

تهیه مولیبدن تری اکسید نانو ساختار به روش تخریب گرمایی در حضور استئاریک اسید

مریم محمدی کیش*⁺، مجید ماستری فراهانی، مریم صائمی

دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده: در این پژوهش، مولیبدن تری اکسید (MoO_3) خالص نانو ساختار با استفاده از روش تخریب گرمایی پیش ماده بیس استیل استوناتو دی اکسو مولیبدن (VI)، $MoO_3(acac)_2$ ، در حضور استئاریک اسید تهیه شد. شناسایی نانو ساختار به دست آمده توسط روش های فیزیکوشیمیایی گوناگون مانند طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ ($FT-IR$)، طیف سنجی جذبی $UV-Vis$ ، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) انجام شد. پراش پرتو ایکس خلوص و بلورینگی بالای ترکیب $\alpha-MoO_3$ با فاز بلوری ارتورومبیک را تأیید می کند. تصویرهای میکروسکوپی الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری ریخت شناسی نانومیله کوتاه با ضخامت $50-80nm$ را نشان می دهند. همچنین، شکاف نوار نانو ساختار MoO_3 به دست آمده حدود $3.65 eV$ است که با استفاده از طیف سنجی جذبی $UV-Vis$ تعیین شد. مکانیسم رشد بلور مناسبی نیز بر اساس آنالیز پراش پرتو ایکس پیشنهاد شد.

واژه های کلیدی: مولیبدن تری اکسید؛ نانو ساختار؛ استئاریک اسید؛ تخریب گرمایی؛ شکاف نوار؛ مکانیسم رشد.

KEYWORDS: MoO_3 ; Nanostructure; Stearic acid; Thermal decomposition; Band gap; Growth mechanism.

مقدمه

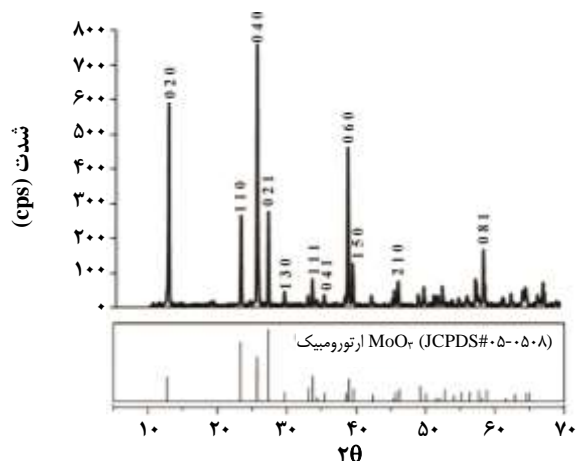
مواد ترموالکترونیک [۸]، حسگرها [۹]، مواد فوتوکرومیک [۱۰]، روان سازها [۱۱] و دستگاه های الکتروکرومیک [۱۲-۱۵] دارند. با توجه به کاربردهای گسترده MoO_3 روش های بسیاری برای سنتز نانو ساختارهای آن با ریخت شناسی های متنوع مورد استفاده قرار گرفته است. نانو ساختارهای MoO_3 متنوعی مانند نانومیله ها، نانوسیم ها، نانو نوارها، نانو فیبرها و نانوصفحه ها توسط روش های گوناگون سنتز شده اند [۱۶-۲۰].

یکی از روش های تهیه نانو ساختارهای اکسیدهای فلزی، روش تخریب گرمایی است. در بین روش های گوناگون، روش های

مواد نانو ساختار معدنی یک بعدی، به علت داشتن ویژگی های وابسته به اندازه و شکل توجه زیادی را به خود جلب کرده اند [۱-۳]. نانو نوارهای دارای مقطع مستطیل شکل ترکیب های جالب و واحدهای سازنده مناسبی برای ساخت نانو ابزار هستند [۴]. مولیبدن تری اکسید اورتورومبیک ($\alpha-MoO_3$) دارای ساختار بلوری لایه ای با شکاف نوری در بازه $2.9-2.4 eV$ [۵] بسیار مورد توجه بوده است. نانو ساختارهای MoO_3 به دلیل دارا بودن ویژگی های منحصر به فرد کاربردهای زیادی به عنوان رساناهای یونی [۶]، کاتد در باتری های لیتیومی قابل شارژ [۷]،

*عهدہ دار مکاتبات

+E-mail: mohammadikish@khu.ac.ir



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس مولیبدن تری اکسید به دست آمده از کلسینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولیبدن (IV) در حضور استتاریک اسید در دمای 450°C به مدت ۲ ساعت.

روش تهیه نانو ساختار مولیبدن تری اکسید، MoO_3

MoO_3 با تخریب گرمایی مخلوط $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ و استتاریک اسید تهیه شد. ابتدا ۱ گرم از پیش ماده $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ در حلال اتانول حل و سپس این محلول به ۱ گرم استتاریک اسید افزوده شد. محلول به دست آمده تحت هم‌زدن مغناطیسی گرما داده شد تا تمامی اتانول تبخیر شود و مخلوط آبی تیره ای به دست آید. مخلوط به دست آمده به مدت ۲ ساعت در دمای 450°C کلسینه شد تا با سوختن تمام ترکیب‌های آلی و لیگاندهای استیل استونات، نانو ساختار MoO_3 به دست آید.

نتیجه‌ها و بحث

فاز بلوری و خلوص فراورده به دست آمده پس از کلسینه کردن مخلوط پیش ماده $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ و استتاریک اسید توسط آنالیز پراش پرتو ایکس بررسی شد. الگوی پراش پرتو ایکس فراورده به دست آمده در شکل ۱ نشان داده شده است. پیک‌های پراش دیده شده در الگوی XRD فراورده به طور کامل با الگوی مربوط به نمونه استاندارد $\alpha\text{-MoO}_3$ با فاز بلوری ارتورومبیک مطابقت دارد (JCPDS No. 05-0508) و اندیس گذاری می‌شود. پیک‌های تیز نشان دهنده ماهیت بلوری فراورده است. پیک‌های پراش شدید مربوط به صفحه‌های (۰ ۲ ۰)، (۰ ۴ ۰) و (۰ ۶ ۰) ساختار بلوری لایه‌ای این ترکیب را نشان می‌دهد [۷].

شکل ۲ تصویرهای SEM نانو ساختار MoO_3 به دست آمده را نشان می‌دهد. در تصویرهای SEM نانومیله‌های کوتاه

شیمیایی با کمک سورفکتانت، به دلیل قابلیت کنترل شکل و اندازه ذره‌های بسیار مورد توجه بوده اند [۲۷-۲۱]. پژوهشگران MoO_3 را در حضور پلی آنیلین، پلی وینیل الکل (PVA)، پلی وینیل پیرولیدون (PVP) و همچنین پلی اتیلن گلیکول (PEG) تهیه کرده‌اند [۳۰-۲۸]. با این حال گزارشی در مورد تهیه نانو ساختارهای MoO_3 در حضور استتاریک اسید در مقاله‌ها وجود ندارد. در این مقاله، سنتز نانو ساختار MoO_3 با ریخت شناسی نانومیله‌های کوتاه و با فاز بلوری ارتورومبیک گزارش می‌شود. برای سنتز این ترکیب از تخریب گرمایی پیش ماده $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ در حضور استتاریک اسید استفاده شده است. کمپلکس $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ پیش ماده ارزان و ساده‌ای است که به سادگی توسط گرما تخریب می‌شود و اکسید فلزی مورد نظر را ایجاد می‌کند. مکانیسم رشد تشکیل فراورده نیز گزارش شده است.

بخش تجربی

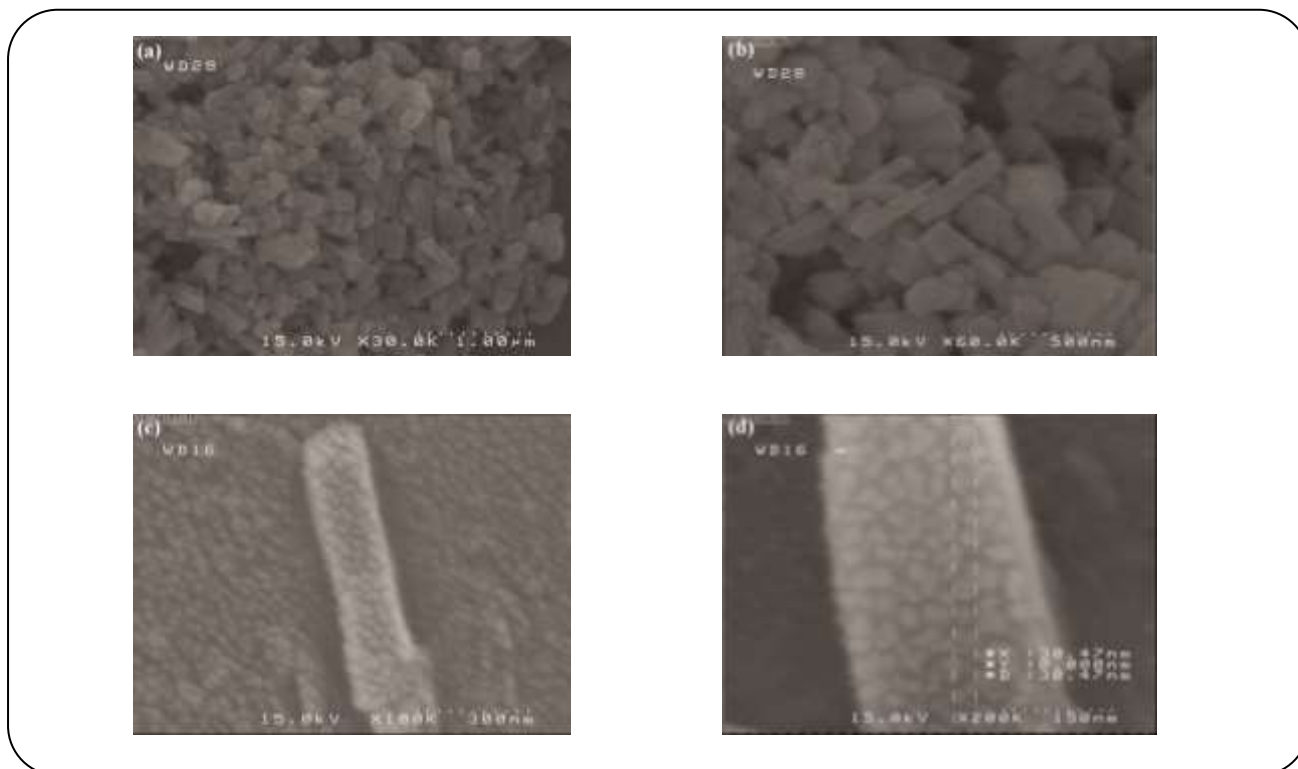
مواد شیمیایی و تجهیزات

همه ی مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت Acros تهیه شده و بدون خالص سازی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین تمامی حلال‌های مورد استفاده از شرکت Merck خریداری شده است. طیف‌های جذبی UV-Vis توسط دستگاه Perkin-Elmer lambda 25 و طیف‌های فروسرخ توسط دستگاه طیف سنج Perkin-Elmer SpectrumRXI با استفاده از قرص نمونه رقیق شده در پتاسیم برمید ثبت شده است. الگوی پراش اشعه X به وسیله دستگاه RigakuD-maxCIII و با استفاده از تابش Cuka با طول موج 0.154 nm نانومتر به دست آمده است. تصویرهای SEM توسط دستگاه KYKY-EM3200 و تصویرهای TEM توسط دستگاه PhilipsCM30 تهیه شده است.

روش تهیه پیش ماده بیس استیل استوناتو دی اکسو مولیبدن

$\text{MoO}_2(\text{acac})_2(\text{VI})$

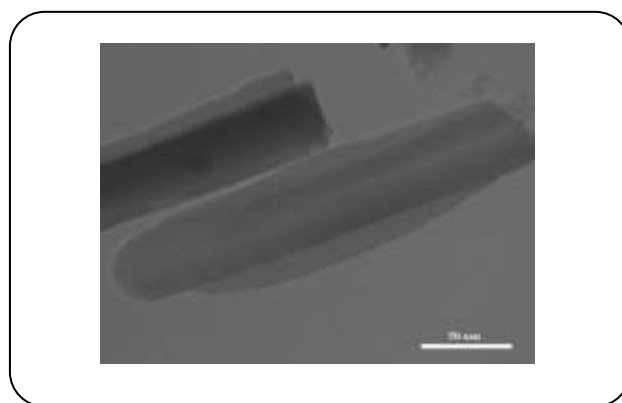
۱/۵ گرم آمونیوم هپتامولیبدات $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ در ۳۵ میلی لیتر آب دوبار تقطیر حل شد تا محلول یکنواختی به دست آید. به محلول به دست آمده در حال هم‌زدن مغناطیسی ۳ میلی لیتر استیل استون افزوده شد. پس از چند دقیقه ۳۰ میلی لیتر نیتریک اسید ۱۰٪ حجمی به این محلول افزوده شد تا pH محلول در ۳/۵ تنظیم شود. پس از ۲ ساعت رسوب زرد رنگ به دست آمده صاف شد و توسط آب دوبار تقطیر و اتانول شستشو داده شد. رسوب به دست آمده در دمای محیط خشک شد.



شکل ۲- تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روشی نانو ساختار مولیبدن تری اکسید به دست آمده از کلسینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولیبدن (IV) در حضور استناریک اسید در دمای 450°C به مدت ۲ ساعت.

نانو ذره‌ها دارای قطری در حدود 30 nm به صورت متراکم کنار هم قرار گرفته و تشکیل نانو ساختارهای میله مانند داده‌اند. تصویر TEM نانو ساختار MoO_3 تهیه شده در حضور استناریک اسید در شکل ۳ دیده می‌شود. تصویر TEM در توافق با نتیجه‌های SEM حضور نانو میله‌هایی با ضخامت متوسط $50\text{--}80\text{ nm}$ را نشان می‌دهد.

طیف FT-IR ترکیب نانو ساختار MoO_3 در ناحیه $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ در شکل ۴ نشان داده شده است. وجود گروه‌های آلی (لیگاند استیل استونات) در طیف پیش ماده (شکل ۴ الف) به خوبی قابل دیدن است (به عنوان نمونه، نوار دیده شده در ناحیه حدود 2980 cm^{-1} که مربوط به ارتعاش‌های کششی پیوند C-H و نوارهای موجود در ناحیه $1650\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ که مربوط به ارتعاش‌های کششی پیوندهای $\text{C}=\text{O}$ $\text{C}=\text{C}$ در لیگاند استیل استونات هستند). پس از تخریب گرمایی و تشکیل مولیبدن تری اکسید، همه ماده آلی موجود سوخته و فقط نوارهای مربوط به ارتعاش‌های گوناگون اکسید فلزی قابل دیدن است (شکل ۴ ب). در طیف فرسرخ نانو ساختار MoO_3 سه نوار ارتعاشی قوی



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانو میله مولیبدن تری اکسید به دست آمده از کلسینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولیبدن (IV) در حضور استناریک اسید در دمای 450°C به مدت ۲ ساعت.

و به تقریب یکنواخت MoO_3 به روشی دیده می‌شود. ضخامت نانو میله‌ها در حدود 90 nm است. با این حال طول نانو میله‌ها متنوع و در بازه‌ی $500\text{--}1000\text{ nm}$ است. با نگاهی دقیق‌تر به تصویرهای SEM (شکل ۲ قسمت c و d) دیده می‌شود که نانو ساختارهای میله مانند به دست آمده از نانو ذره‌ها تشکیل شده‌اند. به عبارت دیگر،

ارتورومیک، ترکیبی از واحدهای هشت وجهی نامنظم MoO_6 است که لبه ها را در جهت (۰ ۰ ۱) و گوشه ها را در جهت (۱ ۰ ۰) به اشتراک می گذارند تا ساختار لایه ای تشکیل شود. لایه ها تنها از طریق برهمکنش های ضعیف واندروالسی در جهت (۰ ۱ ۰) به هم متصل هستند. در حالی که برهمکنش در جهت (۰ ۰ ۱) مسطح در جهت محورها، رشد در جهت (۰ ۰ ۱) بسیار دلخواه تر است و هر هسته به شکل نانو میله رشد می کند.

با توجه به شکل ۵، از تجمع هسته های MoO_3 نانو ساختارهای میله ای تشکیل می شود. استئاریک اسید با قرار گرفتن روی سطح های MoO_3 ، از رشد در راستای (۰ ۰ ۱) جلوگیری می کند و سرانجام نانو ساختار میله مانند MoO_3 شکل می گیرد.

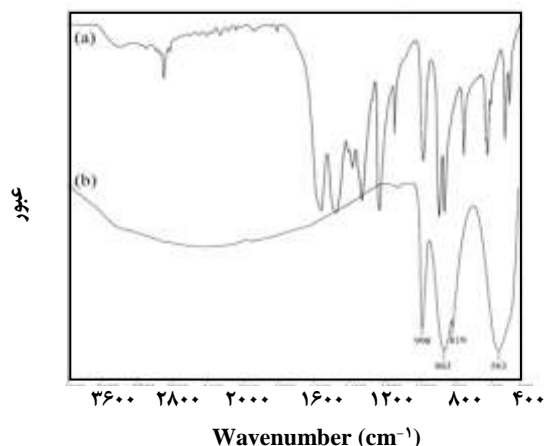
شکل ۶ طیف جذبی نانو ساختار MoO_3 را در ناحیه ۶۰۰-۲۰۰ nm نشان می دهد. شانه ای در حدود ۳۰۰ nm در طیف جذبی دیده می شود که ناشی از جهش انتقال بار LMCT لیگاند (2p_o) به فلز (4d_{Mo}) است. این طیف جذبی برای محاسبه انرژی شکاف نوار مستقیم نانو ساختارهای میله ای مورد استفاده قرار می گیرد.

منحنی تغییر $(\epsilon h\nu)^2$ در برابر $(h\nu)$ که به منحنی تاوک مشهور است برای نانو ساختار MoO_3 در شکل ۷ نشان داده شده است. خط صاف مشاهده شده نشان دهنده مستقیم بودن جهش است. شکاف نوار نانو ساختارهای میله ای MoO_3 با استفاده از معادله تاوک زیر به دست می آید [۳۳]:

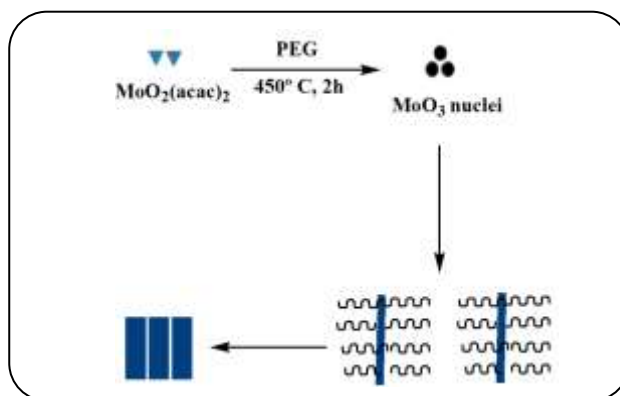
$$(\epsilon h\nu)^n = B(h\nu - E_g) \quad (1)$$

ϵ ضریب جذب مولی، $h\nu$ انرژی فوتون، B یک عدد ثابت، E_g انرژی شکاف نوار نوری و n عددی است که مرتبه جهش را مشخص می کند (برای جهش های مجاز مستقیم $n = 2$ و برای جهش های مجاز غیر مستقیم $n = \frac{1}{2}$).

انرژی شکاف نوار مجاز مستقیم از برون یابی خط مستقیم منحنی روی محور انرژی به دست می آید. مقدار انرژی شکاف نوار نانو میله های مولیبدن تری اکسید به دست آمده ۳٫۶۵ eV به دست آمد که با شکاف نوار MoO_3 گزارش شده در توافق است [۳۴] و از شکاف نوار ۲٫۹ eV که برای نمونه توده ای گزارش شده است [۳۵] بیشتر می باشد. این موضوع وجود اثرهای کوانتومی که در اثر کاهش اندازه ذره ها ایجاد می شود را تأیید می کند.



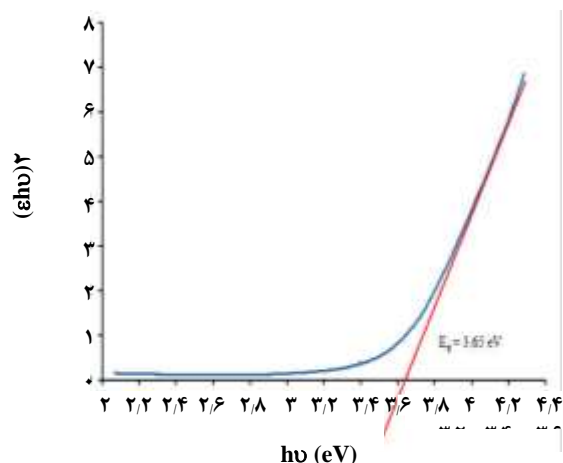
شکل ۴- طیف FT-IR (الف) پیش ماده بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولیبدن (IV)، (ب) نانومیله های مولیبدن تری اکسید به دست آمده از کلستینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولیبدن (IV) در حضور استئاریک اسید در دمای $45 \pm 0^\circ \text{C}$ به مدت ۲ ساعت.



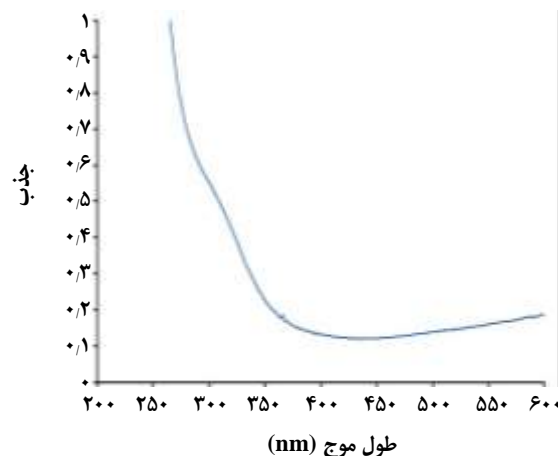
شکل ۵- طرح شماتیک مکانیسم رشد نانو ساختارهای میله ای مولیبدن تری اکسید.

در 863 ، 563 و 998 cm^{-1} دیده می شود. نوار 563 cm^{-1} مربوط به شیوه ارتعاشی متقارن اکسیژن پل متصل به سه اتم مولیبدن است. ارتعاش کششی نامتقارن Mo-O-Mo در ناحیه 863 cm^{-1} دیده می شود. ارتعاش کششی Mo=O انتهایی در ناحیه 998 cm^{-1} دیده می شود [۳۱، ۳۲].

پیش ماده $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ در حضور استئاریک اسید مخلوط تیره ای تشکیل می دهد. در دمای 450°C کوره کلیه ترکیب های آلی موجود در این مخلوط تجزیه شده و فرآورده MoO_3 نانو ساختار تشکیل می شود. شکل ۵ طرح شمایی مکانیسم رشد MoO_3 نانو ساختار را نشان می دهد. به طور کلی، MoO_3



شکل ۷- منحنی تاوک نانومیله‌های مولبدن تری اکسید به دست آمده از کلسینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولبدن (IV) در حضور استتاریک اسید در دمای 450°C به مدت ۲ ساعت.



شکل ۶- طیف UV-Vis نانومیله‌های مولبدن تری اکسید به دست آمده از کلسینه کردن بیس (استیل استوناتو) دی اکسو مولبدن (IV) در حضور استتاریک اسید در دمای 450°C به مدت ۲ ساعت.

نتیجه گیری

می‌کند. داده‌های طیف جذبی حضور شانه‌ای در نزدیکی 300 nm را نشان می‌دهد که انرژی شکاف نواری برابر با 3.65 eV را مشخص می‌کند. مکانیسم رشد آرایه شده نقش استتاریک اسید را در کنترل اندازه و ریخت شناسی نشان می‌دهد.

نانو ساختار میله مانند $\alpha\text{-MoO}_3$ با تخریب گرمایی پیش ماده $\text{MoO}_3(\text{acac})_3$ در حضور استتاریک اسید با موفقیت تهیه شد. نانومیله‌های تهیه شده ریخت شناسی و اندازه ذره‌های به نسبت یکنواختی دارند. بر طبق مکانیسم آرایه شده استتاریک اسید با اتصال به سطوح MoO_3 از تجمع نانومیله‌ها و افزایش اندازه جلوگیری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۱

مراجع

[1] Fu Y., Zhu H., Schrader A.W., Liang D., Ding Q., Joshi P., Hwang L., Zhu X.Y, Jin S., *Nanowire Lasers of Formamidinium Lead Halide Perovskites and Their Stabilized Alloys with Improved Stability*, *Nano Lett.*, **16**, 1000–1008 (2016).

[۲] صفائی، م.؛ روش تهیه، مکانیسم رشد و کاربرد نانولوله‌های تیتانیا/تیتاناتی، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳۴: ۱ تا ۲۲ (۱۳۹۴).

[۳] رازقی زاده، ع.؛ الهی، ا.؛ رفیعی، و.؛ بررسی پرتو جذبی UV-Vis لایه‌های نانو ساختار رنگ تهیه شده TiO_2 با استفاده از رنگ‌دانه‌های سیانیدین توت‌سیاه به روش سل - ژل، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳۵: ۱ تا ۸ (۱۳۹۵).

[4] Pan Z.W., Dai Z.R., Wang Z.L., *Nanobelts of Semiconducting Oxides*, *Science*, **291**: 1947-1949 (2001).

- [5] Ahire D.V., Shinde S.D., Patil G.E., Thakur K.K., Gaikwad V.B., Wagh V.G., Jain G.H., Preparation of MoO₃ Thin Films by Spray Pyrolysis and its Gas Sensing Performance, *Int. J. Smart Sense. Intelligent Syst.*, **5**: 592-605 (2012).
- [6] Arulraj A., Goutenoire F., Tabellout M., Bohnke O., Lacorre P., Synthesis and Characterization of the Anionic Conductor System La₂Mo₂O_{9-0.5x}F_x ($x = 0.02-0.30$), *Chem. Mater.*, **14**: 2492-2498 (2002).
- [7] Li W., Cheng F., Tao Z., Chen J., Vapor-Transportation Preparation and Reversible Lithium Intercalation/Deintercalation of α -MoO₃ Microrods, *J. Phys. Chem. B*, **110**: 119-124 (2006).
- [8] Adelifard M., Jahandoost M., Impact of Sulfur Concentration on Morphological, Optical, Electrical and Thermoelectrical Properties of Nanostructured MoO₃ Thin Films, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **27**, 5427-5433 (2016).
- [9] Sunu S.S., Prabhu E., Jayaraman V., Guanasekar K.J., Sesharaji T.K., Guanasekaran T., Electrical Conductivity and Gas Sensing Properties of MoO₃, *Sens. Actuators B*, **101**: 161-174, (2004).
- [10] Li N., Li Y., Li Y., Ji S., Jin P., One-Step Hydrothermal Synthesis of TiO₂@MoO₃ Core-Shell Nanomaterial: Microstructure, Growth Mechanism, and Improved Photochromic Property, *J. Phys. Chem. C*, **120**: 3341-3349 (2016).
- [11] Wang J.Y., Shan Y., Guo H., Li B., Wang W., Jia J., Friction and Wear Characteristics of Hot-Pressed NiCr-Mo/MoO₃/Ag Self-Lubrication Composites at Elevated Temperatures up to 900 °C, *Tribology Letters*, **48**: 1-16 (2015).
- [12] Somani P.R., Radhakrishnan S., Electrochromic Materials and Devices: Present and Future, *Mater. Chem. Phys.* **77**: 117-133 (2002).
- [13] Yao D.D., Rani R.A., O'Mullane A.P., Kalantar-zadeh K., Ou J.Z., Enhanced Coloration Efficiency for Electrochromic Devices Based on Anodized Nb₂O₅/Electrodeposited MoO₃ Binary Systems, *J. Phys. Chem. C*, **118**: 10867-10873 (2014).
- [14] McEvoy T.M., Stevenson K.J., Hupp J.T., Dang X., Electrochemical Preparation of Molybdenum Trioxide Thin Films: Effect of Sintering on Electrochromic and Electroinsertion Properties, *Langmuir*, **19**: 4316-4326 (2003).
- [15] Bach U., Corr D., Lupo D., Pichot F., Ryan M., Nanomaterials-Based Electrochromics for Paper-Quality Displays, *Adv. Mater.*, **14**: 845-848 (2002).
- [16] Lou X.W., Zeng H.C., Hydrothermal Synthesis of α -MoO₃ Nanorods via Acidification of Ammonium Heptamolybdate Tetrahydrate, *Chem. Mater.* **14**: 4781-4789 (2002).
- [17] Michailovski A., Grunwaldt J.D., Baiker A., Kiebach R., Bensch W., Patzke G.R., Studying the Solvothermal Formation of MoO₃ Fibers by Complementary In Situ EXAFS/EDXRD Techniques, *Angew. Chem. Int. Ed.* **44**: 5643-5647 (2005).
- [18] Wei X.M., Zeng H.C., Large-Scale Organizations of MoO₃ Nanoplatelets with Single-Crystalline MoO₃(4,4'-bipyridyl)_{0.5}, *J. Phys. Chem. B*, **107**: 2619-2622 (2003).

- [19] Li X.L., Liu J.F., Li Y.D., [Low-Temperature Synthesis of Large-Scale Single-Crystal Molybdenum Trioxide \(MoO₃\) Nanobelts](#), *Appl. Phys. Lett.* **81**: 4832-4834 (2002).
- [20] Xia T., Li Q., Liu X., Meng J., Cao X., [Morphology-Controllable Synthesis and Characterization of Single-Crystal Molybdenum Trioxide](#), *J. Phys. Chem. B*, **110**: 2006-2012 (2006).
- [21] Wang J.W., Li Y.D., [Synthesis of Single-Crystalline Nanobelts of Ternary Bismuth Oxide Bromide with Different Compositions](#), *Chem. Commun.*, **18**: 2320-2321 (2003).
- [22] Yan M.Y., Shen Y., Zhao L., Li Z., [Synthesis and Photochromic Properties of EDTA-Induced MoO₃ Powder](#), *Mater. Res. Bull.* **46**: 1648-1653 (2011).
- [23] Phuruangra tA., Chen J.S., Lou X.W., Yayapao O., Thongtem S., Thongtem T., [Hydrothermal Synthesis and Electrochemical Properties of \$\alpha\$ -MoO₃ Nanobelts Used as Cathode Materials for Li-Ion Batteries](#), *Appl. Phys A*, **107**: 249-254 (2012).
- [24] Salavati-Niasari M., Davar F., Mazaheri M., [Synthesis of Mn₃O₄ Nanoparticles by Thermal Decomposition of a \[bis\(salicylidiminato\)manganese\(II\)\]Complex](#), *Polyhedron*, **27**: 3467-3471 (2008).
- [25] Salavati-Niasari M., Fereshteh Z., Davar F., [Synthesis of Cobalt Nanoparticles from \[bis\(2-hydroxyacetophenato\)cobalt\(II\)\] by Thermal Decomposition](#), *Polyhedron*, **28**: 1065-1068 (2009).
- [۲۶] احمدپور، سجاد؛ عالمی، عبدالعلی؛ خادمی نیا، شاهین؛ تهیه و شناسایی بلورهای کادمیم اکسید ناخالص شده با عناصر لانتانیدی گادولینیوم (Gd³⁺) و لوتتیوم (Lu³⁺) به روش سل-ژل، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۱) ۳۳: ۱ تا ۸ (۱۳۹۳).
- [۲۷] خانی، وجیهه؛ شریفی، لیلا؛ پیامی، آرش؛ کوهانی، حسین؛ میرحسینی، سیدحسین، تهیه نانوپودر روی اکسید به روش سوختن ژل و استفاده از آن در ساخت پوششهای مقاوم به خوردگی کامپوزیتی پلیمر/ روی اکسید، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۲) ۳۴: ۱ تا ۱۱ (۱۳۹۴).
- [28] Yu. Posudievsky O., Biskulova S.A., Pokhodenko V.D., [New Polyaniline-MoO₃ Nanocomposite as a Result of Direct Polymer Intercalation](#), *J. Mater. Chem.* **12**: 1446-1449 (2002).
- [29] Subba-Reddy C.V., Qi Y.Y., Jin W., Zhu Q.Y., Deng Z.R., Chen W., Mho S.I., [An Electrochemical Investigation on \(MoO₃+PVP+PVA\) Nanobelts for Lithium Batteries](#), *J. Solid State Electrochem.*, **11**: 1239-1243 (2007).
- [30] Mai L.Q., Chen W., Xu Q., Zhu Q.Y., [Effect of Modification by Poly\(ethylene-oxide\) on the Reversibility of Li Insertion/Extraction in MoO₃ Nanocomposite Films](#), *Micro. Eng.*, **66**: 199-205 (2003).
- [31] Subba-Reddy C.V., Walker Jr. E.H., Wen C., Mho S., [Hydrothermal Synthesis of MoO₃ Nanobelts Utilizing Poly\(ethylene glycol\)](#), *J. Power Sources*, **183**: 330-333 (2008).
- [32] Klinbumrung A., Thongtem T., Thongtem S., [Characterization of Orthorhombic \$\alpha\$ -MoO₃ Microplates Produced by a Microwave Plasma Process](#), *J. Nanomaterials*, 1-5 (2012).

- [33] Tauc J., [Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Ge and Si](#), *Mater. Res. Bull.*, **3**: 37–46 (1968).
- [34] Mordike B.L., Ebert T., [Magnesium: Properties-Applications-Potential](#), *Mater. Sci. Eng. A*, **302**: 37–45 (2001).
- [35] Zhao Y, Liu J, Zhou Y, Zhang Z, Xu Y, Naramoto H and Yamamoto S, [Preparation of MoO₃ Nanostructures and Their Opticalproperties](#), *J. Phys.: Condens. Matter*, **15**: L547–L552 (2003).