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

تولید باریکه‌ی نوری توخالی بیضوی با استفاده از تیغه فرنل بیضوی انتقال یافته فازی

آرش ثباتیان، الناز علی‌زاده

ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده‌ی علوم،گروه فیزیک

در این مقاله عنصـــر جدیدی بر پایه تیغه منطقه ایی برای تولید باریکه های حلقوی بیضـــوی معرفی می گردد. به عبارتی دیگر این عنـ صر قادر ا ست که باریکه موج تخت فرودی را به باریکه نوری بیـ ضوی در کانون تبدیل کند. بعد از معرفی ساختار آن، توانایی این عنـ صر در تولید انواع با جهت ها و اندازه های مورد نظر بـ صورت تئوری نـ شان داده می شود. به علاوه، مطالعات تجربی نتایج شبیه سازی ها را تایید می کنند.

کلید واژه- پراش ، عدسی پراشی، شکل دهی باریکه

Generation of hollow elliptical optical beam using phase shifted elliptical zone plate

Arash Sabatyan, Elnaz Alizadeh

Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University

Abstract- In this paper, a novel zone plate-based element is introduced to produce an elliptical annular light beams. On the other hand, the element is able to convert an incident plane beam into a focused elliptical light beam. Having presented the structure of the element, its capability in generating a variety of elliptical beams having a desired orientations and sizes is theoretically demonstrated. Additionally, the corresponding experimental examinations verify the simulation results.

Keywords: Beam Shaping- Diffraction- Diffractive lens

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-17]

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

مقدمه

پرتوهای حلقوی، پرتوهایی هستند که توزیع شدت آن‌ها روی یک حلقه توزیع می‌شود. روش معمول برای تولید آن‌ها استفاده از تفاضل دو پرتو گاوسی با بیشینه‌ی شدت یکسان و پهناهای متفاوت است. شعاع پرتوهای حلقوی رایج، به تدریج کم شده و در نهایت در فاصله‌ی خاصی از کانون تبدیل به پرتو بسلی می‌شود *[1]* و *[2]* . روش دیگر استفاده از الیاف کریستالی فوتونی هست، که یک نوع فیبر نوری (الیاف هسته توخالی) بوده و از جمله‌ی کاربردهای پرتوهای حلقوی است *[3]*. اصلاح مواد از طریق پردازش مبتنی بر لیزر، حفاری با سوراخ‌های عمیق، فوتوپلیمرسازی و جابجایی و حفاری درنانوذرات از کاربردهای دیگر این پرتو به شمار می‌رود *[4]*.

ما نیز روشی نوینی را برای تولید باریکه‌های توخالی ولی نامتقارن و بیضوی شکل را ارئه می‌کنیم. روش پیشنهادی بر مبنای ساختار فازی تیغهی منطقه‌ای فرنل است. با جابجایی نامتقارن فاز تیغه فرنل ساختاری نامتقارن پدید می‌آید که قادر به تولید باریکه های توخالی نامتقارن است. تیغه‌ی به دست آمده، تیغه‌ی ناحیه‌ای انتقال یافته‌ی نامتقارن نامیده می شود. این قطعه پراشی موج تخت فرودی را به باریکه بیضوی در کانون تبدیل می‌کند. چنین باریکه‌هایی به دلیل قابل کنترل بودن پرتوها می‌توانند منجر به پاسخ‌های منحصر بفردی شوند. همچنین به دلیل عدم انتشار روی محور نوری، دامنه‌ی ریلی بزرگتری دارند، یعنی در حین انتشار در فاصله ی طولانی شکل حلقه‌ی بیضوی حفظ میشود. اشکال هندسی نامتقارن برای توصیف انتشار نور در سیستم‌های اپتیکی و نیز برای موارد خاص که نمی‌توان از پرتوهای گاوسی یا سوپرگاوسی استفاده کرد،کاربرد دارند *[4]* . مزیت مدل ما تولید باریکه‌های حلقوی بیضوی با خروج از مرکز های مختلف و زاویه‌های چرخش دلخواه با اندازه‌های متفاوت در صفحه و در فاصله ی مشخصی از کانون، به سادگی و بدون استفاده از عدسی اضافی است. سادگی اعمال جابجایی فازی، دقت در تولید و مدیریت کانون بیضوی شکل و نیز کارایی آنها بعنوان انبرک نوری (برای یک یا چندین ذره به صورت همزمان) در تله‌اندازی نوری، پایداری و افزایش راندمان به دام انداختن محوری (حتی برای ذرات دفع شده) است. آن‌ها همچنین ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی اپتیکی هستند. این پرتوهای توخالی نامتقارن بیضوی که دارای شدت مرکزی صفر هستند، بدلیل خصوصیات منحصر بفرد و کاربردهای مهم و قابل توجه در اپتیک باینری، لیزرنوری، اپتیک‌اتمی، لیزرتراپی و علوم‌پزشکی بطور گسترده کاربرد دارند *[4]* . توزیع شدت توخالی، بصورت نامتقارن بیضوی شکل، پیامدهای مهم دیگری از جمله بر اثرات حرارتی و مکانیکی مواد دارد، چرا که باعث گسترش جانبی گرما در ناحیه‌ی حلقه شده ، درحالی که دما در مرکز حلقه پایین است. این ویژگی برای شدت دمای یک پارامتر، مهم و کلیدی است *[4]* .

تئوری و شبیه‌سازی

توصیف ریاضی تابع عبور قطعه‌ی طراحی شده را می توان بصورت زیر نمایش داد:

$$t(x',y') = \exp\frac{(i\pi\sqrt{\left(\frac{x'}{a}\right)^2+\left(\frac{y'}{b}\right)^2}-\alpha\frac{R}{2})^2}{\lambda f}$$

α یک ضریب کنترلی ، R شعاع فرنل زون پلیت طراحی شده، λ طول موج نور و f فاصله‌ی کانونی عدسی پراشی است. تابع انتقال دارای دوره تناوبی $\frac{1}{a}$ و $\frac{1}{b}$ در راستای محور x' و y' به ترتیب با شعاع‌های a و b است، و در مختصات دستگاه قطبی به صورت زیر قابل تعریف هستند:

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

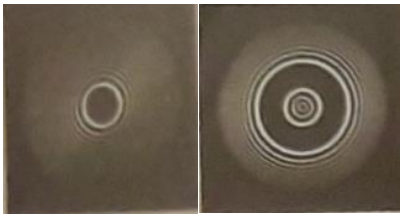
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-17]

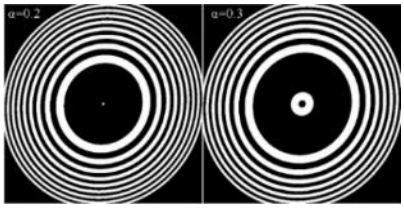
$$x' = x\cos\beta + y\sin\beta \qquad (2)$$
$$y' = -x\sin\beta + y\cos\beta \qquad (3)$$

x و y مختصات کارتزین، β زاویه چرخش بیضی هست. توزیع شدت در کانون، بصورت حلقوی بیضوی است. برای مطالعه‌ی خواص کانونی این عنصر از شکل تبدیل فوریه‌ای انتگرال فرنل کیرشهف استفاده کردیم، یعنی:

$$I(x',y') = \left|F^{-1}\{F[t(x',y')]\}\{F[h(x',y')]\}\right| \qquad (4)$$

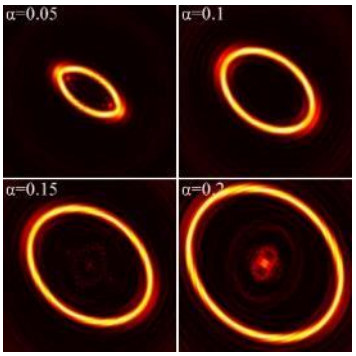
F نشان‌دهنده‌ی تبدیل فوریه و $h(x',y') = \exp\left(\frac{ikr^2}{2z}\right)$ تابع پاسخ ضربه‌ی فضای آزاد است. همچنین $r = x'^2 + y'^2$، $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ عدد موج و z فاصله از قطعه‌ی پراشی هستند. نتایج شبیه سازی نشان‌دهنده‌ی تولید باریکه‌های بیضوی با خروج از مرکزهای مشخص e، ضرایب کنترلی و جهت گیری های دلخواه توسط عنصر معرفی شده است. ابعاد حلقه‌های بیضوی با افزایش ضریب کنترلی افزایش می‌یابد. همچنین توسط یک زاویه‌ی چرخش دلخواه شاهد دوران بیضی درجهت‌های دلخواه بودیم. درشکل ۱، بالا تصویر دو نمونه واقعی از ساختارتیغه‌ی معرفی شده با ابعاد $5mm \times 5mm$ برای دو بیضی مختلف آورده شده است. دو نمونه پایین نیز، برای یک بیضی دلخواه دیگر با $a=1.01$ و $b=1.07$ و زاویه‌ی چرخش $\beta=30$ ثابت، با دو آلفای متفاوت برای مقایسه‌ی تفاوت شکل ناشی از تغییرات ضریب کنترلی در فاصله‌ی کانونی $f=500$ آورده شده است





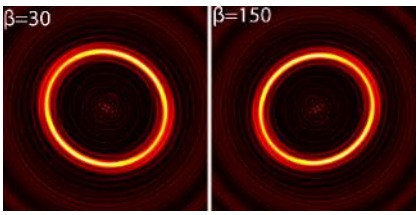
شکل ۱: بالا: دو نمونه‌ی واقعی از تیغه‌های طراحی شده روی فوتولیتوگرافی عکاسی- پایین: مقایسه‌ی دو ساختار مختلف از تیغه معرفی شده با آلفای متفاوت

درشکل ۲ نیز، توزیع شدت عرضی شبیه‌سازی شده با تغییر آلفا برای یک بیضی دیگر با $a=1.06$ و $b=1$ ثابت، $f=500$ برای هر ۴ شکل آورده شده، با افزایش ضریب کنترلی به ترتیب شعاع حلقه ها بدون پهن شدگی افزایش می‌یابند.



شکل ۲: توزیع شدت های عرضی شبیه‌سازی شده برای تیغه معرفی شده با خروج از مرکز ثابت e=.33 وآلفاهای متفاوت.

درشکل ۳، شبیه سازی توزیع شدت یک بیضی به اندازه‌های $a=1.07$ و $b=1.05$ وآلفای یکسان با دو زاویه‌ی چرخش متفاوت را نشان میدهد. مشاهده می‌کنیم اندازه وخروج از مرکز بیضی ثابت مانده و فقط در جهت دلخواه داده شده بیضی چرخش ساعتگرد دارد.

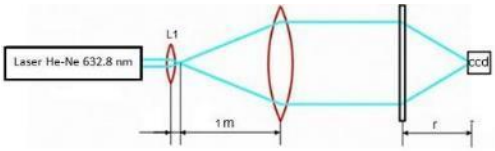


شکل ۳:توزیع شدت‌های مربوطه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی تیغه‌ی معرفی شده با برنامه‌ی متلب برای یک بیضی یکسان با دو زاویه‌ی چرخش متفاوت.

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

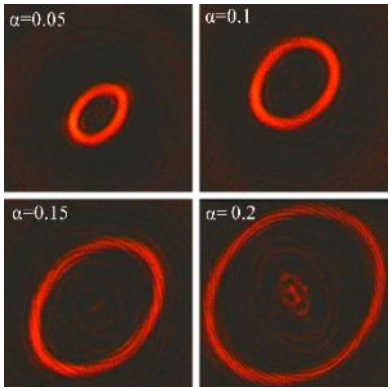
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-17]

نتایج تجربی



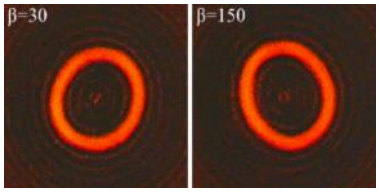
شکل ۴: چیدمان آزمایشگاهی

ما در آزمایشگاه چهار نمونه از این تیغه‌ها را که برای بیضی با $a=1.06$ و $b=1$ با آلفای متفاوت برای زاویه‌ی چرخش ثابت ۳۰ درجه بر روی فوتولیتوگرافی عکاسی طراحی کرده بودیم، مورد بررسی قرار دادیم و شدت های به دست آمده را توسط دوربین CCD ثبت کردیم. تمامی شکل‌ها با تقریب بسیار بالایی با نتایج شبیه سازی هم‌خوانی داشتند. در شکل۵، روند تغییرات توزیع شدت عرضی و اندازه‌ی پرتو حلقوی بیضوی برای همان بیضی توسط ضریب کنترلی، در امتداد محور نوری (z) با فاصله‌ی کانونی $f=500$ به‌صورت تجربی در آزمایشگاه نشان داده شده، همانطور که انتظار داشتیم با افزایش ضریب آلفا، اندازه‌ی شکل بدون افزایش پهنا افزایش می‌یابد.



شکل ۵: توزیع شدت های آزمایشگاهی ثبت شده برای ساختار معرفی شده با خروج از مرکز ثابت $e=.33$ و آلفاهای متفاوت.

شکل ۶ نیز نتایج تصویرگیری آزمایشگاهی برای توزیع شدت عرضی بیضی به اندازه‌های $a=1.07$ و $b=1.05$ وآلفای یکسان با دو زاویه‌ی چرخش سمتی متفاوت بررسی و مشاهده شد که اندازه، شکل و خروج از مرکز بیضی ثابت مانده و فقط در جهت دلخواه تعیین شده بیضی بدون محدودیت چرخش ساعتگرد می‌یابد.



شکل ۶: حفظ توزیع شدت با ثابت بودن ضریب کنترلی و چرخش بیضی در عین حفظ شکل و اندازه

نتیجه‌گیری

با مقایسه‌ی روش‌های شبیه‌سازی شده وآزمایشگاهی بیضی‌های طراحی شده و ثابت ماندن ابعاد، پهنا و جهتگیری،به صورت واضح نشان دادیم که می‌توان با جابجایی نامتقارن فاز تیغه فرنل ساختاری نامتقارن پدید آورد که قادر به تولید باریکه های توخالی بیضوی نامتقارن با اندازه‌هایی دلخواه می‌باشد. همچنین با اعمال یک زاویه‌ی سمتی توانستیم شاهد چرخش بدون محدودیت حلقه‌های بیضوی در تمامی زوایا به صورت ساعتگرد باشیم. تمامی نتایج در نهایت توسط آزمایش تایید شدند.

مراجع

[۱]- Arash, Sabatyan, Bahar Meshginqalam. *"Generation of annular beam by a novel class of Fresnel zone plate."* Appl. Opt. **53**, 5995 - 6000 (2014).

[2]- M. T. Mying, J. Y. Ye, B. Norris, T. Thomas, J. R. Baker, W. J. . T Wadsworth, G. Bouwmans, J. C. Knight, and P. St.J. Russel, 2003, *"Enhanced two-photon biosensing with double-clad photonic crystal fibers"* Optical Society America. vol.28 Issue 14, pp. 1224-1226

[3]- Marti Duocastella and Craig B. Arnold *"Bessel and annular beams for materials processing."* Laser Photonics Rev.**6**, no 5,607-621(2012).

[4]- Ke Ji, Ming Lei, Baoli Yao, Shaohui Yan, Yanglong Yang, Ze Li, Dan Dan, and Neimule *"Characteristics of the Annular Beam Using a Single Axicon and a Pair of Lens"* SPIE- the International Society for Opt. Engineering8418.Oct 2012

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-08-17]