

Research Paper

Consideration of Cadmium-doping Effect on Crystal Lattice Properties of Tin Oxide (IV) Nanofibers¹

Abbas Mobasher², Saeed Parhondeh^{*3} and Gholamabbas Shams⁴

Received: 2021.07.25

Revised: 2022.01.01

Accepted: 2022.02.19

Abstract

This research focuses on the effect of cadmium doping on the crystal lattice of the tin oxide (IV) nanofibrous layer. This nanofibrous layer was prepared using the electrospinning method which had no beads and had a circular cross-section. The effects of cadmium doping of these nanofibers on the crystal lattice were studied using X-ray diffraction patterns. The values of tin oxide (IV) lattice parameters and in turn, the unit cells volume and its density increased very little. This change can be related to the entry of cadmium into the crystal structure of tin oxide (IV). However, doping with cadmium had no effect on unit cell angles and the same tetragonal structure was preserved. It should be noted that the peaks shifted slightly toward larger angles which were attributed to the formation of voids at the location of anions (oxygen).

Keywords: *Doping, Cadmium, Nanofibers, Tin oxide, Crystal Lattice.*

¹DOI: 10.22051/ijap.2021.36782.1222

² Ph. D. Graduated, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: Mobasher_i_112@yahoo.com

³ Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (Corresponding Author). Email: saeed.parhondeh@gmail.com

⁴Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: gholamabbas-shams@yahoo.com



بررسی تأثیر آلابیدگی کادمیم بر روی ویژگی های شبکه بلوری

نانوالیاف اکسید قلع (IV)^۱

عباس مبشری^۱، سعید پرهوده^{۲*} و غلامعباس شمس^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک شیمی، دانشگاه الزهرا

سال دوازدهم، پیاپی ۲۸، بهار ۱۴۰۱

صص ۶۹-۸۱

چکیده:

این پژوهش بر تأثیر آلابیدگی کادمیم در شبکه بلوری لایه نانوالیافی اکسید قلع (IV) تمرکز کرده است. لایه نانوالیافی با استفاده از روش الکترورسی تهیه گردید که بدون مهره و دارای سطح مقطع دایره‌ای بودند. آثار آلابیدن با کادمیم این نانوالیاف بر روی شبکه بلوری با استفاده از الگوهای پراش پرتو ایکس مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر پارامترهای شبکه اکسید قلع (IV) و به نوبه خود حجم سلول واحد و چگالی آن، بسیار کم افزایش پیدا کرده است. این تغییر را می‌توان به ورود کادمیم به ساختار بلوری اکسید قلع (IV) ارتباط داد. البته آلابیدن با کادمیم تأثیری بر روی زوایای سلول واحد نگذاشته است و همان ساختار تتراگونال حفظ گردیده است. باید گفته شود که قله‌ها کمی به سمت زوایای بزرگ‌تر جا به جا شد که به تشکیل تهی‌جا در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) نسبت داده شد.

واژگان کلیدی: آلابیدگی، کادمیم، نانوالیاف، اکسید قلع، شبکه بلوری.

^۱ DOI: 10.22051/ijap.2021.36782.1222

دانش‌آموخته دکترا، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. Email: Mobasheri_112@yahoo.com

^۲ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (نویسنده مسئول) Email: saeed.parhoodeh@gmail.com

^۴ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. Email: gholamabbas-shams@yahoo.com



۱. مقدمه

یکی از مهم ترین اکسیدهای فلزی، اکسید قلع (IV) (SnO_2) است که با توجه به پایداری مناسب، سمی نبودن، هزینه پایین تولید و ارزان بودن مواد اولیه آن یکی از مواد هوشمند به حساب می آید. از این رو کاربردهای تجاری قابل توجهی دارد [۵-۱]. اکسید قلع (IV) به صورت لایه ای به عنوان ترکیب مناسبی برای استفاده در سلول خورشیدی، حسگرهای گازی، دیودهای انتشار نور و باتری لیتیومی به کار گرفته می شود. به علاوه، نانوساختار اکسید قلع (IV) به دلیل ویژگی های فیزیکی-شیمیایی جذاب، ماده ای نویدبخش برای حسگرهای شیمیایی است [۶]. از این ماده به طور گسترده در کاتالیزورهای نوری، آشکارسازهای فرسرخ از راه دور، ادوات الکترونیک نوری، پشتیبان های کاتالیزوری، سطوح ضدانعکاس و الکترودهای شفاف استفاده می شود. این اکسید فلزی دارای ساختار بلوری روتیل است. اکسید قلع (IV) خالص به دلیل شکاف انرژی بزرگ، اثر کاتالیزوری نوری بسیار کمی از خود نشان می دهد. با این وجود، نسبت به دی اکسید تیتانیم و اکسید روی، پذیرنده بهتری برای الکترون ها است [۲]. اکسید قلع (IV) یک نیم رسانای نوع n با شکاف انرژی ۳/۶ الکترون ولت بوده [۱]، انرژی پیوند برانگیختگی بزرگ، رسانایی الکتریکی بالا، شفافیت نوری بالا و شعاع برانگیختگی بوهر کوچکی دارد [۶].

اکسید قلع (IV) لایه ای شکل، در سال های اخیر به ساختارهای کاربردی مهمی تبدیل شده است. لایه اکسید قلع (IV) نیم رسانا، به صورت خالص حساسیت و به ویژه انتخاب گری مناسبی ندارد و برای بهبود مشخصات آن روش های گوناگونی مانند ترکیب این اکسید با اکسیدهای دیگر، آلاینده با فلزات کاتالیزور، افزایش سطح به حجم و استفاده از نانوساختارهای ویژه به کار می رود [۷]. همچنین کاربردهای این اکسید به اندازه، ریخت شناسی، فاز و بلورینگی ذرات بستگی دارد. از این رو، سنتز لایه های نازک اکسید قلع (IV) با اندازه کنترل شده و مساحت بالا به مبحث مهمی در علم و فناوری نانو تبدیل شده است [۶].

یکی از روش ها برای افزایش مساحت، تهیه لایه های نانوالیافی اکسید قلع (IV) است. روش های گوناگونی برای تهیه نانوالیاف معدنی وجود دارد که در این میان، الکتروریسی بیشترین توجه محققین را در این سال ها به خود جلب نموده است [۹،۸]. الکتروریسی اجازه می دهد تا نانوالیاف معدنی بشدت متخلخل و سه بعدی به صورت ساده تهیه شود. این فرآیند از یک منبع الکتریسته با ولتاژ بالا برای تزریق بار الکتریسته به محلول پلیمری اولیه استفاده می کند. این کار سبب می شود این محلول به سمت جمع کننده شتاب گیرد. در این فرآیند، هنگامی که قدرت میدان الکتریکی از



تنش سطحی محلول غلبه کرد، یک جت لیف از سر سوزن سرنگ پرتاپ می‌شود. جت لیف در اتمسفر به سمت جمع‌کننده می‌رود که در طول مسیر، حلال تبخیر شده و سبب ترسیب نانوالیاف معدنی جامد بر روی جمع‌کننده فلزی می‌شود. الیاف تهیه شده با استفاده از این روش، بیشتر دارای قطر در مرتبه چند میکرومتر یا حتی چند نانومتر است.

به صورت عمده، برای بهبود عملکرد حسگری اکسید قلع (IV)، آلیاژ این اکسید با فلزات بهترین روش محسوب می‌شود. فلزات مختلفی مانند Ni, Ce, Pt, Pd, Mn, Co و Zn برای اینکار مورد استفاده قرار گرفته است که نسبت به مولکول‌های خاصی حساسیت عالی دارند. به عنوان نمونه، کو همکاران نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلیاژ شده با ۵-۱ درصد مولی کبالت را با استفاده از روش الکتروروسی تهیه نمودند [۱۰-۲۲]. نتایج نشان داد که با آلیاژ ۳ درصد مولی کبالت، حسگرهای نانوالیافی بالاترین پاسخ را در برابر ۱۰۰ ppm اتانول نشان می‌دهند. همچنین لین و همکاران نانوالیاف توخالی اکسید قلع (IV) را با روش الکتروروسی تهیه و با استفاده از روش تر آنها را با نانوذرات پالادیم تزئین نمودند [۱۱]. این نانوالیاف به عنوان ماده حسگر برای فرم‌آلدئید مورد استفاده قرار گرفت که نشان داد پاسخ حسگر به ۱۰۰ ppm فرم‌آلدئید از ۵/۴ به ۱۸/۸ افزایش یافت. ژنگ و همکاران نیز خصوصیات حسگری نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلیاژ شده با اکسید نیکل که با روش الکتروروسی تهیه شده و برای حسگری فرم‌آلدئید مورد استفاده قرار گرفته، مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. حسگرها ساخته شده از این نانوالیاف آلیاژ شده ویژگی‌های حسگری خوبی برای فرم‌آلدئید در دمای عملیاتی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان دادند و حد آشکارسازی حداقل کمتر از ۰/۰۸ ppm بوده است.

در این پژوهش سعی می‌شود که لایه‌های نانوالیافی اکسید قلع (IV) که با فلز کادمیم آلیاژ شده است تهیه شود. فلز کادمیم به عنوان یک آلاینده برای اکسید قلع (IV) به صورت بسیار جزئی کار انجام شده است و پارامترهای شبکه مورد بررسی قرار نگرفتند [۲۰-۲۲]. تاثیر افزودن کادمیم بر ساختار بلوری این لایه نانوالیافی با استفاده از الگوهای پراش پرتو ایکس در این مطالعه مورد آزمایش قرار خواهد گرفت.

۲. بخش تجربی

۲-۱ تهیه محلول‌های موردنظر برای الکتروروسی

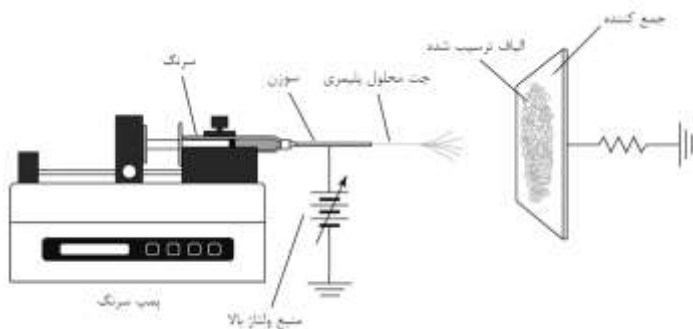
ابتدا محلول ذخیره‌ای از پلی (وینیل‌الکل) با جرم مولکولی ۱،۵۰۰،۰۰۰ گرم بر مول تهیه گردید. برای تهیه آن، ۷/۵ گرم از پلی (وینیل‌الکل) به حلال ترکیبی ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲۵ میلی‌لیتر

اتانول به صورت کم در مدت ۳-۲ ساعت اضافه و در دمای انحلال ۵۰ درجه سانتی گراد با استفاده از مگنت ۱۲ ساعت به شدت هم زده شد. همچنین برای انحلال بهتر پلی (وینیل الکل)، محلول ۱۲ ساعت دیگر کنار گذاشته شد. بعد از انحلال، محلول کاملاً شفاف و یکنواختی بدست آمد. برای تهیه محلول مورد نیاز برای تهیه نانوالیاف اکسید قلع (IV)، ۲/۲۵ گرم قلع کلرید ۵ آبه در مدت یک ساعت به صورت کم به ۱۰ میلی لیتر از محلول ذخیره ای پلی (وینیل الکل) اضافه گردید. این محلول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از مگنت هم زده شد تا محلول یکنواخت سفید رنگی بدست آید. برای تهیه نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلاینده شده با کادمیم، به محلول استفاده شده برای تهیه نانوالیاف اکسید قلع (IV)، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ درصد وزنی کادمیم- استات اضافه و در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از مگنت هم زده شد. این محلول نیز شیری رنگ بوده و بوی اسیدی (سرکه) داشت.

۲-۲ الکتروریسی محلول ها

پس از آماده سازی محلول های مورد نیاز برای تهیه نانوالیاف و بعد از سرد شدن آن ها تا دمای اتاق، محلول در داخل سرنگ پزشکی پلاستیکی (۱۰ میلی لیتری) با سوزن استیل که سر آن با استفاده از سمباده صاف شده (با قطر داخلی ۱ میلی متر) ریخته شد. در نهایت این سرنگ بر روی پمپ سرنگ دستگاه ریسندگی نصب شد تا پمپ بتواند با سرعت تغذیه ۰/۴ میلی لیتر بر ساعت محلول های مورد نظر را از سر سوزن سرنگ خارج کند. جمع کننده استوانه ای با سرعت مشخص برای ترسیب نانوالیاف معدنی در فاصله الکتروریسی قرار داده شد. فاصله سرسوزن تا جمع کننده برای تمام آزمایشات ۱۰ سانتی متر بوده است. برای رسیدن محلول ها و تشکیل نانولیف، سر سوزن به منبع اختلاف پتانسیل وصل شد. این منبع تغذیه برای رسیدن، اختلاف پتانسیل ۱۰ کیلو ولت به محلول مورد نظر می دهد. کل دستگاه الکتروریسی در داخل هود قرار داده شده تا بتوان دمای محیط ریسندگی را نیز تغییر داده و پایش کرد. در این پژوهش دمای محیط الکتروریسی ۲۵ درجه سانتی- گراد بوده است. در نهایت، نانوالیاف معدنی اولیه ترسیب شده در داخل کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت تا مواد آلی و پلیمری نانوالیاف سوخته و نانوالیاف معدنی اکسید قلع (IV) بدست آید. پس از تشکیل نانوالیاف مورد نظر، این نانوالیاف برای بررسی اندازه قطر آن ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی آماده سازی شد. تصویر دستگاه الکتروریسی مورد استفاده در این پژوهش و همچنین طرح وار آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



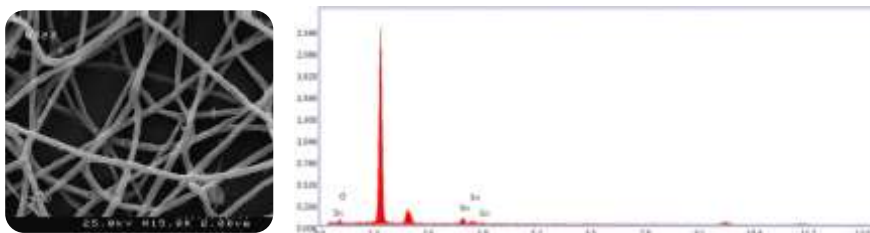


شکل ۱ نمایش طرح‌وار دستگاه ریسندگی الکتریکی استفاده شده.

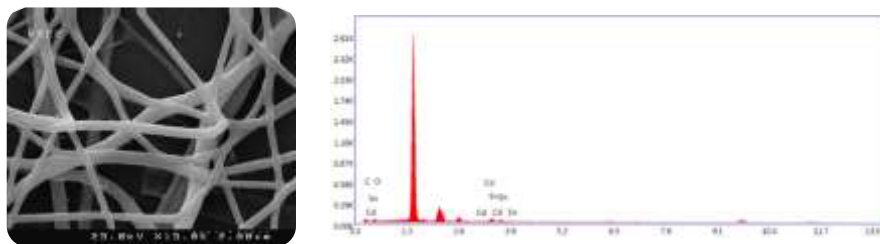
۳. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوالیاف با ماده معدنی خالص اکسید قلع (IV) و همچنین آلاینده شده با مقادیر مختلف فلز کادمیم با روش الکتروریسی تهیه گردید. برای ارزیابی ریخت‌شناسی نانوالیاف تهیه شده با الکتروریسی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). نانوالیاف به صورت بدون مهره تهیه شدند که سطح رویی تمام آنها هموار و سطح مقطع آن‌ها دایره‌ای شکل است. همچنین باید خاطر نشان کرد که نانوالیاف با آرایشی تصادفی بر روی جمع‌کننده نشست‌اند و این شبکه‌های نانوالیافی غیربافته شده نامیده می‌شوند. اندازه نانوالیاف قلع-اکسید (IV) خالص ۱۶۵/۸۱ نانومتر بوده که با آلاینده کادمیم این اندازه به ۱۷۸/۲۷ و ۱۲۹/۶۲ نانومتر تغییر کرده است. برای تعیین میزان کادمیم به عنوان عنصر آلاینده شده در نانوالیاف اکسید قلع (IV)، آنالیز پرتو ایکس منتشرکننده انرژی انجام گردید (شکل ۲). نانوالیاف قلع اکسید (IV) خالص از ۷۶/۳ درصد قلع و ۲۳/۷ درصد اکسیژن تشکیل شده بود. بر اساس طیف‌های بدست آمده می‌توان گفت که در نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلاینده شده با ۰/۹ درصد وزنی کادمیم، ۰/۸ درصد و در نانوالیاف آلاینده شده با ۱/۲ درصد کادمیم نیز ۱/۱ درصد از این عنصر وجود دارد. درصد قلع

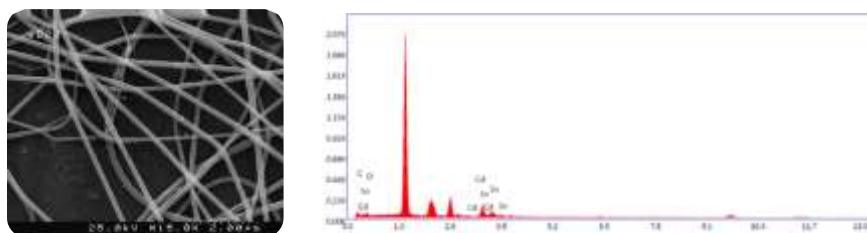
و اکسیژن در این دو نمونه نانوالیاف به ترتیب ۷۹/۹ درصد قلع و ۱۹/۳ درصد اکسیژن برای نانوالیاف آلاییده شده با ۰/۹ درصد وزنی کادمیم و ۷۳/۷ درصد قلع و ۲۵/۲ درصد اکسیژن برای نانوالیاف آلاییده شده با ۱/۲ درصد کادمیم.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوالیاف الف: اکسید قلع (IV)، ب: اکسید قلع (IV) آلاییده شده با ۰/۹ درصد وزنی کادمیم و پ: اکسید قلع (IV) آلاییده شده با ۱/۲ درصد وزنی کادمیم.

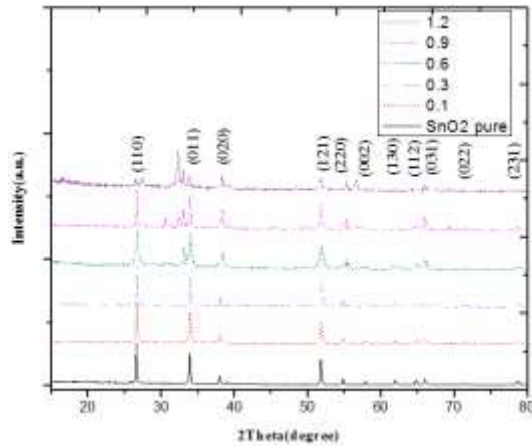


برای بررسی تأثیر آلاینده‌ی کادمیم بر روی ساختار بلوری، الگوی پراش پرتو ایکس نانوالیاف اکسید قلع (IV) با مقادیرهای مختلف کادمیم (۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ درصد وزنی) مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل ۳). هنگامی که نانوالیاف قلع اکسید با مقادیرهای کم کادمیم (۰/۱ و ۰/۳ درصد وزنی) آلاینده گردید، ساختار بلوری آن همانند ساختار قلع اکسید خالص (تراگونال با گروه فضایی P42/mnm) بوده و هیچ تغییری در قله‌های پراش ایجاد نشده است. ولی با افزودن کادمیم، قله‌ها کمی به سمت راست و زوایای بزرگ‌تر جابه‌جا شد. شعاع بلوری اتم‌های کادمیم Cd^{2+} با عدد همسایگی ۶ در ساختار روتیل برابر با ۱/۰۹ آنگستروم و شعاع بلوری اتم‌های قلع Sn^{4+} با عدد همسایگی ۶ در ساختار روتیل برابر با ۰/۸۳ آنگستروم است. در نتیجه با جانشینی اتم‌های کادمیم به جای اتم‌های قلع، بایستی فاصله صفحات افزایش و همچنین، قله‌های پراش پرتو ایکس کمی به سمت چپ جابه‌جا شوند که در تضاد با نتایج پراش پرتو ایکس است. بنابراین اتم‌های کادمیم در ساختار بین نشانی شده است. برای تفهیم این رفتار، تحلیل الگوهای پراش از روش پالایش ریتولد و با استفاده از نرم‌افزار ماد^۱ صورت گرفت. در این نرم‌افزار، ابتدا پارامترهای عامل مقیاس، ضرایب شبکه، موقعیت اتم‌ها و ضرایب مربوط به جابجایی گرمایی اتم‌ها پالایش و سپس پارامترهای مربوط به ریزساختارها بدست آورده شد. همچنین تحلیل داده‌ها با این فرض انجام شد که پهن‌شدگی خطوط پراش، همسان‌گرد باشند. جا به جایی قله‌ها به سمت راست و زوایای بزرگ‌تر و بالطبع، انقباض پارامتر شبکه را می‌توان به تشکیل نهی‌جا در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) که در پالایش ریتولد بدست آمد، نسبت داد. دلیل تشکیل نهی‌جا در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) را می‌توان به حالت اکسایش کمتر کادمیم (+۲) نسبت به قلع (+۴) نسبت داد. چون شعاع بلوری کادمیم از قلع بیشتر است با افزایش درصد وزنی کادمیم ساختارهای جدیدی بایستی در سامانه به وجود آیند تا اجازه تشکیل نهی‌جا بیشتر، در ساختار ندهند. با افزایش درصد وزنی کادمیم این ساختارها مشاهده شدند.

با نرم افزار X'pert، ساختار بلوری نمونه‌های نانوالیافی شناسایی شد. با افزایش مقدار کادمیم (۰/۶ درصد وزنی)، در الگوی پراش قله‌های مشخصه اکسید کادمیم (CdO) با ساختار مکعبی و گروه فضایی Fm-3m و دی کادمیم قلع ($Cd_2(SnO_4)$) با ساختار بلوری ارتورومبیک در گروه فضایی Pbam و کادمیم قلع اکسید ($CdSnO_3$) با ساختار بلوری رومبوهدرال با گروه فضایی R-3 ظاهر گردید که در نانوالیاف اکسید قلع (IV) تشکیل شده است. در غلظت ۰/۹ درصد وزنی کادمیم در نانوالیاف اکسید قلع (IV)، علاوه بر اکسید قلع (IV) (SnO_2)، اکسید کادمیم (CdO) و کادمیم-

¹ MAUD

قلع اکسید ($CdSnO_3$)، نوع دیگری از کادمیم قلع اکسید ($Cd_{1.333}O_4Sn_{1.333}$) با ساختار مکعبی و گروه فضایی Fd-3m که به اکسید قلع (IV) معروف است، ارتباط داده شد. در آخرین غلظت مورد بررسی در این پژوهش (۱/۲ درصد وزنی)، سه ساختار اکسید قلع (IV) (SnO_2)، اکسید کادمیم (CdO) و کادمیم قلع اکسید ($Cd_{1.333}O_4Sn_{1.333}$) وجود دارد. میزان هر یک از بلورها در نانوالیاف تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.



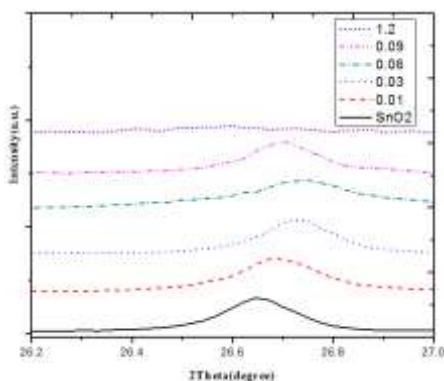
شکل ۳ الگوی پراش پرتو ایکس نانوالیاف اکسید قلع (IV) با مقادیر مختلف کادمیم الف: خالص، ب: ۰/۱، پ: ۰/۳، ت: ۰/۶، ث: ۰/۹ و ج: ۱/۲ درصد وزنی.

جدول ۱ فازهای تشکیل شده با افزایش درصد وزنی کادمیم.

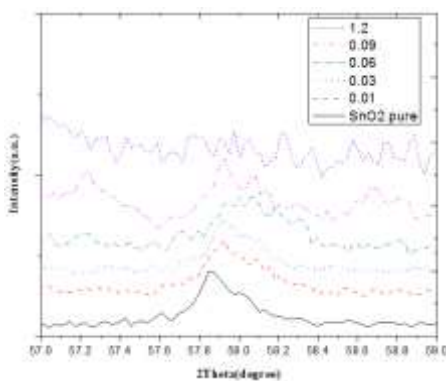
مقدار کادمیم (درصد وزنی)						درصد فازهای نمونه
۱/۲	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱	۰	
۳۶	۶۶	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	SnO_2
۳۲	۱۹	۱۰	-	-	-	CdO
-	۰	۵	-	-	-	$Cd_2(SnO_4)$
-	۵	۵	-	-	-	$CdSnO_3$
۳۳	۱۰	-	-	-	-	$(Cd_{1.333}O_4Sn_{1.333})$



برای محاسبه ثابت‌های شبکه و دیگر مشخصه‌های بلوری، ابتدا با استفاده از خروجی $X'pert$ ، زاویه‌های قله‌های حاصل از صفحات (۰۱۱) و (۰۰۲) محاسبه شده و ثابت‌های شبکه اکسید قلع (IV) بدست آمد. قله‌های بدست آمده از پراش پرتو ایکس و صفحات (۰۱۱) و (۰۰۲) در شکل ۴ و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. برای محاسبه ثابت شبکه سیستم تراگونال از روابط جدول ۳ استفاده شده است. از قله‌های بدست آمده از صفحات (۱۱۰) می‌توان پارامتر a شبکه و از صفحات (۰۰۲) می‌توان پارامتر c شبکه را حساب کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۴ تغییرات قله‌های بدست آمده از صفحات الف: (۱۱۰) و ب: (۰۰۲).

جدول ۲ محاسبه ثابت شبکه از قله‌های بدست آمده از صفحه‌های (۱۱۰) و (۰۰۲).

۱/۲	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱	۰	مقدار کادمیم (درصد وزنی)
۲۶/۶۰۴۵	۲۶/۶۷۹۱	۲۶/۷۴۶	۲۶/۷۳۴۳	۲۶/۶۷۰۹	۲۶/۶۴۵۶	زاویه θ_2 حاصل از صفحات (۱۱۰)
۳/۳۴۸۲	۳/۳۳۹۰	۳/۳۳۰۸	۳/۳۳۲۵	۳/۳۴۰۰	۳/۳۴۳۱	فاصله صفحات (۱۱۰) (Å)
۴/۷۳۵	۴/۷۲۲	۴/۷۱۰	۴/۷۱۲	۴/۷۲۳	۴/۷۲۸	a (Å)
۵۷/۹۱۱	۵۷/۹۲۳	۵۷/۹۹۷	۵۷/۹۵۱	۵۷/۹۱۶	۵۷/۸۷۴	زاویه θ_2 حاصل از صفحات (۰۰۲)
۱/۵۹۱	۱/۵۹۱	۱/۵۸۹	۱/۵۹۰	۱/۵۹۱	۱/۵۹۲	فاصله صفحات (۰۰۲) (Å)
۳/۱۸۲	۳/۱۸۱	۳/۱۷۸	۳/۱۸۰	۳/۱۸۲	۳/۱۸۴	c (Å)
۳۲	۱۱۷	۳۱	۱۶۰	۷۸	۱۵۴	اندازه بلورکها (nm)
۰/۶۱۷	۰/۲۴۳	۰/۶۲۵	۰/۱۹۹	۰/۳۱۶	۰/۲۰۵	درصد کرنش ($\Delta l/l$)

جدول ۳ معادلات استفاده شده برای محاسبه ثابت‌های شبکه.

صفحات (۰۰۲)	صفحات (۱۱۰)	ثابت شبکه سیستم تراگونال
$\frac{1}{d_{(002)}^2} = \frac{4}{c^2}$	$\frac{1}{d_{(110)}^2} = \frac{2}{a^2}$	$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$
$c = 2d_{(002)}$	$a = \sqrt{2}d_{(110)}$	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$

اندازه بلورک و درصد کرنش با استفاده از پهنای نصف قله بدست آمده از صفحات (۱۱۰) محاسبه شد. مقدار میانگین مشخصات بلوری با استفاده از نرم‌افزار ماد با پالایش بر روی تمام قله‌ها محاسبه و در جدول ۴ قرار داده شد.



جدول ۴ مقادیر پارامترهای شبکه و ویژگی‌های بلوری نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلاییده شده با مقادیرهای مختلف کادمیم با استفاده از نرم‌افزار ماد.

مقدار کادمیم (درصد وزنی)	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
a (Å)	۴/۷۳۰	۴/۷۲۴	۴/۷۱۹	۴/۷۲۰	۴/۷۲۷	۴/۷۳۷
c (Å)	۳/۱۸۳	۳/۱۸۰	۳/۱۷۶	۳/۱۷۶	۳/۱۸۰	۳/۱۸۵
اندازه بلورک‌ها (nm)	۲۱۶	۶۸	۱۱۱	۳۰	۸۸	۱۲۷
درصد کرنش ($\Delta l/l$)	۰/۰۹۹	۰/۰۸۱	۰/۱۰۵	۰/۱۹۴	۰/۰۷۸	۰/۳۳۰

۴. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، تهیه نانوالیاف اکسید قلع (IV) آلاییده شده با فلز کادمیم بود. همچنین، تأثیر آلاییدگی با کادمیم (با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ درصد وزنی) بر روی پارامترهای شبکه بلوری اکسید قلع (IV) مورد بررسی کامل قرار گرفت. الکتروریسی به عنوان آسان‌ترین روش برای تهیه نانوالیاف برای اینکار استفاده گردید که پارامترهای آزمایشگاهی آن عبارتند از: سرعت تغذیه ۰/۴ میلی‌لیتر بر ساعت، فاصله سرسوزن تا جمع‌کننده ۱۰ سانتی‌متر و اختلاف پتانسیل ۱۰ کیلوولت بود. میکروسکوپ الکترونی روبشی، بدون مهره بودن نانوالیاف و آنالیز پرتو ایکس منتشرکننده انرژی، وجود کادمیم در نانوالیاف اکسید قلع (IV) را نشان دادند. با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس، هنگامی که نانوالیاف اکسید قلع (IV) با مقادیرهای کم کادمیم (۰/۱ و ۰/۳ درصد وزنی) آلاییده گردید، ساختار بلوری آن همانند ساختار اکسید قلع (IV) خالص، تتراگونال بود. ولی با اضافه کردن مقدار کادمیم، قله‌ها کمی به سمت زوایای بزرگ‌تر جابه‌جا شد که به دلیل تشکیل نهی‌جا در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) و حالت اکسایش کمتر کادمیم (+۲) نسبت به قلع (+۴) بوده است.

۵. تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان‌نامه دوره دکتری فیزیک مصوب و دفاع‌شده در دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، مراتب تشکر صمیمانه

خود را از حمایت علمی و مالی اساتید پژوهشی گروه فیزیک دانشکده و هیئت داوران پایان نامه که ما را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

منابع

- [1] Rao C.N.R., Sood A.K., *Graphene: synthesis, properties, and phenomena*, John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Khan M., Tahir M.N., Adil S.F., Khan H.U., Siddiqui M.R.H., Al-warthan A.A., Tremel W., *Graphene based metal and metal oxide nanocomposites: synthesis, properties and their applications*, Journal of Materials Chemistry A, 3[37] 18753-18808, 2015.
- [3] Torres L.E.F., Roche S., Charlier J.C., *Introduction to graphene-based nanomaterials: from electronic structure to quantum transport*, Cambridge University Press, 2014.
- [4] Tan Y.B., Lee J.M., *Graphene for supercapacitor applications*, Journal of Materials Chemistry A, 1,47, 14814-14843, 2013.
- [5] Wu W., Liu Z., Jauregui L.A., Yu Q., Pillai R. R., Cao H., Bao J., Chen Y.P., Pei S.-S., *Wafer-scale synthesis of graphene by chemical vapor deposition and its application in hydrogen sensing*, Sensors and Actuators B: Chemical, 150,1, 296-300, 2010.
- [6] Kim J.H., Jeong E., Lee Y.S., *Preparation and characterization of graphite foams*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 32, 21-33, 2015.
- [7] Choi W., Lee J.W., *Graphene: synthesis and applications*, CRC Press, 2012.
- [8] Akbari A., Yunessnia lehi A., Bojaran M., *Formation of poly (vinylidene fluoride) nanofibers: Part I optimization by using of central composite design*, Journal of Nanostructures, 2, 69-77, 2012.
- [9] Akbari A., Yunessnia lehi A., *Formation of poly (vinylidene fluoride) nanofibers: Part II the elaboration of incompatibility in the electrospinning of its solutions*, Journal of Nanostructures, 2, 251-256, 2012.
- [10] Kou X., Wang C., Ding M., Feng C., Li X., Ma J., Zhang H., Sun Y., Lu G., *Synthesis of Co-doped SnO₂ nanofibers and their enhanced gas-sensing properties*, Sensors and Actuators B: Chemical, 236, 425-432, 2016.
- [11] Lin Y., Wei W., Li Y., Li F., Zhou J., Sun D., Chen Y., Ruan S., *Preparation of Pd nanoparticle-decorated hollow SnO₂ nanofibers and their enhanced formaldehyde sensing properties*, Journal of Alloys and Compounds, 651, 690-698, 2015.
- [12] Zheng Y., Wang J., Yao P., *Formaldehyde sensing properties of electrospun NiO-doped SnO₂ nanofibers*, Sensors and Actuators B: Chemical, 156, 723-730, 2011.
- [13] Song X., Wang Z., Liu Y., Wang C., Li L., *A highly sensitive ethanol sensor based on mesoporous ZnO-SnO₂ nanofibers*, Nanotechnology, 20, 075501, 2009.
- [14] Lavanya N., Sekar C., Fazio E., Neri F., Leonardi S.G., Neri G., *Development of a selective hydrogen leak sensor based on chemically doped SnO₂ for automotive applications*, International Journal of Hydrogen Energy, 42, 10645-10655, 2017.
- [15] Mohanapriya P., Segawa H., Watanabe K., Watanabe K., Samitsu S., Natarajan T.S., Jaya N.V., Ohashi N., *Enhanced ethanol-gas sensing performance of Ce-doped SnO₂ hollow nanofibers prepared by electrospinning*, Sensors and Actuators B, 188, 872-878, 2013.
- [16] Dong K.-Y., Choi J.-K., Hwang I.-S., Lee J.-W., Kang B.H., Ham D.-J., Lee J.-H., Ju B.-K., *Enhanced H₂S sensing characteristics of Pt doped SnO₂ nanofibers sensors with micro heater*, Sensors and Actuators B, 157, 154-161, 2011.
- [17] Lei H., Yi L., *Improved acetone sensing properties of flat sensors based on Co-SnO₂ composite nanofibers*, Chinese Science Bulletin, 56.24, 2644-2648, 2011.
- [18] Liu L., Guo C., Li S., Wang L., Dong Q., Li W., *Improved H₂ sensing properties of Co-doped SnO₂ nanofibers*, Sensors and Actuators B, 150, 806-810, 2010.



- [19] Chen W., Zhou Q., Xu L., Wan F., Peng S., Zeng W., *Improved methane sensing properties of Co-doped SnO₂ electrospun nanofibers*, Journal of Nanomaterials, Article ID 173232, 2013.
- [20] Bagul S., Patil D., Patil P., Patil L., *Nanocrystalline CdSnO₃ based room temperature methanol sensor*, Sensors & Transducers, 211.4, 23-31, 2017.
- [21] Zhao R., Zhang X., Peng S., Hong P., Zou T., Wang Z., Xing X., Yang Y., Wang Y., *Shaddock peels as bio-templates synthesis of Cd-doped SnO₂ nanofibers: A high performance formaldehyde sensing material*, Journal of Alloys and Compounds, 813, 152170, 2020.
- [22] Bhuvanewari K., Divya Bharathi R., Pazhanivel T., *Silk fibroin linked Zn/Cd-doped SnO₂ nanoparticles to purify the organically polluted water*, Materials Research Express, 5.2, 024004, 2018.

© 2020 Alzahra University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

