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

تولید استوانه نوری به وسیله اکسیلن توسعه یافته

سید اکبر حسینی[۱]، آرش ثباتیان[۲]

[۱]شرکت مخابرات استان تهران، اداره کل استان البرز، کرج

[۲]دانشکده فیزیک دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده – با جابجایی توزیع فازی کروی در راستای شعاع، توزیع فازی جدیدی حاصل می‌شود که نور تخت تابشی را به شکل حلقوی کانونی می‌کند. اکسیلن عنصر اپتیکی پراشی با توزیع فازی کروی است که عمق کانونی زیاد و قدرت تفکیک بالایی دارد. با ترکیب توزیع فازی این دو عنصر کروی، توزیع فازی نوینی ارائه شده که یک حلقه کانونی با عمق زیاد، یا به عبارتی یک استوانه نوری تولید می‌کند. شعاع حلقه کانونی وابسته به مقدار جابجایی فاز است. همچنین طول استوانه توسط عمق کانونی در فاز اکسیلن و پهنای حلقه توسط فاصله کانونی قابل تعیین است. ضمن اینکه با افزایش فاصله محوری از نمونه، شعاع حلقه اندکی کم می‌شود.

کلید واژه- اکسیلن، عمق کانونی، استوانه نوری.

Generating optical cylinder by improved axilens

[1]Seyed akbar hosseini, [2]Arash sabatyan

[1]Telecommunication company of Tehran, karaj

[2] Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract- By shifting spherical phase distribution radially, extracted new phase distribution that convert incident plane wave into annular shape. Axilens is a diffractive optical element which has high focal depth and high resolution power. With combination of these tow spherical phase, new phase distribution proposed that produces focused annular in high focal depth: in other hands an optical cylinder. Radius of focused annular depends on amount of phase shifting. Also, length of cylinder appointed by focal depth in axilens phase and annular width by focal length. In addition, radius of cylinder nearly reduced by increasing axial distance from sample.

Keywords: Axilens, Focal depth, Optical cylinder.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]

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

۱- مقدمه

تیغه منطقه‌ای فرنل، عدس پراشی با توزیع فازی کروی است که نور تخت تابشی را در صفحه کانونی متمرکز می‌کند. این عدسی با حلقه‌های هم‌مرکز به صورت یک در میان روشن و تاریک، قسمتهایی از جبهه موج تابشی با اختلاف فاز π یا اختلاف راه $\frac{\lambda}{2}$ را حذف کرده و میدان تابشی را در نقطه کانونی تقویت می‌کند.

۲- تئوری

تیغه منطقه‌ای فرنل کلاسیک به فرم

$$\varphi(r) = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{r^2}{2f} \qquad (۱)$$

است که شرط پرتوهای پیرامحوری($\frac{r}{f} \ll 1$) را برآورده می‌کند. r در این رابطه مؤلفه شعاعی f فاصله کانونی و λ طول موج نور تابشی است. از ترکیب ویژگیهای قدرت تفکیک بالای عدسی کروی و عمق کانونی بلند عدسی محور مخروطی(اکزیکن)، که توزیع فازی آن با رابطه

$$\varphi(r) = \frac{\pi}{\lambda}\frac{ar}{z_{max}} \qquad (۲)$$

تعریف می‌شود و a در آن یک ثابت و z_{max} انتهای عمق کانونی است.، کلاس جدیدی از عدسی‌های کروی ارائه شده است که اکسیلن نام دارد[1]. توزیع فازی اکسیلن به صورت

$$\varphi(r) = \frac{\pi}{\lambda}\frac{r^2}{f_0+ar^2} \qquad (۳)$$

است که f_0 ابتدای عمق کانونی و $a = \frac{\delta z_g}{R^2}$ که δz_g عمق کانونی و R شعاع عدسی است. این عدسی کروی بر اساس وابستگی فاصله کانونی به شعاع ($f(r) = f_0 + ar^2$) عمق کانونی را زیاد می‌کند.

با جابجایی فاز کروی کلاسیک در راستای شعاع به میزان دلخواه، می‌توان نور تخت تابشی را در شعاع مورد نظر متمرکز کرد و به جای لکه کانونی بسلی، یک حلقه کانونی ایجاد کرد[۲]. این توزیع فازی جابجا شده به فرم

$$\varphi(r) = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{(r-\alpha R)^2}{2f} \qquad (۴)$$

است و α در آن ضریب ثابت با مقادیر $0 < \alpha < 1$ است. شعاع حلقه کانونی وابسته به مقدار ثابت α و پهنای این حلقه وابسته به فاصله کانونی f است. حال با اعمال جابجایی فازی شعاعی در اکسیلن، انتظار داریم که نور به صورت یک حلقه با عمق کانونی بلند، به عبارتی به صورت یک استوانه نوری، متمرکز شود. توزیع فازی شعاعی جابجا شده اکسیلنی به صورت

$$\varphi(r) = \frac{\pi}{\lambda}\frac{(r-\alpha R)^2}{f_0+a(r-\alpha R)^2} \qquad (۵)$$

است. بر پایه این توزیع فازی رابطه عدد فرنل که تعداد مناطق فرنلی تاریک و روشن را بیان می‌کند به شکل

$$N = \frac{R^2(1-\alpha)^2}{\lambda(f_0+\delta z(1-\alpha)^2)} \qquad (۶)$$

محاسبه می‌شود. به همین ترتیب تابع عبور عدسی پراشی به صورت

$$t_l(r) = \frac{1}{2}\left[1 + sign\left(cos\left(\varphi(r)\right)\right)\right] \qquad (۷)$$

است و توزیع فازی را به الگوی صفر و یک تبدیل می‌کند. توزیع شدت تابشی در رژیم فرنل از رابطه[3]

$$I\left(z,r\right) = \left(\frac{2\pi R}{\lambda z}\right)^2 \left|\int_0^1 exp\{2\pi i({r'^2}/{2\lambda z} - \varphi(r'))\} \times J_0({2\pi r r'}/{\lambda z})r'dr'\right|^2 \qquad (۸)$$

بدست می‌آید. z در این رابطه فاصله محوری از عدسی، r' مؤلفه شعاعی از محور اپتیکی در صفحه عدسی و r فاصله شعاعی از محور اپتیکی در صفحه مشاهده و J_0 تابع بسل نوع اول مرتبه صفر است. انتگرال فرنل را به کمک تئوری همتافتگی[۱] و با استفاده از ابزار فوریه می‌توان به صورت[4]

$$I\left(z,r\right) = \left|\Im^{-1}\{\Im(t_l(r)).\Im(h_z)\}\right|^2 \qquad (۹)$$

محاسبه کرد که در محاسبات عددی ماتریسی از این رابطه استفاده می‌شود. $t_l(r)$ در این رابطه همان تابع عبور و تابع پاسخ فضای آزاد به شکل

$$h_z = e^{\frac{ik}{2z}(x^2+y^2)} \qquad (۱۰)$$

است. در نهایت تابع پاسخ

$$PSF = \left|\Im\left(t_l(r)\right)\right|^2 \qquad (۱۱)$$

و تابع انتقال اپتیکی بهنجار

$$OTF = \frac{\Im(PSF)}{|\Im(PSF)|} \qquad (۱۲)$$

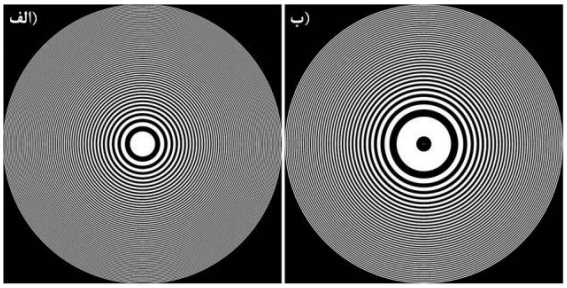
را نیز می‌توان با استفاده از ابزار فوریه محاسبه کرد.

۳- طراحی و شبیه‌سازی

نمونه مورد آزمایش با مشخصات R=۷/۵mm، dz=۳۰mm، f_0=۸۳۵mm و α=۰/۱۲۵ با نرم‌افزار متلب در جعبه ابزار پردازش تصویر به کمک رابطه تابع عبور ۷ طراحی شد[5]. تصویر نمونه طراحی شده برای مقایسه با اکسیلن کلاسیک در شکل ۱ نشان داده شده است.

[۱] convolution

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]

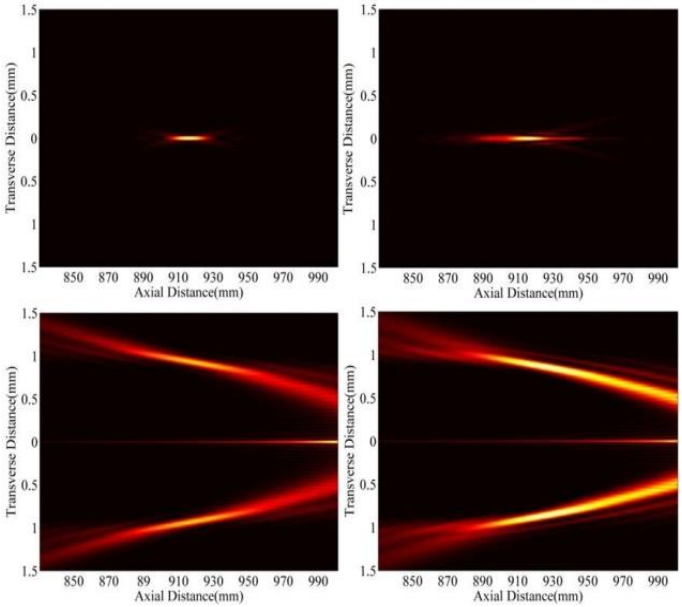


شکل۱: تصویر نمونه‌های طراحی شده: الف) اکسیلن کلاسیک ب) اکسیلن با فاز شعاعی جابجا شده

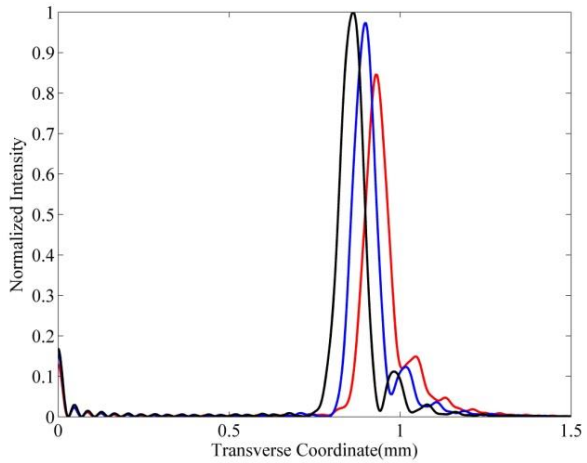
سطح مقطع توزیع شدت اکسیلن با فاز شعاعی جابجا شده و سه نمونه تیغه منطقه‌ای فرنل کلاسیک، تیغه منطقه‌ای با فاز شعاعی جابجا شده و اکسیلن کلاسیک به کمک رابطه ۸ در فاصله z=۸۳۰mm تا z=۱۰۰۰mm به صورت عددی حل و برای مقایسه در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که از شکل پیداست، در اکسیلن کلاسیک، عمق کانونی نسبت به تیغه منطقه‌ای کلاسیک در فاصله بیشتری توزیع شده است. معادل با همین، اکسیلن با فاز شعاعی جابجا شده نسبت به تیغه منطقه‌ای با فاز شعاعی جابجا شده عمق بیشتری به حلقه‌ی کانونی داده و یک استوانه نوری تولید کرده است. در شکل ۳ توزیع شدت فرنل عرضی با استفاده از رابطه ۸ به روش عددی در سه فاصله محوری از نمونه محاسبه و ترسیم شده است. همانگونه که مشهود است، با زیاد شدن فاصله محوری از نمونه، شعاع حلقه اندکی کم می‌شود. ضمن اینکه تراز شدت افزایش و پهنای حلقه‌ها کاهش می‌یابد. این نتایج در شکل ۲ نیز به وضوح قابل دریافت است.

۴- نتایج تجربی

آزمایش با چیدمان تصویرگیری همدوس و با منبع نور لیزر Ga-As در طول موج ۶۳۵nm انجام شد. ابتدا نور به کمک فیلتر فضایی صاف و پهن شد و نور پهن شده با یک عدسی محدب به فاصله کانونی ۱m تخت شد. نور تخت شده به نمونه چاپ شده بر روی فیلم شفاف به روش لیتوگرافی تابیده شد و سپس به وسیله CCD از فاصله ۸۷۰ تا ۹۹۰ میلی‌متر در فواصل ۱ میلی‌متری تصویر تهیه شد(شکل ۶). از تصاویر تهیه شده به وسیله CCD برای ترسیم نمودارهای توزیع شدت عرضی و تعیین عمق کانونی استفاده شد. در شکل ۷ نتایج تجربی توزیع شدت عرضی در سه فاصله محوری متناظر با شبیه‌سازی عددی شکل ۳ نشان داده شده و توزیع شدت به صورت عرضی ترسیم شده است. در شکل ۴ تابع پاسخ نمونه طراحی شده و در شکل ۵ تابع انتقال اپتیکی بهنجار به روش عددی با استفاده از روابط و محاسبه و ترسیم شده است.



شکل۲: سطح مقطع دو بعدی توزیع شدت انتگرال فرنل: الف) تیغه منطقه‌ای کلاسیک ب) اکسیلن کلاسیک ج) تیغه منطقه‌ای با فاز شعاعی جابجا شده د) اکسیلن با فاز شعاعی جابجا شده

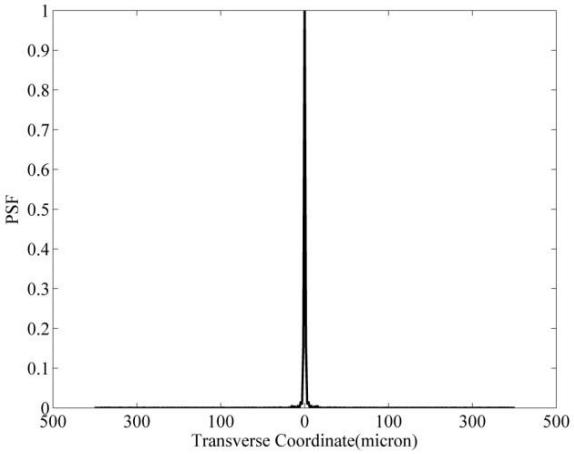


شکل۳: ترسیم حل عددی انتگرال فرنل در سه فاصله محوری: رنگ قرمز برای z=۹۰۵mm ، رنگ آبی برای z=۹۱۵mm و رنگ مشکی برای z=۹۲۵mm

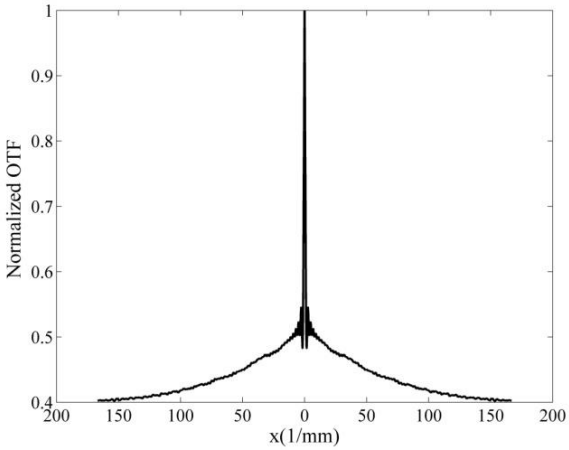
۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با ترکیب دو توزیع فازی کروی با فاز شعاعی جابجا شده که نور تخت تابشی را به حلقه کانونی تبدیل می‌کند، و توزیع فازی اکسیلنی که عمق کانونی بلند با

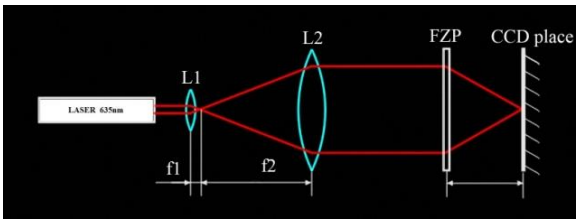
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]



شکل۴: ترسیم عرضی تابع پاسخ(PSF)

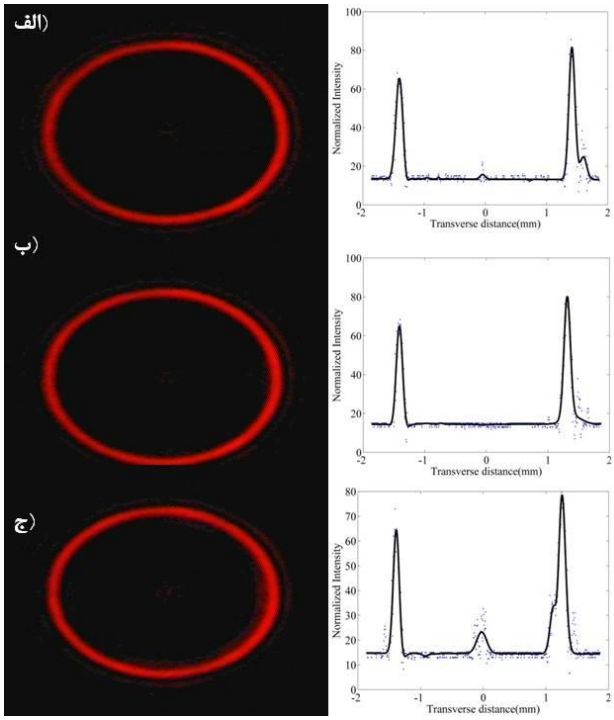


شکل ۵: ترسیم عرضی تابع انتقال اپتیکی بهنجار(OTF)



شکل۶: چیدمان تجربی آزمایش با موج تخت

قدرت تفکیک بالا دارد، توزیع فازی جدیدی ارائه شد که یک حلقه کانونی با عمق کانونی بلند یا به عبارتی یک استوانه نوری تولید می‌کند. ابتدا توزیع شدت فرنل از نمونه طراحی شده به روش عددی محاسبه شد که در شبیه‌سازی عددی فرضیات اولیه تأیید شد. مطابق نتایج محاسبات شعاع ، طول و پهنای استوانه نوری به کمک میزان جابجایی شعاعی فاز، عمق کانونی و فاصله کانونی قابل تعیین است. به همین ترتیب نتایج تجربی نیز نتایج محاسبات عددی را تأیید می‌کند.



شکل ۷: نتایج تجربی توزیع شدت عرضی در سه فاصله محوری الف) z=۹۰۵mm ب) z=۹۱۵mm ج) z=۹۲۵ mm. سمت چپ تصویر تهیه شده با CCD و سمت راست ترسیم عرضی توزیع شدت تجربی(نقطه چین) و نمودار برازش داده شده(خط ممتد) را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] N. Davidson, A. A. Friesem, and E. Hasman, ‘‘Holographic axilens: high resolution and long focal depth,’’ *Opt. Lett.* **16**, 523–525 ~1991

[۲] حسینی، سید اکبر ؛ ثباتیان، آرش ، تبدیل موج تابشی تخت به حلقه‌ی کانونی به وسیله تیغه منطقه‌ای با فاز شعاعی جابجا شده، سومین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مهر ۹۲

[3] J. W. Goodman Introduction to Fourier Optics
[4] (McGraw-Hill, New York, 1968), p. 64.
[5] Voelz, David George, Computational fourier optics : a MATLAB tutorial, SPIE P.O. Box 10, Bellingham, Washington, 2011.
[6] Soifer, V.A ., Computer design of diffractive optics, Oxford cambridge Philadelphia New Delhi, 2013.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]