

طراحی و ساخت سامانه لیتوگرافی لیزری با استفاده از هد دستگاه Blu-Ray

احمد عفیفی^۱، امین آقائی روزبهانی^۲، رضا اسدی^۳

۱. استادیار مجتمع برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر ah_afifi@iust.ac.ir

۲. مربی دانشکده برق موسسه آموزش عالی ایوان کی

۳. دانش‌آموخته دکترای برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۳۰

چکیده

در این مقاله، نمونه آزمایشگاهی یک سامانه لیتوگرافی لیزری با استفاده از هد اپتیکی دستگاه دیسک‌خوان (Blu-Ray) ساخته و آزمایش شده است. هد اپتیکی این دستگاه دارای لیزر آبی، لیزر قرمز، عدسی شیئی و قطعات اپتیک مناسب برای خواندن و نوشتن اطلاعات روی دیسک نوری است. از لیزر آبی آن با طول موج ۴۰۵ نانومتر به صورت یکپارچه برای کانونی‌سازی لیزر روی سطح زیرلایه و همچنین لیتوگرافی و ایجاد الگو روی زیرلایه پوشش داده شده با فوتورزیست شیلی استفاده شده است. برای انجام فرآیند لیتوگرافی، زیرلایه روی میز دو درجه آزادی $X-Y$ قرار می‌گیرد و متناسب با الگوی طرح و فرامین ارسالی از کامپیوتر، سطح آن به وسیله لیزر روشن/خاموش جاروب می‌شود. برای رسیدن به کمینه لکه لیزر و ثابت نگه داشتن زیرلایه در محدوده فاصله کانونی محور Z ، سامانه خودکانون با استفاده از هد اپتیکی و طراحی مدارات واسط ساخته شده است تا پهنای خطوط لیتوگرافی در کل سطح زیرلایه تغییر نکند. دقت پهنای خطوط لیتوگرافی انجام شده $3\mu m$ با غیریکنواختی کمتر از ۲ درصد است و با توجه به طول موج لیزر آبی و عدسی شیئی با روزه عددی ۰/۸۵ موجود در هد اپتیکی، دقت سامانه لیتوگرافی مذکور تا دقت 500 nm قابل ارتقا است.

کلید واژه

لیتوگرافی مستقیم لیزری، سامانه خودکانون، آستیگماتیسم، دیسک‌خوان Blu-Ray.

مقدمه

ابعاد بزرگ و روی سطوح ناهموار، عدم ایجاد استرس در زیرلایه و حد تفکیک بهتر است و برای ساخت قطعات با کاربرد خاص، قطعه‌های میکرواپتیکی با شعاع انحنای زیاد، تولید ماسک برای لیتوگرافی غیرمستقیم و ... مناسب است. در این روش، بر خلاف لیتوگرافی نوری و اشعه X به اتاق رسم، کاردینوگرافی و سامانه‌های خلأ نیازی نیست. در مقابل، سامانه لیتوگرافی لیزری دارای چالش‌های دیگری از جمله قیمت بالا، سرعت کم، پایداری مکانیکی کم در بخش اپتیک و حساسیت زیاد آن به لرزش‌های محیطی است.

سامانه لیتوگرافی لیزری شامل یک زیرسامانه جابه‌جاگر $X-Y$ برای جابه‌جایی زیرلایه و یک زیرسامانه نوردهی برای انجام عمل حکاکی و تنظیم فاصله کانونی عدسی شیئی است. برای ساخت زیرسامانه نوردهی، معمولاً از یک لیزر با طول موج ۶۵۰ نانومتر برای تنظیم فاصله کانونی و از یک لیزر ۳۸۰ نانومتر برای انجام

میکرولیتوگرافی یکی از فرآیندهای اصلی ساخت قطعات میکروالکترونیک، میکروفونیک و MEMS است که با استفاده از آن امکان ایجاد حکاکی طرح و الگوی قطعه مورد نظر با دقت میکرومتر روی زیرلایه فراهم می‌شود. برای افزایش قابلیت و فرکانس قطعات میکروالکترونیک نیاز به لیتوگرافی با ابعاد کوچکتر است و به همین دلیل قدرت ساخت این ادوات روبه‌روز افزایش می‌یابد و این روند توقف‌ناپذیر مرسوم ابداع سامانه‌های دقیق‌تر لیتوگرافی است [۱].

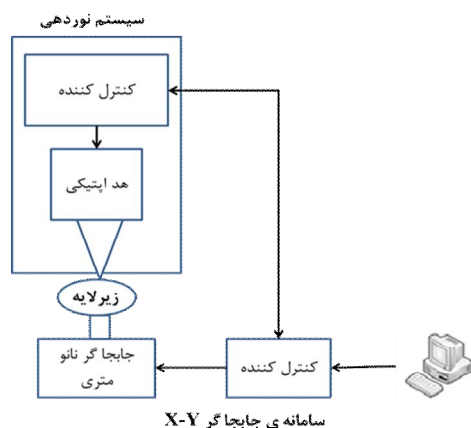
روش‌های لیتوگرافی بر اساس استفاده یا عدم استفاده از ماسک به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. لیتوگرافی لیزری از نوع مستقیم است که نیاز به ماسک واسط ندارد و طرح بدون استفاده از ماسک و به صورت مستقیم روی فوتورزیست ایجاد می‌شود [۲-۶]. مزیت این روش امکان ایجاد الگوهای متنوع در

کانونی می‌شود و روی سطح زیرلایه مطابق با الگوی مورد نظر و توسط یک جابه‌جاگر نانومتري X-Y جاروب می‌شود. جابه‌جاگر نانومتري، یک میز دو درجه آزادی است که زیر لایه را با استفاده از پمپ هوا روی خود نگه می‌دارد. طرح لیتوگرافی از طریق کامپیوتر به برد کنترلی نانوجاروبگر جهت جاروب زیرلایه اعمال می‌شود. معمولاً میز جابه‌جاگر X-Y روی میز دیگری با قابلیت جابجایی در راستای محور Z سوار می‌شود تا از طریق فرمانی که از زیرسامانه خودکانونی به آن اعمال می‌شود زیرلایه را همواره در فاصله کانونی لیزر نگه دارد و پهنای خط لیزر در تمام سطح زیرلایه تغییر نکند. زیرسامانه خودکانونی را می‌توان با استفاده از لیزر قرمز هد اپتیکی و بردهای واسط پیاده‌سازی کرد.

قدرت تفکیک‌پذیری سامانه لیتوگرافی به وسیله قطر لکه لیزر تعیین می‌شود. قطر لکه لیزر به روزنه عددی عدسی شیئی و همچنین طول موج لیزر بستگی دارد و از رابطه زیر تبعیت می‌کند.

$$SpotSize = k \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

که در آن λ طول موج لیزر، NA روزنه عددی عدسی شیئی است و ضریب k بستگی به کیفیت و مشخصات پرتو و عدسی دارد [۸]. هد اپتیکی دستگاه BD استفاده شده در این مقاله دارای قطر لکه حدود ۵۰۰ نانومتر، طول موج لیزر ۴۰۵ نانومتر و روزنه عددی عدسی شیئی ۰/۸۵ است. بنابراین ضریب کیفیت آن برای طراحی حدود ۱ به دست می‌آید [۷].



شکل ۱. ساختار بلوکی سامانه لیتوگرافی لیزری مبتنی بر هد اپتیکی BD

اجزاء هد اپتیکی دستگاه ۵

در این مقاله، از هد یک دستگاه BD متعلق به شرکت Pioneer با نام تجاری BDR-206DBK استفاده شده است [۱۰]. اجزای این هد در شکل ۲ نشان داده شده است. هد اپتیکی این دستگاه دارای یک عدسی شیئی با روزنه عددی ۰/۸۵ و سه لیزر برای نوشتن و خواندن CD/DVD/BD است. مسیرهای اپتیکی عبور سه لیزر در

عمل حکاکی به همراه قطعات مختلف اپتیکی به صورت مجزا استفاده می‌شود که پیچیدگی و قیمت سامانه را بالا می‌برند. علاوه بر آن، به علت ناپایداری‌های مکانیکی تجهیزات اپتیک و لیزر احتیاج به تنظیمات و کالیبراسیون دوره‌ای و تخصصی است که استفاده از آنها را محدود می‌کند.

در هد اپتیکی دیسک‌خوان‌های CD، DVD و BD از لیزر دیویدهای کوچکی استفاده شده است که نور آنها توسط یک زیرسامانه اپتیک روی دیسک‌ها کانونی می‌شود. طول موج لیزر مورد استفاده برای ثبت و خواندن اطلاعات از ۷۸۰ نانومتر برای CDها به ۶۵۰ نانومتر برای DVDها و نهایتاً ۴۰۵ نانومتر برای BDها تغییر کرده است [۷-۱۱]. بنابراین، با کاهش طول موج لیزر به ناحیه آبی و نزدیکی آن با ناحیه طیف جذب اکثر فوتورزیست‌ها، امکان استفاده از هد اپتیکی و لیزر برای تابش فوتورزیست و فرآیند لیتوگرافی به وجود آمده است.

مجموعه اپتیک و لیزر دستگاه BD یکپارچه است و به علت تولید انبوه دستگاه‌های BD، هزینه بخش اپتیک و لیزر سامانه لیتوگرافی تا یک‌صدم سامانه‌های متداول لیتوگرافی لیزری کاهش می‌یابد. این کاهش هزینه به تفصیل در مقاله [۷] که همزمان با فعالیت این مقاله منتشر شده، تحلیل شده است. در این مقاله، طرح سامانه لیتوگرافی لیزری با استفاده از هد اپتیکی BD ارائه شده است، اما در آن اذعان شده که مکانیسم خودکانونی تاکنون پیاده‌سازی نشده است.

در این مقاله، با طراحی انجام گرفته به منظور کنترل بخش‌های اپتیکی و لیزری هد دستگاه BD، زیرسامانه نوردهی سامانه لیتوگرافی لیزری به صورت یکپارچه پیاده‌سازی شده است. به طوری که می‌توان عملیات تنظیم کانون و عملیات نوشتن را با یک لیزر ۴۰۵ نانومتر انجام داد. با ترکیب زیرسامانه نوردهی مذکور با زیرسامانه جابه‌جاگر X-Y، نمونه آزمایشگاهی یک سامانه لیتوگرافی ساخته شده که قادر است اکثر محدودیت‌های سامانه لیتوگرافی لیزری با طراحی مستقل را رفع کند. ابعاد بخش اپتیک و لیزر این سامانه بسیار کوچک است و به سرعت برای شروع عملیات لیتوگرافی، بدون خارج شدن از کالیبراسیون بر اثر جابه‌جایی، نصب و آماده به کار می‌شود.

ساختار سامانه لیتوگرافی مبتنی بر هد اپتیکی ۵

ساختار بلوکی سامانه لیتوگرافی لیزری با استفاده از هد اپتیکی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این سامانه از لیزر آبیهد اپتیکی به طول موج ۴۰۵ نانومتر برای تحریک فوتورزیست استفاده می‌شود. لیزر بعد از عبور از یک سامانه اپتیکی برای اصلاح کیفیت و موازی‌سازی، توسط یک عدسی شیئی روی سطح فوتورزیست

پایه‌های باقیمانده کانکتور مربوط به سیگنال‌های تحریک عملگرهای الکترومغناطیسی کانونی، شعاعی و کجی موجود در هد هستند [۱۵ و ۱۶]. برای استخراج مشخصه‌های هد اپتیکی از چیدمان مجموعه تست مطابق شکل ۵ استفاده شده است که شامل تجهیزات اپتومکانیکی، اندازه‌گیری و بردهای الکترونیکی هستند که به عنوان مدار واسط و پردازشگر طراحی و ساخته شده‌اند. در این چیدمان، هد روی یک پایه اپتیکی ثابت شده است و یک زیر لایه از جنس کروم روی پایه دیگر اپتیکی نصب شده است. این پایه به صورت میکرومتری جابه‌جا می‌شود و به ازای هر گام حرکت، سیگنال‌های ولتاژ مربوط به آشکارساز چهارتایی (سیگنال خطای کانون) توسط برد واسط خوانده می‌شود تا در یک بازه مشخص منحنی S به دست آید. برای اندازه‌گیری مشخصه توان لیزر هد اپتیکی بر حسب جریان، یک مدار درایو و راه‌انداز لیزر که جریان خروجی آن قابل تنظیم است و در چیدمان شکل ۵ مشاهده می‌شود، مطابق مدار شماتیک شکل ۶ طراحی و پیاده‌سازی شده است.

مدار راه‌انداز لیزر یک منبع جریان قابل تنظیم است که با استفاده از یک مدار تقویت کننده با فیدبک منفی طراحی شده است [۱۷]. با عنایت به اینکه بهره تقویت‌کننده‌ها بسیار زیاد هستند وقتی ولتاژ مرجع پایه مثبت تقویت‌کننده اول تغییر کند، ولتاژ پایه منفی آن نیز با ولتاژ مرجع برابر شده و باعث می‌شود جریان ثابت از ترانزیستور $Q1$ عبور کند، بنابراین تغییرات ولتاژ مرجع، جریان ترانزیستور و به دنبال آن ولتاژ کلکتور ترانزیستور $Q1$ را که به پایه مثبت تقویت‌کننده دوم وصل است، تغییر می‌دهد. با در نظر گرفتن مقاومت ورودی زیاد، جریان پایه‌های ورودی تقویت‌کننده ناچیز بوده و ولتاژ امیتر $Q2$ با ولتاژ کلکتور $Q1$ برابر خواهد بود. بنابراین، در این مدار، جریان عبوری از دیود لیزری از طریق ولتاژ مرجع قابل تنظیم است. به این ترتیب که ولتاژ مرجع از طریق تقویت‌کننده اول با ضریب $\left(\frac{R_{37} + R_{54}}{R_{36}}\right)$ در کلکتور $Q1$ تقویت می‌شود. ولتاژ کلکتور $Q1$ به تقویت‌کننده دوم اعمال می‌شود و موجب جاری شدن جریانی با ضریب $\left(\frac{1}{R_{38}}\right)$ از امیتر ترانزیستور $Q2$ می‌شود. بنابراین، رابطه جریان خروجی با ولتاژ ورودی مرجع طبق رابطه زیر خواهد بود:

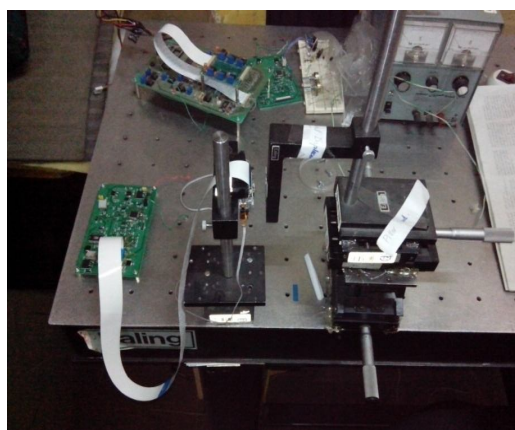
$$I_{out} = V_{in} \left(\frac{R_{37} + R_{54}}{R_{36}} \right) \left(\frac{1}{R_{38}} \right) \quad (3)$$

مشخصه توان لیزر بر حسب جریان ورودی به صورت نمودار شکل «۷-الف» اندازه‌گیری شده است. این مشخصه با اندازه‌گیری توان نور تابش شده از لیزر با طول موج ۴۰۵ نانومتر، توسط دستگاه اندازه‌گیری توان نوری با مدل THORLABS-PM100 به دست آمده است. بر اساس نمودار شکل ۷-الف اگر جریانی برابر با ۲۳ میلی‌آمپر از دیود عبور کند، مقدار توان نوری لیزر دیودی حدود ۵ میکرو وات خواهد بود. در حقیقت هنگام درایو لیزر ولتاژ دو سر لیزر دیودی تغییر می‌کند که موجب تغییر جریان عبوری از لیزر و در نتیجه تغییر توان اپتیکی خروجی لیزر می‌شود.

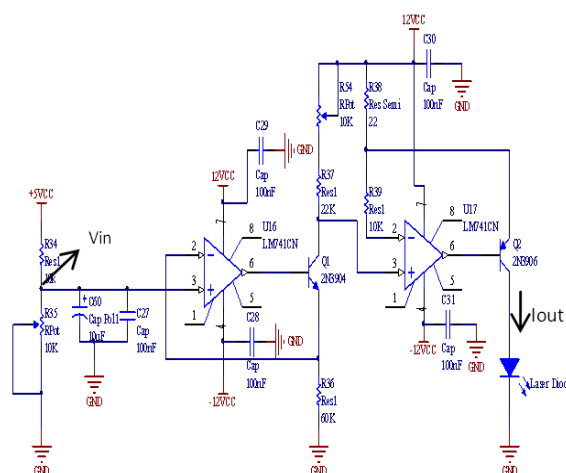
عملگر الکترومغناطیسی (به عنوان یکی دیگر از اجزای هد اپتیکی) عدسی شیئی را به منظور کانونی‌سازی جابه‌جا می‌کند. سیم‌پیچ عملگر الکترومغناطیسی در طرفین عدسی شیئی و بین دو آهنربای دائمی قرار دارد و متناسب با ولتاژ اعمالی به سیم‌پیچ از آن جریان عبور می‌کند.

چون سیم‌پیچ در یک میدان مغناطیسی ناشی از یک آهنربای دائم قرار دارد نیروی الکترومغناطیسی تولید شده باعث بالا و پایین رفتن عدسی متصل به سیم‌پیچ می‌شود. مشخصه جابه‌جایی بر حسب ولتاژ سیم‌پیچ برای هد اپتیکی مورد آزمایش به صورت شکل ۷-ب به دست آمده است. مشخصه به دست آمده نشان می‌دهد که رابطه ولتاژ اعمالی و جابه‌جایی عدسی شیئی در

پایه‌های باقیمانده کانکتور مربوط به سیگنال‌های تحریک عملگرهای الکترومغناطیسی کانونی، شعاعی و کجی موجود در هد هستند [۱۵ و ۱۶]. برای استخراج مشخصه‌های هد اپتیکی از چیدمان مجموعه تست مطابق شکل ۵ استفاده شده است که شامل تجهیزات اپتومکانیکی، اندازه‌گیری و بردهای الکترونیکی هستند که به عنوان مدار واسط و پردازشگر طراحی و ساخته شده‌اند. در این چیدمان، هد روی یک پایه اپتیکی ثابت شده است و یک زیر لایه از جنس کروم روی پایه دیگر اپتیکی نصب شده است. این پایه به صورت میکرومتری جابه‌جا می‌شود و به ازای هر گام حرکت، سیگنال‌های ولتاژ مربوط به آشکارساز چهارتایی (سیگنال خطای کانون) توسط برد واسط خوانده می‌شود تا در یک بازه مشخص منحنی S به دست آید. برای اندازه‌گیری مشخصه توان لیزر هد اپتیکی بر حسب جریان، یک مدار درایو و راه‌انداز لیزر که جریان خروجی آن قابل تنظیم است و در چیدمان شکل ۵ مشاهده می‌شود، مطابق مدار شماتیک شکل ۶ طراحی و پیاده‌سازی شده است.



شکل ۵. چیدمان الکترواپتیکی برای استخراج مشخصه S-curve



شکل ۶. مدار طراحی شده برای راه‌اندازی لیزر دیودی

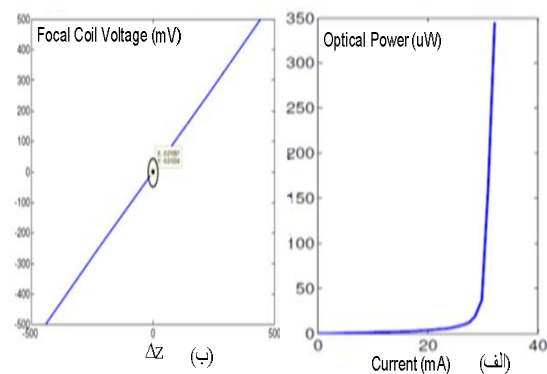
سامانه لیتوگرافی

شکل ۹ نمای کلی نمونه آزمایشگاهی سامانه لیتوگرافی لیزری مبتنی بر هد اپتیکی را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشخص شده است این سامانه از سه بخش اصلی هد اپتیکی، بردهای الکترونیکی و سکوی جابه‌جایی X-Y تشکیل شده است. با استفاده از مشخصه‌های به دست آمده هد اپتیکی، دو عدد برد الکترونیکی واسط طراحی و ساخته شده است. برد اول برای کنترل بخش خودکانونی هد لیزری طراحی و ساخته شده است که شامل بخش‌های گوناگونی از جمله مدارات تغذیه، مدار راه‌انداز لیزر دیودی، مدار تولید سیگنال خطا، بخش پردازنده مرکزی و مدار راه‌انداز عملگرهای الکترومغناطیسی است. سیگنال‌های آشکارساز چهارتایی از طریق درگاه ورودی به برد وارد می‌شوند و بر اساس آنها سیگنال خطای کانون از طریق یک مدار جمع و تفریق‌کننده آنالوگ تولید می‌شود. میکروکنترلر تعبیه شده در برد با نمونه‌برداری از سیگنال خطای کانون میزان انحراف از کانون را مشخص کرده و سیگنال لازم برای اصلاح انحراف از کانون را تولید می‌کند. این سیگنال به عملگر الکترومغناطیسی اعمال می‌شود تا عدسی شیئی را برای اصلاح انحراف از کانون جابه‌جا کند. برد دوم به عنوان واسط بین هد و برد مولد سیگنال خطای کانون استفاده شده است. طراحی و ساخت بردهای زیرسامانه خودکانونی در [۱۸] با استفاده از هد دستگاه DVD گزارش شده است.

سکوی جابه‌جایی X-Y استفاده شده در سامانه لیتوگرافی، ساخت شرکت THORLABS است که زیرلایه را با استفاده از پمپ هوا روی خود نگه می‌دارد و بر اساس الگویی که توسط نرم‌افزار از کامپیوتر دریافت می‌کند زیرلایه را در جهات X-Y با دقت نانومتری جابه‌جا می‌کند. سرعت لیتوگرافی توسط این سکو حدود 3 mm/s و حداکثر ابعاد لیتوگرافی $3 \times 3 \text{ cm}^2$ است. سکوی سومی نیز برای تنظیمات محور Z استفاده شده است و از طریق فرمانی که از بخش خودکانونی می‌گیرد زیرلایه را در جهت محور Z حرکت می‌دهد تا سیگنال خطای کانون به حداقل مقدار خود برسد و اندازه لکه لیزر حداقل شود. به منظور انجام فرآیند لیتوگرافی هد اپتیکی روی یک پایه اپتومکانیکی مطابق شکل ۹ نصب می‌شود و زیرلایه روی سکوی XYZ سوار می‌شود. هنگام شروع به کار سامانه، هد اپتیکی با استفاده از سامانه خودکانونی زیرلایه را جست‌جو می‌کند تا عدسی شیئی را در نقطه کانون برای داشتن حداقل اندازه لکه لیزر قرار دهد. با جاروب سطح نمونه نصب شده روی سکو، توسط لیزر هد اپتیکی به صورت روشن/خاموش الگوی مورد نظر روی زیرلایه لیتوگرافی می‌شود.

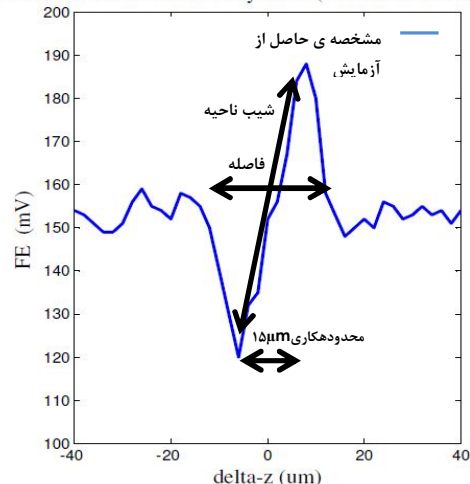
راستای عمود بر دیسک یک رابطه خطی است که شیب آن برابر با 900 میکرو ولت بر میکرومتر است.

منحنی پاسخدهی آشکارساز چهارتایی، منحنی S با استفاده از چیدمان شکل ۵، به صورت شکل ۸ استخراج شده است. با استفاده از این منحنی، مشخصه ولتاژ خطای کانون θF بر حسب فاصله به دست می‌آید. با توجه به این مشخصه، فاصله هدفیابی در آشکارساز برابر با 30 میکرومتر (معادل کل بازه منحنی S) و محدوده کاری 15 میکرومتر (معادل فاصله کمینه و بیشینه منحنی) است. مادامی که زیرلایه در فاصله هدفیابی قرار گیرد توسط سامانه خودکانونی تشخیص داده می‌شود و از طریق اعمال فرامین لازم به عملگر الکترومغناطیسی، متناسب با شیب محدوده کاری، خطای فاصله اصلاح می‌شود و فاصله عدسی شیئی و زیرلایه در فاصله کانونی نگه داشته می‌شود. طبق منحنی S در ناحیه خطی به ازای هر 500 نانومتر انحراف از کانون، ولتاژ خطای کانون تقریباً $2/3$ میلی ولت تغییرات خواهد داشت.



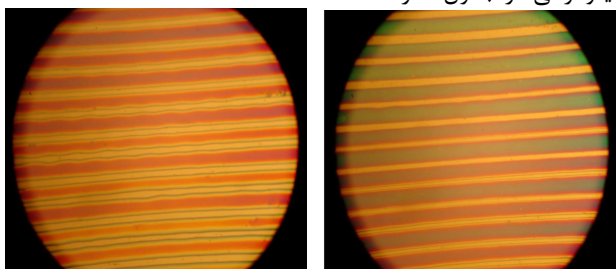
شکل ۷. الف - منحنی مشخصه توان نوری لیزر دیودی ب - مشخصه ولتاژ عملگر الکترومغناطیسی بر حسب جابه‌جایی (μm)

FE---delta-z curve of Blu-ray Head (Pioneer DBR-206DBK)



شکل ۸. مشخصه آشکارساز چهارتایی هد اپتیکی

لیتوگرافی تا دقت 500 nm قابل ارتقا است [۷]. پارامترهای فرایند لیتوگرافی در جدول ۱ ارائه شده‌اند.



الف) فاصله بین خطوط ۱۷ میکرومتر و پهنای خطوط ۳ میکرومتر
ب) فاصله بین خطوط ۷ میکرومتر و پهنای خطوط ۳ میکرومتر

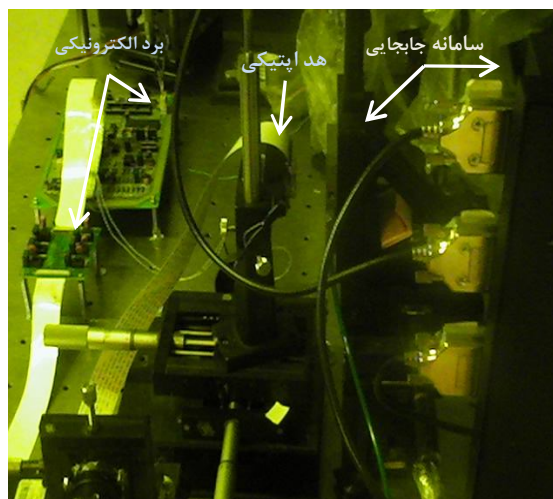
شکل ۱۰. تصویر میکروسکوپی نمونه‌های لبتوگرافی شده با خطوط موازی

جدول ۱. پارامترهای در نظر گرفته شده برای انجام فرایند لیتوگرافی

غلظت سود (g/Lit)	سرعت جاروب (mm/S)	زمان ظهور (Sec)	شدت توان لیزر (μW)	فاصله خطوط (μm)
۲/۵	۲٫۸	۱۰	۱۰	۲۰
۲/۵	۲٫۸	۲۰	۵	۱۰
۱/۵	۲٫۸	۲۵	۴	۳

نتیجه‌گیری

در این مقاله، گزارش ساختیک سامانه میکرولیتوگرافی لیزری ارائه شده است که با استخراج و اندازه‌گیری مشخصات هد اپتیکی دستگاه BD، طراحی بردهای الکترونیکی لازم و بهینه‌سازی یک میز جابه‌جاگر سه درجه آزادی پیاده‌سازی شده است. برای ساخت سامانه لیتوگرافی لیزری از قابلیت‌های هد اپتیکی BD شامل لیزر آبی، آشکارساز چهارتابی، عملگرهای الکترومغناطیسی، مجموعه قطعات اپتیکی، عدسی شیئی با روزنه عددی 0.85 و درگاه‌های ورودی- خروجی استفاده شده است که همگی در یک بسته کوچک و ارزان وجود دارند. این قابلیت‌ها باعث کاهش شدید قیمت، کوچک شدن، سادگی نصب، نداشتن نیاز به کالیبراسیون به دلیل جابه‌جایی و ... در سامانه لیتوگرافی لیزری شده است. حساسیت سامانه خودکانون پیاده‌سازی شده حدود $4/6 \text{ mV}/\mu\text{m}$ و فاصله آشکارسازی زیرلایه 30 میکرومتر است. با کنترل شرایط شدت نور و فرآیند ظهور پهنای خط برابر با 3 میکرومتر به دست آمده است. با توجه به قابلیت‌های هد اپتیکی در صورت استفاده از سکوها دقیق‌تر و بهینه‌سازی فرآیند، امکان افزایش تفکیک‌پذیری تا دقت 500 نانومتر وجود دارد. در حال حاضر نمونه آزمایشگاهی سامانه لیتوگرافی مذکور ساخته شده است و فعالیت‌ها برای ساخت نمونه مهندسی و عملیاتی آن ادامه دارد.



شکل ۹. نمای کلی سامانه لیتوگرافی لیزری مبتنی بر هد اپتیکی در اتاق زرد

تست و ارزیابی سامانه لیتوگرافی

برای انجام لیتوگرافی از زیرلایه کروم استفاده شده است که روی آن یک لایه فوتورزیست شیپلی- 1400 با استفاده از لایه نشان چرخشی، با سرعت 3500 دور بر دقیقه و مدت زمان 30 ثانیه، پوشانده شده است. سپس نمونه پوشیده شده با فوتورزیست به مدت 60 ثانیه در دمای 90 درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شود تا عملیات پیش‌پخت صورت گیرد. نمونه آماده شده روی جابه‌جاگر قرار داده شده و عملیات نوردهی انجام می‌شود. پس از نوردهی نمونه به مدت حدود 10 تا 20 ثانیه در محلول سود با غلظت $2/5$ گرم بر لیتر قرار داده می‌شود تا عملیات ظهور انجام شود. نمونه‌های مختلف، در حوالی کانون هد اپتیکی، لیتوگرافی شده است و عملکرد و قدرت تفکیک‌پذیری سامانه بررسی و اندازه‌گیری شده است. در این بررسی‌ها، نمونه‌هایی به صورت خطوط موازی با فاصله‌های 17 و 7 میکرومتر و در بازه حدود 3 میکرومتر حول نقطه کانون لیتوگرافی شده است. پهنای خطوط لیتوگرافی شده و فاصله بین آنها به وسیله یک میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از لیتوگرافی در شکل ۱۰ نشان داده شده است که در آنها پهنای خطوط سه میکرومتر به دست آمده است.

در این مقاله، از یک سکوی جابه‌جاگر ارزان قیمت استفاده شده است که دارای دقت پس‌زنی^۱ از مرتبه میکرومتر است. بنابراین، نوسانات این سکو هنگام حرکت باعث اعوجاج در راستای خطوط می‌شود و کاهش بیشتر فاصله خطوط را مشکل می‌کند. این چالش با استفاده از به‌کارگیری سکوی جابه‌جاگر دقیق‌تر و با نوسان کمتر برطرف می‌شود. بنابراین با عنایت به طول موج لیزر 405 نانومتر و عدسی شیئی با روزنه عددی 0.85 هد اپتیکی، دقت

1. Backlash

- [9] Blu-rayDiscAssociation, "WhitePaperBlu-ray Disc Format: Physical Format Specifications for BD-RE," v2, 2010.
- [10] Blu-rayDiscAssociation, "WhitePaperBlu-ray Disc Format: Physical Format Specifications for BD-RE," v3, 2012.
- [11] Blu-rayDiscFounders, "WhitePaperBlu-rayDiscFormat:KeyTechnologies," 2004.
- [12] KouchiyamaA, ArataniK, TakemotoY, NakaoT, KaiS, OsatoK, *etal.* JpnJ Appl. Phys, Part1, 2003; 42:769.
- [13] LOT-OrielGroupEurope, "MicroWriterTM Laser LithographySystem," 2010.
- [14] SVGOptronics, "MicroLab: Laser Pattern Generator oncurve surface," 2010.
- [15] B. Hnilicka, A. Voda, H.-J. Schroder. "Modelling the characteristics of a photodetector in a DVD player", ELSEVIER, Sensors and Actuators. A 120 (2005) 494–506.
- [16] Takuma Yanagisawa, Tsurugashima, "Method for generating a focus error signal due to astigmatism and optical pickup device using the same", United States Patemt, Patent Number 5,850,081, Dec. 1998.
- [17] Behzad Razavi. "Fundamentals of Microelectronics". 2th ed., John Wiley. NewYork, 2013.
- [۱۸] امین آقائی روزبهانی، احمد عقیفی و محمدمامین بصام «سامانه خودکائونی با استفاده از هد دستگاه DVD برای لیتوگرافی لیزری» بیستمین کنفرانس مهندسی برق ایران دانشگاه تهران اردیبهشت ۱۳۹۱.
- [1] Anand Kumar Dokania, "Laser lithography", 2004.
- [2] C. Schomburg, B. Höfflinger, R. Springer and R. Wijnaendts-van-Resandt. "Economic production of submicron ASICs with laser beam direct write lithography", ELSEVIER, Microelectronic Engineering. 35 (1997), pp. 509-512.
- [3] GeonwookYoo, Hojin Lee, Daniela Radtke, Marko Stumpf, UweZeitner, Jerzy Kanicki. "A maskless laser-write lithography processing of thin-film transistors on a hemispherical surface", ELSEVIER, Microelectronic Engineering, 87 (2010).
- [4] H. Ulrich, R.W. Wijnaendts-van-Resandt, C. Rensch, W. Ehrensperger. "Direct writing laser lithography for production of microstructures", ELSEVIER, Microelectronic Engineering. 6 (1987), pp. 77-84.
- [5] Chao Wang, Yuen Chuen Chan, Lam Y.L. "Fabrication of diffractive optical elements with arbitrary surface-relief profile by direct laser writing", Optical Engineering. 41(6), (2002), pp. 1240–1245.
- [6] Tamkin J.M., Bagwell B., Kimbrough B., Jabbour G., Descour M.. High speed gray scale laser direct write technology for micro-optic fabrication. Proc. of the SPIE 4984, 2003, pp. 210–218.
- [7] Christian A. Rothenbach, Mool C. Gupta, "High resolution, low cost laser lithography using a Blu-ray optical head assembly", 2012 Elsevier Ltd.
- [8] Ohtsu M, editor. Progress in nano-electro-optics III, Springer Verlag, 2002.

