل مناسب و با شدت بهینه تشکیل می شود و برای چیدمان هایی با ۲۰ و ۳۰ متااتم محل کانون نمی باشد. لازم به ذکر است با افزایش تعداد فرااتم ها از ۴۰، تغییری در محل مشاهده نمی‌شود. بدین ترتیب چنانچه فرالنز طراحی شده دارای روزنه عددی کمتر از مقدار تقریبی ۰/۶۸($D/2f=0.68$) باشد، کانونی شدن به صورت موثر انجام نخواهد شد. دانستن کمینه تعداد فرااتم های مورد نیاز برای کانونی کردن نور بخصوص در فواصل دور از لنز ضروری می‌باشد.

تاثیر فاصله کانونی بر عمق کانون

در شکل (۳-الف) توزیع شدت نور عبوری از فرالنزهایی با فواصل کانونی 5λ، 10λو 15λدر راستای انتشار (z) به



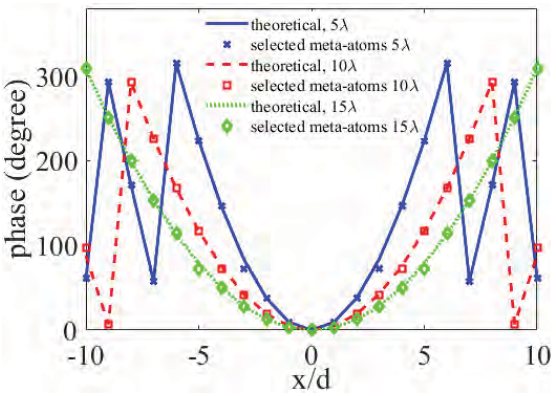
شکل ۳:الف) توزیع شدت در راستای انتشار برای فرالنزهایی با کانون 5λ، 10λو 15λ. توزیع میدان فرالنز با کانون ب) 5λج) 10 و د) 15λ.

ترتیب با رنگهای آبی، قرمز و سبز دیده می شود. عمق کانون که به صورت پهنای نمودار در نصف مقدار ماکسیمم (FWHM) تعریف می شود برای کانون های 5λ، 10λو 15λ به ترتیب برابر با $1/2\ \mu m$، $2/1\ \mu m$ و $3/5\ \mu m$ است. توزیع میدان های عبوری از فرالنزهایی با فواصل کانونی 5λ، 10λو 15λ در شکل های (۳-ب)، (۳-ج) و (۳-د) نیز افزایش عمق کانون با افزایش فاصله کانونی را به خوبی نشان میدهد.

برای درک دلیل افزایش قابل ملاحظه عمق کانون با فاصله کانونی به سراغ نمودار رابطه فازی حاکم بر فرااتم های چیده شده در این فرالنزها می رویم. لازم به ذکر است که در نمودار شکل (۴) به جهت وضوح بیشتر، تنها فاز حاکم بر تعداد محدودی از فرااتم ها نشان داده شده است (تعداد ۲۰ فرااتم از کل ۴۰ فرااتم بکار رفته در طراحی لنزهای شکل (۳)). در این شکل نمودار فازی حاکم بر لنزهایی با کانون 5λ، 10λو 15λ از رابطه (۱) به ترتیب با رنگ آبی، قرمز و سبز نشان داده شده است. فرااتم های انتخابی برای هر فرالنز به همان رنگ روی نمودار نشان داده شده است.

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

انطباق خوبی بین فاز محاسبه شده از رابطه تئوری (۱) و فرااتم های انتخابی در هر چیدمان دیده می شود (با دقت ۶ درجه). همانطور که در شکل دیده می شود، سهمی مرکزی فرالنزی با فاصله کانونی 15λ گسترگی بیشتری نسبت به کانون های کوچکتر داشته که به نوبه خود باعث کانونی شدن پرتوها در گستره بیشتری حوالی نقطه کانونی میشود. این امر دلیل افزایش عمق کانون در فواصل کانونی بیشتر است.



شکل ۴:نمودار فاز فرالنزهایی با کانون 5λ، 10λو 15λ و فرااتم های انتخابی در چیدمان این فرالنزها

نتیجه‌گیری

در بررسی اولیه روی تعداد فرااتم های بکار رفته در ساختار یک فرالنز نشان دادیم تعداد کمینه‌ای از فرااتم ها جهت کانونی‌کردن موثر نور در یک نقطه مورد نیاز است. برای فرالنزی با کانون 15λ نتایج مشاهده شده حاکی از آن است که حداقل روزنه عددی مورد نیاز به اندازه ۰/۶۸ در طراحی فرالنز بایستی در نظر گرفته شود تا کانون در محل پیش‌بینی شده و با شدت قابل قبول به وجود بیاید. با بکارگیری تعداد مناسب از فرااتم ها در چیدمان لنز، دیده شد که برای فواصل کانونی بزرگتر عمق کانون بیشتر خواهد بود. دلیل این افزایش عمق کانونی تنوع فازی بیشتر موجود در سهمی مرکزی توزیع فازی هایپربولیک فرالنزی با کانون بزرگتر می باشد.

مرجع‌ها

[1] X. Fu, T.J. Cui, “Recent progress on metamaterials: From effective medium model to real-time information processing system”,Prog. Quantum. Electron, Vol. 67, pp. 100223, 2019.

[2] A.C. Overvig, S. Shrestha, S.C. Malek, M. Lu, A. Stein, C.Zheng, N. Yu “Dielectric metasurfaces for complete and independent control of the optical amplitude and phase”, Light: Science & Applications , Vol. 8, pp. 92, 2019.

[3] J. Xue, et. al, "All-dielectric metalens for terahertz wave imaging," Opt. Express, Vol. 26, pp. 14132-14142, 2018.

[4] M. Hashemi, A. Moazami, M. Naserpour, C.J. Zapata-Rodríguez “A broadband multifocal metalens in the terahertz frequency range”, Optics Communications, Vol. 370, pp. 306-310,2016.

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