طراحی و ساخت سامانه لایه نشانی چرخشی و فوتولیتوگرافی

حسینی، سید علی[۱] ؛ سوالونی، هادی[۲]؛ ارسکی، صادق[۳،۴]

[۱]باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر

[۲] دانشکده فیزیک دانشگاه تهران ، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

[۳] دانشکده علوم و مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

[۴] شرکت نانوتجهیز شرق، مرکز رشد دانشگاه تهران، تهران

چکیده

انتقال الگو یکی از بخش های مهم اکثر فعالیت های تحقیقاتی در عرصه فیزیک نیمرساناها می باشد. سامانه های تجاری انتقال الگو با توجه به دقت بسیار بالا قیمت های گزافی داشته و در دسترس همگان نمی باشند. طی این پروژه، مجموعه لایه نشانی چرخشی و تابش دهی برای انتقال الگو مناسب بسیاری از فعالیت های تحقیقاتی طراحی و ساخته شد. در راستای آزمودن قابلیت های این مجموعه تعداد الگو به فوتورزیست نشانده شده بر زیرلایه شیشه ای منتقل گردیدند. ساخت این مجموعه مستلزم هزینه زیادی نبوده و سامانه دقت قابل قبولی دارد. با سامانه پیشنهادی طرح های با دقت ۱۰ میکرومتر قابل انتقال می باشند.

Design and Fabrication of a table-top Spin-coater and UV-curing unit

Hosseini, Seyed Ali[1]; Savaloni, Hadi[2]; Araski, Sadegh[3,4]

[1] Young Researchers and Elites Club, Abhar Branch, Islamic Azad University, Abhar, Iran

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

[3] Department of Polymer Science an Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[4] Eastern Nano-instruments, University of Tehran Incubation center, Tehran

Abstract

Lithography is an essential part of almost any scientific research and graduate level educational activity. Commercial photo-lithography setups are designed for high precision activities and as such are very expensive and thus inaccessible to many. In this work, we designed and built a photo-lithography setup suitable for many research laboratories. In order to test the system, a number of patterns were transferred to photo-resist thin layers deposited on glass substrates. The proposed system is easy to build –does not require much technical knowledge, inexpensive and has acceptable accuracy. Our tests have shown that with the proposed system, one could produce patterns with resolutions down to 10 μm. This limit could be lifted by using high quality masks or a simple optical reduction system.

PACS No. 7

مقدمه

فوتولیتوگرافی به عنوان یکی از فرایند های اصلی در عرصه فیزیک حالت جامد کاربردهای فراوانی در حوزه هایی نظیر ساخت سامانه های میکرو–الکترومکانیکی[۱] و یا سلول های خورشیدی[۲] دارد. امروزه روش های مختلفی برای ایجاد و یا انتقال الگو از جمله لیتوگرافی باریکه الکترونی[۳]، خودساماندهی کوپلیمر های بلوکی[۴] و فوتولیتوگرافی[۵] وجود دارد. با توجه به هزینه پایین، زمان پردازش پایین، دقت بالا[۶] و همچنین قابلیت تعبیه در خطوط تولید، فوتولیتوگرافی از محبوبیت بیشتری برخوردار است. یک مجموعه فوتولیتوگرافی معمولا شامل یک سامانه لایه نشانی جهت پوشاندن زیرلایه با فوتورزیست و یک سامانه تابش دهی می باشد. عناصر اصلی سامانه های مذکور به ترتیب موتور، مدار کنترل سرعت دوران[۷]، چشمه نور فوق بنفش، ماسک و رزیست می باشند. در این پروژه به ساخت مجموعه کاملی جهت انتقال الگو به این روش پرداخته شده است. در راستای آزمون دقت و کارایی مجموعه، ابتدا رابطه خطی میان ولتاژ موثر و سرعت دوران مجموعه لایه نشان چرخشی مورد بررسی قرار گرفت. سپس، جهت حصول اطمینان از کیفیت لایه ها، نوسانات سرعت دوران این سامانه طی بازه های زمانی چند ثانیه ای مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت سامانه مذکور جهت نشاندن لایه های فوتور رزیست مورد استفاده قرار گرفته و الگوهای میکرومتری از طریق سامانه تابش دهی به آن منتقل گردیدند.

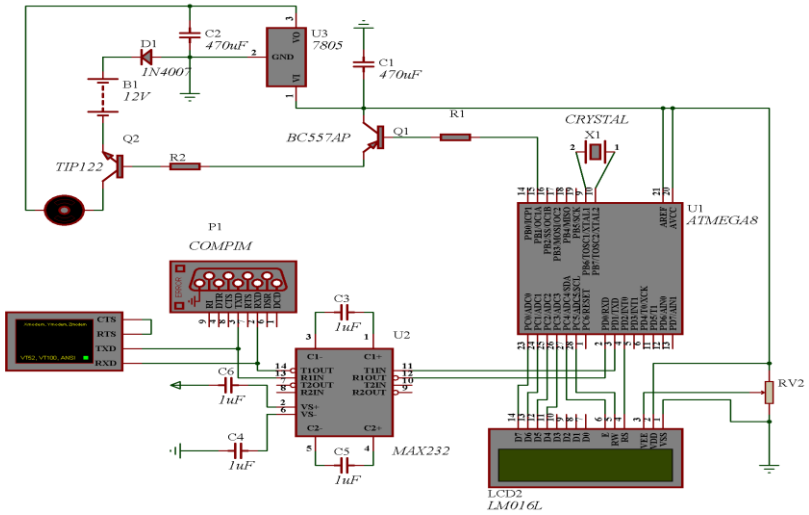
سامانه لایه نشانی چرخشی

اجزای اصلی این سامانه موتور، مدار کنترل دور موتور، سامانه نگاهدارنده زیرلایه و بدنه می باشند. موتور مورد استفاده باید دارای ویژگی های زیر باشد:

-قابلیت دسترسی به سرعت های دوران بالا

-سادگی مدار کنترل سرعت

برای کنترل سرعت موتور، یکی از مرسومترین روش ها استفاده از یک حسگر دور موتور در یک لوپ فیدبک در ارتباط با منبع تغذیه می باشد. حسگر های مختلف همانند انکودرهای مکانیکی، اپتیکی و مغناطیسی قابلیت انجام این کار را دارند. یک روش دیگر، با هزینه کمتر و خطای بیشتر حذف حسگر سرعت و تنظیم سرعت موتور با استفاده از نمودار دور موتور بر حسب ولتاژ می باشد. با توجه به وزن محدود نمونه های مورد بررسی در آزمایشگاه، در حالت لود شده انحراف از این نمودار کمینه خواهد بود.

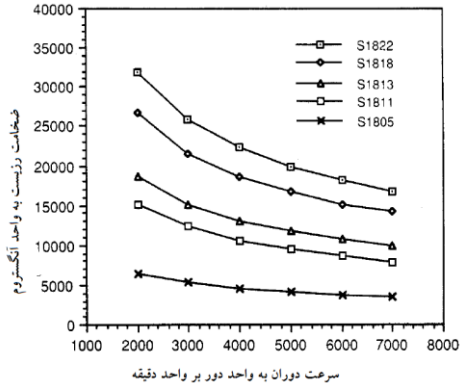


شکل ۱- مدار کنترل سرعت طراحی شده در این پروژه برای سامانه لایه نشانی چرخشی

همانطور که پیشتر بدان اشاره گردید، کنترل سرعت دوران موتور از طریق تنظیم ولتاژ اعمالی به دو سر آن امکان پذیر می باشد.

در این راستا، موتور ساخت شرکت بوهلر، که موتوری از نوع جریان مستقیم جاروبک دار با بیشینه سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه بود مورد استفاده قرار گرفت. جهت کنترل سرعت موتور مداری مبتنی بر میکروکنترلر atmega8 طراحی گردید[۸]. همچنین دستورات مربوط به زمان و سرعت دوران را از طریق چیپ max232 و درگاه سریال DB9 از رایانه دریافت می کند. طرح مدار مورد استفاده در ساخت سامانه لایه نشانی چرخشی در شکل ۱ قابل مشاهده می باشد.

شرکت های مختلفی در تولید فوتورزیست فعالیت داشته و انواع مختلف رزیست ها را تولید می کنند. در این پروژه از رزیست تولید شده توسط شرکت شیپلی تحت عنوان Microposit S1800 استفاده شد[۹]. شکل ۲ تغییرات ضخامت لایه بر حسب سرعت دوران، مستخرج از داده های عرضه شده توسط این شرکت را برای این رزیست به نمایش می گذارد.



شکل ۲- نمودار ضخامت لایه بر حسب سرعت دوران برای رزیست سری ۱۸۰۰ شیپلی

همان طور که ملاحظه می شود مدل s1805 از لحاظ ضخامت بهترین لایه می باشد چرا که در سرعت ۷۰۰۰ دور بر دقیقه ضخامت آن به زیر ۵۰۰ نانومتر می رسد.

این رزیست برای بازه طول موج ۳۵۰ تا ۴۵۰ نانومتر طراحی گردیده و برای طول موج ۴۳۶ نانومتر بهینه سازی شده است.

از میان منابع مختلف نور دیود های نورگسیل به واسطه قیمت پایین بهترین گزینه می باشند. البته توان پایین این دیود ها و در نتیجه شدت پایین نور آنها یکی از مشکلات اساسی است که می توان با افزایش تعداد دیود ها برطرف نمود. دیودهای ۵ میلیمتری مورد استفاده، شدت نوری بین ۱۰ الی ۲۰ میلی کاندلا داشته و طیف نوری با بیشینه ای در ۴۰۵ نانومتر و با انحراف از معیار ۱۵ نانومتر ساتع می کنند. لذا، با فرض یک توزیع نرمال، بیش از ۹۷ درصد نور ساتع شده توسط این نوع دیود در بازه فعالیت رزیست قرار می گیرد.

ماسک یکی از عناصر اصلی فوتولیتوگرافی می باشد. در صنعت الکترونیک عموما ماسک ها با استفاده از چاپگرهای مخصوص و جوهر جیوه روی شیشه های مخصوص طراحی و تولید می شوند. در راستای کاهش هزینه ها پیشنهاد می شود تا به جای مجموعه مطرح شده طرح مورد نظر با استفاده از چاپگرهای معمول لیزری روی لایه های نازک طلق چاپ شوند.

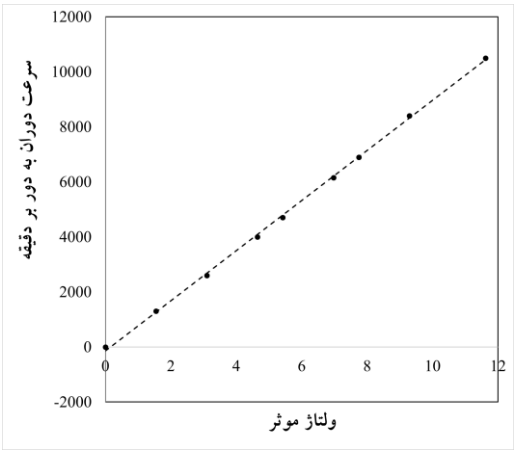
دقت و قدرت تفکیک چاپگرها عموما به واحد نقطه بر اینچ بیان می گردد. چاپگرهای لیزری معمول امروزی قابلیت چاپ با قدرت تفکیک ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ نقطه بر واحد اینچ را دارند که معادل بین ۱۲,۷ الی ۸,۵ میکرون می باشد. با توجه به قابلیت های انتقال الگو به روش تماسی می توان نتیجه گرفت که این سامانه ساده با هزینه کم قابلیت تولید الگوهای با دقت زیر ۱۰ میکرومتر را خواهد داشت.

عملکرد مجموعه

در راستای بررسی عملکرد سامانه لایه نشانی چرخشی رابطه میان سرعت دوران سامانه و ولتاژ موثر اعمالی و پایستگی سرعت دوران مورد بررسی قرار گرفتند.

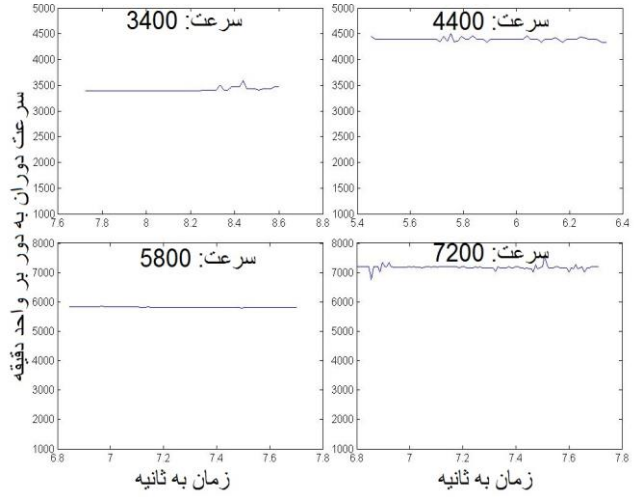
جهت اندازه گیری سرعت دوران مجموعه از یک سامانه تاکومتر اپتیکی با دقت بالا استفاده گردید.

شکل ۳ تغییرات سرعت دوران را بر حسب ولتاژ موثر نشان می دهد. همانطور که از این شکل بر می آید سرعت دوران رابطه خطی با ولتاژ موثر دارد. لازم به ذکر است نتایج ارایه شده در شکل ۳ مبتنی بر ۲۰ سری اندازه گیری برای هر ولتاژ بوده و عدم قطعیت در سرعت اندازه گیری شده –بازه احتمال ۹۵ درصد مبتنی بر سه برابر انحراف از معیار– نیز گزارش شده است. بیشینه این عدم قطعیت در سرعت پایین ۵۰ دور بر دقیقه، معادل ۵ درصد خطا می باشد. با توجه به شکل ۲، چنین عدم قطعیتی در سرعت دوران به خطایی معادل ۰,۱ میکرومتر در ضخامت لایه می انجامد.



شکل ۳– تغییرات سرعت دوران اندازه گیری شده با تاکوتر اپتیکی بر حسب ولتاژ موثر

از سوی دیگر بررسی نوسانات سرعت در ولتاژ موثر ثابت –که در شکل ۴ نشان داده شده است– مبین آن است که سرعت دوران سامانه در ولتاژ ثابت –که در فازهای دوم و سوم لایه نشانی مورد استفاده قرار می گیرد– نوساناتی را به نمایش می گذارد.

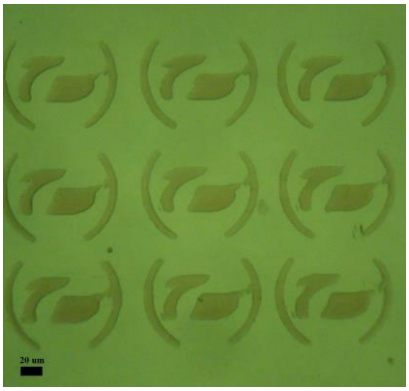


شکل ۴– نوسانات سرعت دوران در ولتاژ ثابت

در تمامی سرعت های بررسی شده این نوسانات زیر یک درصد بودند. این میزان نوسان در سرعت دوران –علی الخصوص در فازهای دوم و سوم لایه نشانی که حلال رزیست رو به تبخیر رفته و گرانروی به میزان قابل توجی افزایش می یابد– به تغییر در ضخامت و کیفیت لایه نمی انجامد.

جهت بررسی قابلیت و محدودیت های سامانه لیتوگرافی در مرحله اول تعدادی ماسک با ساختار ها و اندازه های مختلف تولید گردیدند. جهت کاهش هزینه از چاپگر های مرسوم در صنعت الکترونیک برای چاپ ماسک های روی طلق استفاده گردید. سپس، با استفاده از دستگاه اسپین کوتر لایه ای از رزیست روی شیشه نشانده شد. پس از پخش رزیست، جهت تبخیر حلال، زیرلایه ها برای حدود ۱۰ دقیقه در کوره در دمای ۹۰ درجه قرار گرفتند. نمونه های خشک شده سپس از ورای ماسک به مدت ۱۰ دقیقه تحت تابش ماورای بنفش قرار گرفتند. در پایان پس از تابش دهی، نمونه ها برای مدت بسیار کوتاهی –چند ثانیه– درون محلول سود –حلال فوتورزیست– قرار داده شدند. در این مرحله قسمت های تابش دیده درون محلول حل گشته و قسمت های دیگر روی شیشه باقی ماندند. برخی از طرح های تولید شده از این روش در شکل های زیر به نمایش گذاشته شده اند.

شکل ۴– لوگوی باشگاه پژوهشگران در اندازه ۲۵۰ در ۲۵۰ میکرومتر



شکل ۵– لوگوی باشگاه پژوهشگران جوان در اندازه ۱۱۰ در ۱۱۰ میکرومتر

نتیجه گیری

مجموعه ساخته شده اجازه تولید لایه های نازک با دقت ۱۰ نانومتر در ضخامت و لیتوگرافی طرح های تا ۲۰ میکرومتر را می دهد. از جمله کاستی های مجموعه می توان به سامانه مکش زیرلایه در اسپین کوتر و سامانه کوچک نمایی در مجموعه تابش دهی اشاره نمود. سامانه ریز نمایی با کمی هزینه بیشتر اجازه تولید ساختاهای با اندازه ۴ یا ۵ میکرون و حتی کوچکتر را می دهد. قابلیت این سامانه به کیفیت ادوات اپتیکی و محیط لیتوگرافی و کیفیت رزیست بستگی دارد.

مرجع‌ها

[1] S Ziaie, B.; Baldi, A.; Lei, M.; Gu, Y.; Siegel, R. A. Hard and Soft Micromachining for BioMEMS: Review of Techniques and Examples of Applications in Microfluidics and Drug Delivery. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 2004, *56*, 145–172.

[2] Battaglia, C.; Escarré, J.; derstro m, K.; Erni, L.; Ding, L.; Bugnon, G.; Billet, A.; Boccard, M.; Barraud, L.; De Wolf, S.; et al. Nanoimprint Lithography for High-Efficiency Thin-Film Silicon Solar Cells. *Nano Lett.* 2010, *11*, 661–665.

[3] Constancias, C.; Landis, S.; Manakli, S.; Martin, L.; Pain, L.; Rio, D. Electron Beam Lithography. *Lithography* 101–182.

[4] Hawker, C. J.; Russell, T. P. Block Copolymer Lithography: Merging Bottom-up with Top-down Processes. *Mrs Bull.* 2005, *30*, 952–966.

[5] Bratton, D.; Yang, D.; Dai, J.; Ober, C. K. Recent Progress in High Resolution Lithography. *Polym. Adv. Technol.* 2006, *17*, 94–103.

[6] Wagner, C.; Harned, N. EUV Lithography: Lithography Gets Extreme. *Nat. Photonics* 2010, *4*, 24–26.

[7] Bianchi, R. F.; Panssiera, M. F.; Lima, J. P. H.; Yagura, L.; Andrade, A. M.; Faria, R. M. Spin Coater Based on Brushless Dc Motor of Hard Disk Drivers. *Prog. Org. coatings* 2006, *57*, 33–36.

[8] Barnett, R.; Cox, S.; O'Cull, L. *Embedded C Programming and the Atmel AVR*; Cengage Learning, 2006.

[9] Shipley. *Microposit S1800 Series Photo Resists Datasheet*; 1993.