



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه خوارزمی،  
تهران، ایران.  
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸



## لایه‌نشانی چرخشی مواد چلکوژناید برای لیتوگرافی

غلام‌محمد پارساناسب، مجید تقوی و سمانه مستأجران

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق، آزمایشگاه مدارهای مجتمع نوری

[Mostajeran2004@gmail.com](mailto:Mostajeran2004@gmail.com)

[gm\\_parsanasab@sbu.ac.ir](mailto:gm_parsanasab@sbu.ac.ir)

[m\\_taghavi@sbu.ac.ir](mailto:m_taghavi@sbu.ac.ir)

چکیده - در این پژوهش ابتدا به بررسی امکان ساخت محلول از انواع پودرهای چلکوژناید پرداخته و به این نتیجه رسیدیم که تنها از چلکوژنایدهای آمورف می‌توان محلول مناسب برای لایه‌نشانی چرخشی را تهیه کرد. بعد از آن طی تکرار آزمایش‌ها متوجه شدیم که وقتی به منظور خارج کردن حلال از فیلم‌های لایه‌نشانی شده آن‌ها را گرمادهی می‌کنیم، این کار حتماً باید تحت خلأ انجام شود. سپس با نوشتن مستقیم لیزری توسط لیزر سبز پیوسته با سرعت  $100\text{um/s}$  در توان  $3\text{mw}$  روی فیلم‌ها و اچ کردن شیمیائی آن‌ها به موجبرهای اپتیکی با ابعاد  $2\text{um}$  دست پیدا کردیم.

کلید واژه - روش مواد محلول، فوتورزیست چلکوژناید، لایه‌نشانی چرخشی، موجبر اپتیکی

## spin-coated deposition of Chalcogenide for Lithography

Gholam mohammad parsanasab, majid taghavi, and samaneh mostajeran

[Mostajeran2004@gmail.com](mailto:Mostajeran2004@gmail.com)

Abstract- In this study, we first investigated the feasibility of a solution made of different types of chalcogenide powders and concluded that only amorphous chalcogenides could provide a suitable solution for spin-coated deposition. After repeating the experiments, we found that when we heat them in order to remove the solvent from the deposited films, this must be done under vacuum. Then, by direct laser writing with a continuous green laser at  $100\text{um/s}$  at  $3\text{mw}$  power on the films and chemically etching them, we achieved  $2\text{um}$  optical waveguides.

Keywords: Soluble material method, spin-coated deposition, Optical Waveguide, Chalcogenide photoresists

## ۱- مقدمه

برای بیشتر کاربردها، لایه‌نشانی فیلم نازک با کیفیت خوب مورد نیاز است. و انتظار می‌رود که این فیلم‌ها یک ترکیب مشابه با شیشه‌های حجمی، سختی سطحی کم، ضریب شکست کنترل شده و تجدیدپذیر و تلفات اپتیکی کم داشته باشند.

فیلم‌های نازک شیشه چلکوژناید به طور معمول توسط تکنیک‌های لایه‌نشانی خلأ همچون تبخیر حرارتی یا کندوپاش فراهم می‌شود. اما تکنیک‌های کمتر متداول همچون لایه‌نشانی چرخشی (spin-coating) که ابتدا در سال ۱۹۸۰ توسعه پیدا کرد، اخیراً به عنوان یک تکنیک امیدبخش برای لایه‌نشانی فیلم‌ها با مساحت بزرگ استفاده می‌شود.

رویکردهای لایه‌نشانی چرخشی دارای امتیازات افزون‌تری است که می‌تواند به عنوان یک راهکار در روش‌های لایه‌نشانی دقیقی همچون قالب‌گیری، جوهرافشانی و یا نوشتن مستقیم لیزری (DLW) که دارای کنترل فضائی روی یک ماده اضافه شده است، استفاده شود. علاوه بر این ثابت شده است که فرایند محلول می‌تواند با روش‌های لیتوگرافی نرم همچون قالب‌گیری میکرو در لوله‌های موئین و انتقال طرح میکرو با قالب برای ساخت ادوات اپتیکی ترکیب شود.

chern و lauks روش لایه‌نشانی چرخشی فیلم‌های چلکوژناید را برای فوتورزیست‌های با وضوح بالا معرفی کردند [1]. آن‌ها ثابت کردند که می‌توان فیلم‌های با ویژگی‌های مشابه با نمونه حجمی-شان را توسط محلول‌هایشان تولید کرد، به طوریکه بتوان به ویژگی‌های شیمیائی، فیزیکی و اپتیکی مشابه با دیگر روش‌های لایه‌نشانی دست پیدا کرد.

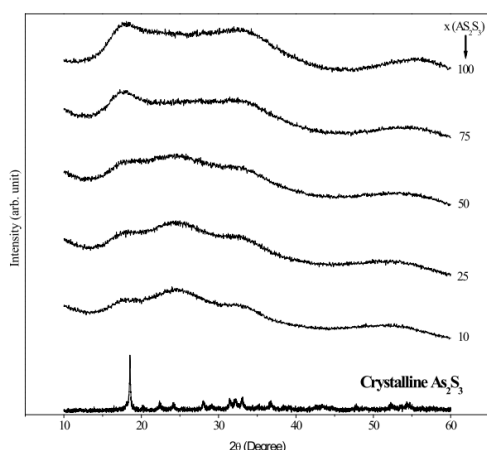
## ۲- ساخت محلول شیشه‌های چلکوژناید و لایه-نشانی چرخشی

اتیلن دی‌آمین به عنوان یک حلال خوب برای شیشه‌های چلکوژناید و سولفایدی عمل می‌کند. فرایند حل چلکوژناید

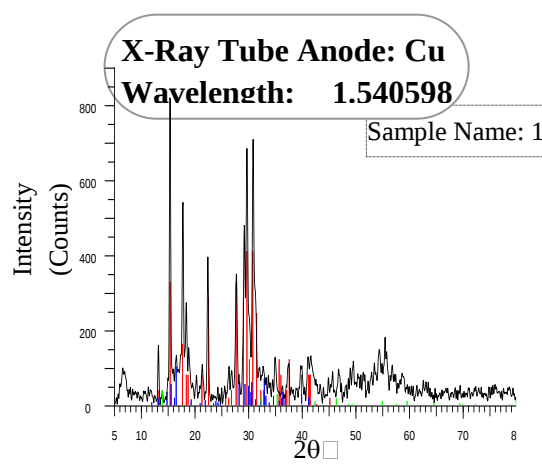
در  $As_2S_3$  EDA به عنوان مولکول‌های EDA شاخه‌دار (EDA molecules chelate) بین اتم‌های As عمل می‌کند. به طوری‌که شبکه‌های هر می  $As_2S_3$  را می‌شکنند و واحدهای  $As_4S_4$  شاخه-دار EDA را تشکیل می‌دهند، که قبلاً توسط پیوندهای تک‌قطبی S-S به هم متصل بوده‌اند. پروپیل‌آمین نیز حلال مناسب دیگری است که البته حل چلکوهای سولفایدی در آن بسیار ضعیف می‌باشد.

محلول  $As_2S_3$  توسط  $As_2S_3$  که به پودر ریز تبدیل شده و داخل حلال پروپیل‌آمین یا اتیلن دی‌آمین با غلظت 0.8mol/l حل شده، فراهم می‌شود. برای جلوگیری از تبخیر حلال، محلول داخل یک ظرف شیشه‌ای مهر و موم شده، قرار می‌گیرد. فرایند حل شدن معمولاً هفت روز طول می‌کشد، اما با استفاده از یک همزن مغناطیسی فرایند حل سریع‌تر انجام می‌شود.

ما برای تست دو نوع پودر چلکوژناید مختلف داشتیم که دارای رنگ و چگالی متفاوتی بودند. نمونه شماره ۱ که به صورت آماده خریداری شده بودند. نمونه شماره ۲ هم شیشه‌های چلکو هستند که توسط خودمان از ترکیب 11.73 گرم گوگرد و 18.27 گرم آرسنیک ساخته شدند. این دو نمونه رفتارهای متفاوتی در حلال‌های ان پروپیل‌آمین و اتیلن دی‌آمین داشتند. حدس ما این بود که این تفاوت‌ها به علت ابتدا کیفیت و خلوص مواد و ثانیاً آمورف یا کریستال بودن این مواد بستگی دارد. بنابراین روی هر دو نمونه تست XRD انجام دادیم. پودر چلکو شماره ۱ که به هیچکدام از حلال‌ها جواب نداد و محلول آن به شکل دوفازی بود هم کریستال بود و هم ناخالصی زیاد داشت (شکل ۱). اما ماده شماره ۲ آمورف بود (شکل ۲) و در هر دو حلال حل شد.



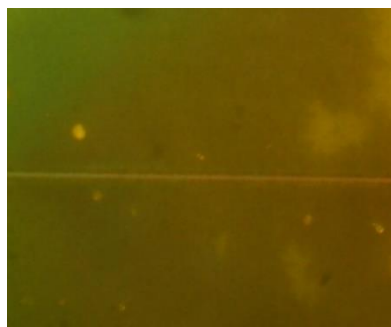
شکل ۳: طیف XRD کریستال و آمورف  $AS_2S_3$



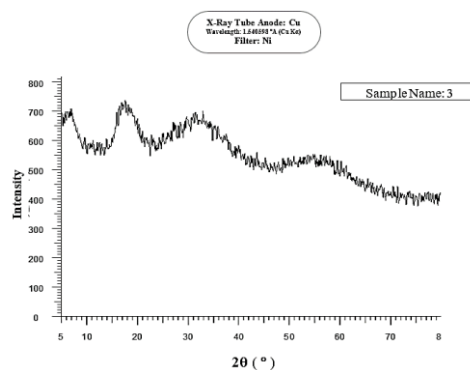
شکل ۱: طیف XRD نمونه شماره ۱

### ۳- لیتوگرافی نمونه‌های با روش چرخشی لایه-نشانی شده

باقی مانده حلال از لایه‌نشانی بر اساس محلول می‌تواند عوارض جانبی در ویژگی‌های اپتیکی فیلم‌های نازک ایجاد کنند. روش گرما دادن تأثیر عمده‌ای روی حلال به جا مانده در فیلم‌های نازک دارد. بنابراین ما ابتدا فیلم‌های لایه‌نشانی شده را چند دقیقه مستقیم روی هات‌پلت قرار می‌دادیم (اگر بیشتر می‌گذاشتیم فیلم کاملاً تخریب می‌شد) سپس روی آن با لیزر می‌نوشتیم، اما چون حلال به طور کامل از فیلم خارج نشده بود، طرح‌های مورد نظر روی فیلم ثبت نمی‌شد. بنابراین فیلم‌ها را حدود یک روز در فضای عادی نگه داشتیم، با این کار خطوط نوشته شده ثبت شدند (شکل ۴ و ۵). اما کیفیت فیلم بسیار پایین آمده و مات می‌شدند. علاوه بر این در انرژی کمتر از 4mw امکان نوشتن وجود نداشت.

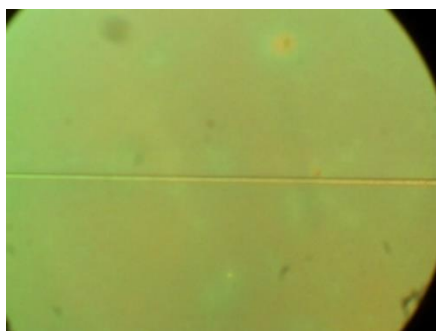


شکل ۲: موجبر با توان 4mw نوشته شده قبل از اچ که در محیط عادی حلال آن خارج شده

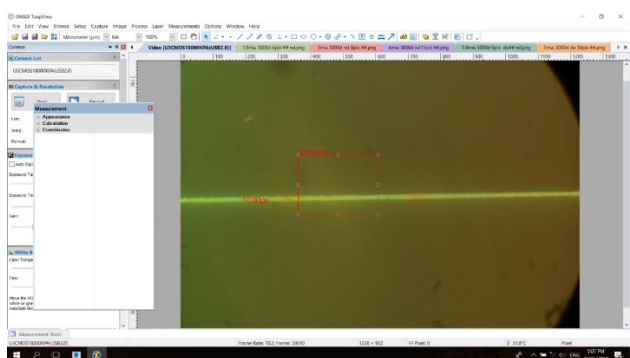


شکل ۲: طیف XRD نمونه آمورف شماره ۲

در شکل ۳ طیف XRD آمورف و کریستال  $AS_2S_3$  نشان داده شده است [2]. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، طیف مواد شماره ۱ که کریستال هستند، علاوه بر حضور ناخالصی‌ها هیچ شباهتی به طیف کریستال  $AS_2S_3$  ندارد. اما مواد شماره ۲ کاملاً منطبق بر طیف XRD آمورف  $AS_2S_3$  می‌باشد. نهایتاً محلول ساخته شده روی زیر لایه که در دستگاه spin-coat قرار گرفته، پیپت شده و با سرعت 3000rpm به مدت 30s می‌چرخد. فیلم‌ها تحت این شرایط نوعاً دارای ضخامت 0.5um می‌باشند. با تغییر غلظت محلول و سرعت چرخش، به راحتی می‌توان به رنج ضخامت از 0.5um تا 5um دست پیدا کرد.



شکل ۵: موجبر با توان 3mw نوشته شده قبل از اچ که در خلأ حلال آن خارج شده



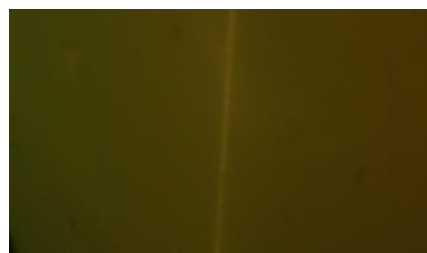
شکل ۹: موجبر با توان 3mw نوشته شده بعد از اچ که در خلأ حلال آن خارج شده (2um)

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به این نتیجه رسیدیم که برای تهیه محلول به منظور لایه‌نشانی چرخشی، پودر چلکوژناید مورد استفاده حتماً باید از نوع آمورف باشد. سپس لایه‌نشانی را با سرعت 3000rpm و به مدت 30s انجام دادیم. بعد از آن لایه‌ها را تحت خلأ در دمای 60 درجه به مدت ۱ ساعت قرار دادیم تا حلال‌های آن برداشته شوند. بر روی این فیلم‌ها توانستیم موجبرهای با کیفیت خوب و ابعاد تا 2um ایجاد کنیم.

مرجع‌ها

- [1] G. C. Chern and I. Lauks, "Spin-coated amorphous-chalcogenide films," J. Appl. Phys. 53(10), 6979–6982 (1982).
- [2] K. N'dri, V. Coulibaly, D. Houphouet-Boigny, J. C. Jumas 2, "XRD and EDS characterization of some Sb2S3-As2S3-Sb2Te3 glasses prepared by rapid quenching method" Vol.9, No.4, July–August 2013, p.113–121.

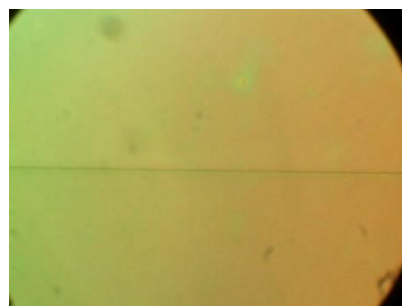


شکل ۳: موجبر با توان 4mw نوشته شده بعد از اچ که در محیط عادی حلال آن خارج شده

برای حل این مشکل فیلم‌های به دست آمده که پخت نرم (soft-baked) هستند را فوراً بعد از لایه‌نشانی، تحت خلأ در دمای 60 درجه به مدت ۱ ساعت قرار دادیم (شکل ۶) تا بیشتر حلال‌ها برداشته شوند. بر روی این فیلم‌ها توانستیم موجبرهای با کیفیت بسیار خوب و ابعاد تا 2um دست پیدا کنیم (شکل‌های ۷ تا ۹).



شکل ۶: سیستم خلأ مورد استفاده برای گرم کردن فیلم‌های لایه-نشانی شده چرخشی



شکل ۴: موجبر با توان 2mw نوشته شده قبل از اچ که در خلأ حلال آن خارج شده