بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و بررسی آزمایشگاهی تیغه منطقه ای برون محوری فرنل

محمد رضا فصیحانی فرد، ثریا جعفری و آرش ثباتیان

گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده – در این مقاله با استفاده از قوانین حاکم بر مناطق فرنل، تیغه منطقه ای فرنل با کانون برون محوری طراحی شد. طراحی وتولید این تیغه‌ها با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب انجام شد. شبیه سازی عددی نشان داد پارامتر برون محوری در طراحی به درستی مکان کانون را نسبت به محور اپتیکی جا به جا می‌کند.پس از ساخت نمونه‌های باینری از تیغه منطقه ای برون محوری با استفاده از لیتوگرافی این نمونه‌ها با استفاده از چیدمان آزمایشگاهی مناسب آزمایش شدند.نتایج تجربی به خوبی با نتایج شبیه سازی توافق دارد.در نهایت به بررسی نمودارهای توزیع شدت عرضی در صفحه کانون، در ابعاد مختلف، پرداخته شده است.

کلید واژه- تیغه منطقه ای فرنل، قطعات اپتیکی پراشی، کانون برون محوری

Design and laboratory analysis of Off-Axis Fresnel zone plate

Mohammad reza Fasihani fard, sorayya jafari and arash Sabatyan

Department of Physics, University of Urmia, Urmia,

ln this paper, by using the laws of Fresnel zones ,an off axis Fresnel zone plate was designed. Design and production of these samples was performed using coded in MATLAB. Numerical simulations showed that off-axial design parameters correctly displace location of focus spot. After the construction of the binary components using optical lithography, the samples were examined using appropriate optical setup. The experimental results agree well with the simulation results. Finally, the transverse intensity distribution of the focal plane graphs are investigated.

Key words: Fresnel zone plate,DOEs,Off axis focus

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

۱- مقدمه

تصویرگیری و کانونی کردن اشعه X، کاربردهای زیادی در علم زیست و فیزیک دارد همانند میکروسکوپ اشعه X با قدرت تفکیک بالا، اسپکتروسکپی، لیتوگرافی. شمار بزرگی از وسایل اپتیکی در ناحیه مرئی هستند که در طول‌موجهای کوتاه‌تر، اکثر جامدات، جاذب اشعه X هستند. به‌منظور غلبه بر این مشکل، عنصر پراشی به‌نام تیغه منطقه‌ای فرنل (FZP) معرفی شد. تیغه‌های منطقه ای ،عناصری پراشی هستند که از حلقه‌های دایروی متحدالمرکز با نواحی روشن و تاریک متناوب تشکیل شده‌اند.طراحی تیغه منطقه ای فرنل با کانون برون محوری می‌تواند کاربردهایی نظیر تصویر گیری با زاویه دید بزرگ و تولید تصاویر سه بعدی با استفاده از قطعات پراشی در میکروسکپ ها، داشته باشد[2].در این مقاله به طراحی و تست آزمایشگاهی این گونه قطعات پراشی پرداخته شده است.

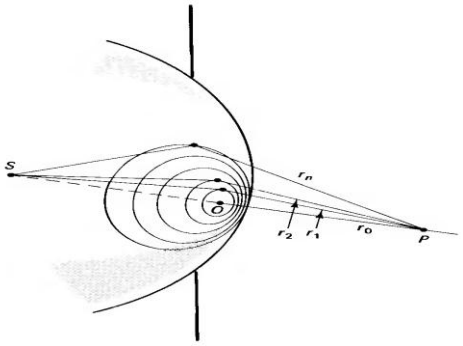
۲- تئوری و شبیه سازی

فرنل روش هوشمندانه ای برای تحلیل پراش از گشودگی دایروی بدون محاسبه مستقیم انتگرال فرنل کیرشف ابداع کرد. در این روش او به بررسی سهم ناشی از قسمت‌های مختلف جبهه موج، گشودگی را به منزقه‌هایی با تقارن دایره ای حول محور sop تقسیم کرد. وضعیت برای یک جبهه موج کروی به مرکز S که از گشودگی خارج می‌شود در شکل (۱) نشان داده شده است.منطقه‌ها با دایره‌هایی با فاصله‌های خاص روی جبهه موج طوری تعیین می‌شوند که هر منطقه به طور متوسط با منطقه قبل به اندازه ی λ/۲ دورتر از نقطه میدان P است.بنابر این در شکل(۱) داریم، $r_1 = r_0 + \lambda/2$ ، $r_2 = r_0 + \lambda$ و $r_N = r_0 + N\lambda/2$ بدین ترتیب سهم هر منطقه دقیقا در فاز مقابل منطقه قبل است. جمع امواج در نقطه P ناشی از مناطق نیم دوره را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$A = a_1 + a_2 e^{i\pi} + a_3 e^{i2\pi} + a_4 e^{i3\pi} + \cdots \quad (۱)$$

$$A = a_1 - a_2 + a_3 - a_3 + \cdots \quad (۲)$$

همانطو که مشاهده می‌شود مناطق طوری انتخاب شدند که تاثیر میدان حاصل از آن‌ها در کانون یکی در میان مثبت و منفی است. در تیغه منطقه ای فرنل با حذف جملات منفی با استفاده از مسدود کردن مناطق مربوطه روی تیغه اقدام به تولید یک کانون خاص می‌شود.



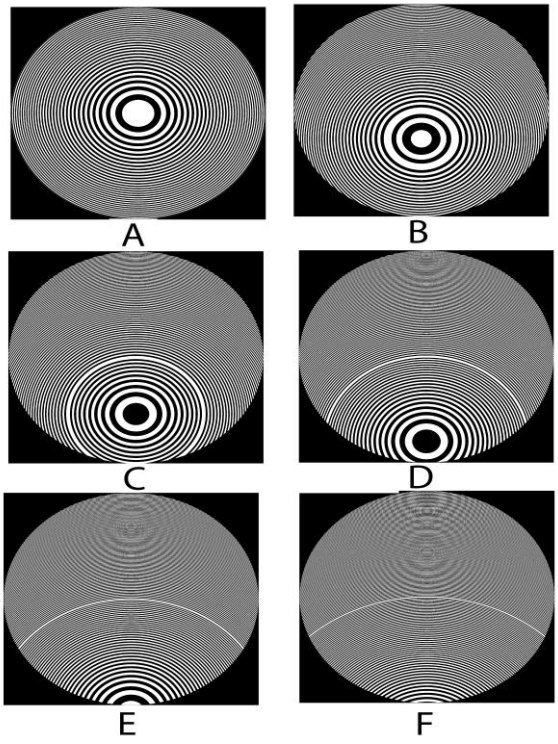
شکل ۱: نمایش مناطق فرنل. با شناخت این مناطق برای هر کانون دلخواه می‌توان یک تیغه منطقه ای طراحی کرد.

در طراحی تیغه منطقه ای فرنل برون محوری نیز از قوانین گفته شده تیغه منطقه ای فرنل معمولی استفاده شد با این تفاوت که این بار محل کانون به اندازه پارامتر برون محوری دلخواه از محور اپتیکی منحرف شد. بنابراین نقطه P را قدری از محور sop به سمت پایین کشیده شد و محاسبات مناطق فرنل برای نقطه P جدید انجام شد. باز هم مناطق فرنل طوری انتخاب شدند که هر منطقه نسبت به منطقه مجاورش تا نقطهP به اندازه λ/۲ اختلاف راه داشته باشد.این انحراف از محور اپتیکی باعث برهم زدن تقارن تیغه منطقه ای فرنل می‌شود[1,3].

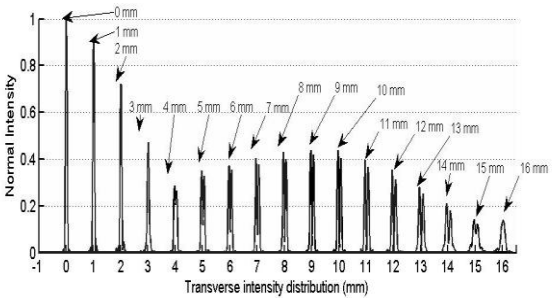
در این مقاله اقدام به طراحی ۱۳ نمونه تیغه منطقه ای شد. اولین نمونه، تیغه منطقه ای فرنل با کانون ۱۴۰ سانتی متر و از نمونه ۲ تا ۱۳ تیغه‌های منطقه ای فرنل برون محوری با همان کانون ۱۴۰ سانتی متر و پارامتر برون محوری یک میلیمتر تا ۱۲ میلیمتر است. به طور مثال نمونه ۲ طوری طراحی شد که کانون آن در ۱۴۰ سانتی متری نمونه و یک میلیمتر زیر محور اپتیکی آن باشد. در شکل (۲) چند نمونه از تیغه‌های برون محوری مشاهده می‌شود. پس از طراحی نمونه‌ها اقدام به شبیه سازی عددی انتشار نور لیزر هلیوم نئون پس از عبور از نمونه‌ها شد. شکل (۳) نمایانگر توضیع شدت تمام نمونه‌ها در صفحه کانون است که در یک نمودار آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر برون محوری به اندازه1mm مکان کانون نیز 1mm از محور اپتیکی دور

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

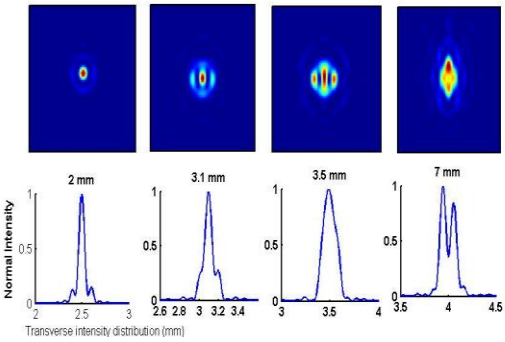
می‌شود. شدت لکه کانونی در نمونه‌ها با پارامتر برون محوری مختلف نیز متفاوت است. همچنین توزیع شدت در کانون نشان دهنده ی افرایش پیک ثانویه در جهتی که پارامترر برون محوری اعمال شده است. این موضوع در شکل(۴) به تصویر کشیده شده است.توجه شود که نمودارهای توزیع شدت در خط وسط صفحه کانون و از بالا به پایین(همان جهتی که پارامتر برون محوری اعمال شده و در شکل ۱ مشخص است) رسم شده است.



شکل ۲ : چند نمونه از تیغه‌های برون محوری طراحی شده. از A تا F به ترتیب پارامتر برون محوری ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلیمتر است.کانون تمامی نمونه‌ها ۱۴۰ سانتی متر است.



شکل ۳ : توزیع شدت شبیه سازی در صفحه کانون. توزیع شدت صفحه کانون تمام نمونه‌ها در یک نمودار آورده شده است. هر نمودار با پارامتر برون محوری نمونه تولید کننده آن نمودار نشان داده شده است.پارامتر برون محوری ۰ تا ۱۲ به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۱ تا ۱۳ است. محور عمودی توزیع شدت نرمال است. محور افقی، عرض صفحه کانون و در جهت پارامتر برون محوری و بر حسب میلیمتر است. تمام نمودارها به پر شدت ترین کانون نرمال شده و پر شدت ترین کانون نیز به یک نرمال شده است(جهت مشاهده تفاوت شدت در بین کانون‌ها مختلف).



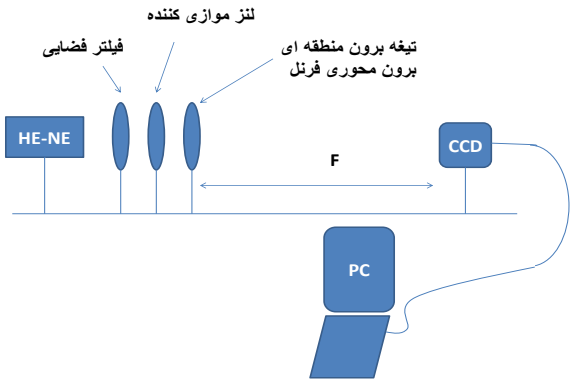
شکل ۴ : بررسی افزایش بیشینه ثانویه نمودار توزیع شدت شبیه سازی صفحه کانون متناسب با مقدار و جهت پارامتر برون محوری.مقدار پارامتر برون محوری نمونه در بالای هر نمونه آورده شده است. مشاهده می‌شود که در نمونه با پارامتر برون محوری ۲ میلیمتر تا ۷ میلیمتر بیشینه ثانویه در جهت پارامتر برون محوری اعمال شده در حال افزایش است.نمودارها ی توزیع شدت نمایانگر تغییرات شدت روی خط وسط تصاویر توزیع شدت از بالا به پایین است.

۳- کار آزمایشگاهی

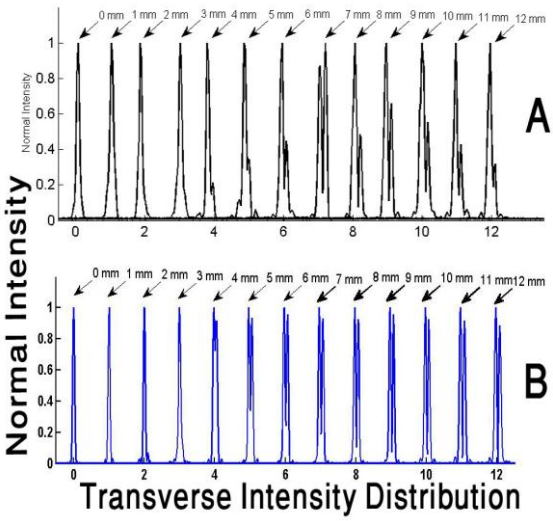
پس از حصول اطمینان از صحت عملکرد قطعات در شبیه سازی عددی، قطعات با استفاده از دستگاه ایمیج ستر با رزلوشن ۳۶۰۰ dpi بر روی فیلم شفاف لیتوگرافی شد. این قطعات با تابش نور همدوس لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲.۸ nm پس از پهن شدن و موازی شدن پرتوی لیزر مورد آزمایش قرار گرفت. چیدمان این اپتیکی برای آزمایش نمونه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.

همانطور که نتایج شبیه سازی نشان می‌داد با افزایش پارامتر برون محوری به اندازه ۱mm کانون نیز به اندازه یک میلیمتر نسبت به محور اپتیکی فاصله می‌گیرد.شکل (۶) نمودار توزیع شدت عرضی در صفحه کانون تمام نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

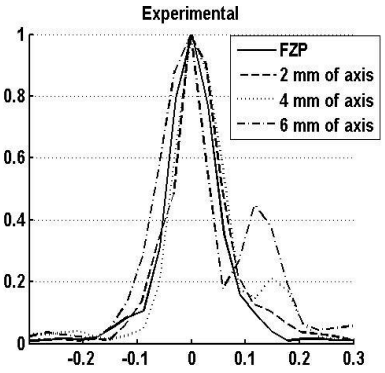


شکل ۵: چیدمان اپتیکی جهت آزمایش نمونه‌ها.



شکل ۶ : مقایسه نتایج تئوری و تجربی برای توزیع شدت عرضی صفحه کانون برای تمام نمونه‌ها. نمودار حاصل از A: داده‌های تجربی و B: داده‌های شبیه سازی.تمام توزیع شدت‌ها به یک نرمال شدنده اند.

نتایج شبیه سازی نشان داد که با افزایش پارامتر برون محوری بیشینه ثانویه مربوط به جهتی که کانون از محور منحرف شده است،افزایش پیدا می‌کند.بررسی بیشینه ثانویه در تصاویر تجربی گرفته شده نیز این موضوع را تایید می‌کند. تصاویر صفحه کانون چند نمونه در شکل(۷)آمده است.



شکل ۷ : نتایج تجربی حاصل از رسم نمودار توزیع شدت عرضی صفحه کانون برای ۳ نمونه. افزایش بیشینه ثانویه در جهتی که پارامتر برون محوری اعمال می‌شود، است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله فرنل اقدام به طراحی تیغه منطقه ای فرنل برون محوری شده است. طراحی این قطعه با استفاده از محاسبات انجام شده برای تعیین مناطق فرنل در تیغه منطقه ای انجام شد. تعداد ۱۳ نمونه طراحی شد که اولین آنها تیغه منطقه ای فرنل با پارامتر برون محوری ۰ میلیمتر و ۱۲ نمونه بعدی دارای پارامتر برون محوری ۱ تا ۱۲ میلیمتر بود. پس از طراحی نمونه‌ها اقدام به شبیه سازی عددی انتشار نور لیزر هلیوم نئون پس از عبور از نمونه‌ها شد. نتایج تجربی نشان داد که کانون نمونه‌ها به اندازه پارامتر برون محوری هر نمونه نسبت به محور اپتیکی جابه جا می‌شود. همچنین در نمودارهای توزیع شدت صفحه کانون، مشاهده شد که بیشینه ثانویه ای که در جهت پارامتر برون محوری اعمال شده است افزایش می‌یابد.که عمدتا به دلیل برهم زدن تقارن در تیغه منطقه ای فرنل به وجود آمده است. این موضوع در تصویرگیری با این نوع لنزها قابل توجه است.پس از کار شبیه سازی نمونه‌ها روی فیلم‌های شفاف لیتوگرافی شد و در چیدمان مناسب آزمایش شد. نتایج تجربی نیز داده‌های شبیه سازی را تایید کردند و توافق خوبی با نتایج شبیه سازی داشتند.

۵- مراجع

[1] Frank L.Pdrotti,S.J, *Introduction to optics*,p370 ,prentice-Hall International, Inc(1987).
[2] Ruby Raheem, KCA Raheem., Off Axis Fresnel Zone Plates for White Light 3D Microscopy, **OSA**/FIO/OPE (2006)
[3] M.Born, E. Wolf, " Principles of optics" , Cambridge UNIVERSITY PRESS, 6th edition (2005)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]