بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی بازدهی پراش تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل صلیبی شکل

آرش ثباتیان، ژیلا رفیق دوست

ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده – تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل صلیبی شکل از ترکیب دو تیغه‌ی منطقه‌ای خطی عمود بر هم تشکیل شده است. در این مقاله ویژگی-های کانونی این قطعه‌ی پراشی بررسی شده و در ادامه با ویژگی‌های کانونی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی شکل و تیغه‌ی منطقه‌ای دایره-ای مورد مقایسه قرار گرفت. علاوه بر اینکه قدرت تفکیک تیغه‌ی صلیبی شکل نسبت به دو عنصر پراشی دیگر افزایش پیدا کرده اختلال *DC* و ماکزیمم‌های ثانویه نیز کاهش پیدا کرده است. در نهایت نشان داده شده است که نتایج آزمایشگاهی با نتایج شبیه‌سازی در توافق هستند.

کلید واژه-تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل صلیبی شکل، تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی شکل، ویژگی‌های کانونی

Investigation diffraction efficiency of cross-like Fresnel zone plate

Arash Sabatyan, Jila Rafighdoost

Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia

Abstract- Cross like Fresnel zone plate is introduced. This element is composed of two perpendicular linear Fresnel zone plates. Focusing properties of the element is studied and it is compared to a classic and square Fresnel zone plate. Analysis clarify that focusing of the elements is well corrected in comparison to square Fresnel zone plate. Resolution is noticeably increased, DC noise is substantially reduced and also secondary maxima have been evidently suppressed. Theoretical results have been completely verified by experiment.

Keywords: Cross like Fresnel zone plate, Focusing properties, square Fresnel zone plate

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

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

۱- مقدمه

چیدمان‌های اپتیکی پراشی فشرده و کم هزینه می‌باشند به همین دلیل در چند سال اخیر اپتیک پراشی کاربرد زیادی داشته است که از آن جمله می‌توان استفاده در تصویرگیری [1]، میکروسکوپی اشعه x [2] را نام برد. در حالت کلی عدسی‌های پراشی بر مبنای مفاهیم فرنل کنار هم قرار داده می‌شوند. علاوه بر تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل دایره‌ای[۱]، تیغه‌های منطقه‌ای دیگری چون تیغه‌ی منطقه-ای فراکتالی[۲] ، تیغه‌ی منطقه‌ای مربعی[۳] ، تیغه‌ی منطقه-ای مارپیچ[۴] [4-5] معرفی شده‌اند که با توجه به حوزه‌ی کاری هر کدام از این قطعات جایگزین تیغه‌ی منطقه‌ای معمول می‌شود که از میان این قطعات نیز sfzp به علت فرآیند ساده‌ی ساخت پرکاربردتر است. از این عنصر در حوزه‌ی سیستم‌های هم‌تراز [6] و آنتن‌های مادون قرمز استفاده شده است [7]. sfzp ساختار تناوبی مربعی تاریک و روشن با طول $\sqrt{m}a_1$ دارد که a_1 طول ضلع اولین ناحیه و m تعداد نواحی است. در این مقاله سعی شده است که مقایسه‌ای بین sfzp وعدسی پراشی صلیبی شکل[۵] صورت گیرد و نشان داده شود که علاوه بر اینکه توزیع شدت crossfzp نسبت sfzp در صفحه‌ی کانونی تصحیح شده قدرت تفکیک نیز تصحیح شده و اختلال DC و ماکزیمم‌های ثانویه نیز کاهش پیدا کرده است. در ادامه نحوه‌ی طراحی crossfzp مطرح می‌شود.

۲- طراحی تیغه‌ی منطقه‌ای صلیبی شکل

تیغه‌ی منطقه‌ای دایره‌ای ساختاری متناوب دارد که اگر r_n شعاع nامین و f فاصله کانونی باشد، شعاع nامین حلقه را به این صورت می‌توان تعریف کرد:

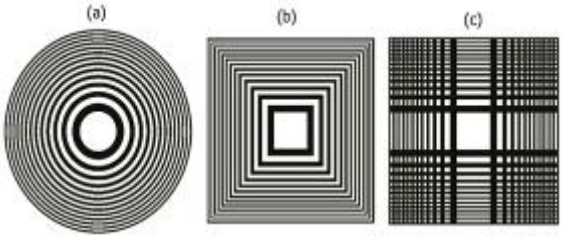
$$r_n^2 + f^2 = (f + n\lambda)^2 \qquad (۱)$$

با در نظر گرفتن تقریب پیرامحوری معادله‌ی فوق را به این صورت می‌توان نوشت:

$$r_n = \sqrt{2n\lambda f} \qquad (۲)$$

معادله‌ی فوق بیان‌کننده‌ی این مطلب است که تیغه‌ی منطقه‌ای یک الگوی تناوبی با دوره‌ی تناوب r_1^2 دارد. برای تولید عدسی پراشی crossfzp خطوط متعامد را جایگزین دایره‌های متحدالمرکز تیغه‌ی منطقه‌ای دایره‌ای می‌کنند. برای تعریف ارتفاع(ضلع) sfzp و crossfzp از معادله‌ی (۲) استفاده می‌شود در نتیجه ارتفاع nامین ناحیه برابر خواهد بود با: $a_n = \sqrt{2n\lambda f}$

در شکل(۱) به ترتیب از a تا c شمایی از هر سه نوع تیغه دایره‌ای، مربعی، و صلیبی نشان داده شده است.



شکل(۱): ساختار تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل a) دایره‌ای، b)مربعی و c)صلیبی شکل

دامنه‌ی میدان پراش U(x,y,z) با طول موج λ در راستای انتشار z با تابع مردمک $P(x', y')$ را با استفاده از انتگرال فرنل-کیرشهف به این صورت بیان کرد [8]:

$$U(x, y, z) = \frac{2\times\pi}{i\lambda z}\left[P(x, y) \otimes \exp\left(\frac{ik(x^2+y^2)}{2z}\right)\right] \qquad (۳)$$

که $\otimes \exp\left(\frac{ik(x^2+y^2)}{2z}\right)$ بیان‌کننده‌ی کانولوشن تابع انتشار فضای آزاد است.

۳- نتایج شبیه‌سازی

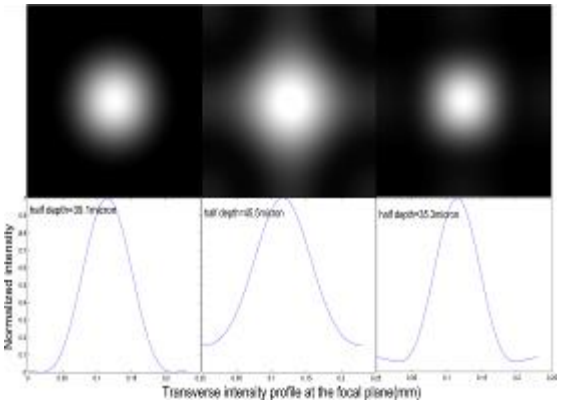
جهت مقایسه‌ی سه عنصر پراشی مذکور، قطعاتی با طول کانونی ۱۰۰۰میلیمتر و طول موج ۶۳۲,۸ نانومتر و طول ضلع sfzp و crossfzp با قطر fzp، ۸ میلیمتر با استفاده از زبان برنامه نویسی Matlab طراحی شد. دامنه‌ی میدان پراشی در صفحه‌ی کانونی برای هر سه قطعه بر اساس کانولوشن fft محاسبه شد. در شکل (۲) پروفایل موج پراشیده در صفحه‌ی کانون نشان داده شده

---

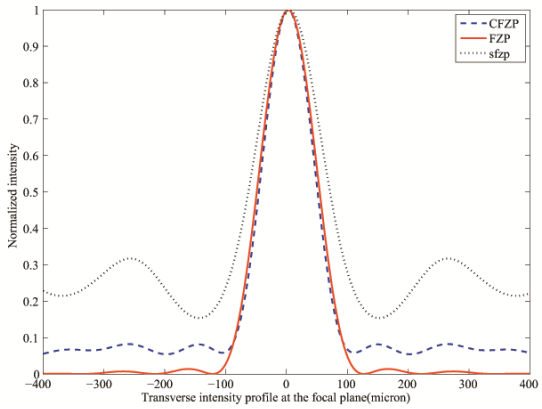
۱ fresnel zone plate (fzp)
۲ fractal zone plate
۳ square fresnel zone plate (sfzp)
۴ binary spiral zone plate
۵ cross like of zone plate (cross fzp)

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

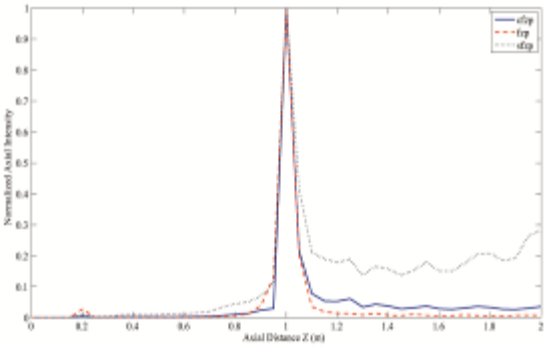
است که به ترتیب از سمت راست اولین ستون مربوط به قطعه‌ی صلیبی شکل، دومین ستون مربعی شکل و سومین ستون fzp دایره‌ای است. قدرت تفکیک نمونه‌ی صلیبی شکل نسبت به دو نمونه‌ی دیگر افزایش پیدا کرده است. در شکل (۳) پروفایل عرضی شدت در صفحه‌ی کانون هر سه نمونه با هم نشان داده شده است. علاوه بر کاهش اختلال DC، crossfzp نسبت به sfzp ماکزیمم‌های ثانویه نیز به شدت کاهش پیدا کرده‌اند در نتیجه در حالت کلی بازدهی پراش افزایش پیدا کرده است. توزیع شدت محوری نیز محاسبه شده و در شکل(۴) نشان داده شده است. شدت کانون دوم crossfzp نیز کاهش پیدا کرده است.



شکل(۲): دامنه‌ی میدان پراشی در صفحه‌ی کانونی : به ترتیب اولین ستون از سمت راست مربوط به عنصر صلیبی شکل دومین ستون مربوط به عنصرمربعی شکل و سومین ستون مربوط به عنصر دایره‌ای شکل است.

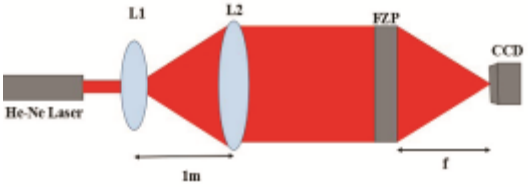


شکل(۳): توزیع شدت بهنجار شده‌ی سه عنصر پراشی مذکور در صفحه‌ی کانون



شکل(۴): توزیع شدت محوری بهنجار شده‌ی سه عنصر مذکور

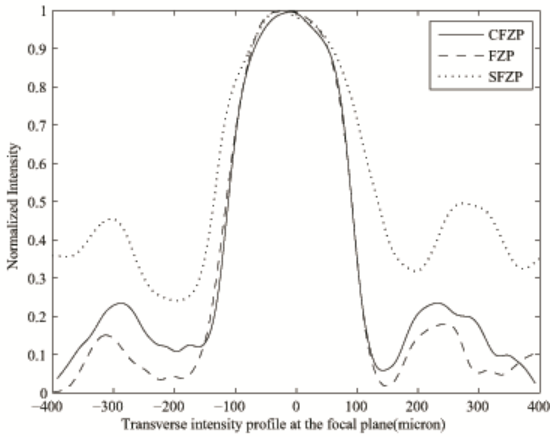
۴- نتایج تجربی



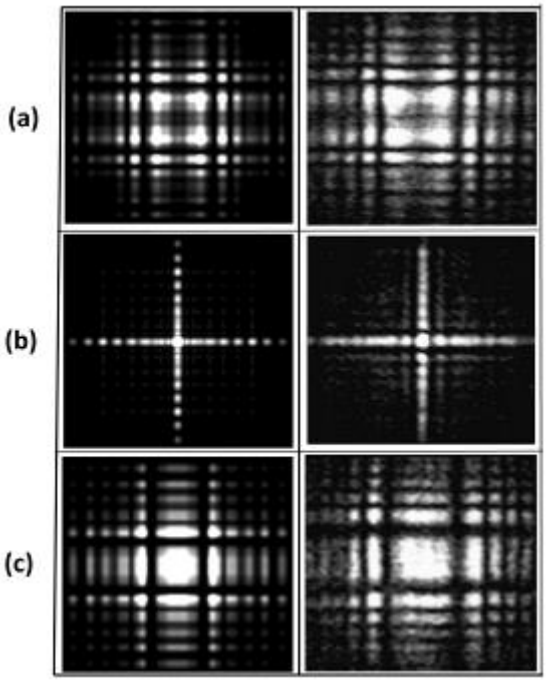
شکل(۵): چیدمان آزمایش

نمونه‌هایی که در شبیه سازی مورد مقایسه قرار گرفتند با استفاده از فرآیند لیتوگرافی چاپ شدند. پس از چاپ الگوی کانونی حاصل از نمونه‌ها با استفاده از چیدمانی که در شکل (۵) نشان داده شده است، در کامپیوتر ثبت و ذخیره شد. در این چیدمان از نور لیزر ۶۳۲ نانومتر(هلیم-نئون) استفاده شده است. عدسی L1 نور لیزر را واگرا کرده و عدسی L2 نور واگرا شده را موازی می‌کند سپس نور توسط قطعه‌ی پراشی کانونی می‌شود. نور کانونی شده توسط ccd ثبت و ذخیره می‌شود. پروفایل یک بعدی شدت در برای سه قطعه‌ی پراشی در شکل (۶) نشان داده شده است. در حالت تجربی نیز قدرت تفکیک crossfzp نسبت به دو قطعه sfzp وfzp تصحیح شده است. اختلال DC و ماکزیمم‌های ثانویه نیز کاهش پیدا کرده است.الگوی کانونی حاصل از crossfzp در شکل (۷) ، سطر a ۲۰۰ میلی متر قبل و سطر b در کانون و سطر c ، ۲۰۰ میلی متر بعد از کانون نشان داده شده است. ستون اول از سمت راست به صورت تجربی و ستون دوم به صورت شبیه سازی ثبت شده است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]



شکل(۶): توزیع شدت بهنجار شده‌ی سه عنصر پراشی مذکور در صفحه‌ی کانون



شکل(۷): دامنه‌ی میدان پراشی عنصر صلیبی شکل در صفحه‌ی کانونی که اولین ستون از سمت راست به صورت تجربی و دومین ستون به صورت شبیه‌سازی ثبت شده است. به ترتیب سطر aتا c، ۲۰۰ میلمتر قبل از کانون، در کانون و ۲۰۰ میلیمتر بعد از کانون می‌باشند.

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله ویژگی‌های کانونی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل صلیبی شکل بررسی شد و بازدهی پراش با تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی و دایره‌ای شکل مورد مقایسه قرار گرفت. نشان داده شد که قدرت تفکیک این المان نسبت به دو المان دیگر به مراتب بهتر است و همچنین اختلال DC آن نیز نسبت به المان مربعی شکل تصحیح شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل صلیبی شکل توانایی این را داشته باشدکه جایگزین تیغه-ی مربعی شکل شود.

مراجع

[1] S. Wang, X. Zhang, *Terahertz Technology: Terahertz Topographic Imaging with a Fresnel lens*, ***Opt.*** **Photonics News 13, 59 -59, (2002).**

[2] Y. Wang, W. Yun and C. Jacobsen ,*Achromatic Fresnel optics for wideband extremeultraviolet and X-ray imaging*, **Nature 424, 50-52 (2003).**

[3] G. Saavedra, W. D. Furlan, J. A. Monsoriu, ,*Fractal zone plates*, ***Opt.*** **Lett. 28, 971-973, (2003).**

[4] J. Alda, J. M. Rico-Garca, F. J. Salgado-Remacha, and L. M. Sanchez-Brea, *Diffractive performance of square Fresnel zone plates*, **Opt. Commun 282, 34023407, (2009).**

[5] N. Gao, C. Xie, C. Li, C. Jin, and M. Liu, *Square optical vortices generated by binary spiral zone plates*, **Appl. Phys. Lett. 98, 151106, (2011).**

[6] W. B. Herrmannsfeldt, M. J. Lee, J. J. Spranza, K. R. Triggers,*The Spherical Mirror Fabry -Perot Interferometer* , **Appl. Opt. 7, 995 (1968).**

[7] F. J. Gonza lez, J. Alda, B. LLic, and G. D. Boreman, ,*Infrared Antennas Coupled to Lithographic Fresnel Zone Plate Lenses*, **Appl. Opt. 43, 60676073, (2004).**

[8] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier optics*, **Mc Graw-Hill Book Company, New York, (1996).**

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]