



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸



بررسی خواص کانونی عدسی مربعی برون محوری

آرش ثباتیان، ساناز هادی

ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

a.sabatyan@urmia.ac.ir , sanaz_hadi@yahoo.com

چکیده - در این مقاله نوع خاصی از تیغه ی منطقه ای فرنل مربعی معرفی می شود که موج تخت فرودی را در نقطه ایی خارج از محور نوری کانونی می کند. این تیغه ی جدید، تیغه ی مربعی برون محوری نامیده می شود. در این مقاله خواص کانونی این قطعه پراشی بررسی شده است. نشان می دهیم که با تغییر پارامتری به نام پارامتر انتقال، پرتوی متمرکز شده بر روی صفحه کانونی جابجا می شود. همچنین با بررسی نمودار توزیع شدت، مشاهده می شود که عرض نقاط کانونی، تقریباً برابر هستند. نتایج شبیه سازی با آزمایش های تجربی تایید می شود.

کلید واژه- پراش - عدسی پراشی - ساختار دهی باریکه - عدسی برون محوری

Exploring focusing features of off-axis square zone plate

Arash Sabatyan, Sanaz Hadi

The Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University

Abstract- In this article, a square zone plate is introduced which focuses a plane incident wave into a point located out of the optical axis. This new plate is called off-axis square zone plate. The focusing properties of the element is studied. We show that by changing a parameter called as shifting parameter the focused beam is displaced over the focal plane. As a result, by examining the intensity profile, it can be seen that the widths of the focal spots are approximately the same. All simulation results are verified by the corresponding experiments.

Keywords: Diffraction- Diffractive lens- Beam Structuring- Off-axis Lens

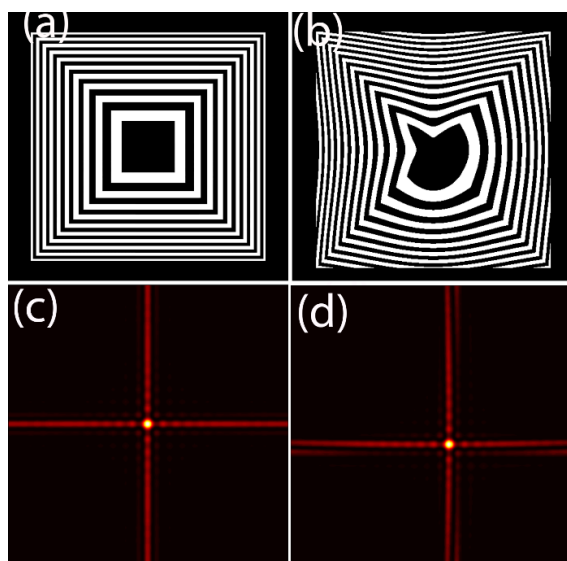
مقدمه

برای انجام محاسبات شبیه سازی از انتگرال فرنل -
کیرششف استفاده شد. با توجه به این که انتگرال فرنل -
کیرششف را می توان به صورت هماتفتگی تابع عبور جسم
با تابع پاسخ فضای آزاد نوشت بنابراین داریم:

$$u(x, y; z) = \frac{2\pi e^{ikz}}{i\lambda z} \left[p(x, y) \otimes e^{\frac{ik(x^2 + y^2)}{2\pi}} \right] \quad (2)$$

Z فاصله جسم تا صفحه مشاهده است.

در این تیغه نیز نواحی فرنل طوری انتخاب شدند که هر
منطقه نسبت به منطقه مجاور خود تا نقطه به اندازه $\lambda/2$
اختلاف راه داشته باشد. این انحراف از محور اپتیکی موجب
برهم زدن تقارن ساختاری تیغه ی منطقه ای فرنل می شود.
در این کار خواص کانونی این عنصر پراشی بصورت تئوری
و تجربی مورد بررسی قرار می گیرد. قبل از انجام شبیه
سازی ابتدا دو نمونه تیغه ی منطقه ای مربعی محوری (a) و
برون محوری (b) در شکل (۱) نشان داده شده اند.
همچنین توزیع شدت های متناظر ان ها نیز به ترتیب در
شکل های (c) و (d) نشان داده شده است.



شکل ۱: در ردیف بالا به ترتیب دو تیغه ی فرنل شبیه سازی شده محوری و
برون محوری و در ردیف پایین نیز توزیع شدت متناظر هر دو تیغه مربوطه
در شکل های پایین نشان داده شده است.

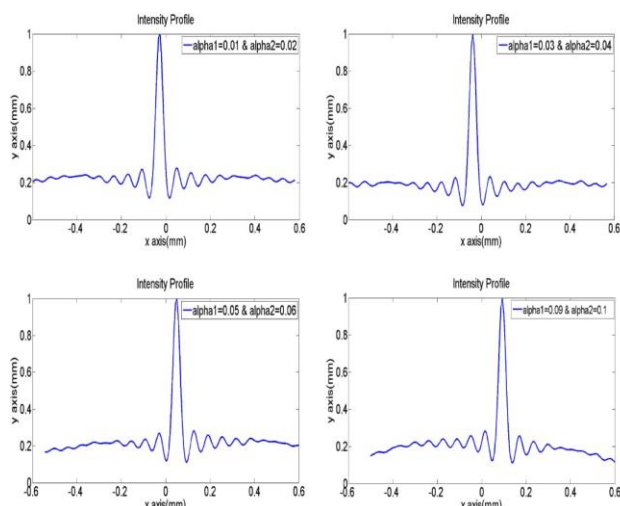
استفاده از عدسی های پراشی به دلیل هزینه تولید پایین و
کاربردهای بسیار متنوع آنها در سال های اخیر مورد توجه
قرار گرفته اند. شناخته ترین عدسی پراشی تیغه ی منطقه ای
فرنل است که از نواحی متقارن و هم مرکز روشن و تاریک
یا منطقه های فرنل تشکیل شده است. عدسی های پراشی
گوناگونی مانند تیغه ی منطقه ای گلبرگی [۱]، صلیبی [۲] و
مربعی سمتی [۳] و غیره در سالهای اخیر معرفی شده اند.
در این مقاله عدسی پراشی جدیدی به اسم تیغه ی
منطقه ای مربعی برون محوری معرفی می گردد. این عدسی
پراشی منحصر به فرد همانطور که اسمش پیداست دارای
کانونی خارج از محور نوری در داخل صفحه ی کانونی است.
تیغه ی منطقه ای فرنل برون محوری کاربردهایی نظیر
تصویرگیری با زاویه ی دید بزرگ و تولید تصاویر سه بعدی
با استفاده از قطعات پراشی در میکروسکوپ ها را می تواند
داشته باشد [۴].

روش تهیه مقاله

تیغه منطقه ای فرنل مربعی در واقع همان نوع کلاسیک خود
یعنی تیغه فرنل دایره ای (FZP) است با این تفاوت که در
آن نواحی فرنل مربعی جایگزین نواحی دایره ای می
شوند [5]. تیغه فرنل مربعی برون محوری نیز بر پایه تیغه
فرنل مربعی بنا نهاده می شود. بطوریکه تابع عبور آنرا می
توان بصور زیر بیان نمود

$$p(x, y) = (1 + \text{sign}\{k \times \max[x + \alpha_1 \cos(2\theta)]^2, [y + \alpha_2 \cos(2\theta)]^2\} / 2f) \quad (1)$$

در این رابطه sign تابع پله، f فاصله ی کانونی، k عدد موج،
 α_1 و α_2 پارامترهای انتقال مربوط به انحراف می باشد.
اعمال پارامتر انتقال در تیغه ی منطقه ای فرنل مربعی برون
محوری موجب انحراف کانون از محور اپتیکی به اندازه
دلخواه می شود.



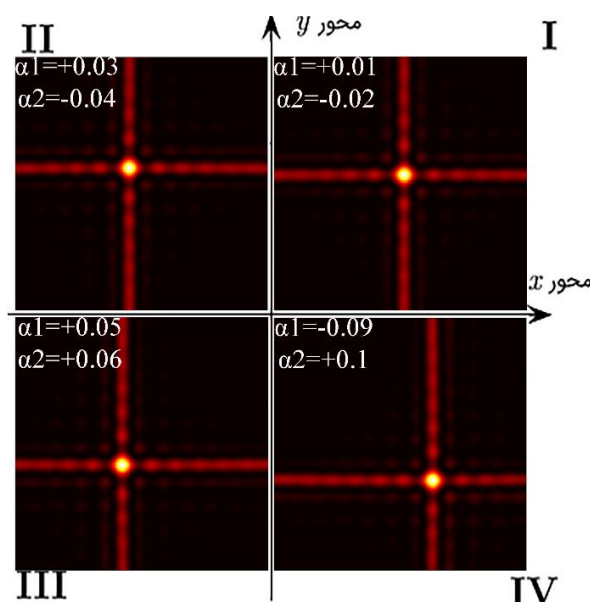
شکل ۳: نمودارهای توزیع شدت یک بعدی مربوط به عدسی‌های پراشی با پارامترهای انتقال متفاوت می‌باشد.

نتایج تجربی

برای بررسی درستی نتایج شبیه‌سازی شده، نمونه‌های طراحی شده به روش لیتوگرافی روی فیلم شفاف چاپ شدند. نمونه‌های پراشی در یک چیدمان آزمایش بی‌کانون همانند شکل (۴) قرار گرفتند. در این چیدمان نور لیزر هلیوم-نئون بعد از تصفیه فضایی پهن و موازی می‌شود. نور موازی شده بر نمونه‌های چاپ شده تابیده می‌شود و سپس شدت نور پراش یافته در کانون توسط دوربین CCD ثبت و ذخیره گردید. در شکل (۵) چهار نمونه از توزیع شدت‌های ثبت شده در آزمایشگاه اپتیک هستند که این تصاویر ذخیره شده مربوط به نمونه‌هایی با پارامترهای ناحیه‌ی اول: α_1 و α_2 به ترتیب $+0/01$ و $-0/02$ ، ناحیه‌ی دوم: α_1 و α_2 به ترتیب $+0/03$ و $-0/04$ ، ناحیه‌ی سوم: α_1 و α_2 به ترتیب $+0/05$ و $+0/06$ و ناحیه‌ی چهارم α_1 و α_2 به ترتیب $-0/09$ و $+0/1$ است که در توافق خوبی با نتایج شبیه‌سازی شده است. تصاویر ذخیره شده مربوط به نمونه‌هایی با مشخصات $f=500\text{mm}$ و طول موج فرودی $\lambda = 632.8\text{nm}$ با پارامترهای α_1 و α_2 متفاوت که هر کدام در شکل ذکر شده است.

برای شبیه‌سازی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی برون محوری در این روش طراحی چهار پارامتر فاصله‌ی کانونی، طول موج فرودی و شعاع عدسی و پارامتر انتقال اعمال می‌شود، در ابتدای کار مقادیر معینی برای این پارامترها به این شرح که فاصله‌ی کانونی برابر 500 میلی‌متر، طول موج $632/8$ نانومتر و شعاع عدسی 14 میلی‌متر در نظر گرفته شد.

در این مقاله تعدادی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل با پارامترهای انتقال مختلف برای چهار ناحیه مثلثاتی شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت که توزیع شدت‌های واقع در صفحه‌ی کانون این عناصر در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴: توزیع شدت نمونه‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار MATLAB با پارامترهای انتقال متفاوت که هر کدام در شکل آورده شده است.

مشاهده می‌شود که با افزایش پارامترهای ثابت انتقال α_1 و α_2 مکان کانون نیز به همان اندازه از محور اپتیکی دور می‌شود.

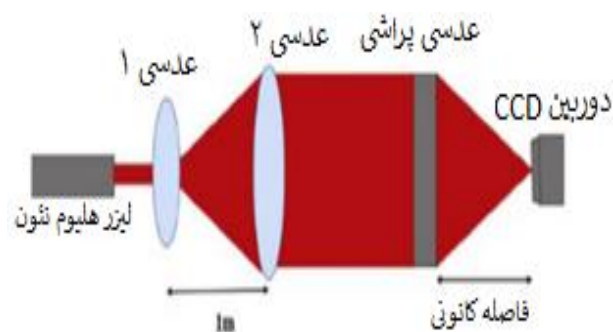
در ادامه برای بررسی بیشتر، توزیع شدت یک بعدی مربوط به این عناصر پراشی در شکل (۳) رسم شده است.

با مقایسه و تجزیه و تحلیل این نمودارها مشاهده شد که پهنای نقاط کانون و شدت ماکزیمم نقطه‌ی کانون در تمام نمونه‌های شبیه‌سازی شده تقریباً برابر است.

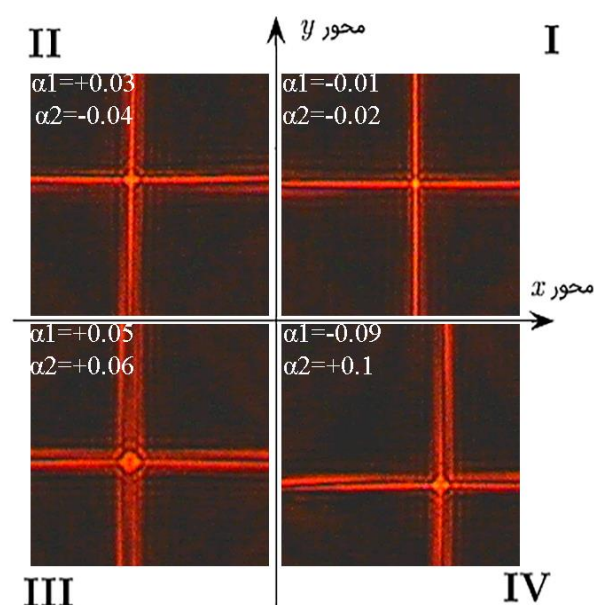
شدت نقاط کانونی برای بیشتر نقاط کانونی برون محوری تقریباً برابر هستند.

مرجع ها

- [1] Sabatyan, A. and M. Golbandi (2018). "Petal-like zone plate: long depth bifocal diffractive lens and star-like beam generator." *JOSA A* 35(7): 1243-1253.
- [2] Sabatyan, A. and J. Rafighdoost (2015). "Focusing specification of cross-like Fresnel zone plate." *Optik* 126(24): 4796-4799.
- [3] Sabatyan, A. and H. Besharatfar (2016). "Focusing behavior of azimuthally structured square zone plate." *Optical and Quantum Electronics* 48(8): 383.
- [4] Raheem, R., et al. (2006). *Off Axis Fresnel Zone Plates for White Light 3D Microscopy*. Frontiers in Optics, Optical Society of America.
- [5] Sabatyan, A., et al. (2016). "Square array of optical vortices generated by multiregion spiral square zone plate." *JOSA A* 33(9): 1793-1797.



شکل ۴: چیدمان آزمایش



شکل ۴: نمونه‌های تجربی ثبت شده در آزمایشگاه با فاصله کانونی $f=500\text{mm}$ و طول موج فرودی $\lambda=632.8\text{nm}$ با پارامترهای α_1 و α_2 متفاوت که هر کدام در شکل ذکر شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله تیغه‌ای منطقه‌ای فرنل عادی برون محوری مطالعه، طراحی و ساخته شد. طراحی این عنصر پراشی با استفاده از محاسبات انجام شده در نرم افزار MATLAB انجام گرفت و نمونه‌های تولید شده در آزمایشگاه مورد راستی آزمایی قرار گرفتند. خواص کانونی این قطعه ی پراشی نیز مورد مطالعه قرار گرفت و در ادامه با بررسی نمودار توزیع شدت یک بعدی مشاهده شد که پهنایها و