



طراحی و بررسی آزمایشگاهی تیغه منطقه‌ای برونو 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 منطقه‌ای فرنل با کانون برونو محوری طراحی شد. طراحی و تولید این تیغه‌ها با استفاده از کدنویسی در نرم افزار متلب انجام شد. شبیه سازی عددی نشان داد پارامتر برونو محوری در طراحی به درستی مکان کانون را نسبت به محور اپتیکی جا به جا می‌کند. پس از ساخت نمونه‌های باینری از تیغه منطقه‌ای برونو 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 منطقه‌ای فرنل، قطعات اپتیکی پراشی، کانون برونو محوری

Design and laboratory analysis of Off-Axis Fresnel zone plate

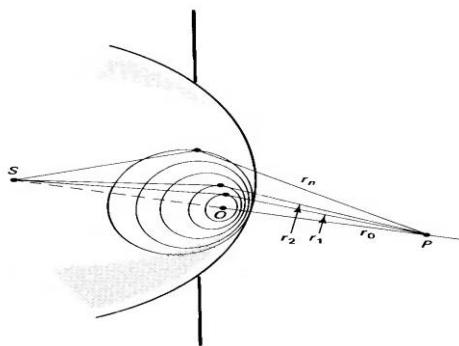
Mohammad reza Fasihani fard, sorayya jafari and arash Sabatyan

Department of Physics, University of Urmia, Urmia,

In 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

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 منطقه‌ای طراحی کرد.

در طراحی تیغه منطقه‌ای فرنل برون محوری نیز از قوانین گفته شده تیغه منطقه‌ای 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 قادری 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 نقطه P به اندازه $\lambda/2$ اختلاف راه داشته باشد. این انحراف از محور اپتیکی باعث برهم زدن تقارن تیغه منطقه‌ای فرنل می‌شود [1,3].

در این مقاله اقدام به طراحی ۱۳ نمونه تیغه منطقه‌ای شد. اولین نمونه، تیغه منطقه‌ای فرنل با کانون ۱۴۰ سانتی متر و از نمونه ۲ تا ۱۳ تیغه‌های منطقه‌ای 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 اندازه ۱mm مکان کانون نیز ۱mm از محور اپتیکی دور

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

۲- تئوری و شبیه سازی

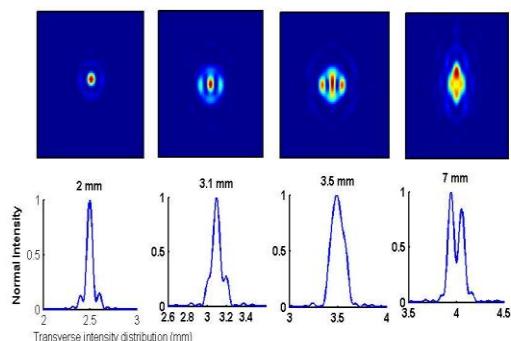
فرنل روش هوشمندانه‌ای برای تحلیل پراش از گشودگی دایروی بدون محاسبه مستقیم انتگرال فرنل کی‌رشف ابداع کرد. در این روش او به بررسی سهم ناشی از قسمت‌های مختلف جبهه موج، گشودگی را به منزه‌هایی با تقارن دایره‌ای حول محور sop تقسیم کرد. وضعیت برای یک جبهه موج کروی به مرکز S که از گشودگی خارج می‌شود در شکل (۱) 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 $\lambda/2$ دورتر از نقطه میدان P است. بنابر این در شکل (۱) داریم، $r_1 = r_0 + \lambda/2$ و $r_2 = r_0 + 2\lambda/2$. $r_N = r_0 + N\lambda/2$ بدین ترتیب سهم هر منطقه دقیقاً در فاز مقابل منطقه قبل است. جمع امواج در نقطه P ناشی از مناطق نیم دوره را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$A = a_1 + a_2 e^{i\pi} + a_3 e^{i2\pi} + a_4 e^{i3\pi} + \dots \quad (1)$$

$$A = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \dots \quad (2)$$

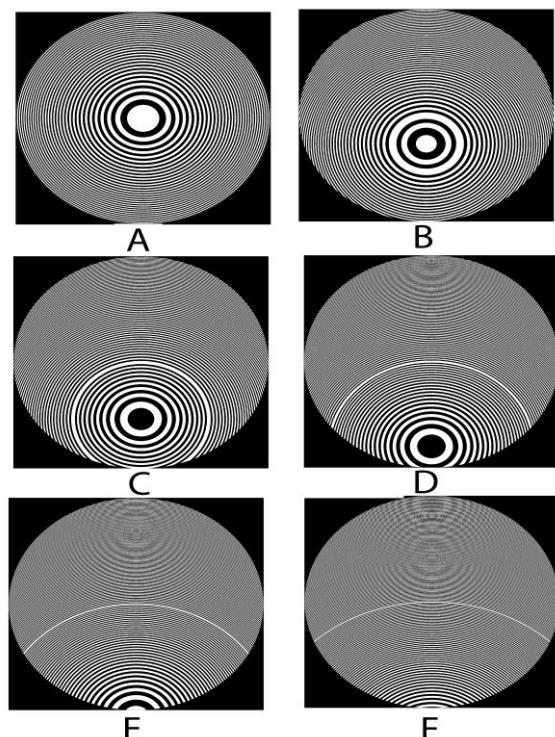
همانطور که مشاهده می‌شود مناطق طوری انتخاب شدند که تاثیر میدان حاصل از آن‌ها در کانون یکی در میان مثبت و منفی است. در تیغه منطقه‌ای فرنل با حذف

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 مناسب 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.

می‌شود. شدت لکه کانونی در نمونه‌ها با پارامتر برون محوری مختلف نیز متفاوت است. همچنین توزیع شدت در کانون نشان دهنده افزایش پیک ثانویه در جهتی که پارامتر 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.

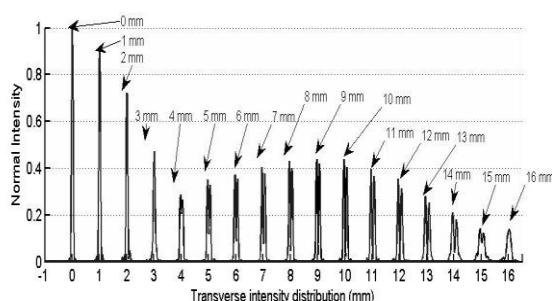


شکل ۲ : چند نمونه از تغیه‌های برون محوری طراحی شده. از A تا F به ترتیب پارامتر برون محوری ۰، ۴، ۲، ۰، ۸ و ۱۰ میلیمتر است. کانون تمامی نمونه‌ها ۱۴۰ سانتی متر است.

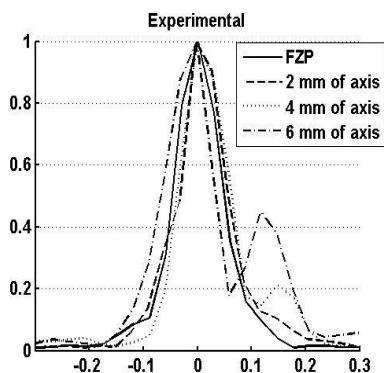
۳- کار آزمایشگاهی

پس از حصول اطمینان از صحت عملکرد قطعات در شبیه سازی عددی، قطعات با استفاده از دستگاه ایمیج ستر با رزولوشن 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.

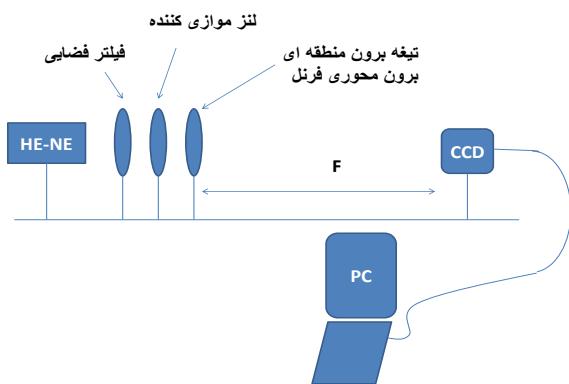
همانطور که نتایج شبیه سازی نشان می‌داد با افزایش پارامتر برون محوری به اندازه ۱mm کانون نیز به اندازه یک میلیمتر نسبت به محور اپتیکی فاصله می‌گیرد. شکل (۶) نمودار توزیع شدت عرضی در صفحه کانون تمام نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



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



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.



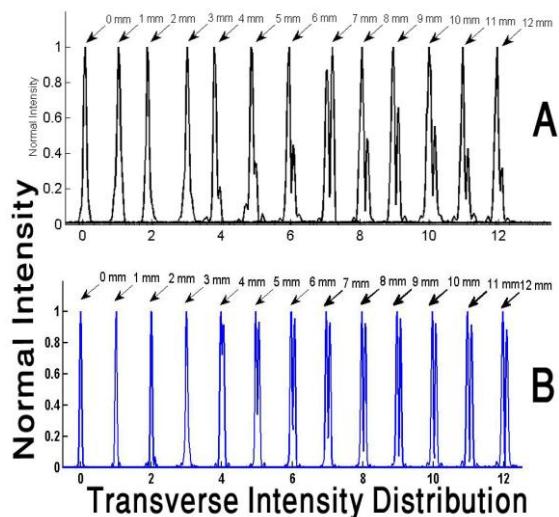
شکل ۵: چیدمان اپتیکی حله آزمایش نمونه‌ها.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله فرnel اقدام به طراحی تیغه منطقه‌ای فرنل برون محوری شده است. طراحی این قطعه با استفاده از محاسبات انجام شده برای تعیین مناطق فرنل در تیغه منطقه‌ای انجام شد. تعداد ۱۳ نمونه طراحی شد که اولین آنها تیغه منطقه‌ای 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 جایه 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 عمدتاً به دلیل برهم زدن تقارن در تیغه منطقه‌ای 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)



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.