



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



خواص تصویرگیری غربال فوتونی با توزیع گاوسی چگال

ثریا جعفری، آرش ثابتیان و محمد رضا فصیحانی فرد

گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده- در این مقاله خواص تصویرگیری عنصر پراشی غربال فوتونی با توزیع گاوسی چگال و خاصیت چند کانونی بودن این عنصر نیز بصورت تئوری و تجربی بررسی شده است. خواص تصویرگیری این عنصر پراشی در کانون اصلی برای توزیع گاوسی چگال مختلف با تصویرگیری از خطوط موازی با فرکانس های فضایی مختلف بررسی شده است. نشان داده شد که با افزایش تعداد حلقه های روشن تا یک حد بهینه، تصویر واضح تر می شود. نتایج تئوری و شبیه سازی های کامپیوتری با نتایج تجربی بطور خوبی توافق دارند

کلید واژه- تیغه منطقه ای فرنل، عدسی پراشی، غربال فوتونی

Examination of imaging properties of Gaussian photon sieve

sorayya Jafari, Arash Sabatyan and Mohammad reza Fasihani fard

Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract- in this paper, imaging properties of a " Gaussian-based photon sieve ", and multifocal nature of this type of lens has been investigated theoretically and experimentally. Specifying the main focus of the lens, its imaging properties, in different Gaussian distributions, by imaging of lines with different cuts, is investigated. It was shown that by increasing the number of the cleared zone to optimize an image is clearer. Theory and computer simulation results agree well with the experimental results.

Keywords: Fresnel Zone Plate, Diffraction Lens, Photon Sieve

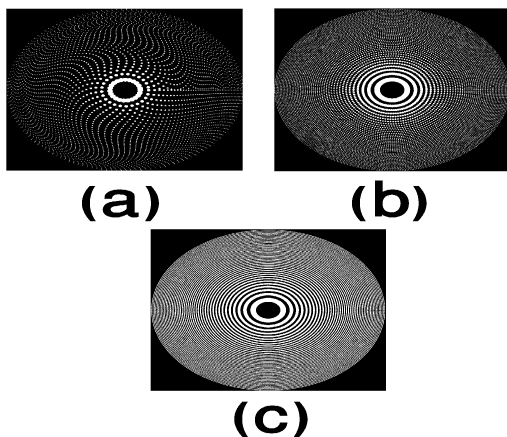
۱-مقدمه

$$u(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \int M(x', y') \exp \left(\frac{ik}{2z} (x - x')^2 + (y - y')^2 \right) dx' dy' \quad (1)$$

که در این مقاله، تابع $M(x', y')$ بوسیله روزنه‌های توزیع روی مناطق فرنل با استفاده از یک تابع گاوسی چگال ساخته شده است. یک توزیع گاوسی در حالت کلی از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$w_n = n_0 e^{-\frac{(r_n - r_0)^2}{\alpha^2}} \quad (2)$$

که r_n شعاع n امین ناحیه، n_0, r_0, α پارامترهایی هستند که توزیع مطلوب را تعیین می‌کنند. توزیع چگال برای غربال فوتونی، توزیعی است که در آن تعداد روزنه‌ها به حدی است که در بعضی از نواحی همپوشانی کامل بین آنها رخ می‌دهد و با انتخاب پارامترهای گاوسی مختلف (n_0, r_0, α) تعداد حلقه‌های روشن مختلف حاصل می‌شود. هفت نمونه از غربال‌های فوتونی با پارامترهای گاوسی $(450, 44, 1000)$ ، $(250, 44, 1000)$ ، $(150, 44, 1000)$ ، $(450, 44, 1000)$ ، $(850, 44, 1000)$ ، $(1000, 44, 1000)$ و $(1200, 44, 1000)$ به ترتیب با ۱، ۲، ۵، ۱۲، ۲۲، ۳۰ و ۴۲ حلقه روشن برای طول موج 632.8 nm و طول کانونی 500 mm و با ۴۴ منطقه فرنلی با استفاده از کد متلب نوشته شده، تولید شد. شکل (۱) سه نمونه از غربال فوتونی با توزیع چگال مختلف روزنه‌ها نشان داده شده است. در این کار هدف پیدا کردن کانون اصلی و بررسی خواص تصویرگیری این نمونه‌ها با استفاده از تصویرگیری از خطوط موازی است.



شکل (۱): نمایشی از ۳ غربال فوتونی گاوسی چگال شبیه‌سازی شده با پارامترهای (n_0, r_0, α) .
a: $(150, 44, 1000)$; b: $(450, 44, 1000)$; c: $(850, 44, 1000)$ که به

تصویرگیری و کانونی کردن اشعه X ، کاربردهای زیادی در علم زیست و فیزیک دارد همانند میکروسکوپ اشعه X با قدرت تفکیک بالا، اسپکتروسکپی، لیتوگرافی. شمار بزرگی از وسایل اپتیکی در ناحیه مرئی هستند که در طول موجهای کوتاه‌تر، اکثر جامدات، جاذب اشعه X هستند. به‌منظور غلبه بر این مشکل، عنصر پراشی به‌نام تیغه منطقه‌ای فرنل (FZP) معرفی شد. تیغه‌های منطقه‌ای، عناصری پراشی هستند که از حلقه‌های دایروی متحدالمرکز با نواحی روشن و تاریک متناوب تشکیل شده‌اند. برای رفع محدودیت قدرت تفکیک، عنصر پراشی دیگری به‌نام غربال فوتونی، معرفی شد. این قطعه پراشی منجر به کاهش مراتب ناخواسته پراش و همچنین باعث کم شدن پهنای لکه مرکزی می‌شود [۱]. اگر در FZP بجای مناطق روشن روزنه‌هایی تعبیه شود، قطعه پراشی حاصل شده، غربال فوتونی (PS) نامیده می‌شود. اخیراً چیدمان بدیعی از روزنه‌ها در PS معرفی شده است که در این چیدمان در بعضی از مناطق روشن روزنه‌ها همپوشانی می‌کنند، این امر منجر به کاهش مراتب ناخواسته پراش و کاهش پهنای کل در نصف بیشینه اصلی می‌شود [۲]. با افزایش تعداد مناطق روشن در PS، بیشینه اصلی باریک‌تر شده و بیشینه‌های ثانویه رشد می‌کنند بطوریکه در نهایت به بیشینه اصلی ملحق می‌شوند و آن را پهن‌تر می‌کنند [۳]. در این مقاله به بررسی خواص تصویرگیری غربال فوتونی با استفاده از تصویرگیری از خطوط در کانون غربال فوتونی و بدست آوردن عدد بهینه مناطق روشن برای تصویر و همچنین خواص چند کانونی بودن این عنصر پراشی و بررسی تصاویر این کانون‌ها به صورت تئوری و تجربی پرداخته شد.

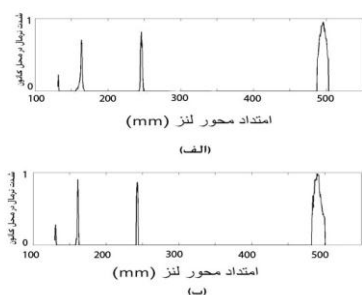
تئوری و شبیه‌سازی

با استفاده از انتگرال فرنل - کیرشهف می‌توان میدان موج پراش یافته از شیئی دلخواه را به‌دست آورد. اگر شیئی با ضریب $M(x', y')$ تحت تابش موج تخت قرار گیرد، دامنه‌ی میدان پراش یافته در فاصله‌ی Z و تقریب فرنل از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود

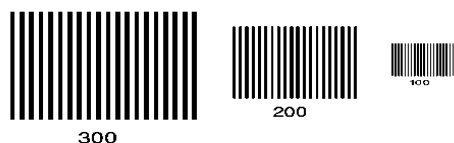
ترتیب با حلقه‌های روشن ۱، ۴، و ۴۲ می‌باشند.

توزیع شدت محل کانون در فاصله‌ی صفر تا ۶۰۰ میلیمتری پشت لنز را نشان می‌دهد.

برای بررسی خواص تصویرگیری غربال‌های فوتونی خطوطی با پهنای ۱۰۰، ۲۰۰، و ۳۰۰ میکرون طراحی شدند. بعد از طراحی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه image setter با رزولوشن ۳۶۰۰ dpi نمونه‌ها روی کاغذ شفاف منتقل شدند. از چیدمانی که در شکل (۷) نشان داده شده است برای تصویرگیری از این خطوط استفاده شد.



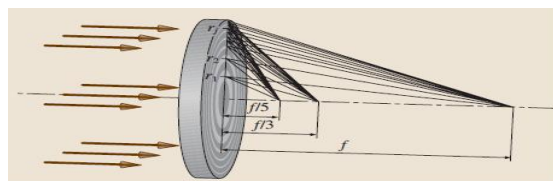
شکل (۴) نمودار تجربی توزیع شدت کانون‌های لنز پراشی بر حسب فاصله‌ی این کانون‌ها از پشت لنز پراشی برای (الف) نمونه‌ی a و (ب) نمونه‌ی c در $z=500\text{mm}$ پشت لنز پرشدت‌ترین کانون (کانون اصلی) لنز پراشی مشاهده می‌شود



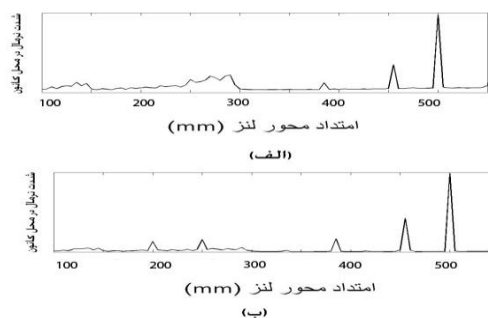
شکل (۵) نمایشی از خطوط طراحی شده با پهنای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرون که از این خطوط با لنزهای پراشی طراحی شده تصویر گرفته شده است.

تصاویر گرفته شده از سه غربال فوتونی شکل (۱) با پارامترهای گوسی a (۱۰۰۰ و ۴۴۰ و ۱۵۰) و b (۱۰۰۰ و ۴۴۰ و ۶۵۰) و c (۱۰۰۰ و ۴۴۰ و ۱۲۰۰) در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

تیغه‌ی منطقه‌ی ای فرنل یک لنز پراشی چند کانونی است که کانون‌ها در کسرهای فردی از فاصله‌ی کانونی تشکیل می‌شود (شکل ۲). نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تا فاصله حدود ۵۰۰ میلیمتری از پشت لنز چهار کانون برای این لنزها بدست می‌آید. نمودار شدت لکه مرکزی کانون در فواصل مختلف پشت لنز توسط شبیه‌سازی رسم شد، شکل (۳). در طراحی این عناصر طول کانون ۵۰ سانتیمتری در نظر گرفته شده است و همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود پرشدت‌ترین کانون نیز در فاصله‌ی ۵۰ سانتیمتری پشت لنز تشکیل می‌شود. این نتیجه برای همه‌ی نمونه‌ها تکرار شد.



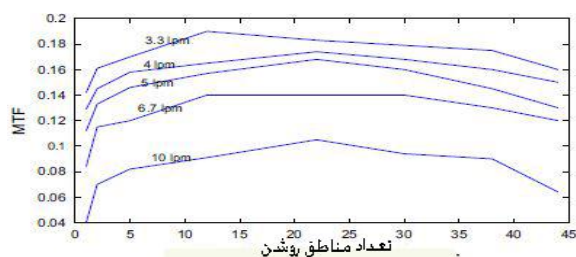
شکل (۲) نمایشی از خاصیت چند کانونی بودن FZP بر روی محور اپتیکی، که کانون‌ها در کسرهای فردی از فاصله‌ی کانونی تشکیل می‌شود.



شکل (۳): نمودار شبیه‌سازی توزیع شدت کانون‌های لنز پراشی بر حسب فاصله‌ی این کانون‌ها از پشت لنز پراشی برای (الف) نمونه a و (ب) نمونه c در $z=50\text{cm}$ پشت لنز پرشدت‌ترین کانون (کانون اصلی) لنز پراشی مشاهده می‌شود.

۲- بررسی تجربی

برای تأیید نتایج تئوری به صورت تجربی، تصویرگیری از محل کانون در فاصله‌ی صفر تا ۶۰۰ میلیمتری پشت لنز، انجام شد. با رسم نمودار شدت لکه مرکزی کانون بر حسب فاصله از پشت لنز نمودار شکل (۴) بدست آمد که



شکل (۸): نمودار MTF بر حسب تعداد حلقه های روشن.

۳- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی خواص تصویرگیری غربال فوتونی با توزیع گاوسی چگال در دو قسمت پرداخته شد. ابتدا تصویرگیری مربوط به کانون ها مختلف هر نمونه بررسی شد. با مقایسه تصاویر کانون های مختلف محل کانون اصلی مربوط به هر نمونه مشخص شد. کانون اصلی پر شدت ترین کانون و در فاصله ۵۰۰ میلیمتری قرار داشت.

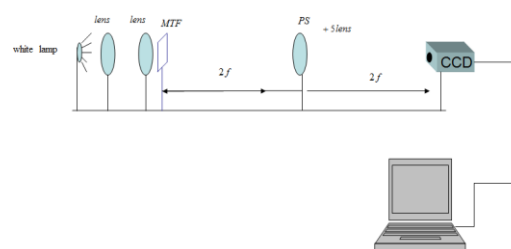
سپس با استفاده از خطوط موازی با فرکانس های فضایی مختلف تصاویر مربوط به کانون اصلی گرفته شد. با محاسبه نمایانی تصاویر گرفته شده نمودار MTF برای هر نمونه رسم شد. مقایسه نمودارهای MTF نشان دادند که در نمونه های غربال فوتونی قدرت تفکیک تا یک حد بهینه از تعداد حلقه های روشن افزایش، و پس از آن کاهش میابد.

بنابراین عوامل موثر بررسی شده در افزایش قدرت تفکیک لنز ابتدا تصویرگیری با کانون اصلی لنز و سپس استفاده از توزیع مناسب روزه با عدد بهینه مناطق روشن می باشند. کاربرد این پژوهش در ساخت لنز های پراشی با قدرت تفکیک بالاتر با استفاده از توزیع گاوسی معرفی شده است.

مراجع

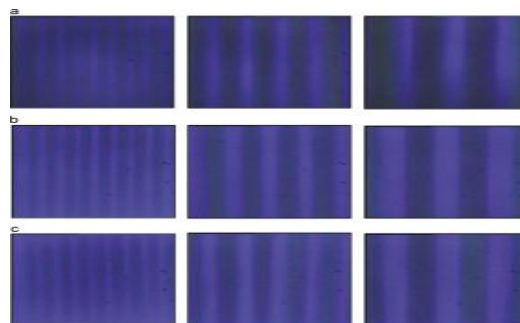
- [1] L. Kipp, M. Skibowski, R.L. Johnson, R. Berndt, R. Adelung, S. Harm, and R. Seemann, "Sharper images by focusing soft X-rays with photon sieves," *Nature* 414(6860), 184-188, (2001).
- [2] A. Sabatyan, and S. Mirzaie, "Efficiency-enhanced photon sieve using Gaussian/ overlapping distribution of pinholes," *Appl. Opt* 50, 1517-1522, (2011).

[۳] ثباتیان، آرش؛ جعفری، ثریا، تاثیر پارامترهای توزیع روزه ها بر خواص کانونی غربال فوتونی گاوسی چگال، کنفرانس فیزیک ایران، (۱۳۹۱)



شکل (۶): چیدمان اپتیکی برای تصویرگیری از خطوط توسط غربال فوتونی. در چیدمان اپتیکی بالا اولین المان چشمه نور سفید است. لنز های اول و دوم از سمت چپ جهت موازی سازی پرتو نور سفید استفاده می شوند. جلوی عدسی دوم خطوطی که قرار است از آن تصویر گیری شود، قرار می گیرد. عدسی سوم همان لنز پراشی غربال فوتونی طراحی شده است که عمل تصویرگیری از خطوط را انجام می دهد. در نهایت CCD تصویر گرفته شده از خطوط را ثبت می کند.

با مقایسه تصاویر گرفته شده از این سه نمونه غربال فوتونی با خطوط با پهنای مختلف، مشاهده می کنیم که با افزایش تعداد حلقه های پر قدرت تفکیک تصویر تا یک عدد بهینه ای از مناطق روشن، بهتر می شود.



شکل (۷) تصاویر گرفته شده از خطوط ۳۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میکرونی توسط غربال های فوتونی با پارامترهای گاوسی مختلف: a: (۱۰۰ و ۴۴)، b: (۱۵۰ و ۴۴ و ۶۵)، c: (۱۰۰ و ۴۴ و ۶۵ و ۱۰۰). (۱۲۰۰)

با مقایسه تصاویر گرفته شده از این سه نمونه غربال فوتونی با خطوط با پهنای مختلف، مشاهده می کنیم که با افزایش تعداد حلقه های پر قدرت تفکیک تصویر تا یک عدد بهینه ای از مناطق روشن بهتر می شود. برای محاسبه نمایانی تصاویر گرفته شده نمودار MTF بر حسب تعداد حلقه های روشن رسم شد. همان طور که دیده می شود با افزایش تعداد نواحی روشن، نمایانی تا حد بهینه ای افزایش یافته و پس از آن کاهش می یابد. (شکل (۸))