

Designing and fabrication of zinc sulfide helical shape sculptured thin films and study of antibacterial properties of these porous structures

*Fatemeh Abdi¹, Solmaz Kia²

1- Professor assistant, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.

2- Professor assistant, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.

Citation: Abdi F, Kia S. Designing and fabrication of zinc sulfide helical shape sculptured thin films and study of antibacterial properties of these porous structures. Metallurgical Engineering 2021; 24(1): 42-49 <http://dx.doi.org/10.22076/ME.2022.527132.1312>

doi : <http://dx.doi.org/10.22076/ME.2022.527132.1312>

ABSTRACT

Zinc Sulfide helix sculptured structures with different number of 1, 3 and 5 pitches were formed on the glass substrate using glancing angle deposition method. The structural properties of these sculptured thin films were studied using X ray diffraction pattern (XRD). The cross section of the helical structures was observed using Field emission scanning electron microscopic images (FESEM). The surface morphology and grain size of the obtained thin films were examined using atomic force microscope images (AFM) and the percentage of surface porosity of the samples was obtained. Antibacterial properties were investigated for two types of bacteria in both under light and no-light conditions. The results showed that the Zinc Sulfide sculptured helical thin films have antibacterial properties and with increasing the porosity of these structures, the antibacterial properties increase. The increase in antibacterial properties with increasing porosity was attributed to the greater cross-sectional area of contact with bacteria. It was also found that the antibacterial properties of these structures improve under light radiation.

Keywords: Sculptured thin films; Zinc Sulfide; porosity; Anti-bacterial.

Received: 23 March 2021 | Accepted: 3 January 2022

■ ■
* *Corresponding Author:*

Fatemeh Abdi, PhD

Address: Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin, Iran.

Tel: +98 (91448637715)

E-mail: f.abdi@uma.ac.ir

طراحی و ساخت لایه‌های نازک مجسمه سازی شده مارپیچی شکل سولفید روی و بررسی خواص آنتی باکتریایی این سطوح متخلخل

*فاطمه عیدی^۱، سولماز کیا^۲

۱- استادیار، گروه علوم مهندسی، دانشکده فن آوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران.
۲- استادیار، گروه علوم مهندسی، دانشکده فن آوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین، ایران.

چکیده

ساختارهای مار پیچی شکل سولفید روی با تعداد پیچ‌های مختلف با استفاده از لایه نشانی خراشی روی زیر لایه شیشه‌ای تشکیل شدند. خواص ساختاری این لایه‌های نازک مجسمه سازی شده با استفاده از طیف پراش اشعه ایکس مطالعه شد. سطح مقطع ساختارهای مارپیچی با استفاده از تصاویر میکروسکوپی الکترون روبشی مشاهده گردید. مورفولوژی سطحی و اندازه دانه‌های لایه‌های نازک بدست آمده با استفاده از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی بررسی شد و درصد تخلخل سطحی نمونه‌ها بدست آمد. خواص آنتی باکتریایی برای دو نوع باکتری در دو حالت بدون نور و تحت تابش نور بررسی شد. نتایج نشان دادند که لایه‌های نازک مجسمه سازی شده سولفید روی دارای خاصیت آنتی باکتریایی هستند و با افزایش تخلخل این ساختارها خاصیت آنتی باکتریایی افزایش پیدا می‌کند. علت این افزایش به افزایش سطح مقطع در معرض تماس نسبت داده شد. همچنین مشخص شد که تحت تابش نور فرابنفش سری الف این خاصیت آنتی باکتریایی بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: لایه‌های نازک مجسمه سازی شده، سولفید روی، تخلخل، آنتی باکتریال.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳ | پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

۱. مقدمه

را در پشتشان ایجاد می‌کنند که این مناطق، از فرود اتم‌های دیگر محفوظ می‌ماند و رشد زیادی در این مناطق صورت نمی‌گیرد [۳ و ۲]. اثر سایه باعث می‌شود که اتم‌های فرودی به این هسته بندی‌های اولیه پیوسته و رشد در این مناطق ادامه یابد و ساختارهای ستونی مایل ایجاد شوند [۴-۶]. به دلیل همین اثر سایه، این ساختارها، ساختارهای یکنواختی نبوده و ساختارهایی متخلخل هستند و میزان تخلخل با زاویه لایه نشانی کنترل می‌شود. زاویه فرود بخار و دمای زیرلایه، که میزان سایه و طول پخش سطحی را کنترل می‌کنند، از پارامترهای خیلی مهم در تشکیل ساختارهای ستونی هستند. لایه‌های نازک مجسمه سازی شده لایه‌های ستونی هستند که جهت رشد آن‌ها در زمان رشد به وسیله حرکت زیرلایه تغییر یافته است. در واقع، لایه‌های نازک مجسمه‌ای از فرود ذرات تبخیری با تحرک کم (دمای کم زیرلایه) در زاویه خراشی بر زیرلایه چرخان ساخته می‌شوند، که به این روش لایه نشانی خراشی گفته می‌شود. در لایه نشانی خراشی

به دلیل این که در ابعاد نانو، اندازه و شکل نانو ذره، همچنین شرایط محیطی از پارامترهای خیلی مهم در تعیین خواص نانو ذره هستند، با کنترل شکل و اندازه نانو ذره می‌توان خواص لایه‌ها را کنترل کرد. لایه نشانی خراشی یکی از روش‌های تشکیل نانو ساختارها، با هر شکل دلخواه است. با دوران زیرلایه حول محورهای مختلف، شکل ساختارها، و با کنترل مکان هسته‌های اولیه و اندازه هسته‌ها، به ترتیب مکان و اندازه نانو ساختارها کنترل می‌شود [۱]. با فرود ذرات تبخیری به صورت عمود بر زیرلایه، لایه‌های نازک یکنواختی تشکیل می‌شوند، و با استفاده از لایه نشانی مایل (شار ذرات با عمود بر زیرلایه زاویه ی غیر صفر را می‌سازد) می‌توان ساختارهای ستونی را تهیه و با حرکت زیرلایه، می‌توان این ستون‌ها را به شکل‌های مختلف، طراحی کرد که به این کار مهندسی لایه‌های نازک گفته می‌شود. در لایه نشانی مایل، اتم‌های اولیه که روی زیرلایه قرار می‌گیرند، مناطق سایه‌ای

* نویسنده مسئول:
دکتر فاطمه عیدی

نشانی: نمین، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فن آوری‌های نوین، گروه علوم مهندسی.
تلفن: (۰۹۱۴۴۸۶۳۷۷۱۵) ۹۸+

پست الکترونیکی: f.abdi@uma.ac.ir

با تعداد گام‌های ۱ و ۳ و ۵ ساخته شوند. در این کار برای مشاهده سطح رویی و سطح مقطع ساختارهای ماریپی تشکیل شده با تعداد پیچ‌های مختلف و روی زیر لایه‌های مختلف از دستگاه FESEM مدل ۴۸۰۰ Hitachi S- استفاده شد. سطح ساختارهای تشکیل شده بوسیله میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و درجه کریستالی ساختارها بوسیله پراش اشعه X بررسی شد. برای اختصار ساختار ماریپی با یک پیچ، سه پیچ و پنج پیچ، به ترتیب G1، G3 و G5 نامگذاری شدند. برای بررسی خاصیت آنتی باکتریایی محیط کشت مولر هینتون آگار و D- گلوکز از شرکت سیگما آلدریج خریداری شد. همچنین از دستگاه‌های اتوکلاو (ایران شرکت ریحان طب مدل ۲- RT) و انکوباتور (MEMERT، آلمان مدل ۶۰۱ BVM) برای انجام کار استفاده گردید.

۳. نتایج و بحث

نتایج پراش پرتو X

برای بررسی خواص بلوری ساختارهای تشکیل شده از پراش پرتو X، استفاده شد. در این بررسی گام اندازه گیری $2^\circ/\text{deg}$ و واحد زمانی، یک ثانیه در هر گام در نظر گرفته شد. نقش پراش نرمالیزه شده به بیشترین شدت (بیشترین شدت برای ساختارهای ماریپی با ۵ پیچ روی لایه نازک می‌باشد) این ساختارها، در شکل (۱) نشان داده شده است. از تصاویر مشخص است که ساختارهای ماریپی تشکیل شده با یک پیچ، ساختار آمورفی دارند. در طیف پراش پرتو X ساختارهای ماریپی با سه و پنج پیچ، یک قله پراش در 22° و ۲۸ وجود دارد. که این قله به فاز هگزاگونال سولفید روی نسبت داده می‌شود و جهتگیری صفحات آن در راستای (۰۰۸) می‌باشد. با افزایش تعداد پیچ‌های ساختاری از سه پیچ به پنج پیچ، شدت درجه بلوری افزایش می‌یابد. علت آن بزرگتر شدن اندازه حوزه‌های بلوری با افزایش ضخامت می‌باشد.

نتایج SEM

شکل ۲ الف تا ه به ترتیب تصاویر FESEM ساختارهای ماریپی ZnS تشکیل شده روی شیشه (ZnS/glass) با تعداد پیچ‌های مختلف را نشان می‌دهند. از تصاویر مشخص است که لایه‌های بدست آمده لایه‌های متخلخل هستند. به عبارت دیگر در لایه نشانی خراشی، اثر سایه رشد در بعضی مناطق را ممنوع می‌کند و همین امر باعث متخلخل شدن لایه‌ها می‌شود. از تصاویر مشخص است که با افزایش تعداد پیچ‌های ساختاری، تخلخل لایه‌ها هم افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش سایه با افزایش ضخامت می‌باشد. همچنین از تصاویر SEM مشخص است که با افزایش تعداد پیچ ساختاری اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. ضخامت لایه‌های نازک ماریپی شکل بدست آمده برای ساختارهای با یک پیچ تا ۵ پیچ، به ترتیب برابر ۸۰ نانو

می‌توان با کنترل هسته بندی اولیه، اندازه ساختارها را کنترل کرد [۸ و ۷].

سولفید روی به دلیل گاف عریض انرژی، به عنوان یک ماده شفاف در ناحیه مرئی و مادون قرمز می‌باشد، بنابراین ترکیب مناسبی در وسیله‌های اپتو الکتریکی نظیر دیودهای گسیلنده [۹ و ۱۰]. ذخیره و انتقال اطلاعات و سلول‌های خورشیدی [۱۱-۱۳] است. همچنین این ماده دارای کاربردهای وسیعی در زمینه نمایشگرها، حسگرها، محیط لیزری [۱۴] و فتوکاتالیست‌ها [۱۵-۱۸] می‌باشد. به همین دلیل لایه‌های نازک سولفید روی به روش‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی تشکیل شده است [۱۹-۳۰] و خواص اپتیکی نظیر اندازه‌گیری گاف انرژی [۳۱-۳۵]، ضریب شکست [۳۶-۳۷] و میزان عبور [۳۸-۴۲] همچنین خواص الکتریکی آنها [۴۳-۴۷] به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. با تشکیل ساختارهای ستونی ZnS وابستگی خواص فوتو کاتالیستی و ضریب شکست به تخلخل ساختارها بررسی شده و مشخص شده است که افزایش تخلخل باعث افزایش خاصیت فوتوکاتالیستی و کاهش ضریب شکست می‌شود [۴۸] امروزه ساختارهای متخلخل بر مبنای ترکیبات مختلف روی و منیزیم با سایر عناصر بسیار مورد توجه هست. این ترکیبات به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مثل زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، توانایی جذب انرژی بالا در واحد جرم، مقاومت ویژه بالا و خاصیت آنتی باکتریال در زمینه‌های پزشکی مانند پیوند بافت، ایمپلنت، ترمیم استخوان و پوشش سطوح می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۴۹-۵۱] قبلاً خاصیت آنتی باکتریایی سولفید روی توسط پژوهشگران مختلف تایید شده است [۵۲ و ۵۳]. هدف این کار افزایش این خاصیت آنتی باکتریایی می‌باشد. در این کار با استفاده از لایه نشانی خراشی، ساختارهای ماریپی ZnS، با تعداد پیچ‌های مختلف، تشکیل و خواص آنتی باکتریایی و وابستگی آن به تخلخل مورد بررسی قرار گرفته است.

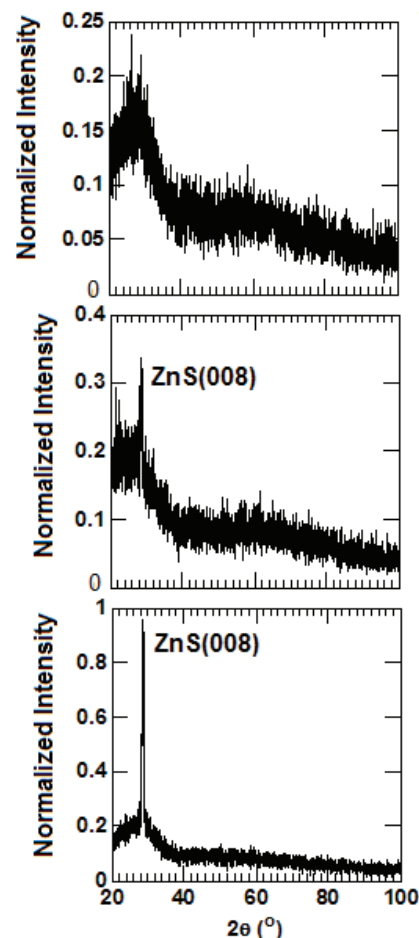
۲. مواد و روش تحقیق

برای تهیه ساختارهای ماریپی، زیرلایه‌ها روی نگهدارنده زیر لایه‌ها که امکان چرخش برای آن مهیا شده بود، به کمک چسب دو طرفه کربن (مخصوص خلا) چسبانده شدند و از باریکه الکترونی برای تبخیر ZnS استفاده شد. آهنگ تبخیر $\frac{A}{S}$ ، زاویه لایه نشانی زاویه 75° درجه نسبت به عمود بر زیرلایه، و سرعت چرخش زیر لایه 4 rpm در نظر گرفته شد. در تمام مدت لایه نشانی، آهنگ لایه نشانی و ضخامت لایه‌های نازک ماریپی شکل، به وسیله بازرس کوارتز کنترل می‌شد. فشار اولیه لایه نشانی 1.5×10^{-7} بود و لایه نشانی در دمای اتاق انجام شد. سیستم چرخان برای چرخش یک، سه و پنج دور زیرلایه برنامه ریزی شد تا ساختارهای ماریپی

ترتیب در شکل‌های ۳ الف تا ج نشان داده شده است. این تصاویر هم مانند تصاویر SEM نشان می‌دهند که با افزایش تعداد پیچ‌های ساختاری، اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. قطر متوسط دانه‌ها بدست آمده با استفاده از نرم افزار Nova و برای ساختارهای با تعداد پیچ‌های مختلف تشکیل شده روی شیشه در ستون اول جدول ۱ آورده شده است

نتایج خاصیت آنتی باکتریایی

به منظور بررسی اثر آنتی باکتریال سطوح لایه نشانی شده، دو سویه باکتری اشیریشیا کلی (ATCC 8739) و استافیلوکوکوس اورئوس (ATCC 6538) به عنوان دو سویه باکتریایی عفونی انتخاب و از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم ایران خریداری شدند. سویه‌های باکتریایی روی محیط کشت مغذی حاوی آگار کشت داده شده و در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۱۸-۲۴ ساعت انکوبه شدند، سپس برخی از کلنی‌های جدا شده به محلول ایزوتونیک ۰/۲۶۴ مولار D-گلوکز منتقل شدند و مایع میکروبی دارای کدورت ۰/۵ مک فارلند تهیه شد. بنابراین، غلظت نهایی سلول باکتری در سوسپانسیون حدود 1.5×10^8 CFU/mL بود. در این تحقیق برای جلوگیری از غیرفعال شدن مکانهای کاتیونی توسط مولکول‌هایی با قدرت یونی بالا یا مولکول‌های دارای بار منفی مانند پلی ساکاریدها و اسیدهای آمینه، محلول ۰/۲۶۴ مولار D-گلوکز به جای محیط کشت مایع استفاده شد ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتریایی بر روی سطوح پوشش داده شده ریخته شده و نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد انکوبه شدند. پس از آن، این ۱۰۰ میکرولیتر از روی هر سطح برداشته شده و به ۱۰ میلی لیتر محلول ایزوتونیک ۰/۲۶۴ مولار D-گلوکز در لوله‌های در پیچدار منتقل و به شدت ورتکس شد. پس از آن، رقت‌های ۱:۱۰۰ و ۱:۱۰۰۰ آنها تهیه و متعاقباً مقدار ۰/۱ میلی لیتر از رقت نهایی هر نمونه روی صفحات پلیت حاوی محیط کشت آگار کشت داده شدند. پلیت‌ها در ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شدند و تعداد کلونی‌ها برای هر صفحه خوانده شد (شکل ۴). این قرائت‌ها به $\log(CFU/mL)$ و CFU/mL تبدیل شدند. نمونه کنترل، نمونه‌های شیشه‌ای برهنه بود. تمام این کارها یک بار بدون تابش نور و بار دوم تحت تابش نور فرابنفش سری الف (طول موج‌های بزرگتر از ۳۰۰ نانومتر) انجام گرفت و با نتایج نمونه شاهد (نمونه بدون پوشش)



شکل ۱. طیف XRD ساختارهای مارپیچی شکل با الف (G1، ب) G3 و ج) G5

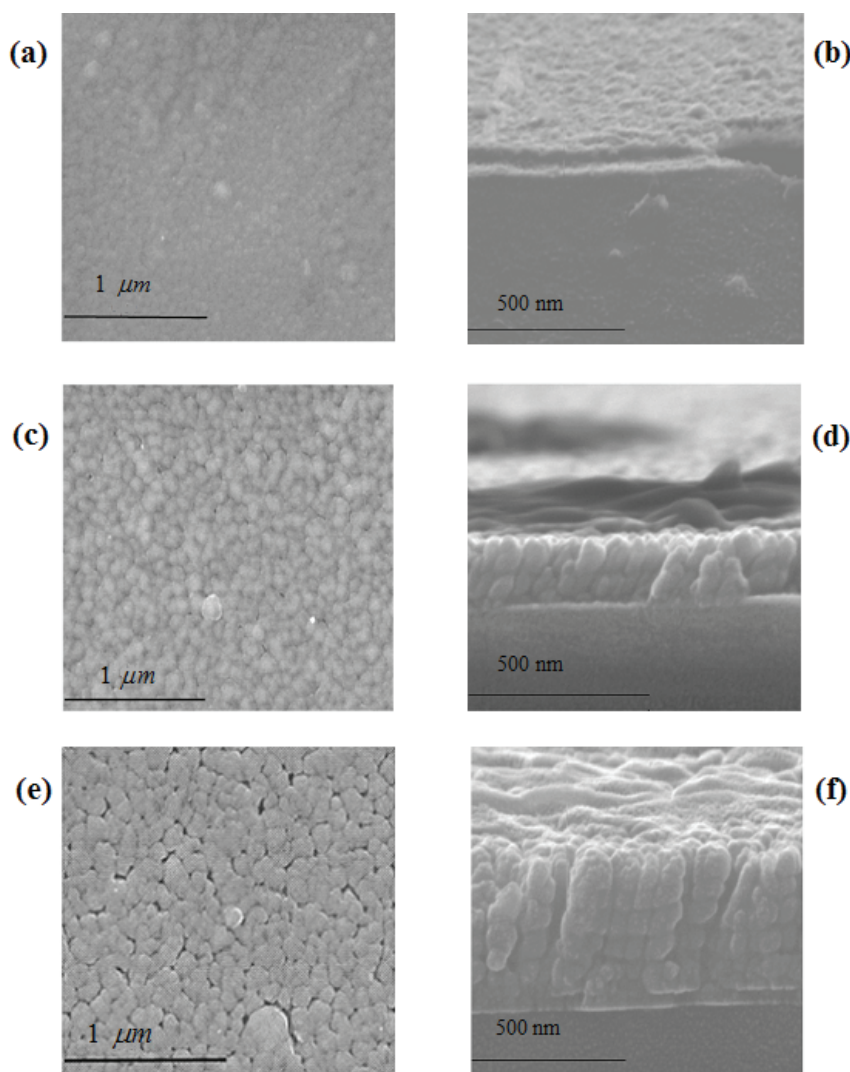
متر، ۲۴۰ نانو متر و ۵۰۰ نانو متر می‌باشد که در ستون آخر جدول یک آورده شده است. تخلخل سطحی لایه‌های نازک مارپیچی شکل که با استفاده از نرم افزار JMicoVision بدست آمد، برای ساختارهای با تعداد پیچ‌های مختلف یک پیچ، برابر با پنج درصد، سه پیچ برابر با ۱۵ درصد و پنج پیچ برابر با ۲۲ درصد می‌باشد. که در جدول یک هم آورده شده است.

نتایج AFM

برای مشاهده سطح ساختارها، از نمونه‌ها تصاویر AFM گرفته شد. این نتایج برای ساختارهای با تعداد پیچ‌های مختلف به

جدول ۱. مشخصات لایه‌های نازک مارپیچی شکل سولفید روی با تعداد پیچ‌های مختلف

نمونه	قطر (نانومتر)	تخلخل (درصد)	ضخامت (نانومتر)
G1	۶۴	۵٪	۸۰
G3	۹۰	۱۵٪	۲۴۰
G5	۱۰۴	۲۲٪	۵۰۰

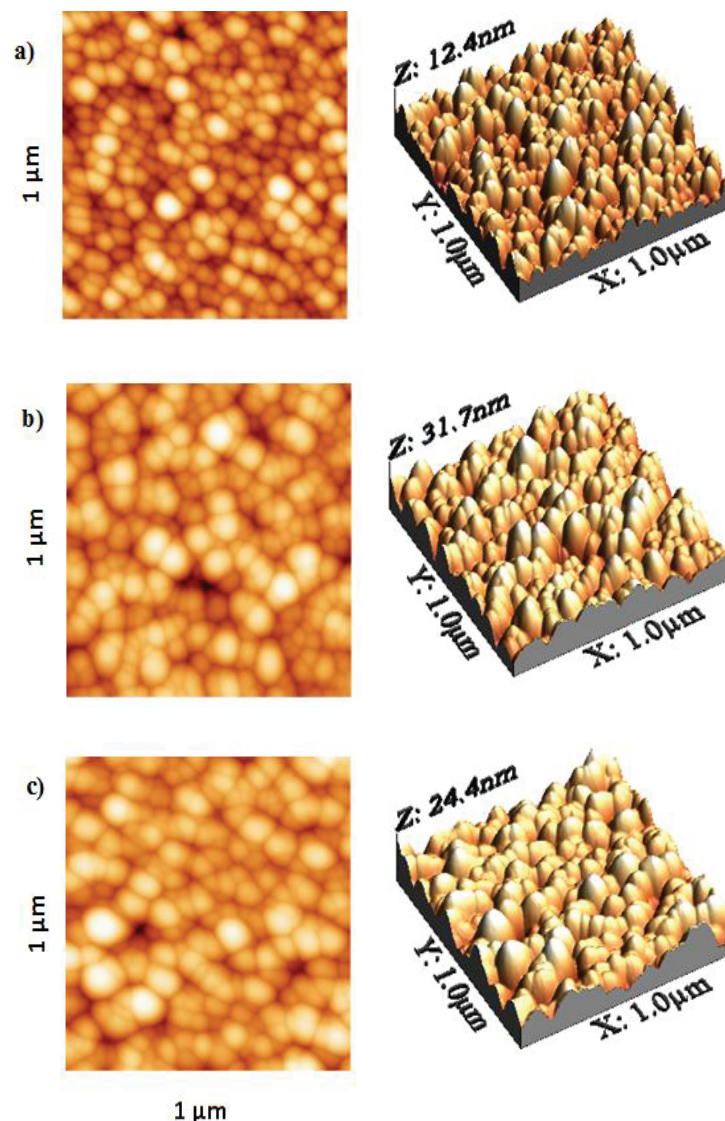


شکل ۲. تصویر FESEM ساختارهای مارپیچی ZnS/glass: a: سطح مقطع ساختارهای مارپیچی با یک گام ساختاری، b: سطح ساختارهای مارپیچی با یک گام ساختاری، c: سطح مقطع ساختارهای مارپیچی با سه گام ساختاری، d: سطح ساختارهای مارپیچی با سه گام ساختاری، e: سطح مقطع ساختارهای مارپیچی با پنج گام ساختاری، f: سطح ساختارهای مارپیچی با پنج گام ساختاری

خاصیت آنتی باکتریایی می‌شود. شکل ۴ کولونی‌های تشکیل شده برای نمونه‌های مختلف شاهد و ساختارهای مارپیچی با تعداد پیچ‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، درصد باکتری کشندگی (شکل ۵) نمونه‌های G5 که بیشترین میزان تخلخل را دارد بعد از تابش فرابنفش سری الف برای باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس به ترتیب ۷۵ و ۸۰ درصد می‌باشد.

به عبارت دیگر، بعد از تابش نور فرابنفش سری الف (طول موج‌های بزرگتر از ۳۰۰ نانومتر) برای باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه شاهد ۱۲-۱۰ کلونی تشکیل می‌شود در حالی که در نمونه‌های G5 ۱-۲ کلونی تشکیل می‌شود. این مقدار برای نمونه‌های G3 که تخلخل کمتری دارند ۴-۵ کلونی و برای نمونه‌ها G1 که کمترین تخلخل را دارند ۷-۹ کلونی می‌باشد. در نمونه‌هایی که تابش نور نداشتند نسبت

مقایسه شد. نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. همان طور که از ستون چهارم این جدول مشخص است مقایسه داده‌ها برای نمونه شاهد و نمونه‌های با پوشش سولفید روی، نشان می‌دهد که نمونه‌ها حتی بدون تابش نور دارای خاصیت آنتی باکتریایی هستند و با افزایش تعداد پیچ‌های مارپیچ، خاصیت آنتی باکتریایی بهبود می‌یابد. دلیل این افزایش، افزایش تخلخل ساختارها با افزایش تعداد پیچ‌ها می‌باشد. زیرا با افزایش تخلخل ساختارها، سطح مقطع تماس ساختار با باکتری افزایش می‌یابد بنابراین این خاصیت آنتی باکتریایی بهبود می‌یابد. مقایسه ستون پنجم جدول با ستون چهارم نشان می‌دهد که تابش نور فرابنفش سری الف، به شدت این خاصیت آنتی باکتریایی را بهبود می‌بخشد. دلیل این افزایش، خاصیت فوتوکاتالیستی سولفید روی می‌باشد. در اثر تابش نور زوج الکترون و حفره تولید می‌شود و این زوج باعث بهبود



شکل ۳. تصاویر AFM ساختارهای روی شیشه با الف) یک پیچ، ب) ۳ پیچ و ج) ۵ پیچ

داده شد. مورفولوژی سطحی نمونه‌ها با استفاده از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش تعداد پیچ‌های ساختارهای مارپیچی شکل، اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. خاصیت آنتی باکتریایی ساختارها با تعداد پیچ‌های مختلف، روی دوگونه باکتری بررسی شد و نتایج نشان دادند که با افزایش تعداد پیچ‌ها خاصیت آنتی باکتریایی افزایش می‌یابد. دلیل افزایش خاصیت آنتی باکتریایی با افزایش تعداد پیچ‌ها به افزایش تخلخل با افزایش تعداد پیچ‌ها و در نتیجه، افزایش سطح مقطع برخورد با باکتری نسبت داده شد. برای بررسی تاثیر تابش نور در خاصیت آنتی باکتریایی نمونه‌های مارپیچی شکل، از نور فرابنفش سری الف استفاده شد. در بررسی‌ها مشخص شد که تحت تابش نور خاصیت آنتی باکتریایی افزایش می‌یابد که علت به خاصیت فوتوکاتالیستی ساختارهای مارپیچی سولفید روی نسبت داده شد.

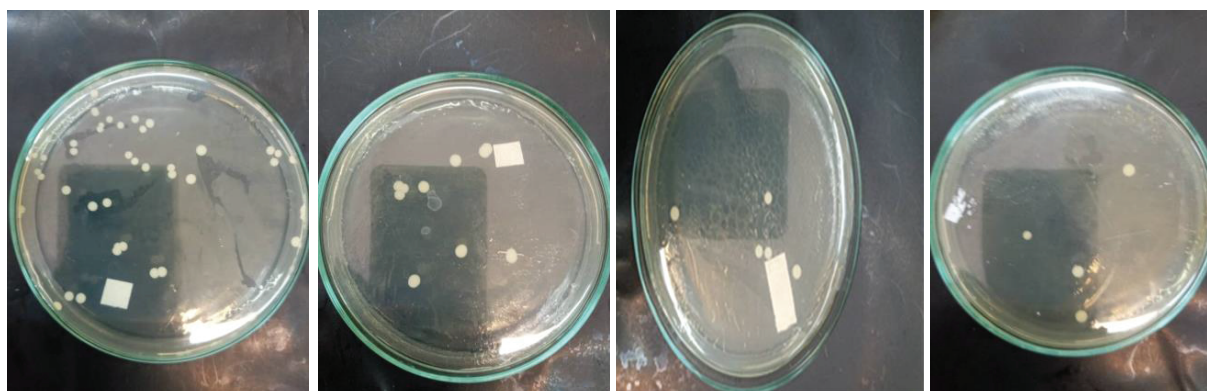
به نمونه‌هایی که تابش نور داشتند، خاصیت آنتی باکتریال کمتر ولی قابل توجه است، به عنوان مثال برای باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در نمونه‌های G5 بدون تابش نور ۳-۴ کلونی مشاهده می‌شود که نشان دهنده خاصیت آنتی باکتریال بالای این ساختارها می‌باشد.

۴. نتیجه گیری

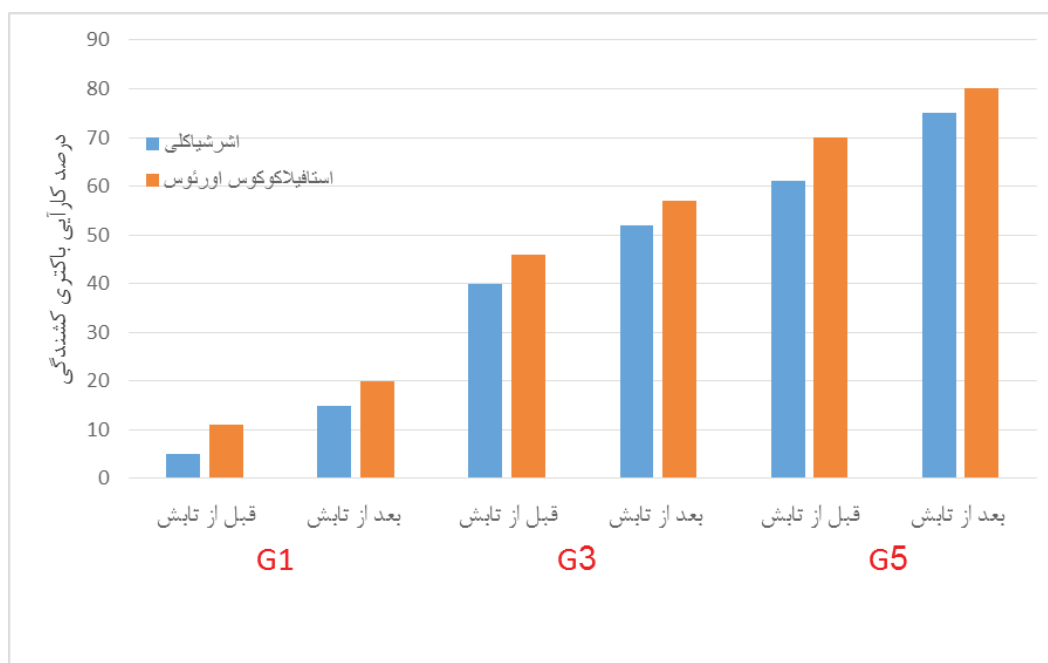
ساختارهای مارپیچی ZnS، با تعداد پیچ‌های مختلف یک پیچ، سه پیچ و پنج پیچ روی زیر لایه شیشه تشکیل شدند. سطح مقطع مارپیچی شکل ساختارهای تشکیل شده با تعداد پیچ‌های مختلف با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد. این تصاویر نشان دادند که با افزایش تعداد پیچ‌ها، تخلخل ساختارها افزایش می‌یابد. علت افزایش تخلخل با افزایش تعداد پیچ‌ها به افزایش طول سایه نسبت

جدول ۲. فعالیت ضد باکتریایی سطوح لایه نشانی شده روی شیشه.

نمونه	نوع باکتری	غلظت اولیه سلولها Log (CFU/mL)	غلظت نهایی سلولها Log (CFU/mL)	غلظت نهایی سلولها بعد از تابش نور فرابنفش سری الف Log (CFU/mL)
G1	اشرشیاکلی	۸/۳	۱	۰/۹
	استافیلوکوکوس اورئوس	۸/۱	۰/۹	۰/۸
G3	اشرشیاکلی	۷/۸	۰/۷	۰/۶
	استافیلوکوکوس اورئوس	۸/۲	۰/۶	۰/۵
G5	اشرشیاکلی	۸/۳	۰/۵	۰/۴
	استافیلوکوکوس اورئوس	۸	۰/۴	۰/۲
شاهد	اشرشیاکلی	۸/۲	۱/۲	۱
	استافیلوکوکوس اورئوس	۸/۲	۱/۱	۱



شکل ۴. کلونی‌های تشکیل شده باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بعد از انکوبه شدن بر روی سطوح لایه نشانی شده روی شیشه. نمونه‌ها به ترتیب از راست به چپ G1، G3، G5 و نمونه شاهد.



شکل ۵. نمودار میله ایی فعالیت ضد باکتریایی پوشش‌ها روی روکش شیشه‌ای بر روی دو نوع باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس. درصد کارایی باکتری کشندگی با روش شمارش صفحه اندازه گیری شده است. داده‌ها میانگین سه آزمایش مستقل را نشان می‌دهند.

References

- [1] R. S. Kennedy and M. J. Brett, *Nano Lett.* 2, 1, (2002).
- [2] F. Wang, A. Lakhtakia, *Optics Communications.* 235, 133-151, (2004).
- [3] F. Wang, A. Lakhtakia, *Optics Communications.* 235, 107-132, (2004).
- [4] J. M. Nieuwenhuizen, H. B. Haanstra, *Philips Tech. Rev.* 27, 87-91, (1966).
- [5] R. Messier, J.E. Yehoda, *J. Appl. Phys.* 58, 3739-3746, (1985).
- [6] T. Motohiro, Y. Taga, *Appl. Opt.* 28, 2466-2482, (1989).
- [7] K. Robbie and M. J. Brett, *J. Vac. Sci. Technol. A.* 15, 3, (1997).
- [8] S. R. Kennedy, M. J. Brett, O. Toader and S. John, *nano letters.* 2, 59-62, (2002).
- [9] W.H. Yang, G. C. Schatz, and R. P. Van Duyne, *J. Chem. Phys.* 103, 15, (1995).
- [10] H. Katayama, S. Oda, H. Kukimoto, *Appl. Phys. Lett.* 27, 657 (1975).
- [11] N. Fathy, R. Kobayashi, M. Ichimura, *Mater. Sci. Eng. B.* 107, 271 (2004).
- [12] Ndudwe IC, *Sol Enrgy Mater Sol Cells.* 40, 123, (1996).
- [13] R. O. Borges, D. Lincot, J. Vedel, photovoltaic solar energy conference, (PVSEC-6), 86, (1992).
- [14] Prevenslik T. V. *J Lumen.* 1210, 87-89, (2000).
- [15] D. Chen, F. Huang, G. Ren, D. Li, M. Zheng, Y. Wang, Z. Lin, *Nanoscale.* 2, 2062-2064, (2010).
- [16] S. Yanagida, K. Mizumoto and C. J. Pac, *J. Am. Chem. Soc.* 108, 647-654, (1986).
- [17] J. S. Hu, L. L. Ren, Y. G. Guo, H. P. Liang, M. A. Cao, L. J. Wan and C. L. Bai, *Angew. Chem.* 44, 1269-1273, (2005).
- [18] H. Fujiwara, H. Hosokawa, K. Murakoshi, Y. Wada and S. Yanagida, *Langmuir.* 14, 5154-5159, (1998).
- [19] MP .Valkonen, S. Lindroos, T. Kanninen, M. Leskela, U. Tapper, E. Kauppinen, *Appl Surf. Sci.* 120, 58-64, (1997).
- [20] Y. F. Nicolau, J. C Menard, *J Crystal Growth.* 92, 128, (1988).
- [21] H. Murray, A. Tosser, *Thin Solid Films.* 24, 165, (1974).
- [22] H. L. Kwok, *J Phys D: Appl Phys.* 16, 2367, (1983).
- [23] O. M. Hussain, P. S. Reddy, B. S. Naidu, U. Uthanna, P. J. Reddy, *Semicond Sci, Technol.* 16, 690, (1991).
- [24] J. M. Dona, J. Herrero, *J Electrochem Soc.* 141, 205, (1994).
- [25] K. Ichino, T. Onishi, Y. Kawakami, S. Fujita, *J Crystal Growth.* 138, 28, (1994).
- [26] Z. J. Xin, R. J. Peaty, H. N. Rutt, R. W. Eason, *Semicond Sci Technol.* 14, 695, (1999).
- [27] Y. F. Nicolau, *Appl Surf Sci.* 22/23, 1061, (1985).
- [28] T. L. Chu, S. S. Chu, J. Britt, C. Feredikes, C. Q. Wu, *J Appl Phys.* 70(5), 2688, (1991).
- [29] K. A. Dhese, J. E. Nicholls, W. E. Hagston, P. J. Wrigth, B. Cockayne, J. J. Davies, *J Crystal Growth.* 138, 140, (1994).
- [30] J. Ihanus, M. Ritala, M. Leskela and T. Prohaska, R. Resch, G. Friedbacher, *Appl Surf sci.* 120, 43, (1997).
- [31] J. Lee, S. Lee, S. Cho, S. Kim, I. Y. Park, Y. D. Choi, *Materials Chemistry and Physics* 77, 254-260, (2002).
- [32] C. T. Tsai, D. S. Chu, G. L. Chen, S. L. Yang, *J. Appl. Phys.* 79, 9105, (1996).
- [33] P. K. Ghosh, S. Jana, S. Nandy, K. K. Chattopadhyay, *Materials Research Bulletin*, 42, 505-514, (2007).
- [34] R. K. Nkum, A. A. Adimado, H. Totoe, *Mater Sci Eng B*, 55, 102-108, (1998).
- [35] H. J. Lee, S. Lee, *Current Applied Physics* 7, 193-197, (2007).
- [36] J. P. Borah, J. Barman, K. C. Sarma, *Chalcogenide Letters.* 59, 201-208, (2008).
- [37] R. Zhang, B. Wang, H. Zhang, L. Wei, *Applied Surface Science.* 241, 435-441, (2005).
- [38] A. Ates, M. Yildirim, M. Kundakci, Aykut Astam, *Materials Science in Semiconductor Processing.* 10, 281-286, (2007).
- [39] M. Y. Nadeem, W. Ahmed, *Turk J Phy.* 24, 651 - 659, (2000).
- [40] X. Wu, F. Lai, L. Lin, J. Lv, B. Zhuang, Q. Yan, Z. Huang, *Applied Surface Science.* 254, 6455-6460, (2008).
- [41] A. U. Ubale, D. K. Urnarni, *Bull. Mater. Sci.* 28, 43-47, (2005).
- [42] Y. P. Venkata Subbaiah, P. Prathap, K. T. Ramakrishna Reddy, *Applied Surface Science.* 253, 2409-2415, (2006).
- [43] T. Asahi, H. Yamashita, T. Maekawa, *Ceramics International*, 27, 39-43, (2001).
- [44] N. Fathy, M. Ichimura, *Solar Energy Materials & Solar Cells.* 87, 747-756, (2005).
- [45] M. A. Yildirim, A. Ates, A. Astam, *Physica E.* 41, 1365-1372, (2009).
- [46] H. K. Sadekar, N. G. Deshpande, Y. G. Gudage, A. Ghosh, S. D. Chavhan, S. R. Gosavi, R. Sharma, *Journal of Alloys and Compounds* 453, 519-524, (2008).
- [47] B. Elidrissi, M. Addou, M. Regragui, A. Bougrine, A. Kachouane, J. C. Bernède, *Materials Chemistry and Physics.* 68, 175-179, (2001).
- [48] W. Daranfed, M. S. Aida, A. Hafdallah, H. Lekiket, *Thin Solid Films.* 518, 1082-1084, (2009).
- [49] P. K. Bowen, J. Drelich, J. Goldman, *Advanced Materials* 25(18) (2013) 2577-82.
- [50] D. Vojtech, J. Kubasek, J. Serak, P. Novak, *Acta Biomater* 7(9) (2011) 3515-22.
- [51] D. Campo, C. Echeverría, M. San Martín, R. C. Rodríguez, A. Bonilla, *Macromolecular bioscience*, 19, 1900127, (2019).
- [52] Z. Morshedtalab, G. Rahimi, A. Emami, A. Farasat, A. Mohammadbeygi, N. Ghaedamini, *Curr Top Med Chem*, 20, 1042-1055, (2020).
- [53] Gh. Amiri, S. Fatahian, N. Kianpour, *Current Nanoscience*, 10, 796-800, (2014).