



Semnan University

Journal of Applied Chemistry

Journal homepage: <https://chemistry.semnan.ac.ir/>



Research Article

Design and Fabrication of Infrared Detector Based on Polyaniline/Silver Nanowire Nanocomposite

Mahsa Mahdavinia^a, Gholamreza Kiani^{a,*}, Ayub Karimzad Gavidel^b

^aDepartment of Organic Chemistry and Biochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^bDepartment of Mechanical Engineering, Technical and Vocational Faculty, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

PAPER INFO

Article history:

Received: 23/Jul/2022

Revised: 04/Nov/2022

Accepted: 14/Nov/2022

Keywords:

Polyaniline, Infrared detector, Conductive polymer, Nanocomposite, Silver nanowires

ABSTRACT

The aim of this research is the fabrication of infrared detector for using in different fields. For this purpose, polyaniline/silver nanowire nanocomposite was synthesized by hard chemical template method. The structural characteristics of the prepared nanocomposite were examined by a scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (EDS) spectroscopy. The results of the microscopic analysis showed that the synthetic polyaniline film had a non-uniform porosities with the approximate size distribution in diameter of 270 nm and had contain 1.28 (wt.%) of silver nanowires in the size of 80-100 nm. The results of evaluating the performance of an infrared detector based on the polyaniline/silver nanowire nanocomposite showed that with infrared light, the detector current increases under constant orientation (bias) and returns to its original state when the radiation is stopped. This increase was 4.8%, which indicates an improvement in comparison with prior similar samples. The response and the recovery time were obtained about 30 and 8 s, respectively.

DOI: <https://doi.org/10.22075/CHEM.2022.27886.2091>

© 2023 Semnan University.

This is an open access article under the CC-BY-SA 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

*.Corresponding author: Assistant Professor of Organic Chemistry. E-mail address: g.kiani@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: Mahdavinia, M., Kiani, G., & Karimzad Ghavidel, A. (2022). Design and Fabrication of Infrared Detector Based on Polyaniline/Silver Nanowire Nanocomposite. *Applied Chemistry*, 18(67), 149-164. (in persian)

طراحی و ساخت آشکار ساز مادون قرمز بر پایه نانوکامپوزیت پلی آنیلین/نانوسیم

نقره

مهسا مهدوی نیا^۱، غلامرضا کیانی^{۱*}، ایوب کریم زاد قویدل^۲

^۱گروه شیمی آلی و بیوشیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و حرفه ای، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۸/۲۳

تاریخ تصحیح: ۰۱/۰۸/۱۳

تاریخ دریافت: ۰۱/۰۵/۰۱

چکیده

هدف از این پژوهش، ساخت آشکار ساز مادون قرمز برای کاربرد در حوزه‌های مختلف می‌باشد. برای این منظور، نانوکامپوزیت پلی آنیلین/نانوسیم نقره، به روش قالب شیمیایی سخت سنتز گردید. مشخصات ساختاری نانوکامپوزیت حاصل، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌نگاری پراش انرژی پرتوی ایکس (EDS) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیزهای میکروسکوپی نشان داد که فیلم پلی آنیلین سنتزی، دارای تخلخل‌های غیریکنواخت با توزیع اندازه با قطر تقریبی ۲۷۰ nm بوده و دارای ۱/۲۸ (wt.%) از نانوسیم‌های نقره در اندازه ۱۰۰~۸۰ nm می‌باشد. نتایج ارزیابی عملکرد آشکار ساز مادون قرمز مبتنی بر نانوکامپوزیت پلی آنیلین/نانوسیم نقره مشخص کرد که با تابش نور مادون قرمز، جریان آشکار ساز تحت جهت‌گیری (بایاس) ثابت، افزایش می‌یابد و با قطع تابش به حالت اولیه باز می‌گردد. این افزایش به میزان ۴/۸٪ بود که نشان‌دهنده بهبود، نسبت به نمونه‌های مشابه قبلی می‌باشد. همچنین، زمان پاسخ و بازیابی به ترتیب در حدود ۳۰ و ۸ ثانیه بدست آمد.

کلمات کلیدی: پلی آنیلین، آشکار ساز مادون قرمز، پلیمر رسانا، نانوکامپوزیت، نانوسیم نقره.

۱- مقدمه

تابش مادون قرمز^۱ (IR)، رایج‌ترین شکل تابش الکترومغناطیسی است که بین طیف مرئی^۲ و ریزموج^۳ قرار دارد [۱]. طیف مادون قرمز در مقایسه با نور مرئی، جذب کمتری داشته و در جو پراکنده می‌گردد [۲] و بدین ترتیب، اطلاعات مهمی نظیر ساختار، دما و مکان اجسام را در فضا و جو ارائه می‌دهد [۳]. امروزه فناوری تولید و بهبود آشکار ساز مادون قرمز، به دلیل کاربردهای فراوان، از جمله تصویربرداری حرارتی، سیستم‌های ردیابی موشک، دوربین‌های دید در شب، ردیابی و کنترل هوایی، نجوم و پزشکی مورد توجه قرار گرفته است [۴-۶]. مکانیسم عملکرد در آشکار سازهای مادون قرمز، براساس انتقال الکترون بین تراز هدایت و تراز ظرفیت ماده است [۷]. از آنجایی که طول موج تشخیص در این آشکار سازها به تغییرات نوترکیبی^۴ در طی فرایند حساس می‌باشد، لذا نرخ بالای نوترکیبی، منجر به ایجاد جریان‌های تاریک^۵ بزرگی می‌شود [۸]. اهداف پیشرفت در فناوری

¹Infrared

²Visible

³Microwave

⁴Recombination

⁵Dark current

آشکار ساز مادون قرمز را می توان پیشبرد به سمت دماهای عملیاتی بالاتر، به منظور توانایی تشخیص همزمان چندین رنگ، افزایش راندمان، سهولت ساخت، حساسیت بالای پیکسلی و کاهش قیمت تمام شده تولید عنوان نمود [۹].

آشکار سازهای نوری و حرارتی، دو نوع رایج از آشکار سازهای مادون قرمز هستند [۱۰]. ورود فناوری های کوانتومی به عرصه آشکار سازها در دهه های گذشته شتاب بالایی گرفته است. ردیاب های مادون قرمز کوانتومی^۶ (QWIPs) از جمله این فناوری های در حوزه آشکار سازهاست که نتیجه آن تولید آشکار سازهای مادون قرمز نوری هستند [۱۱]. جریان تاریک کم تر، دمای عملیاتی بالا و قابلیت تشخیص همزمان چندین رنگ از جمله مزایای آشکار سازهای نوری مادون قرمز مبتنی بر فناوری کوانتومی است [۱۲]، اما عیب اصلی این فناوری بازده کوانتومی پایین است [۱۳]. در این راستا، پیشرفت در فناوری آشکار سازهای مادون قرمز عمدتاً به آشکار سازهای مبتنی بر مواد نیمه هادی^۷ متمرکز است که جزو آشکار سازهای فوتونی دسته بندی می گردد [۱۴]. در این آشکار سازها، تشعشع فرودی در ماده توسط برهمکنش با الکترون ها جذب شده و سیگنال خروجی الکتریکی حاصل می شود [۱۵]. از مزایای این آشکار سازها می توان به نسبت سیگنال به نویز عالی و نیز واکنش بسیار سریع آن ها اشاره نمود [۱۶]. استفاده از اینگونه آشکار سازها نیازمند سیستم های برودتی پرهزینه و فضاگیر است که مانع اصلی در گسترش بکارگیری این آشکار سازها تلقی می شود [۱۷]. در سوی مقابل، در یک آشکار ساز حرارتی، از انرژی مادون قرمز به عنوان منبع حرارت استفاده می شود. عملکرد اصلی در این آشکار سازها، مبتنی بر تغییر دما در اثر جذب فوتون بر روی ماده آشکار ساز می باشد. از این رو، تشعشعات فرودی، به منظور تغییر در دمای مواد جذب شده و اثر آن در برخی از خواص فیزیکی، به تولید یک سیگنال خروجی الکتریکی می انجامد [۱۶]. شدت سیگنال حاصل در این دسته از آشکار سازها به توان تابشی یا نرخ تغییر آن بستگی دارد. این نوع از آشکار سازها برخلاف نوع فوتونی، ارزان بوده و قابلیت کار در دمای اتاق را دارد. حساسیت آشکار سازهای حرارتی در رده متوسط دسته بندی می گردد. مزیت برجسته این دسته از آشکار سازهای مادون قرمز عدم محدودیت طول موج دریافتی و عدم نیاز به سیستم میرد است. از معایب عمده این آشکار سازها می توان به پاسخ زمانی کند و قابلیت آشکار سازی پایین اشاره نمود [۱۸].

استفاده از نیمه هادی مبتنی بر HgCdTe^8 ، به دلیل پوشش وسیع محدوده طیفی مادون قرمز، انعطاف پذیری بالایی را برای تشخیص بهینه ی هر منطقه از طیف مادون قرمز عرضه می نمایند. لذا این نوع از نیمه هادی ها در توسعه ی آشکار سازهای مادون قرمز، مورد توجه قرار گرفتند [۹]. با این وجود، جایگزینی HgCdTe با سایر مواد نیمه هادی نظیر روی و منگنز، به دلیل پیوند ضعیف Hg-Te موجب ناپایداری سطح مشترک شده و از معایب این نوع از مواد محسوب می گردد [۱۹].

⁶ Quantum-well infrared photodetectors

⁷ Semiconductor

⁸ Mercury-cadmiumtelluride (MCT)

یکی از رویکردهای جدید در زمینه ساخت آشکارسازهای مادون قرمز و رفع چالش‌های موجود، استفاده از پلیمرهای رساناست [۲۰]. در بین پلیمرهای رسانا، پلی‌انیلین به دلیل مزایایی همچون سنتز آسان، هزینه کم، راندمان بالای پلیمریزاسیون، خصوصیات الکتریکی، الکتروشیمیایی و نوری مطلوب، پایداری محیطی و رفتار دوپینگ منحصر به فرد، برای کاربرد در حسگرها به صورت گسترده مورد توجه قرار گرفته است [۱۴]. علاوه بر ماهیت رسانایی ذاتی این پلیمرها، سنتز آن‌ها در ابعاد نانویی خصوصیت عملکردی بهتری را برای آن‌ها به ارمغان آورده است [۱۸]. از این رو، یافتن یک مسیر آسان و کنترل شده، برای تهیه پلیمرهای رسانا امری ضروری است و تلاش‌های کنونی به منظور توسعه روش‌های جدید در زمینه پلیمرهای رسانای نانوساختار، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱۹]. از میان روش‌های مختلف تهیه پلیمرهای رسانا، استفاده از روش قالب سخت، به عنوان یک رویکرد کنترل شده برای بدست آوردن نانوساختارها مطرح شده است [۲۱]. عیب اصلی پلیمرهای رسانا هدایت الکتریکی پایین آن‌هاست که این نقصان با افزودن نانومواد رسانا به زمینه پلیمری قابل کنترل بوده و مرتفع گردیده است [۲۲].

در زمینه ساخت آشکارسازهای مادون قرمز، تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. در این بین، هانگ‌ژی چن^۹ و همکارانش، موفق به ساخت آشکارساز مادون قرمز با استفاده از نانوسیم‌های InSb^{۱۰} و نانوذرات طلا به عنوان کاتالیزور شده‌اند [۲۳]. نتایج این تحقیق نشان داد که در این آشکارساز، جریان تاریکی به طور قابل توجهی با کوچک شدن اندازه نانوذرات و سرکوب پراکندگی الکترون-فوتون کاهش می‌یابد. همچنین بازده کوانتومی بالایی برای آشکارساز مبتنی بر نانوسیم InSb در دمای اتاق مشاهده شد [۲۳]. در تحقیقی دیگر، محققان یک آشکارساز مادون قرمز بر پایه نانولوله‌های کربنی تک دیواره (SWCNT) طراحی کردند [۲۴]. آشکارساز ساخته شده بر اساس SCWNT، پاسخ سریع و قابل توجهی را به تابش مادون قرمز از خود نشان داد. تغییر مقاومت نسبی SCWNTها با تابش مادون قرمز، در حدود ۲۲/۸۶٪ و پاسخ نوری زمانی هم تنها حدود ۵۰۰ μs ارزیابی گردید، که نشان می‌دهد پاسخ نوری نسبتاً بزرگ و زمان پاسخ کوتاه است [۲۴]. دویان بنگ^{۱۱} و همکارانش نیز از فیلم نازک پلی‌انیلین رسانا به عنوان ماده فعال مادون قرمز نزدیک (NIR^{۱۳}) به همراه یک لایه از الکترودهای کروم/طلا که به روش حرارتی روی فیلم نازک پلی‌انیلین لایه‌نشانی شده بود، استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که با تابش نور لیزر NIR هدایت فیلم نازک پلی‌انیلین به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد [۷].

بر اساس مطالعاتی که از منابع علمی صورت گرفته است و با تمرکز بر چالش‌هایی که پیش‌روی فناوری‌های آشکارساز مادون قرمز فعلی می‌باشد، در خصوص ساخت آشکارسازهای مبتنی بر نانوکامپوزیت پلیمر رسانا، تحقیقات جامعی انجام نشده است. این پژوهش در نظر دارد تا امکان ساخت آشکارسازهایی از نانوکامپوزیت پلیمر رسانا/نانوسیم فلزی با حساسیت بالا در اندازه‌های

⁹ Hongzhi Chen

¹⁰ Indium antimonide

¹¹ Single-walled carbon nanotubes

¹² Doyeon Bang

¹³ Near infrared

بسیار کوچک و در مقیاس صنعتی را مورد ارزیابی قرار دهد. نوآوری اصلی پژوهش حاضر، بررسی اثر بکارگیری نانوساختار نانومیله‌های پلی آنیلین دوپ شده با نانوسیم‌های نقره، تهیه شده به روش قالب شیمیایی سخت (به‌عنوان رویکرد کنترل شده در ایجاد نانوساختارها) بر میزان حساسیت، زمان پاسخ و بازبایی آشکارساز مادون قرمز می‌باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

در این تحقیق، به‌منظور سنتز پلی آنیلین از مونومر آنیلین، اسید کلریدریک ۳۷٪، آمونیوم پرسولفات به‌عنوان آغازگر، تتراهیدروفوران^{۱۴} (THF) به‌عنوان حلال پلیمر، اسید فسفریک ۵٪ به‌عنوان حلال برای جداسازی پلی آنیلین از غشا، اکسید آلومینیوم آندی^{۱۵} (AAO) به‌عنوان قالب و استون جهت شستشوی بستر استفاده گردید. تمامی مواد فوق ساخت شرکت مرک آلمان می‌باشند.

همچنین مشخصه‌یابی عملکرد آشکارساز با استفاده از دستگاه و تجهیزات منبع تغذیه سویچینگ ۱۲ ولت (Megatek)، مولتی متر دیجیتال (Modern Digital Multimeter GDM-356/451)، اسیلوسکوپ دیجیتال (Digital Storage OscilloscopeGDS-) (1000AUSeries)، سیگنال ژنراتور (MeasureGDS-3000Series Made to)، دستگاه الکتروآنالیزر (SAMA 500) Auto lab و دیود لیزری در طول موج ۸۰۸ nm (LD80R4S-A/B/C/D/E-Z4)، به‌کارگیری شد.

۲-۲- روش سنتز نانوکامپوزیت پلی آنیلین / نانوسیم نقره به روش قالب شیمیایی سخت

برای تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین/نانوسیم نقره به روش قالب شیمیایی سخت، نخست مقدار ۰/۰۱۵ مولار (۲ mg در ۱۰۰ mL) از محلول نیترات نقره به‌همراه آنیلین ۰/۵ مولار به اسید کلریدریک ۱ مولار اضافه گردید. محلول حاصل توسط همزن مغناطیسی، به مدت ۳۰ دقیقه تحت همزدن قرار گرفت. سپس محلول ۰/۲۵ مولار آمونیوم پرسولفات، در اسید کلریدریک ۱ مولار تهیه گردید. قالب AAO با قطر حفره ۱۰۰ nm و ضخامت لایه اکسیدی ۱۰۰ μm در وسط دو راکتور قرار داده شد. در ادامه mL ۱۰ از محلول نیترات نقره و آنیلین تهیه شده در یک طرف و ۱۰ mL از محلول آمونیوم پرسولفات در طرف دیگر راکتور ریخته شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، غشای AAO از درون راکتور حاوی محلول‌ها بیرون آورده شد و به مدت ۲۴ ساعت در داخل اسید فسفریک ۵٪ قرار گرفت. بدین ترتیب غشا حل شده و نانوپلیمرها ته‌نشین شدند. سپس قسمت پلاستیکی غشا از محلول خارج شد و محلول حاصل، به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید، تا اسید از نانوساختارها جدا گردد و مجدداً با حل کردن نانوساختارها در آب دیونیزه و سانتریفیوژ آن‌ها، از عدم اسیدی بودن نانوساختارها اطمینان حاصل گردید. در نهایت نانوساختارها

¹⁴ Tetrahydrofuran

¹⁵ Anodic aluminium oxide

به مدت ۲۴ ساعت در آون 40°C خشک شدند [۷]. پس از تهیه نمونه‌ها، ارزیابی ریزساختاری و آنالیز عناصر شیمیایی موجود در آن‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل Tescan-MIRA3 انجام شد.

۲-۳- طراحی الکتروود شانه‌ای و ساخت آشکارساز

به منظور تهیه الکتروود شانه‌ای، مدارهای مدنظر توسط نرم افزار Microsoft Visio Drawing طراحی گردیدند. مدار طراحی شده بر روی طلق‌های مخصوص بر روی زیرلایه (فیبر مسی) چاپ شدند و نهایتاً توسط اسیدشویی قسمت‌های اضافی مدار چاپی حذف گردید. فاصله بین الکتروودها، ۲۰۰ میکرومتر در نظر گرفته شد که با پخش شدن جوهر در مرحله چاپ، این فاصله به زیر ۱۸۰ میکرون متر کاهش یافت. مدارهای آماده‌سازی شده از جنس مس بوده که با استفاده از روش آبشویی، چربی‌زدایی گردیدند. در مرحله ساخت آشکارساز، نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین/نانوسیم نقره‌ی تهیه شده در مقدار بسیار کمی از آب دیونیزه حل شدند و به مدت یک ساعت در حمام آلتراسونیک (وان التراسونیک ساخت شرکت Codyson مدل ۴۸۲۰) تحت همزدن قرار گرفتند. سپس توسط میکروپیپت، از محلول به دست آمده، بر روی بستری که چندین بار توسط استون شسته شده و در آون گرم شده بود، چکانده شد و عملیات لایه‌نشانی با دستگاه پوشش‌دهی چرخشی (ساخت شرکت پینیون) انجام شد. این روند در بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای تکرار گردید، تا سطح الکتروود با نانوکامپوزیت به خوبی پوشش داده شود. پس از پوشش‌دهی، نمونه تولید شده در آون (ساخت شرکت شیماز) با دمای 40°C قرار گرفت تا پوشش به طور کامل خشک گردد. در شکل ۱، تصاویر الکتروود شانه‌ای طراحی شده و پوشش نانوکامپوزیتی لایه‌نشانی شده بر روی آن به طور جداگانه آورده شده است.



(ب)



(الف)

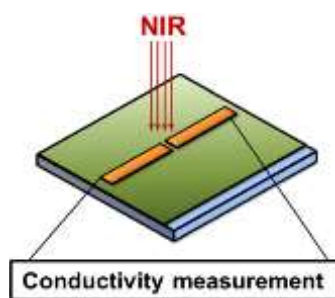
شکل ۱. تصویر آشکارساز مادون قرمز: (الف) الکتروود شانه‌ای طراحی شده (ب) تصویر آشکارساز تولید شده با لایه نانوکامپوزیتی

برای تعیین مشخصات عملکرد آشکارساز و پاسخ زمانی آن، مطابق شکل ۲ الف، الکتروود شانه‌ای توسط نرم‌افزار طراحی گردید. پاسخ زمانی و ویژگی‌های جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شد. یک لیزر مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۰۸ نانومتر و توان نوری خروجی ۲۰۰ mW، بر روی ناحیه فعال پلی‌آنیلین/نانوسیم نقره واقع در بین دو الکتروود اعمال شد. چگالی توان لیزر فرودی با کنترل توان خروجی لیزر و یک تضعیف‌کننده مدوله شد. شکل ۲ ب، نحوه اعمال لیزر بر حسگر مادون قرمز طراحی شده

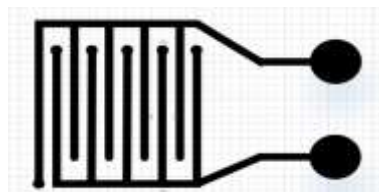
را نشان می‌دهد. تغییر مقاومت الکتریکی در لایه فعال در اثر تابش لیزر مادون قرمز، توسط جفت الکتروود کروم/طلا، اندازه-گیری گردید. پاسخ زمانی آشکار ساز مادون قرمز، توسط دستگاه SAMA 500 با تکنیک ^{۱۶}CPC، با اعمال ولتاژ ثابت ۶ ولت و اندازه‌گیری جریان آشکار ساز بدست آمد. در این روش، نمودار رسانایی نرمال شده به‌عنوان تابعی از زمان تحت تأثیر نور مادون قرمز ترسیم گردید. دستگاه در ولتاژ ۶ ولت بایاس شد و رسانایی به صورت متوالی در زیر نور مادون قرمز نزدیک و در تاریکی (عدم تابش نور) ثبت شد. پاسخ به NIR روشن به وضوح با افزایش جریان همراه بود. به محض قطع تابش نور لیزر، افت شدیدی در جریان مشاهده گردید. این افزایش و کاهش در مقدار جریان را می‌توان به شارژ و دشارژ خازن نسبت داد و بدین ترتیب پالس‌های متوالی برای دستیابی به نتایج اعمال گردید.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۲. شمای کلی از روند ساخت و بررسی عملکرد آشکار ساز مادون قرمز: (الف) الکتروود شانه‌ای طراحی شده توسط نرم‌افزار (ب) عملکرد حسگر مادون قرمز نزدیک به لایه نازک پلی آنیلین/نانوسیم نقره [۷] (ج) مجموعه طراحی و ساخته شده برای مشخصه‌یابی و آنالیز حسگر

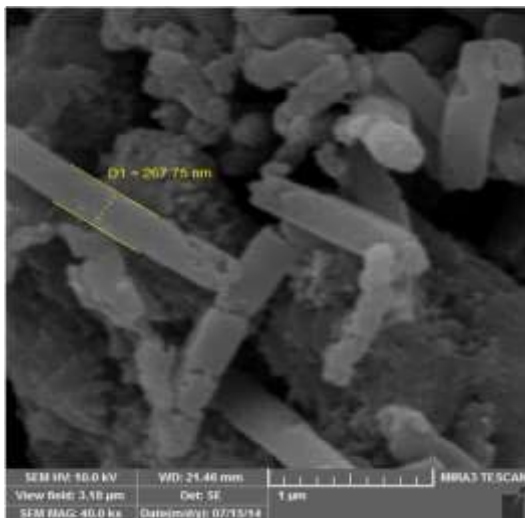
۳- بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- آنالیزهای میکروسکوپی و طیف‌نگاری

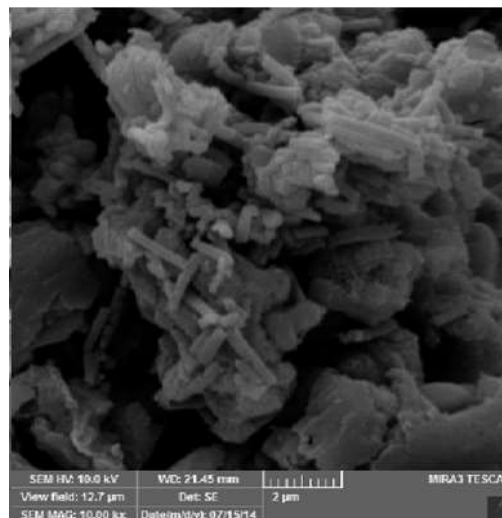
شکل ۳، میکروگراف‌های حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) را برای نانوکامپوزیت پلی آنیلین/نانوسیم نقره‌ی سنتز شده نشان می‌دهد. همانطوریکه مشاهده می‌شود سطح فیلم پلی آنیلین، متخلخل و غیریکنواخت بوده و توزیع اندازه با قطر تقریبی ۲۷۰ nm و نیز نانوسیم‌های نقره در اندازه ۸۰~۱۰۰ nm واضح است. با توجه به ریزساختار ایجاد شده پیش‌بینی می‌گردد وجود نانوسیم‌ها موجب افزایش سطح مؤثر و در نتیجه بهبود پارامترهایی همچون پاسخ آشکار ساز، زمان بازیابی و حساسیت آشکار ساز شوند. همچنین آنالیز حاصل از طیف‌نگاری پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) لایه نانوکامپوزیتی در شکل ۴ و مقادیر وزنی هر عنصر در جدول ۱ آورده شده است. حضور کربن، نیتروژن و اکسیژن در طیف مذکور، تشکیل پلی آنیلین را تایید می‌کند [۲۵]. همچنین حضور عناصر فوق به همراه کلر و نقره، نشان‌دهنده آماده‌سازی موفقیت‌آمیز نانوکامپوزیت حاوی نانوسیم پلی-آنیلین/نقره است. وجود ۱/۲۸ درصد وزنی نقره در نانوکامپوزیت حاصل مشهود است که در سنتز معادل ۰/۰۲٪، در نظر گرفته

¹⁶ Controlled Potential Coulometry

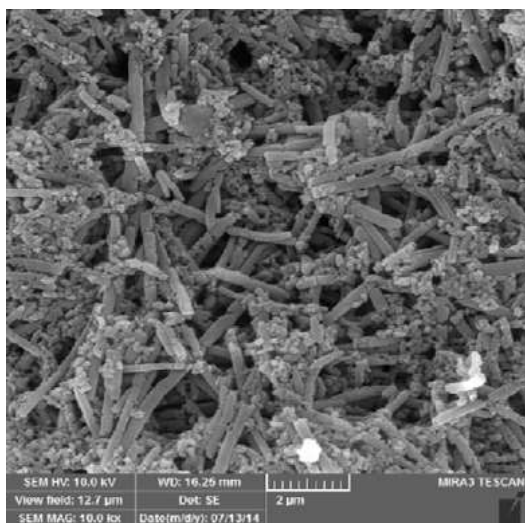
شده بود. دلیل این امر را می‌توان به وجود هیدروژن و نیتروژن در ساختار نانوکامپوزیت تهیه شده نسبت داد که به سبب دارابودن عدد اتمی کوچک، در حد تشخیص EDS نبوده و سبب ایجاد خطا می‌گردد و مقدار عناصر مذکور بر روی سایر عناصر موجود در ساختار افزوده می‌گردد [۲۶].



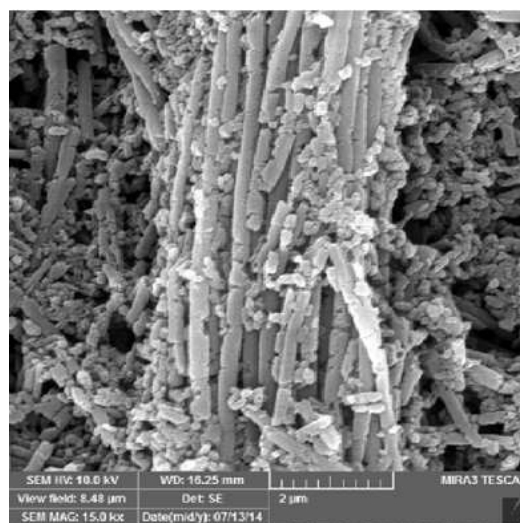
(ب)



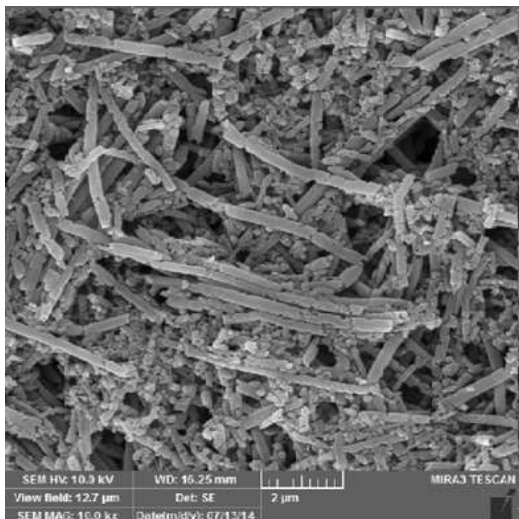
(الف)



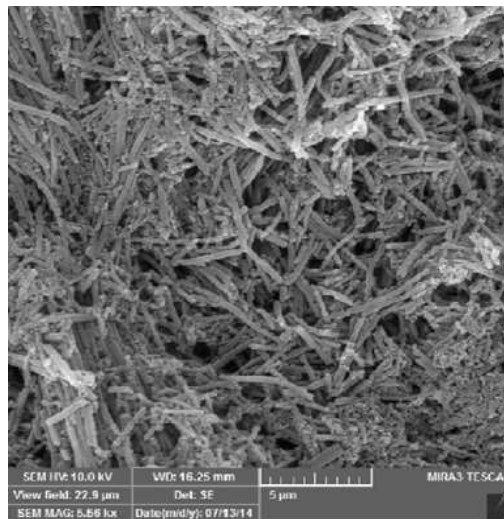
(ت)



(پ)

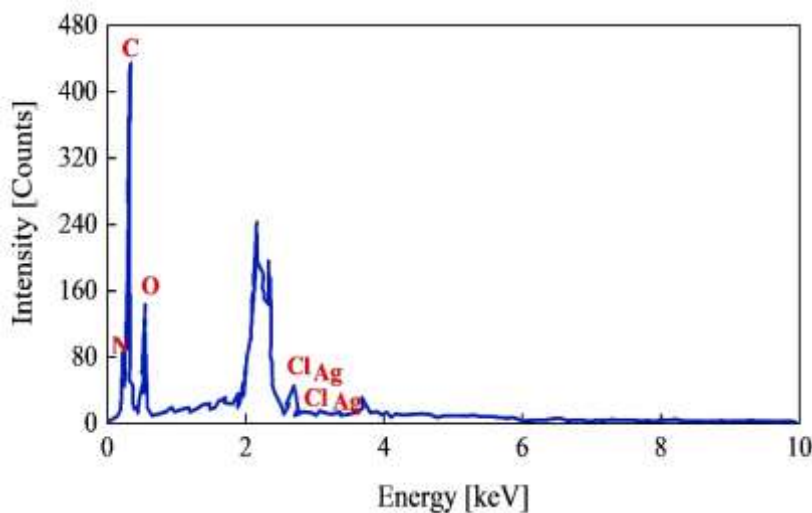


(د)



(ج)

شکل ۳. میکروگرافهای SEM مربوط به نانوکامپوزیت پلی آنیلین/ نانوسیم نقره سنتز شده به روش الگوی سخت: (الف) تا (د) بزرگنماییهای مختلفی از نانوکامپوزیت‌های تولید شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴. میکروگراف EDS نانوکامپوزیت پلی آنیلین/ نانوسیم نقره سنتز شده

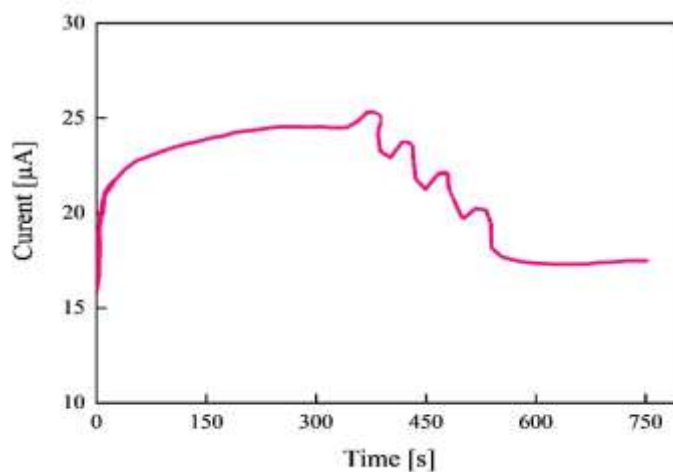
جدول ۱. آنالیز EDS نانوکامپوزیت پلی آنیلین/ نانوسیم نقره سنتز شده

Elt	line	Int	Error	K	Kr	W%	A%	ZAF	Ox%	Pk/Bg
C	Ka	169.0	2.3547	0.6913	0.3587	50.75	57.77	0.7067	2.3547	169.0
N	Ka	15.1	2.3547	0.0873	0.0453	18.65	18.21	0.2427	0.00	16.01
O	Ka	59.0	2.3547	0.1648	0.0855	26.76	22.87	0.3196	0.00	38.65
Cl	Ka	13.9	5.8281	0.0404	0.0210	2.56	0.99	0.8189	0.00	2.41
Ag	La	2.4	5.8281	0.0163	0.0084	1.28	0.16	0.6591	0.00	

۲-۳- نتایج بدست آمده برای آشکارساز تابش مادون قرمز

در شکل ۵، پاسخ زمانی برای آشکارساز مادون قرمز تولید شده در دمای محیط مشاهده می‌گردد. پاسخ زمانی آشکارساز مدت زمانی می‌باشد که آشکارساز، در پاسخ به اعمال تابش نور مادون قرمز نشان می‌دهد [۲۷]. همانطور که مشاهده می‌شود پاسخ زمانی به صورت نمایی تغییر می‌کند و به محض تابش لیزر، پاسخ زمانی یک روند افزایشی و با قطع آن، یک روند کاهشی دارد.

همچنین، در این شکل مشخص است که جریان به تدریج با گذر زمان افزایش می‌یابد و تقریباً از ثانیه‌ی ۲۰۰ به بعد، به یک حالت پایا می‌رسد. علت این پدیده ظرفیت خازنی آشکارساز است. در حوالی ثانیه‌ی ۳۵۰ از زمان تابش پرتوی مادون قرمز توسط دیود لیزری، جریان افزایش یافته و پس از ۲۵ ثانیه، تابش اشعه قطع می‌شود و یک کاهش سریع در جریان اتفاق می‌افتد. به طوری که در عرض ۸ ثانیه، جریان به مقدار اولیه خود در لحظه شروع تابش اشعه مادون قرمز می‌رسد و پس از آن نیز شاهد کاهش جریان تا ثانیه‌ی حدود ۴۰۰ هستیم. همان‌طور که در منحنی شکل ۵ مشهود است، پس از قطع تابش لیزر مادون قرمز، جریان کاهش می‌یابد. اما مقدار جریان پس از رسیدن به مقدار خود در ثانیه‌ی ۳۵۰ (قبل از تابش لیزر) باز هم تا ثانیه‌ی ۴۰۰ (لحظه اعمال پالس بعدی لیزر) کاهش می‌یابد؛ این کاهش جریان را می‌توان به دشارژ خازن ارتباط داد. برای پالس‌های بعدی نیز نتایج مشابهی به دست آمد. به نحوی که در نهایت جریان پس از اعمال پالس چهارم، به کمترین مقدار خود می‌رسد.



شکل ۵. نمودار جریان-زمان تابش اشعه مادون قرمز در ولتاژ ثابت ۶ ولت برای آشکارساز مادون قرمز ساخته شده

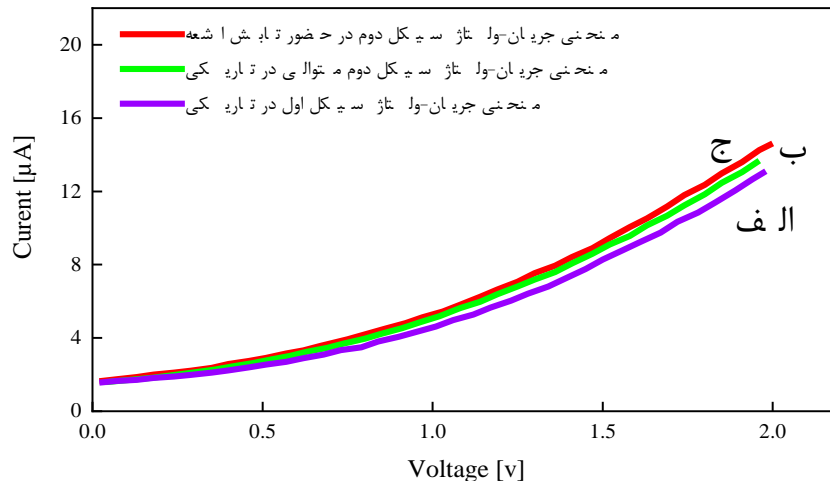
تابش فوتون بر مواد نیمه‌رسانا، منجر به ایجاد اکسایتون‌ها^{۱۷} (زوج الکترون-حفره) می‌شود [۱۰]. اکسایتون‌های تولید شده توسط تابش نور می‌توانند از نظر حرارتی یا از طریق یک میدان الکتریکی بزرگ به الکترون‌ها و حفره‌های آزاد تجزیه شوند [۱۲]. این حامل‌های آزاد، رسانایی مواد نیمه‌رسانا را افزایش می‌دهند. در مورد تفکیک حرارتی، اکسایتون‌های تولید شده توسط نور به گرما تجزیه می‌شوند و رسانایی مواد نیمه‌رسانا متناسب با افزایش دمای مواد نیمه‌رسانا افزایش می‌یابد [۱۴]. به طور کلی، برای دمای بالا و جریان بایاس زیاد، اثر حرارتی غالب است و دستگاه رفتار اهمی را نشان می‌دهد [۱۳]. با این حال، در دمای پایین و برای جریان بایاس کم، اثر عکس غالب است، به طوری که دستگاه غیرخطی بودن الکتریکی برهمکنش‌های غیر اهمی را نشان می‌دهد [۲۰]. با توجه به اینکه ماده سنتز شده دارای ظرفیت خازنی می‌باشد، لذا با اعمال ولتاژ به دلیل وجود این خاصیت، جریان افزایش می‌یابد. از این رو، به منظور مشاهده تأثیر تابش اشعه مادون قرمز بر روی آشکارساز با اعمال ولتاژ متغیر به آن،

¹⁷ Excitation

ابتدا منحنی‌های جریان-ولتاژ برای آشکار ساز در دو سیکل متوالی بدون تابش اشعه مادون قرمز اندازه گرفته شد. سپس همین روند در حضور تابش اشعه مادون قرمز برای سیکل دوم انجام گردید. منحنی جریان-ولتاژ مربوطه در شکل ۶، نشان داده شده است. با توجه به این شکل، اختلاف منحنی ب که مربوط به رفت سیکل دوم بدون تابش اشعه مادون قرمز نسبت به منحنی الف که مربوط به رفت سیکل اول بدون تابش اشعه مادون قرمز می‌باشد، ناشی از ظرفیت خازنی آشکار ساز بوده و اختلاف منحنی ج که مربوط به رفت سیکل دوم با تابش اشعه مادون قرمز می‌باشد، نسبت به منحنی ب، ناشی از تابش اشعه مادون قرمز است. داده‌های مورد نظر با استفاده از روش CV¹⁸ دستگاه SAMA 500 و حذف داده‌های حاصل در برگشت چرخه ولتامتری (CV) بدست آمد و تغییر در شیب منحنی I-V تحت نور مادون قرمز به تغییر در رسانایی دستگاه، به دلیل اثر حرارتی نسبت داده می‌شود. بنابراین با توجه به منحنی‌های حاصل از شکل ۵ و ۶، افزایش جریانی در حدود ۰/۴/۸٪، زمان پاسخی کوتاه و زمان بازیابی ۸ ثانیه‌ای برای آشکار ساز تهیه شده حاصل می‌شود. در حالی که افزایش جریان در کار مشابهی که در مرجع [۷] صورت گرفته، حدود ۰/۳/۵٪ می‌باشد که این افزایش در تغییرات جریان در تحقیق کنونی از نانساختار پلی آنیلین/نانوسیم نقره ناشی می‌شود بدین ترتیب که جذب شدید در ناحیه مادون قرمز نزدیک در لایه‌های نازک پلی آنیلین، سبب می‌شود تا پلی آنیلین فوتون‌ها را در ناحیه مادون قرمز نزدیک جذب کرده و این فوتون‌ها، موجب برانگیخته شدن الکترون‌ها گردند. با رسیدن به حالت آسایش، این الکترون‌های برانگیخته شده، انرژی را به شکل گرما آزاد کرده و از این طریق، رسانایی لایه فعال نیمه‌رسانا تغییر می‌یابد. از سوی دیگر، افزودن نانوذرات رسانای نقره نیز به زمینه پلی آنیلین، موجب بهبود هدایت الکتریکی می‌شود [۷]. در جدول ۲، پارامترهای مهم آشکار سازهای مادون قرمز تولید شده توسط مراجع مختلف جهت مقایسه با یافته‌های پژوهش کنونی، گردآوری شده است. همانگونه که این جدول نشان می‌دهد زمان پاسخ حسگر تهیه شده توسط پژوهش کنونی در حدود ۳۰ ثانیه به دست آمده است که در مقایسه با نمونه‌های پیشین عملکرد آن مطلوب است ولی نمونه‌هایی وجود دارند که زمان پاسخ کمتری ارائه می‌دهند. زمان بازیابی برای حسگر ساخته شده در حدود ۸ ثانیه است که نسبت به نمونه‌ی مرجع [۷] که عملکرد ایده‌آلی در زمان پاسخ (۲۰ ثانیه) داشته است، دست‌آوردی قابل توجه محسوب می‌شود زیرا حسگر ساخته شده در مرجع [۷] زمان بازیابی بسیار طولانی داشته است. نانوسیم‌های فلزی خواص مطلوب جذب نوری در محدود IR را از خود نشان می‌دهند. انتقال در محدوده مرئی، وابسته به ابعاد کاهش یافته قطر سیم‌ها است، که امکان هدایت الکتریکی خوب آن را فراهم می‌کند، بنابراین برای بهبود جذب تابش IR پلیمرهای رسانا که تحرک الکترونی کمتری دارند، مناسب است [۲۸]. همچنین شکل‌گیری شبکه‌های نانوسیم نقره در درون پلی آنیلین با جهت‌گیری تصادفی، امکان استتار حرارتی منبع گرمای زیرین را نیز فراهم می‌کنند که آن را مناسب برای کاربرد در آشکار سازهای مادون قرمز حرارتی می‌کند [۲۸] تهیه نانوسیم‌های نقره با طول‌های تا ده‌ها میکرومتر،

¹⁸ Cyclic Voltammetry (Tafel plot)

امکان گسترش تشدید ساختاری را به محدوده IR فراهم می‌سازند. کاهش پراکندگی الکترون با عدم وجود مرزهای دانه به دلیل ساختار کریستالی، بهبود خواص نوری را ممکن می‌سازد، بنابراین ماده ایده‌آلی برای پلاسمونیک 19 midIR محسوب می‌شود [۲۹]. از آنجایی که نانو ساختارهای فلزی پلاسمونیک در مادون قرمز، با رسانایی افزایش یافته مرتبط هستند لذا می‌توانند از کاهش تلفات در مقایسه با فرکانس‌های مرئی بهره ببرند [۲۹]. از سوی دیگر، افزایش رسانایی و هدایت موجبات جذب شدید و زمان پاسخ سریع را نسبت به سایر مراجع فراهم آورده است [۳۰].



شکل ۶. منحنی‌های ولتاژ-جریان آشکارساز مادون قرمز: (الف) رفت سیکل اول بدون تابش اشعه مادون قرمز، (ب) رفت سیکل دوم متوالی بدون تابش اشعه مادون قرمز، (ج) رفت سیکل دوم با تابش اشعه مادون قرمز

جدول ۲. مقایسه پارامترهای آشکارساز مادون قرمز ساخته شده توسط پژوهش حاضر با نمونه کارهای مشابه

نمونه	زمان پاسخ (s)	زمان بازیابی (s)	طول موج (nm)	مرجع
PPy- NP/Pt	۱۳۰	۲۰۳	۸۰۸	[۳۱]
PbS/MWCNT/PANi	۳۸	-	۹۴۰	[۳۲]
PVDF / CNT	۵۸	-	۵۰۰	[۳۳]
PANi/MWCNT	۲۰	-	۸۰۸	[۷]
PPy/CdS QDs	۱۳۷	۲۳۰	۸۵۰	[۳۴]
PANi/AgNW	۳۰	۸	۸۰۸	پژوهش حاضر

۴- نتیجه گیری

هدف کلی از این تحقیق ساخت آشکارساز مادون قرمز بر پایه نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین/ نانوسیم نقره و بررسی اثر دوپ‌کننده‌ی نانوذرات نقره، بر عملکرد آشکارساز بود. نتایج ارزیابی و مشخصه‌یابی از نمونه ساخته شده را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

¹⁹ Mid infrared

نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که پاسخ زمانی آشکارساز کوتاه و تقریباً ۳۰ ثانیه است و زمان بازیابی آن در حدود ۸ ثانیه می‌باشد که در مقایسه با نمونه مشابه تهیه شده از پلی آنیلین/نانولوله کربنی (۲۰ ثانیه)، بهبود ۱۲ درصدی را نشان می‌دهد. عملکرد آشکارساز تهیه شده بیانگر این مهم بود که با تابش نور مادون قرمز، جریان آشکارساز تحت جهت‌گیری (بایاس) ثابت، افزایش یافته و با قطع تابش به حالت اولیه باز می‌گردد. این افزایش به میزان ۴/۸٪ بدست آمد که در مقایسه با کارهای مشابه (۲/۴۳) بهبود چشمگیری را نشان می‌دهد.

وجود مورفولوژی متخلخل در پلی آنیلین و نیز افزودن نانوسیم‌های رسانای نقره، منجر به افزایش سطح مؤثر و بهبود هدایت الکتریکی شده و نهایتاً کاهش در زمان پاسخ و بازیابی آشکارساز را به دنبال خواهد داشت.

۵- فهرست منابع و مآخذ

- [1] Karim, A., & Andersson, J. Y. (2013). Infrared detectors: Advances, challenges and new technologies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 51(1), 012001.
- [2] Gehrz, R. D., Becklin, E. E., De Pater, I., Lester, D. F., Roellig, T. L., & Woodward, C. E. (2009). A new window on the cosmos: The stratospheric observatory for infrared astronomy (SOFIA). *Advances in Space Research*, 44(4), 413-432.
- [3] Rogalski, A. (2002). Infrared detectors: an overview. *Infrared physics & technology*, 43(3), 187-210.
- [4] Aleks, M., Jagtap, C., Kadam, V., Kolev, G., Denishev, K., & Pathan, H. (2021). An overview of microelectronic infrared pyroelectric detector. *Engineered Science*, 16, 82-89.
- [5] Verma, V. B., Korzh, B., Walter, A. B., Lita, A. E., Briggs, R. M., Colangelo, M., & Shaw, M. D. (2021). Single-photon detection in the mid-infrared up to 10 μm wavelength using tungsten silicide superconducting nanowire detectors. *APL Photonics*, 6(5), 056101.
- [6] Rogalski, A. (2011). Recent progress in infrared detector technologies. *Infrared Physics & Technology*, 54(3), 136-154.
- [7] Bang, D., Chang, Y. W., Park, J., Lee, J., Yoo, K. H., Huh, Y. M., & Haam, S. (2012). Fabrication of a near-infrared sensor using a polyaniline conducting polymer thin film. *Thin Solid Films*, 520(22), 6818-6821.
- [8] Maimon, S., & Wicks, G. W. (2006). nBn detector, an infrared detector with reduced dark current and higher operating temperature. *Applied Physics Letters*, 89(15), 151109.
- [9] Bhan, R. K., & Dhar, V. (2019). Recent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization. *Opto-Electronics Review*, 27(2), 174-193.
- [10] Chen, S., You, L., Zhang, W., Yang, X., Li, H., Zhang, L., & Xie, X. (2015). Dark counts of superconducting nanowire single-photon detector under illumination. *Optics express*, 23(8), 10786-10793.

- [11] Wan, M. (2008). A template-free method towards conducting polymer nanostructures. *Advanced Materials*, 20(15), 2926-2932.
- [12] You, L., Wu, J., Xu, Y., Hou, X., Fang, W., Li, H., & Xie, X. (2017). Microfiber-coupled superconducting nanowire single-photon detector for near-infrared wavelengths. *Optics Express*, 25(25), 31221-31229.
- [13] Adhikary, S., & Chakrabarti, S. (2018). *Quaternary capped in (Ga)As/GaAs quantum dot infrared photodetectors* (Vol. 23). Singapore: Springer.
- [14] Meng, Y., Zou, K., Hu, N., Xu, L., Lan, X., Steinhauer, S., & Hu, X. (2022). Fractal superconducting nanowires detect infrared single photons with 84% system detection efficiency, 1.02 polarization sensitivity, and 20.8 ps timing resolution. *Acs Photonics*, 9(5), 1547-1553.
- [15] Rogalski, A. (2003). Infrared detectors: status and trends. *Progress in quantum electronics*, 27(2), 59-210.
- [16] Lijing, Y., Libin, T., Wenyun, Y., & Qun, H. (2021). Research progress of uncooled infrared detectors. *Infrared and Laser Engineering*, 50(1), 20211013-1.
- [17] Canedy, C. L., Bewley, W. W., Merritt, C. D., Kim, C. S., Kim, M., Warren, M. V., & Meyer, J. R. (2019). Resonant-cavity infrared detector with five-quantum-well absorber and 34% external quantum efficiency at 4 μm . *Optics express*, 27(3), 3771-3781.
- [18] Yadav, P. K., Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., & Sreedhar, A. (2021). Recent advances in development of nanostructured photodetectors from ultraviolet to infrared region: A review. *Chemosphere*, 279, 130473.
- [19] Steenbergen, E. H., Morath, C. P., Maestas, D., Jenkins, G. D., & Logan, J. V. (2019). Comparing II-VI and III-V infrared detectors for space applications. *Infrared Technology and Applications XLV*, 11002, 299-307.
- [20] Boone, N., Zhu, C., Smith, C., Todd, I., & Willmott, J. R. (2018). Thermal near infrared monitoring system for electron beam melting with emissivity tracking. *Additive Manufacturing*, 22, 601-605.
- [21] Jackowska, K., Bieguński, A. T., & Tagowska, M. (2008). Hard template synthesis of conducting polymers: a route to achieve nanostructures. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 12, 437-443.
- [22] Nambiar, S., & Yeow, J. T. (2011). Conductive polymer-based sensors for biomedical applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 26(5), 1825-1832.
- [23] Hui, Y., & Rinaldi, M. (2013). High performance NEMS resonant infrared detector based on an aluminum nitride nano-plate resonator.
- [24] Aleksandrova, M. (2022). Characterization of infrared detector with lead-free perovskite and core-shell quantum dots on silicon substrate. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(31), 23900-23909.

- [25] Mazzara, F., Patella, B., D'Agostino, C., Bruno, M. G., Carbone, S., Lopresti, F., & Inguanta, R. (2021). PANI-based wearable electrochemical sensor for pH sweat monitoring. *Chemosensors*, 9(7), 169.
- [26] Kinch, M. A. (2000). Fundamental physics of infrared detector materials. *Journal of Electronic Materials*, 29, 809-817.
- [27] Astaf'ev, O., Kavano, I., Komiyama, S., Gavrilenko, V. I., & Erofeeva, I. V. (2002). Response time of the quantum well Hall effect detector in far IR radiation region. *Izvestiya Akademii Nauk. Rossijskaya Akademiya Nauk. Seriya Fizicheskaya*, 66(2), 243-246.
- [28] Larciprete, M. C., Albertoni, A., Belardini, A., Leahu, G., Li Voti, R., Mura, F., & Nasibulin, A. G. (2012). Infrared properties of randomly oriented silver nanowires. *Journal of Applied Physics*, 112(8), 083503.
- [29] Jones, A. C., Olmon, R. L., Skrabalak, S. E., Wiley, B. J., Xia, Y. N., & Raschke, M. B. (2009). Mid-IR plasmonics: near-field imaging of coherent plasmon modes of silver nanowires. *Nano letters*, 9(7), 2553-2558.
- [30] Ansari-asl, Z., Neisi, Z., Sedaghat, T., & Nobakht, V. (2019). Synthesis, characterization, and electrochemical properties of polyaniline/Co (II) metal-organic framework composites. *Applied Chemistry*, 14(51), 251-266. (in persian)
- [31] Xiang, H., Xin, C., Hu, Z., Aigouy, L., Chen, Z., & Yuan, X. (2021). Long-term stable near-infrared-short-wave-infrared photodetector driven by the photothermal effect of polypyrrole nanostructures. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(38), 45957-45965.
- [32] Nosrati, R., (2019), Design and fabrication of infrared detector based on multiwall carbon nanotubes, Master of Science (M.Sc.) Thesis, The Tbriz University)
- [33] Guan, H., Li, W., Yang, R., Su, Y., & Li, H. (2022). Microstructured PVDF film with improved performance as flexible infrared sensor. *Sensors*, 22(7), 2730.
- [34] Amiri, M., & Alizadeh, N. (2020). Highly photosensitive near infrared photodetector based on polypyrrole nanoparticle incorporated with CdS quantum dots. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 111, 104964.

