رشد نانوساختارهای دیسولفیدمولیبدن روی فوم کربن به دامیک ایران روش هیدروترمال

#### محمدعلى هدايتى، مهدى ملكى\*، هاجر قنبرى

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده: دی سولفیدمولیبدن با توجه به خواص نوری و الکتریکی مطلوب، یکی از مهم ترین تر کیبات دی کالکوژنیدهای فلزات انتقالی است. هدایت الکتریکی پایین، پایداری الکتروشیمیایی و سطح ویـژه کم از چالشهای استفاده از دی سولفیدمولیبدن است. در ایـن پـژوهش، بـرای حـل ایـن چالشها کامپوزیتی از نانوذرات دی سولفیدمولیبدن/فوم کربن با استفاده از رسوب دی سولفیدمولیبدن بـه روش هیدروترمال روی فوم کربن انعطاف پذیر ساخته شد. فوم کربن انعطاف پذیر از پیرولیز فوم ملامین در دمای ک<sup>0</sup> ۲۰۰۰ سنتز شد و رسوب دی سولفیدمولیبدن روی فـوم کربن استفاده از پیرولیز فوم ملامین در بررسی فازی، شناسایی محصولات و بررسی مورفولوژی، آنالیزهای پـراش اشـعه ایکـس (XRD) بررسی فازی، شناسایی محصولات و بررسی مورفولوژی، آنالیزهای پـراش اشـعه ایکـس (XRD) نتایج به دست آمده از این پژوهش نشاندهنده تشکیل فاز بلوری H با ساختار بلوری هگزاگونال در تمامی نمونههاست. در هر سه نمونه، دی سولفیدمولیبدن با مورفولوژی میکرو کرههای گل شکل تشکیل شدهاست. علاوهبراین، مشاهده شد که در دماهای ۲۰۰، ۲۰ و ۲۰۰۰ صورت گرفت. مویف مونه مین این پروهش نشاندهنده تشکیل فاز بلوری H با ساختار بلوری هگزاگونال در توف سنجی رامان و تصویربرداری به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (ARS) صورت گرفت. تریب براس مازی، شناسایی محصولات و بردسی مورفولوژی، آنالیزهای پـراش اشـعه ایکـس (ARS) مورت گرفت. برای و تصویربرداری به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (HSS) مورت گرفت. تروی نوم کرین با افزایش دماست.

كلمات كليدى: كامپوزيت دىسولفيدموليبدن/فوم كربن، دىسولفيدموليبدن، فوم ملامين، ھيدروترمال.



نویسنده مسئول: دکت*ر* مهدی ملکی

- دانشگاه علم و صنعت ایران
  - نوع مقاله: پژوهشی -

صفحههای: ۸۱ تا ۸۶ شاپا چاپی: ۳۳۵۱–۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷–۲۷۸۳ زبان نشریه: فارسی دسترس پذیر در نشانی: www.JICERS.ir تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش:

DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.1.5.6

#### ۱- مقدمه

14../.8/.4

دی سولفیدمولیبدن، برخلاف گرافن که گاف انرژی برابر صفر دارد، دارای گاف انرژی بزرگتر از یک است که باعث ایجاد ویژگی های نوری و الکتریکی خاصی در این ماده شدهاست. دی سولفیدمولیبدن دارای گاف انرژی VM eV است و با کاهش تعداد لایههای آن به تکلایه، گاف انرژی آن به VM eV کاهش مییابد [۲].

هدایت الکتریکی و یونی پایین، سطح ویژه و پایداری الکتروشیمیایی کم دیسولفیدمولیبدن و تجمع ذرات آن در حین فرآیندهای کاربردی مانند فرآیندهای ذخیرهسازی انرژی سبب ایجاد محدودیت در کاربردهای این ماده شدهاست که باری رفع چناین

فصلنامه

سراميت

えつ

20(0

۷۷ شماره

1 13

e out

چالشهایی باید از کامپوزیت کردن این ماده با مواد دیگر ماننـد مـواد رسـانا و یـا مـواد بـا سـطح ویـژه بـالا بهـره گرفـت [۳]. کامپوزیتهایی مانند اکسیدتیتانیوم/دی سولفیدمولیبدن [۴]، کامپوزیت WS2/MOS2/گرافن [۵]، کامپوزیتهای پایه کربنی دی سولفیدمولیبدن و ... برای رفع این چالشها معرفی شدهاند.

مواد پایه کربنی مانند نانولولههای کربنی [۶]، گرافن [۷] و منسوجات کربنی [۸] از جمله موادی هستند که برای کامپوزیتسازی با دىسولفيدموليبدن مورد استفاده قرار گرفتهاند و در كاربردهايي نظير باترى ليتمي [٩]، واكنشهاى تكامل هيدورژن [١٠]، ابرخازنها [۱۱]، حسگرهای کرنشی [۱۲] و ... مورد استفاده قرار گرفتهاند.

به عنوان مثال، هانگ و همکارانش [۱۳] به منظور افزایش رسانایی و جلوگیری از تجمع نانوورقههای دیسولفیدمولیبدن از کامپوزیت دی سولفیدمولیبدن /گرافن استفاده کرد. استفاده از کامپوزیت دی سولفیدمولیبدن در ابرخازن باعث افزایش طول عمر و افزایش ظرفیت آن می شود. افزون براین، مااو و همکارنش [۱۴]، کامپوزیت پارچه کربنی /دی سولفیدمولیبدن را بـرای اسـتفاده بـه عنوان کاتالیزر در واکنشهای تکامل هیدروژن سنتز کرد.

فومهای کربنی نیز از جمله مواد پایه کربنی هستند که به منظور بهبود ویژگیهای دیسولفیدمولیبدن مورد استفاده قرار گرفتهاند. استفاده از فومهای کربنی که قابلیت تولید در مقیاس بالا را داشته باشند و همچنین دارای صرفه اقتصادی باشند، می تواند به توسعه استفاده از این کامپوزیتها کمک کند [۱۵, ۱۵]. فومهای کربنی انعطاف پذیر که از پیرولیز فوم ملامین تجاری به دست مى أيد، علاوه بر صرفه اقتصادى، داراى ساختار سهبعدى و بهم پيوسته، هدايت الكتريكى مطلوب، سطح ويژه بالا، ويژكي انعطافپذیری، آبگریزی و رنگ مشکی هستند [۱۷, ۱۸]. مجموعه این ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مناسب، می توانند فومهای کربنی منعطف را به عنوان یک عامل کامپوزیت کننده مناسب با دیسولفیدمولیبدن مطرح نمایند. افزونبراین، ایـن دسته از فومهای کربنی به عنوان یک عامل کامپوزیت کننده با دیسولفیدمولیبدن، میتواند هدایت الکتریکی پایین و سطح ویژه كم MoS<sub>2</sub> را برطرف نمايند [۱۹].

روشهای مختلفی مانند روش رسوب شیمیایی فاز بخار، روش هیدروترمال و سولوترمال بـرای رسـوب دیسـولفیدمولیبدن روی ماده زمینه و کامپوزیتسازی آن با مواد پایه کربنی مورد بررسی قـرار گرفتهاست. روش هیـدروترمال روشـی أسـان بـرای سـنتز MOS<sub>2</sub> است که قابلیت کامپوزیت سازی با مواد دیگر را نیز داراست [۲۰, ۲۱].

به این ترتیب، در این پژوهش برای رفع چالشهای MoS<sub>2</sub>، از فومهای منعطف کربنی با حفرات سهبعدی متصل بـه هـم اسـتفاده شد. با توجه به اثرگذاری ماده زمینه در شرایط رشد MoS2، اثر دمای واکنش هیدورترمال بر نحوه رسوبدهی، مورفولوژی و فازهای بلوری در کامپوزیت دیسولفیدمولیبدن/فوم کربن مورد بررسی قرار گرفت. دیسولفیدمولیبدن رسوب داده شده روی فـوم کربن منعطف به روش هیدروترمال دارای ساختار بلوری ۲H و مورفولوژی میکروکرههای گلشکل است.

# ۲- فعالیتهای تجربی

#### ۲-1- مواد مورد استفاده

در این پژوهش از فوم ملامین تجاری با فرمول شیمیایی C3H6N6، سدیممولیبدات آبدار بـا فرمـول شـیمیایی NaMoO4.2H2O (ساخت شرکت Merck و خلوص ۹۹/۵ درصد) و گوگرد با فرمول شیمیایی S (ساخت شرکت AppliChem و خلـوص ۹۹ درصـد) استفاده شدهاست.

# ۲-۲-سنتز کامیوزیت دیسولفیدمولیبدن/فوم کربن

### ۲-۲-۱- سنتز فوم کربن

به منظور سنتز کامپوزیت MoS<sub>2</sub>/فوم کربن، ابتدا فوم کربن، به عنوان ماده زمینه، سنتز میشود و سپس روی آن، دیسولفیدمولیبدن به روش هیدروترمال رسوب داده میشود. فوم کربن از پیرولیز فوم ملامین تجاری سـنتز شـد. بـرای این منظور، فوم ملامین پس از شستشو با آب مقطر، در دمای C°۸۰۰ به مدت یک ساعت تحت اتمسفر نیتروژن در داخل کوره تيوبي حرارت داده شد تا فوم كربن حاصل گردد. مقالات

، پژوهشر

Downloaded from jicers.ir on 2025-09-03

#### **۲-۲-۲** رسوب دی سولفید مولیبدن روی فوم کربن

برای رسوب دیسولفیدمولیبدن روی فوم کربن، ابتدا پیشمادههای سدیممولیبدات آبـدار و گـوگرد بـا نسـبت مـولی مولیبـدن بـه گوگرد ۱:۴ توزین و در ۶۰ ml آب مقطر ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت و به همراه فوم کربن به داخل اتوکلاو از جنس استیل ضدزنگ و محفظه تفلونی با حجم ۸۰ ml منتقل شد. اتوکلاو به مدت ۱۲ ساعت در دماهای ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۴۰°۲۲ در داخل خشک کن تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. فوم حاصل پس از خروج از اتوکلاو و شستشو با آب مقطر و اتانول، در داخل خشککن و در دمای <sup>C</sup>۰۵ خشک شد. فومهای بـه دسـت آمـده در دماهـای ۲۰۰، ۲۲۰ و <sup>C</sup>۴۰۳ بـه ترتيب به نامهای MoS2-220، MoS2-200 و MoS2-240 نام گذاری شدند.

## ۲-۳- تجهیزات و آزمونهای صورت گرفته

به منظور بررسی فازهای تشکیل شده در نمونه، آنالیز پراش اشعه ایکس به کمک دستگاه XRD ساخت شـر کتBRUKER آلمـان مدل ADVANCE صورت گرفت و به منظور انجام آنالیز طیفسنجی رامان از دستگاه رامان مدل Takram ساخت شرکتTeksan با طول موج لیزر <sup>1</sup>-۵۲۳ nm و بازه رامان شیفت ۱۰۰ تا ۴۶۰۰ cm<sup>-۱</sup> استفاده شد. برای انجام آنالیز میکروسکوپ الكتروني براي بررسي مورفولوژي نمونهها، از دستگاه SEM مدل TESCAN VEGA//XMU استفاده شد. همچنين دستگاه كندوپاش طلا مجهز به سهكاتد مدل DSR1 براى پوشش دهى نمونهها استفاده شد.

### 3-نتایج و بحث

الگوی XRD نمونههای MoS2-220، MoS2-220 و MoS2-240 در شکل ۱⊣لف نمایش داده شدهاست. در هر سه نمونه پیکهایی در حوالی زوایای ۱۴<sup>°</sup> ، ۳۳<sup>°</sup> و ۳۹<sup>°</sup> و ۵۸/۵<sup>°</sup> تشکیل شدهاست که با توجه به پیکهای استاندارد می *ت*وان آن ها را بـه ترتیـب بـه صفحات بلوری (۰۰۲)، (۱۰۰)، (۱۰۳) و (۱۱۰) در ساختار دی سولفیدمولیبدن هگزاگونال (JCPDS card no. 65-1951) نسبت داد. علاوهبـــراین، پیکـــی در حـــوالی زاویـــه °۴۸/۵ در نمونـــههای MoS2-220 و MoS2-240 و در زاویـــه °۷۰ در نمونـــه MoS2-240 تشکیل شده است که به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۵) و (۲۰۰) در دی سولفیدمولیبدن هگزاگونال است [۲۲].



افزونبراین، در نمونه MoS<sub>2</sub>-200 پیکی اضافی در زاویه ۹/۹۵<sup>°</sup> تشکیل شدهاست. ظهور این پیک، افزایش فاصـله بـین صـفحات (۰۰۲) دیسولفیدمولیبدن را نسبت به نمونه مرجع که پیک (۰۰۲) آن در زاویه ۱۴/۴<sup>°</sup> تشکیل شدهاست، نشان میدهد. تشکیل این پیک توسط سایر پژوهشگران نیز مشاهده شده است که علت آن، قرار گرفتن یون ها و ملکول ها در بین صفحات دی سولفيدموليبدن است [٢١].

در نمونههای MoS<sub>2</sub>-200 و MoS<sub>2</sub>-240، علاوهبر پیکهای مربوط به دیسولفیدمولیبدن، یک شانه در حدود ۲۶<sup>°</sup> تشکیل شدهاست که این شانه پهن مربوط به کربن به عنوان ماده زمینه است.

14

مقالات يژوهشى

20(0

DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.1.5.6

اندازه بلورک نمونهها به کمک رابطه دیای شرر اندازه گیری شد [۲۳]. اندازه بلورک نمونههای MoS2-220 MoS2-200 و MoS2-240 به ترتیب برابر ۱۳، ۱۵ و ۶۰ nm است که افزایش اندازه بلورک را با افزایش دمای انجام واکنش از ۲۲۰ به ۲۴۰<sup>°</sup>C نشان میدهد، در حالی که اندازه بلورک از ۲۰۰ تا ۲۰<sup>°</sup>۲۲۰ تفاوت معناداری نیافته است.

نسبت شدت پیک صفحه (۰۰۲) به شدت پیک صفحه (۱۰۰) در نمونههای MoS<sub>2</sub>-200 و MoS<sub>2</sub>-220 تغییر محسوسی نکردهاست؛ اگرچه در نمونه MoS<sub>2</sub>-240 این نسبت افزایش پیدا کردهاست که این امر به دلیل رشد ترجیحی صفحه (۰۰۲) با افزایش دمای انجام واکنش است (نسبت شدت پیک (۰۰۲) به شدت پیک (۱۰۰) یا (۱۰۰<sub>)</sub>/۱<sub>(۱۰۰)</sub> در نمونه MoS<sub>2</sub>-240 برابر ۱/۳ در نمونههای 200-MoS<sub>2</sub> و MoS<sub>2</sub>-220 برابر ۱ است).

شـکل ۱-ب طیفهـای رامـان نمونـههای MoS2-200، MoS2-200 و MoS2-200 را نشـان مـیدهـد. در طیـف رامـان نمونـه MoS2-200، پیکهای مربوط به دیسولفیدمولیبدن مشاهده نمیشود. ظـاهر شـدن پیـک در ۳۷۹ و ۴۰۴ cm<sup>-1</sup> در نمونـههای MoS2-220 و MoS2-240 نشاندهنده تشکیل MoS2 با فاز بلوری ۲۲ روی فوم کربنی است. این پیکها را میتوان به ترتیـب بـه حالات E<sup>1</sup>2 و A<sub>1</sub>g نسبت داد. پیک E<sup>1</sup><sub>2</sub>g مربوط به ارتعاشات اتمها در داخـل صفحات دیسولفیدمولیبدن و نیـروی برشـی بـین اتمهای مولیبدن و گوگرد و پیک A<sub>1</sub>g مربوط به نیروی فشاری بین اتمهای گوگرد در امتداد محور c است [۲۰].

نسبت شدت پیک A<sub>19</sub> به شدت پیک E<sup>1</sup><sub>2</sub><sub>9</sub>، در نمونـه MoS<sub>2</sub>-240 بیشـتر از نمونـه MoS<sub>2</sub>-220 اسـت. ایـن نسـبت بـرای نمونـه MoS<sub>2</sub>-220 تقریباً برابر ۱/۲۵ و برای نمونه MoS<sub>2</sub>-240 تقریبا برابر ۱/۳۳ است. افزایش نسبت شدت پیـک A<sub>19</sub> بـه شـدت پیـک E<sup>1</sup><sub>2</sub>g در طیفسنجی رامان برای دیسولفیدمولیبدن نشاندهنده افزایش چگـالی عیـوب در سـاختار اسـت [۷]. بـهاین ترتیـب، بـا افزایش دمای انجام واکنش از ۲۲۰ به ۲۴۰°C، چگالی عیوب در ساختار افزایش یافت.

نتایج مربوط به SEM نمونههای MoS2-220، MoS2-220 و MoS2-240 در شکل ۲ آورده شدهاست که نشان دهنده ساختار سهبعدی و بهم پیوسته کامپوزیت سنتز شده و رسوب یکنواخت دی سولفیدمولیبدن روی فوم کربن است. دی سولفیدمولیبدن در هر سه نمونه متشکل از میکروکرههای گلشکل است [۲۱].

توزیع اندازه حفرات فوم به صورت نامنظم و برابر ۲۰ تا ۲۰۰ µm ۲۰۰ است که این امر به علت تجاری بودن فوم ملامینی مورد استفاده برای سنتز فوم کربن به عنوان ماده زمینه است.

با افزایش دمای انجام واکنش، میزان دیسولفیدمولیبدن تشکیل شده روی رشتههای فوم افزایش مییابد، بدین شکل که ضخامت میانگین رشتههای فوم در نمونه MoS2-200 برابر μm Δ- ۵/۳، در نمونه MoS2-220 برابر μm ۷–۵/۵ و در نمونه MoS2-240 برابر μm ۸–۶/۵ اندازهگیری شد.



**شکل ۲**- نتایج SEM به ترتیب از راست به چپ برای نمونههای MoS<sub>2</sub>-200، MoS<sub>2</sub>-240 و MoS<sub>2</sub>-240.

مقالات يژوهشر

Downloaded from jicers.ir on 2025-09-03

ضخامت دیوارههای دیسولفیدمولیبدن برای نمونههای 200-MoS و MoS-224 به کمک نرمافزار، اندازهگیری و روی تصاویر SEM در شکل ۲ مشخص شد. ضخامت دیوارههای دیسولفیدمولیبدن برای نمونههای سنتز شده در دماهای ۲۲۰ و ۲۴۰<sup>o</sup>C محدودا به ترتیب برابر ۲۰±۰۰ و ۲۴۰۰ است. با توجه به اعداد به دست آمده از ضخامت دیوارههای دیسولفیدمولیبدن، میتوان بیان کرد که نانوساختارهای گلشکل MoS2 روی فوم کربن رسوب کردهاست. همچنین، مشاهده شد که با افزایش دمای انجام واکنش، ضخامت دیوارههای دیوارههای یوانش یافتهاست.

## ۴-نتیجهگیری

در این پژوهش، دیسولفیدمولیبدن روی فوم کربن انعطافپذیر به روش هیدروترمال با پیشمادههای سدیممولبیدات آبدار و گوگرد در دماهای ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۴۰° رسوب داده شد. نتایج حاصل از بررسی الگوهای پراش اشعه X و طیفهای رامان سه نمونه سنتز شده در دماهای ۲۰۰، ۲۰۰ و ۲۴۰°، بیان میکند که دیسولفیدمولیبدن سنتز شده دارای فاز بلوری 2H- MoS<sub>2</sub> است و با توجه به تصاویر به دست آمده از SEM میتوان بیان کرد که مورفولوژی در همه نمونه ها میکروکرههای گلشکل است. افزونبراین، مشاهده شد با افزایش دمای انجام واکنش، میزان دیسولفیدمولیبدن رسوب کرده روی فوم کربن افزایش مییابد.

## ۵- مراجع

- [1] Li, X., Zhu, H., "Two-dimensional MoS<sub>2</sub>: Properties, Preparation, and Applications", Journal of Materiomics, Vol. 1, No. 1, (2015), 33-44. https://doi.org/10.1016/j.jmat.2015.03.003
- [2] Wang, H., Li, C., Fang, P., Zhang, Z., Zhang, J. Z., "Synthesis, Properties, and Optoelectronic Applications of Two-dimensional MoS<sub>2</sub> and MoS<sub>2</sub>-based Heterostructures", Chemical Society Reviews, Vol. 47, No. 16, (2018), 6101-6127. https://doi.org/10.1039/C8CS00314A
- [3] Park, S.-K., Chung, D. Y., Ko, D., Sung, Y.-E., Piao, Y., "Three-dimensional Carbon Foam/N-doped Graphene@MoS<sub>2</sub> Hybrid Nanostructures as Effective Electrocatalysts for The Hydrogen Evolution Reaction", Journal of Materials Chemistry A, Vol. 4, No. 33, (2016), 12720-12725. https://doi.org/10.1039/C6TA03458F
- [4] He, S., Zhang, Y., Ren, J., Wang, B., Zhang, Z., Zhang, M., "Facile Synthesis of TiO<sub>2</sub>@MoS<sub>2</sub> Hollow Microtubes for Removal of Organic Pollutants in Water Treatment", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 600, No. 2, (2020), 124900. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124900
- [5] Lonkar, S. P., Pillai, V. V., Alhassan, S. M., "Three Dimensional (3D) Nanostructured Assembly of MoS<sub>2</sub>-WS<sub>2</sub>/Graphene as High Performance Electrocatalysts", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 45, No. 17, (2020), 10475-10485 https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.195
- [6] Yuan, H., Li, J., Yuan, C., He, Z., "Facile Synthesis of MoS<sub>2</sub>@CNT as An Effective Catalyst for Hydrogen Production in Microbial Electrolysis Cells", ChemElectroChem, Vol. 1, No. 11, (2014), 1828-1833. https://doi.org/10.1002/celc.201402150
- [7] Naz, R., Imtiaz, M., Liu, Q., Yao, L., Abbas, W., Li, T., Zada, I., Yuan, Y., Chen, W., Gu, J., "Highly Defective 1T-MoS<sub>2</sub> Nanosheets on 3D Reduced Graphene Oxide Networks for Supercapacitors", Carbon, Vol. 152, No. 2, (2019), 697-703. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.06.009
- [8] Wang, L., Chenhui, Z., "1T-Phase MoS<sub>2</sub> with Large Layer Spacing Supported on Carbon Cloth for Highperformance Na<sup>+</sup> Storage", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 116, No. 2, (2017), 285-294. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.09.055
- [9] Ren, J., Ren, R.-P., Lv, Y.-K., "A Flexible 3D Graphene@CNT@MoS<sub>2</sub> Hybrid Foam Anode for Highperformance Lithium-ion Battery", Chemical Engineering Journal, Vol. 353, No. 2, (2018), 419-424. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.139
- [10] Huang, J., Chen, M., Zhang, X., Liu, W., Liu, Y., "P-doped 3D Graphene Network Supporting Uniformly Vertical MoS<sub>2</sub> Nanosheets for Enhanced Hydrogen Evolution Reaction", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 45, No. 7, (2020), 4043-4053. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.014
- [11] Masikhwa, T.M., Madito, M.J., Bello, A., Dangbegnon, J.K., "High Performance Asymmetric Supercapacitor Based on Molybdenum Disulphide/graphene Foam and Activated Carbon from Expanded Graphite", of Journal Colloid and Interface Science, Vol. 488, No. 2. (2017). 155-165. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.10.095
- [12] Kim, S. J., Mondal, S., Min, B. K., Choi, C.-G., "Highly Sensitive and Flexible Strain-pressure Sensors with Cracked Paddy-shaped MoS<sub>2</sub>/Graphene Foam/Ecoflex Hybrid Nanostructures", ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. 10, No. 42, (2018), 36377-36384. https://doi.org/10.1021/acsami.8b11233
- [13] Huang, K.-J., Wang, L., Liu, Y.-J., Liu, Y.-M., Wang, H.-B., Gan, T., Wang, L.-L., "Layered MoS<sub>2</sub>– Graphene Composites for Supercapacitor Applications with Enhanced Capacitive Performance", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 38, No. 32, (2013), 14027-14034.

فطلنامه

سراميك

うろう

20(0

٧١ شماره

ا بهار ممكاا

10

فصلنامه سرامیک ایران دوره ۱۷ شماره ۱ بهار ۲۰۰۰

https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.112

- [14] Mao, B., Wang, B., Yu, F., Zhang, K., Zhang, Z., Hao, J., Zhong, J., Liu, Y., Shi, W., "Hierarchical MoS<sub>2</sub> Nanoflowers on Carbon Cloth as An Efficient Cathode Electrode for Hydrogen Evolution Under All pH Values", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 43, No. 24, (2018), 11038-11046. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.226
- [15] Li, W., Chen, J.-w., Xiao, Z.-I., Xing, J.-b., Yang, C., Qi, X.-p., "MoS<sub>2</sub>/Graphene/Carbonized Melamine Foam Composite Catalysts for The Hydrogen Evolution Reaction", New Carbon Materials, Vol. 35, No. 5, (2020), 540-546. https://doi.org/10.1016/S1872-5805(20)60507-8
- [16] Ma, H., Du, S., Tao, H., Li, T., Zhang, Y., "Three-dimensionally Integrated Carbon Tubes/MoS<sub>2</sub> with Reduced Graphene Oxide Foam as a Binder-free Anode for Lithium Ion Battery", Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol. 823, No. 2, (2018), 307-314. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.06.033
- [17] Chen, S., He, G., Hu, H., Jin, S., Zhou, Y., He, Y., He, S., Zhao, F., Hou, H., "Elastic Carbon Foam via Direct Carbonization of Polymer Foam for Flexible Electrodes And Organic Chemical Absorption", Energy & Environmental Science, Vol. 6, No. 8, (2013), 2435-2439. https://doi.org/10.1039/C3EE41436A
- [18] Maleki M., Imani, A., Ahmadi, R., Banna Motejadded Emrooz, H., Beitollahi, A., "Low-cost Carbon Foam as A Practical Support for Organic Phase Change Materials in Thermal Management", Applied Energy, Vol. 258, No. 2, (2020), 114108. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114108
- [19] Zhao, H., Wu, J., Li, J., Wu, H., Zhang, Y., Liu, H., "A Flexible Three-dimensional MoS<sub>2</sub>/Carbon Architecture Derived From Melamine Foam as Free-standing Anode For High Performance Lithium-ion Batteries", Applied Surface Science, Vol. 462, No. 2, (2018), 337-343. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.110
- [20] Lei, Z., Zhan, J., Tang, L., Zhang, Y., Wang, Y., "Recent Development of Metallic (1T) Phase of Molybdenum Disulfide for Energy Conversion and Storage", Advanced Energy Materials, Vol. 8, No. 2, (2018), 1703482. https://doi.org/10.1002/aenm.201703482
- [21] Miao, H., Hu, X., Sun, Q., Hao, Y., Wu, H., Zhang, D., Bai, J., Liu, E., Fan, J., Hou, X., "Hydrothermal Synthesis of MoS<sub>2</sub> Nanosheets Films: Microstructure and Formation Mechanism Research", Materials Letters, Vol. 166, No. 2, (2016), 121-124. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.12.010
- [22] Zhang, X., Tang, H., Xue, M., Li, C., "Facile Synthesis and Characterization of Ultrathin MoS<sub>2</sub> Nanosheets", Materials Letters, Vol. 130, No. 2, (2014), 83-86. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.05.078
- [23] Yi, M, Zhang, C., "The Synthesis of MoS<sub>2</sub> Particles with Different Morphologies for Tribological Applications", Tribology International, Vol. 116, No. 2, (2017), 285-294. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.06.045

76