

تولید کانون دو خطی توسط نوعی جدید از تیغه منطقه ای فرنل خطی

آرش ثباتیان ، شیما غربی

ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده سرو، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده در این مقاله، ایده تیغه منطقه ای فرنل (FZP) یک بعدی تغییر فاز یافته برای اولین بار معرفی می شود. تاثیر این جابجایی فازی روی خواص کانونی قطعه بررسی شده و نشان داده می شود که با جابجایی فازی دو پرتو خطی موازی در کانون تولید می شوند و این دو خط تا فاصله معینی از کانون بصورت غیر پراشی رفتار می کنند. این نتایج ابتدا به صورت شبیه سازی بدست آمده و سپس بصورت تجربی تایید می شوند. دیده می شود که در فاصله معینی از کانون الگوی دو خطی تبدیل به تک خط غیر پراشی می شود.

کلید واژه- پراش فرنل، پرتو غیر پراشی، تیغه منطقه ای فرنل، عدسی های پراشی.

Generation of double linear focus with a novel linear Fresnel zone plate

Arash Sabatyan, Shima Gharbi

Physics department, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract Idea of phase shifted Fresnel zone plate is presented for the first time. Impact of this phase shifting on the focusing properties of this element is studied, and it is demonstrated that by shifting the phase, two parallel linear beams are generated at focal plane. These two lines as propagating, form a Non diffracting line-shaped beam at a given distance from the focus. Intensity profile of the generated linear beam was studied by simulation and all results are completely verified by experiments. It is shown that the profile remains unchanged as it is propagated.

Keywords: Fresnel diffraction, Diffractive lens, Fresnel zone plate, Non diffracting beam

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

۱- مقدمه

عنوان یک لنز استوانه‌ای، با رابطه $f = \frac{x_1^2}{2\lambda}$ تعریف می‌شود. توزیع فازی برای FZP طبق رابطه $\varphi(x) = -\frac{2\pi}{\lambda} \frac{x^2}{2f}$ تعریف می‌شود. با اعمال یک جابجایی فازی به اندازه αL خواهیم داشت:

$$(1)$$

$$\varphi(x) = -\frac{2\pi}{\lambda} \frac{(x \pm \alpha L)^2}{2f} \text{ for } 1 < \alpha < 1$$

در رابطه فوق L بیان کننده نیم پهنای قطعه و α یک عامل کنترل کننده می‌باشد. برای برقراری شرایط کانونی سازی برای این قطعه باید فاز مضرب صحیحی از طول موج باشد. با اعمال این شرط به وجود دو منطقه مجزا در PS-LFZP پی می‌بریم. برای یکی از این مناطق $x_m = \alpha L - \sqrt{m\lambda f}$ خواهد بود و این شرط مناطقی با پهنای کاهشی ایجاد می‌کند و برای منطقه دیگر $x_m = \alpha L + \sqrt{m\lambda f}$ می‌باشد که این شرط نیز مناطقی با پهنای افزایشی در قطعه ایجاد می‌کند.

۲-۲- شبیه سازی عددی

یک موج پراش یافته از یک روزنه با تابع یک بعدی $P(x')$ در انتشار در طول فاصله z توسط رابطه انتگرالی فرنل کیرششف بیان می‌شود. تابع عبور PS-LFZP را با توجه به دوره تناوب آن، x_1^2 می‌توان با یک سری فوریه به فرم زیر بیان کرد [5]

$$P(x') = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} A_n e^{\frac{-i2n\pi}{x_1^2}(x'-\alpha L)^2} \quad (2)$$

با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه انتگرال فرنل کیرششف و حفظ مراتب $n = \pm 1$ ، دامنه موج پراش یافته در کانون قطعه به این شکل خواهد بود

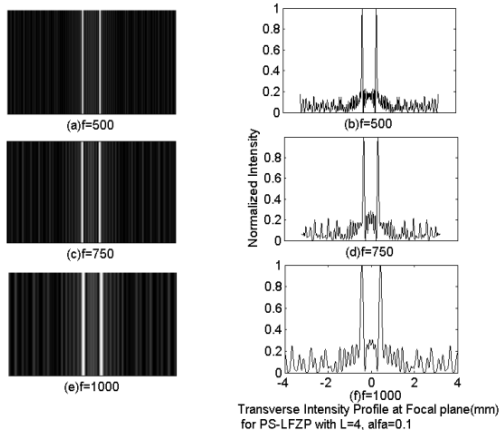
تیغه منطقه‌ای فرنل (FZP) المان اپتیکی است که بر خلاف لنزهای متعارف شکستی، نور را بر اساس پدیده پراش کانونی می‌کند. این قطعه پراشی دارای تعداد زیادی مناطق دایروی تاریک و روشن متوالی می‌باشد. این قطعه به گونه‌ای طراحی می‌شود که نور را به صورت نقطه‌ای کانونی می‌کند. تیغه منطقه‌ای فرنل خطی دارای مناطق فرنل یک بعدی می‌باشد که همانند لنز استوانه‌ای پراشی عمل کرده و یک خط کانونی تولید می‌کند [1]. در این مقاله سعی شده است یک عملکرد جدید از تیغه منطقه‌ای فرنل خطی (LFZP) ارائه شود و برای اولین بار تیغه منطقه‌ای فرنل خطی تغییر فاز یافته (PS-LFZP) برای تولید کانون دوخطی و پرتو غیر پراشی یک بعدی استفاده شده است [3,2]. تاثیر پارامترهای مختلف روی تولید کانون دو خطی بررسی شده‌اند و همچنین نشان داده شده است که در طول بازه انتشار معینی پروفایل شدت کانون تک خطی حفظ می‌شود که این ویژگی به پرتوهای غیر پراشی نسبت داده می‌شود.

۲-

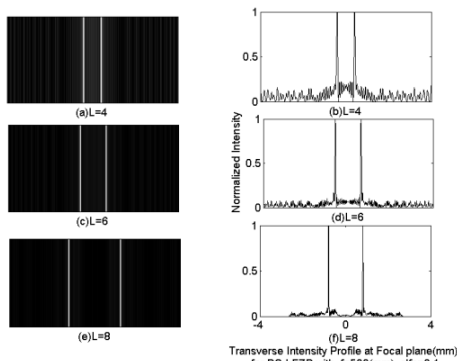
۲-۱- معادلات ریاضی

FZP متعارف ترکیبی از مناطق دایروی روشن و تاریک متوالی می‌باشد که به گونه‌ای طراحی شده‌اند که طول راه نوری برای پرتوهای پراشیده از مناطق مجاور روشن تا رسیدن به نقطه کانونی مضرب صحیحی از طول موج می‌باشد. در LFZP مناطق دایروی با مناطق خطی موازی جایگزین می‌شوند. اگر x_n و f به ترتیب نشان دهنده n امین منطقه خطی و فاصله کانونی باشند برای برقراری شرط ذکر شده خواهیم داشت $x_n^2 + f^2 = (f + n \frac{\lambda}{2})^2$ در تقریب پیرامحوری $x_n = \sqrt{n\lambda f}$ می‌باشد و خواهیم داشت: $f \gg n_{\max} \lambda$ و این شرط بیان کننده تناوب درجه دو یک بعدی برای LFZP می‌باشد.

فاصله کانونی LFZP با در نظر گرفتن عملکرد آن به



شکل ۲: تاثیر مقادیر مختلف f روی خطوط کانونی f=500mm(a,b) f=750mm(c,d) f=1000mm(e,f)



شکل ۳: تاثیر مقادیر مختلف L روی خطوط کانونی L=4mm(a,b) L=6mm(c,d) L=8mm(e,f)

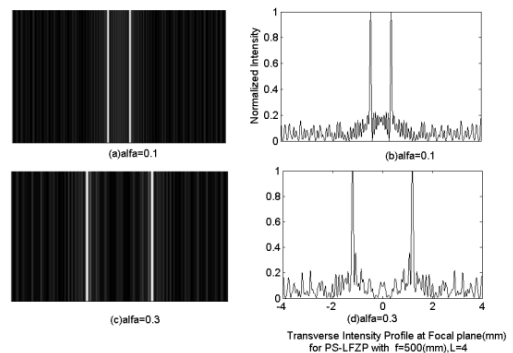
۲-۳- نتایج تجربی

نمونه‌های مورد بحث در بخش شبیه سازی با استفاده از برنامه "Phoenix 2250" و با رزولوشن 3600dpi چاپ شدند. با استفاده از یک چیدمان اپتیکی که در شکل (۴) نشان داده شده است، ویژگی‌های پراشی قطعات مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از یک لیزر He-Ne با طول موج $\lambda = 632.8nm$ به طور عمود روی نمونه‌ها تابانده شده و طرح‌های پراشی در صفحه کانونی توسط یک دوربین CCD ضبط شد. نتایج حاصل در شکل‌های (۵) تا (۷) نشان داده می‌شوند. این شکل‌ها تایید کننده نتایج حاصل در بخش شبیه سازی می‌باشند. با افزایش α و L فاصله بین خطوط کانونی افزایش می‌یابد. با افزایش L پهنای خطوط کانونی کاهش می‌یابد، و با تغییر α پهنای بدون تغییر باقی می‌ماند. تغییر فاصله کانونی بدون اینکه فاصله بین خطوط را تغییر دهد باعث افزایش پهنای خطوط می‌شود.

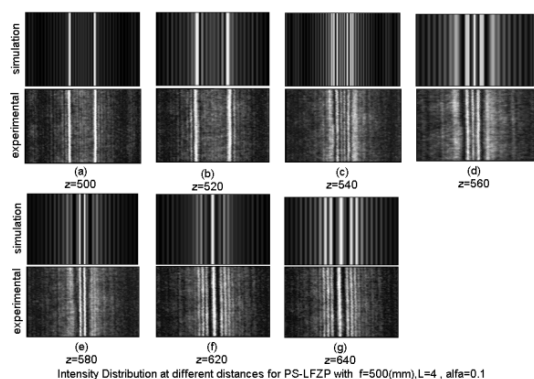
$$u(x, z) = A_{\pm 1} \frac{L}{\pi} e^{\frac{ik}{2f}(x^2 - \alpha^2 L^2)} \left\{ e^{\frac{ikL}{2f}(x + \alpha L)} \sin c \left[\frac{k}{2f}(x + \alpha L)^2 \right] + e^{\frac{ikL}{2f}(x - \alpha L)} \sin c \left[\frac{k}{2f}(x - \alpha L)^2 \right] \right\} \quad (۴)$$

رابطه (۴) ایجاد دو خط کانونی موازی در کانون را پیش-بینی می‌کند. [4]

خصوصیات پراشی PS-LFZP بصورت عددی شبیه سازی شدند. محاسبات برای مقادیر مختلف f-number و α انجام یافتند. در شکل (۱) تاثیر تغییرات α روی جدایی و پهنای خطوط کانونی نشان داده می‌شود. α فاصله بین دو خط را افزایش می‌دهد، در حالیکه تاثیری روی پهنای خطوط ندارد. در شکل (۲) تاثیر تغییرات f روی جدایی و پهنای خطوط کانونی نشان داده می‌شود. افزایش f پهنای خطوط را افزایش می‌دهد، در حالیکه تاثیری روی فاصله بین دو خط ندارد. در شکل (۳) تاثیر تغییرات مقادیر مختلف L را مشاهده می‌کنیم. افزایش L فاصله بین خطوط کانونی را افزایش می‌دهد و همچنین باعث افزایش وضوح تصویر می‌گردد.



شکل (۱): تاثیر تغییرات α روی خطوط کانونی. (a,b) $\alpha = 0.1$ و (c,d) $\alpha = 0.3$



شکل ۸: تولید تک خط کانونی در حین انتشار در فاصله z از صفحه کانونی (a, $z=500\text{mm}$, (b, $z=520\text{mm}$, (c, $z=540\text{mm}$, (d, $z=560\text{mm}$, (e, $z=580\text{mm}$, (f, $z=620\text{mm}$, (g, $z=640\text{mm}$).

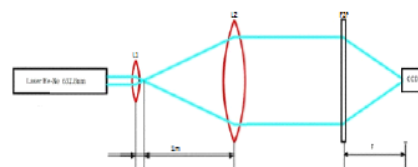
۳- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر جابجایی فازی روی خواص کانونی PS-LFZP بررسی شد. نشان داده شد که شیفت فازی خط کانونی متعارف را به دو خط کانونی تبدیل می کند که جدایی آن ها به پارامتر کنترلی α وابسته است. تاثیر α ، اندازه قطعه L ، و فاصله کانونی f نیز روی خطوط کانونی بررسی شد. در ادامه نشان دادیم که دو خط کانونی در طی انتشار در فاصله z تبدیل به تک خط کانونی با ویژگی غیر پراشی بودن، می شوند.

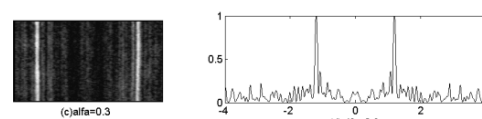
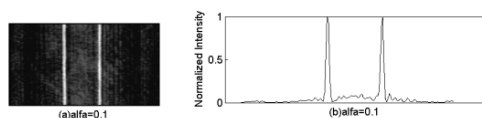
مراجع

- [1] Gomez- Reino C., Cuaderno J.M., Perez M.V., *Elliptical and hyperbolic zone plates*, **Applied optics** 19(1980) 1541- 1545.
- [2] Wolleschensky R., Zimmermann B., *High speed confocal fluorescence imaging with a novel line scanning microscope*, **J.Biomed.** 11 (2006) 064011.
- [3] Dowsky E.R., Cathey W.T., *Extended depth of field through wave-front coding*, **Appl.** 34 (1995) 18591866.
- [4] Goodman J.W., *Introduction to Fourier optics*, **Mc Graw-Hill book company, New York** (1996).
- [5] Sinzinger S., Jahns J., *Microoptics*, **Wiley- Vch GmbH CoKGaA, Weinheim** (2003).

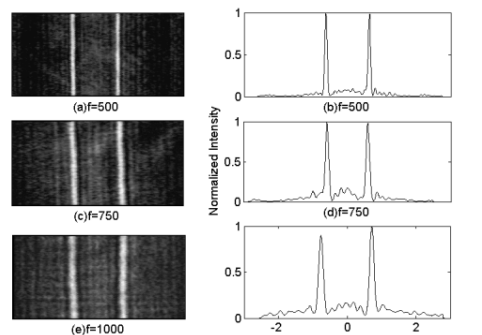
نحوه ترکیب دو خط کانونی و تبدیل شدن به تک خط کانونی در شکل (۸) نمایش داده شده است.



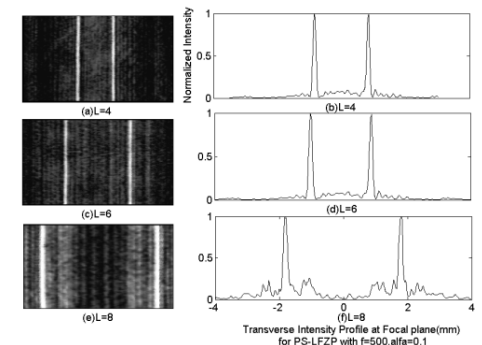
شکل ۹: شماتیک چیدمان اپتیکی



شکل ۱۰: تاثیر تغییرات α روی خطوط کانونی. (a,b) $\alpha = 0.1$ و (c,d) $\alpha = 0.3$



شکل ۱۱: تاثیر مقادیر مختلف f روی خطوط کانونی (a,b) $f=500\text{mm}$, (c,d) $f=750\text{mm}$, (e,f) $f=1000\text{mm}$.



شکل ۱۲: تاثیر مقادیر مختلف L روی خطوط کانونی (a,b) $L=4\text{mm}$, (c,d) $L=6\text{mm}$, (e,f) $L=8\text{mm}$.