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

طراحی و ساخت مبدل اپتیکی بسیار دقیق ۲/۷ اینچ به ۱ اینچ به منظور ایجاد قابلیت اندازه‌گیری بسیار دقیق خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در میکرومنشورها

مسعود مردانی، مهرداد مهرانی و مهرداد سلطانیان

دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر

چکیده – در این تحقیق یک مبدل اپتیکی با دقت بسیار بالا طراحی و ساخته شده است. در این مبدل اپتیکی، جبهه‌موج تخت با قطر سطح مقطع برابر با ۲/۷ اینچ وارد و با قطر سطح مقطع برابر با ۱ اینچ خارج می‌شود. در ترکیب این مبدل طراحی شده، با مبدل وارونه‌ی ۴ به ۶ اینچ دستگاه تداخل‌سنج، جبهه‌موج تخت با قطر سطح مقطع ۴ اینچ به جبهه‌موج تخت با قطر سطح مقطع ۱ اینچ تبدیل خواهد شد. به واسطه‌ی این کاهش ۴ برابری در قطر سطح مقطع جبهه‌موج، چگالی سطحی انرژی ۱۶ برابر خواهد شد و به این ترتیب امکان اندازه‌گیری خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در منشورهای با ابعاد بسیار کوچک، به روش تداخل‌سنجی، فراهم خواهد شد.

کلید واژه- مبدل اپتیکی، تداخل‌سنجی، خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه

Designing & manufacturing of an accurate 2.7" to 1" optical converter for measurement of 90 degree angle error in micro prisms

Masoud Mardani, Mehrdad Mehrani, Mehrdad Soltanian

Malek-e-Ashtar University

Abstract-in this research an accurate 2.7" to 1" optical converter is designed. In this converter plane wave-front with 2.7" diameter enters and plane wave-front with 1" diameter exits. This converter in combination with inverse 4" to 6" converter converts 4" plane wave-front to 1" plane wave-front. This 4 times reduction in diameter, increase surface intensity of wave-front, by a factor of 16. Making use of this increase in surface intensity, we can measure 90 degree angle error in micro prisms.

Keywords: optical converter, interferometry, 90 degree angle error

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

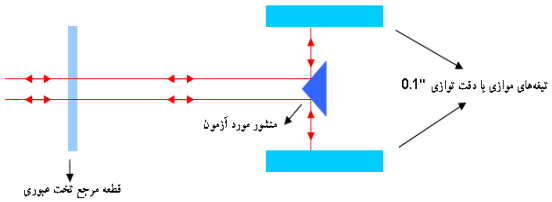
اندازه‌گیری دقیق خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در منشورها اهمیت فراوان دارد. اندازه‌گیری این خطا به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که یکی از دقیق‌ترین آن‌ها، اندازه‌گیری به روش تداخل‌سنجی می‌باشد [1]. در اندازه‌گیری به روش تداخل‌سنجی، از یک جبهه‌موج تخت با دقت تختی بسیار بالا استفاده خواهد شد. در اندازه‌گیری خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در منشورهای با ابعاد کوچک لازم است جبهه‌موج تخت با چگالی سطحی بالا مورد استفاده قرار گیرد. در مرجع [2] ، طراحی و ساخت مبدل اپتیکی ۴ اینچ به ۱ اینچ مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله مبدل اپتیکی ۲/۷ اینچ به ۱ اینچ طراحی و ساخته شده است. این مبدل در مقایسه با مبدل طراحی شده در مرجع [2] ، از نظر ابعاد بسیار کوچک‌تر و از نظر دقت تختی جبهه‌موج، بسیار دقیق‌تر می‌باشد. در این مبدل، جبهه‌موج تخت با قطر ۲/۷ اینچ وارد و با قطر ۱ اینچ خارج می‌شود. دستگاه تداخل‌سنج خود دارای یک مبدل ۴ اینچ به ۶ اینچ می‌باشد. چنانچه این مبدل به صورت وارونه در برابر دهانه‌ی تداخل‌سنج قرار داده شود، جبهه‌موج تخت با مقطع ۴ اینچ وارد و با مقطع $4\times\frac{4}{6}=\frac{16}{6}=2.7$ اینچ خارج خواهد شد. حال با وارد شدن این جبهه‌ی موج تخت به مبدل ۲/۷ به ۱ اینچ طراحی شده، نهایتاً جبهه‌موج تخت با قطر مقطع ۱ اینچ خارج خواهد شد. به این ترتیب جبهه‌موج با قطر مقطع ۴ اینچ به جبهه‌موج با قطر مقطع ۱ اینچ تبدیل خواهد شد و چگالی انرژی سطحی جبهه‌موج ۱۶ برابر افزایش خواهد یافت.

۲-چیدمان اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ درجه به روش تداخل‌سنجی

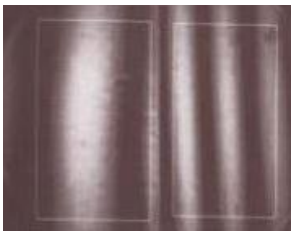
در اندازه‌گیری خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه به روش تداخل‌سنجی جبهه‌موج تخت در چیدمانی شبیه شکل۱ پس از فرود بر سطوح تشکیل دهنده‌ی زاویه‌ی ۹۰ درجه، به سمت دو تیغه‌ی موازی بازتاب خواهد شد. جبهه‌موج‌ها پس از بازتاب از این سطوح موازی و بازتاب مجدد از سطوح تشکیل دهنده‌ی زاویه‌ی ۹۰ درجه، به تداخل‌سنج بازگشته و در نتیجه‌ی تداخل با جبهه‌موج بازتابی از قطعه‌ی مرجع تخت، مشابه شکل ۲ تشکیل دو دسته الگوی تداخلی خواهند داد. میزان خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در منشور مورد آزمون از رابطه‌ی زیر حاصل خواهد شد:

$$\varepsilon=\frac{\lambda}{4}\left(\frac{1}{d_2}-\frac{1}{d_1}\right)$$

در این رابطه λ طول موج لیزر مورد استفاده در دستگاه تداخل‌سنج و d_1 و d_2 فاصله‌ی بین نوارهای روشن و تاریک در دو دسته الگوی حاصل می‌باشد.



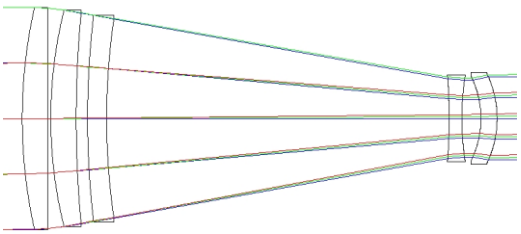
شکل۱ : چیدمان اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ درجه به روش تداخل‌سنجی



شکل۲ : تصویر دو دسته الگوی تداخلی

۳-طراحی مبدل اپتیکی ۲/۷ به ۱ اینچ

چیدمان اپتیکی عدسی‌ها، در مبدل اپتیکی طراحی شده، در نرم‌افزار طراحی Zemax، در شکل۳ دیده می‌شود.



شکل۳، چیدمان اپتیکی عدسی‌ها در مبدل اپتیکی ۲/۷ به ۱ اینچ

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

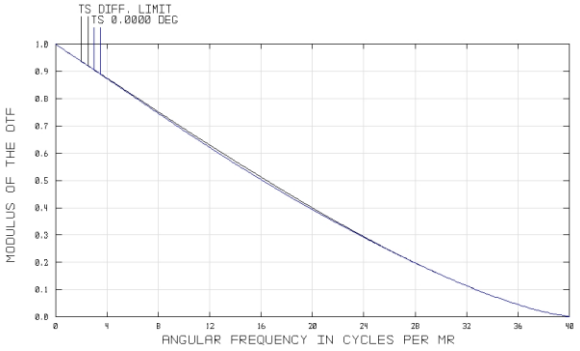
این سیستم یک مجموعه‌ی اپتیکی بدون کانون[1] می‌باشد که در آن پرتوهای نور به صورت موازی وارد و به صورت موازی نیز خارج می‌شوند. از آن‌جا که مبدل اپتیکی در چیدمان تداخل‌سنجی و در طول موج لیزر He-Ne کار خواهد کرد، ابیراهی رنگی در آن وجود نخواهد داشت، بنابراین در طراحی این مبدل نیازی به استفاده از شیشه‌های اپتیکی با جنس‌های متنوع نخواهد بود وطراحی تنها با استفاده از دو جنس رایج و موجود BK7 و SF6 انجام شده است. کاهش سایر ابیراهی‌ها با کنترل بر پارامترهای اپتیکی پنج لنز استفاده شده در طراحی، انجام شده است. در شکل۴ مشخصات عدسی‌ها، در مبدل طراحی شده، دیده می‌شود. در شکل۵ منحنی MTF مبدل اپتیکی طراحی شده دیده می‌شود. همانگونه که در این منحنی دیده می‌شود کیفیت سیستم طراحی شده به کیفیت یک سیستم محدود به پراش بسیار نزدیک است.

Lens Data Editor

Edit Solves View Help

Surf:Type		Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity
1	Standard	Infinity	10.0000		35.0873
*	Standard	159.9000	8.0000	BK7	35.0000 U
3	Standard	Infinity	1.0000		34.7127
4	Standard	141.0000	8.0000	BK7	34.1584
5	Standard	355.7000	3.6000		33.3287
6	Standard	278.4700	6.0000	BK7	32.5928
7	Standard	215.0500	107.9386		31.5483
8	Standard	-168.7000	4.0000	SF6	13.6455
9	Standard	88.0000	6.0000		13.3285
10	Standard	-30.1200	5.1000	SF6	13.3652
11	Standard	-32.8400	10.0000		14.4586
12	Standard	Infinity	0.0000		14.7701
IMA	Standard	Infinity	-		14.7701

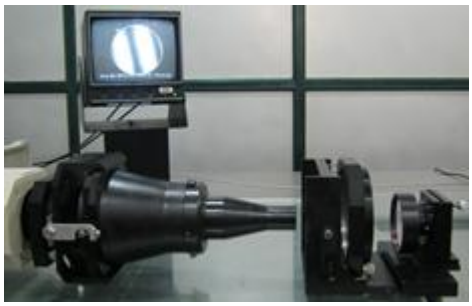
شکل۴، مشخصات عدسی‌ها در مبدل اپتیکی ۲/۷ به ۱ اینچ



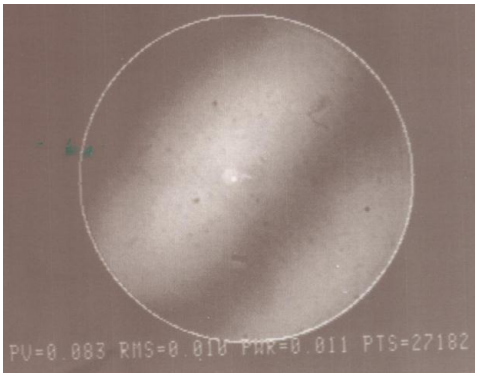
شکل۵، منحنی MTF مبدل اپتیکی ۲/۷ اینچ به ۱ اینچ طراحی شده

۴-ساخت و انجام تنظیمات دقیق مبدل اپتیکی ۲/۷ به ۱ اینچ

عدسی‌های مورد نیاز در مبدل اپتیکی، بر اساس طراحی صورت گرفته و با دقت بسیار بالا ساخته شد. در مبدل اپتیکی آنچه اهمیت دارد این است که جبهه‌ی موج تخت با دقت تختی بسیار بالا از آن خارج شود. به منظور اطمینان از این مساله چیدمان تداخل‌سنجی، مشابه شکل ۶ چیده شد. در این چیدمان، جبهه‌موج تخت با قطر ۴ اینچ ابتدا به مبدل ۶ به ۴ و پس از آن به مبدل طراحی شده‌ی ۲/۷ به ۱ وارد خواهد شد. جبهه‌موج خروجی از مبدل ۲/۷ به ۱ پس از بازتاب از آینه‌ی مرجع با جبهه‌موج مرجع تداخل‌سنج تداخل خواهد نمود و الگوی تداخلی مشابه شکل۷ و ناهمواری جبهه‌موج مشابه شکل۸ حاصل خواهد شد. همانگونه که از این نتایج دیده می‌شود، حداکثر ناهمواری‌ها در جبهه‌موج تخت خروجی از مبدل طراحی شده برابر با $PV = 0.083\lambda$ می‌باشد که این اندازه‌گیری موید این مساله می‌باشد که دقت جبهه‌موج تخت خروجی از مبدل طراحی شده بسیار بالا و از مرتبه‌ی جبهه‌موج‌های مرجع می‌باشد. منحنی MTF مبدل اپتیکی در شکل۹ دیده می‌شود. در این شکل دیده می‌شود که منحنی MTF مبدل اپتیکی به منحنی MTF یک سیستم محدود به پراش بسیار نزدیک است.



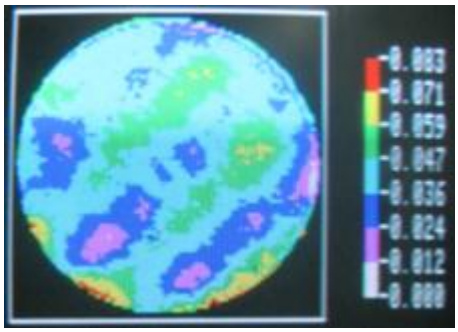
شکل۶، چیدمان اندازه‌گیری دقت تختی جبهه‌موج در مبدل طراحی شده



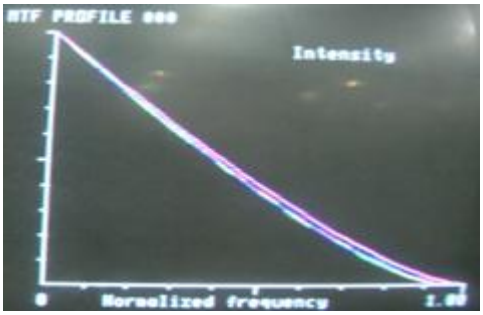
[1] Afocal

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

شکل۷، الگوی تداخلی حاصل از آزمون مبدل اپتیکی طراحی شده



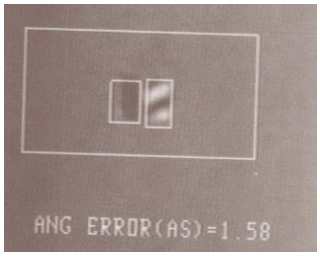
شکل۸، ناهمواری جبهه‌موج تخت خروجی از مبدل اپتیکی طراحی شده



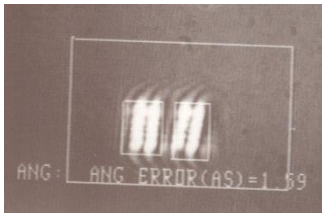
شکل۹، منحنی MTF در مبدل اپتیکی طراحی شده که به منحنی MTF محدود به پراش بسیار نزدیک می‌باشد

۵-صحه‌گذاری مبدل اپتیکی طراحی شده

به منظور اطمینان از دقت اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ با استفاده از مبدل اپتیکی طراحی شده، چیدمان مشابه شکل۱ جهت اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ درجه در یک منشور برپا شد. در شکل ۱۰ الگوی تداخلی مربوط به آزمون زاویه‌ی ۹۰ درجه، در یک منشور با ابعاد بزرگ، بدون استفاده از مبدل طراحی شده دیده می‌شود. خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در این منشور برابر با 1.58arcsec اندازه‌گیری شده است. در شکل۱۱ همان منشور با استفاده از مبدل طراحی شده تست شده است، منتها در این حالت نمونه‌برداری، به جای کل سطح، تنها از $1mm^2$ از هر وجه منشور انجام شده است. همانگونه که در این الگو نیز مشهود است خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه بین دو سطح برابر با 1.59arcsec اندازه‌گیری شده است که این مساله بیانگر دقت بسیار بالای مبدل اپتیکی طراحی شده است.



شکل۱۰، اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ درجه بر روی قطعه با نمونه‌برداری از کل سطح قطعه



شکل۱۱، اندازه‌گیری خطای زاویه ۹۰ درجه بر روی قطعه، با نمونه‌برداری از $1mm^2$ از هر وجه قطعه

۶-نتیجه‌گیری

در این مقاله مبدل اپتیکی بسیار دقیق طراحی و ساخته شده است که با استفاده از آن، به دلیل افزایش بسیار زیاد، در چگالی سطحی انرژی جبهه‌موج خروجی، امکان اندازه‌گیری خطای زاویه‌ی ۹۰ درجه در منشورهای با ابعاد بسیار کوچک و با دقت بسیار بالا فراهم شده است. در طراحی و ساخت این مبدل اپتیکی در مقایسه با طراحی انجام شده در مرجع [2] ، ابعاد مبدل اپتیکی به حدود یک سوم کاهش و به واسطه‌ی کوچک شدن ابعاد عدسی‌ها، دقت تختی جبهه‌موج خروجی از آن افزایش چشمگیر یافته است.

مراجع

[1] Daniel Malacara, Optical Shop Testing, John Wiley & Sons , 2007

[2] مسعود مردانی و همکاران، طراحی و ساخت مبدل اپتیکی به منظور ایجاد قابلیت آزمون زاویه ۹۰ درجه میکرو منشورها به روش تداخل سنجی، نخستین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]