پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۱۰

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

ساخت کم هزینه ابرخازن بر مبنای الکترودهای نانوساختاری In_2O_3/PSi

مریم امیرحسینی [۱]، مجید زندی [۲]

۱ مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین زهرا، گروه علوم مهندسی، بویین زهرا، قزوین

۲ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مکانیک و انرژی

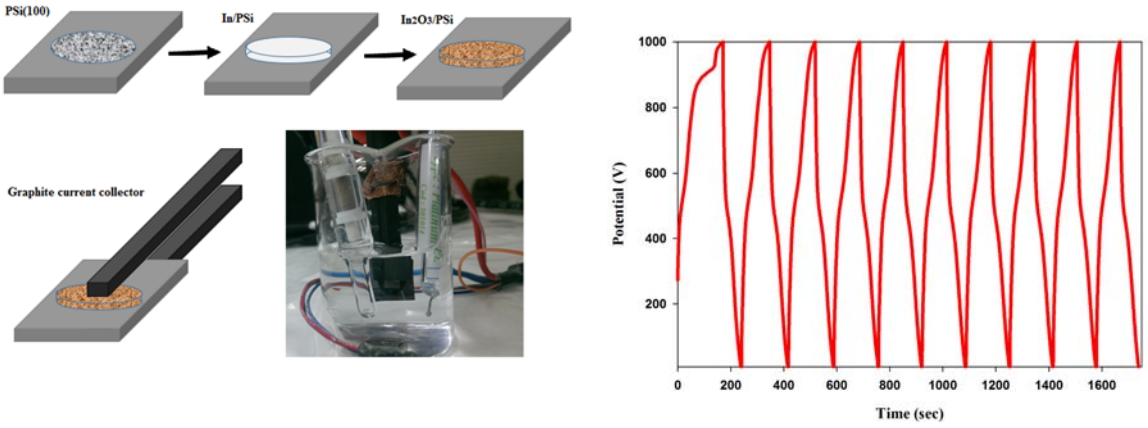
چکیده

در این مقاله، الکترود هایی بر مبنای نانوذرات ایندیوم اکساید (In_2O_3) روی زیر لایه سیلیکون متخلخل (PSi) بصورت کم هزینه، ساخته شدند. زیر لایه سیلیکون به روش فوتوالکتروشیمیایی متخلخل شده و لایه ای از ایندیوم توسط دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی بر آن نشانده شد. سپس نانو ذرات In_2O_3 در کوره حرارتی و در محیط بخار آب تهیه شد. خواص ساختاری نانو ذرات In_2O_3/PSi توسط دستگاه های XRD، XRF و خواص الکتروشیمیایی سلول ساخته شده توسط آنالیزور گالوانواستات/ پتانسیواستات بررسی شد. نتایج بدست آمده از دستگاه XRD، ساختار نانوکریستالی ذرات In_2O_3 روی سیلیکون متخلخل را تایید کردند. الکترودهای ساخته شده مشخصه الکتروشیمیایی خوبی، با ظرفیت ویژه $۰,٦\ Fcm^{-2}$ را نشان دادند. نتایج این پژوهش نشان می دهند که الکترودهای ساخته شده بصورت کم هزینه بر مبنای نانوذرات In_2O_3 روی زیرلایه ی سیلیکون متخلخل، کاندیدای خوبی برای استفاده در ابرخازن ها و شبه ابرخازن ها هستند.

ابرخازن ها یا خازن های شیمیایی انرژی را با نرخ های شارژ- دشارژ بالایی ذخیره می کنند و یک تکنولوژی در حال حضور برای ذخیره سازی انرژی به حساب می آیند. دانسیته ی انرژی ابرخازن ها چندین مرتبه بالاتر از خازن های دی الکتریک است اما میزان دانسیته انرژی آنها هنوز کمتر از باتری ها است. به دلیل چرخه عمر طولانی و دانسیته توان بالا، ابرخازن‌ها کاربردهای مختلفی در سیستم‌های صنعتی از جمله سیستم‌های خودرویی، سیستم هیبریدی تولید انرژی الکتریکی، دور سنج‌هایی که با GPS کار می‌کنند، شتاب سنج‌ها و سنسورهای دمایی و همچنین در تولید و ذخیره انرژی در ابعاد بالا دارند[1,2]. ابر خازن ها بر اساس مکانیسم ذخیره سازی انرژی به دو گروه ابرخاز ن های دولایه الکتروشیمیایی (EDLC) و شبه خازن ها (pseudocapacitor) تقسیم می شوند. در ابرخازن های دولایه الکترو شیمیایی، ذخیره بار به صورت الکتروا ستاتیک درون لایه‌های دوقطبی بین الکترولیت هادی یونی و الکترودهای هادی الکتریکی انجام می‌شود. ابرخازن‌های دولایه الکتروشیمیایی از لحاظ کلاسیک، مکانیزم غیرالقایی دارند. در شبه ابرخازن ها بار الکتریکی از طریق یک فرایند اکسیداسیون /احیا، درون خازن ذخیره می شود و انتقال بار از نوع فارادیک است. موادی که در این نوع ابرخازن ها به کار می روند، باید قابلیت اکسیداسیون و احیا را به صورت برگشت پذیر داشته باشند. امکان ذخیره سازی انرژی بیشتری در مکانیسم دوم، رفتار شبه خازنی، نسبت به رفتار EDLC وجود دارد. با این وجود شبه خازن ها چگالی توان و پایداری کمتری دارند. موادی که رفتارهای شبه خازنی دارند شامل اکسیدها، نیترایدها و پلیمرهای هادی هستند. مواد بسیاری از جمله RUO_2، MnO_2و... در تحقیقات ابرخازن های گروه دوم مورد بررسی قرار گرفته اند ولی به دلیل هزینه بالای آن مواد، مورد استفاده تجاری قرار نگرفته اند. از این رو کاهش هزینه مواد مورد استفاده و روش های ساخت در تکنولوژی ابرخازن ها بسیار مورد اهمیت است. در همین راستا، تهیه In_2O_3 با توجه به هزینه پایین تولیدو در عین حال غیر سمی و غیر قابل اشتعال بودن می تواند گزینه خوبی باشد. هدف از این تحقیق، ساخت کم هزینه ابرخازن بر مبنای الکترودهای نانوساختاری In_2O_3/PSi می باشد.

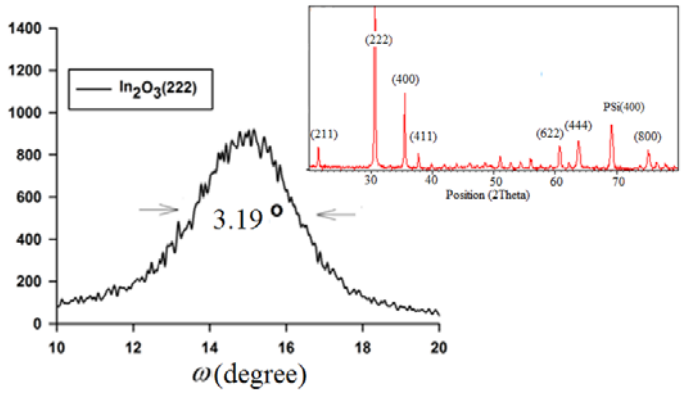
مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

برای ساخت الکترود، ابتدا سطح سیلیکون زیرلایه به روش فوتوالکترو شیمیایی متخلخل گردیده که از آن به عنوان لایه میانی بین سیلیکون و In_2O_3 ا ستفاده شده ا ست. روش فوتوالکترو شیمیایی با جریان ثابت، روش منا سب و ساده ای برای ایجاد سیلیکون متخلخل می با شد. برای ساخت لایه متخلخل، از سلولی تفلونی با صفحه آلومینیومی ا ستفاده شده ا ست. الکترولیت ا ستفاده شده ترکیب $HF: C_2H_5OH$ به ن سبت ۱:٤ بوده و جریان اعمالی برای فرآیند پروسیته الکتروشیمیایی $20\ mA/cm^2$ بود. در مرحله بعد لایه ای از ایندیوم توسط دستگاه لایه نشانی تبخیر حرارتی بر روی سیلیکون متخلخل ن شانده شد. سپس نانو ذرات In_2O_3 در کوره حرارتی و در محیط بخار آب تهیه شدند. اندازه گیری های الکترو شیمیایی ابرخازن ساخته شده توسط دستگاه گالوانو استات /پتانسیو استات در $0.5\ M$ الکترولیت سولفات پتاسیم انجام شد. در اینجا از یک سلول ۳ الکترودی برای اندازه گیری استفاده شد که الکترود $Ag/AgCl$ به عنوان الکترود مرجع ، الکترود پلاتینی به عنوان الکترود جریان و الکترود ساخته شده به عنوان الکترود کار درنظرگرفته شد. شماتیکی از سلول ساخته شده در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است.



شکل ۱ : الف) شماتیکی از روند ساخت سلول و، ب) نمودار فرآیند شارژ–دشارژ الکترودهای نانوساختاری In_2O_3/PSi

طیف XRD، نانوذرات In2O3 ر شد داده شده روی زیرلایه سیلیکون متخلخل در شکل 2 نشان داده شده است. الگوهای XRD، ساختار مکعبی و پلی کریستالی In_2O_3 را تایید می کند. سایز میانگین نانوذرات کریستالی In_2O_3 از رابطه شرر (Scherrer) محاسبه شده[۳] ، $D = \frac{0.89\lambda}{B\ \cos\theta_B}$ که در آن B اندازه FWHM پیک (۲۲۲) است، λ طول موج اشعه ایکس است، و θ_B زاویه پراش براگ برحسب درجه است. نتایج مشخصه یابی از طریق دستگاه XRD نشان دادند که لایه نازک بدست آمده شامل نانوذرات In_2O_3 با میانگین سایز ذرات $2.5\ nm$ است. مورفولوژی مواد فعال مورد استفاده ، نقش ا سا سی در ابرخازنها ایفا می کند. مواد خازنی مطلوب باید سطح ویژه بزرگ و ابعاد منظمی دا شته با شند. سطح ویژه بزرگتر در مواد فعال می تواند یون های الکترولیت بیشتری را در فرآیندهای انتقال یونی بکار گیرد. از اینرو یک ساختار نانوحفره ای می تواند فضای منا سبی برای انتقال حامل ها در الکترولیت ایجاد کند. در این مقاله نانو حفره ها در سیلیکون متخلخل بستر مناسبی برای نانو ذرات In_2O_3 فراهم کرده اند که موجب افزایش ظرفیت ابرخازن خواهد شد. برای آنالیز عنا صر داخل نمونه ها، اندازه گیری XRF صورت گرفت که نتایج حضور ایندیوم و مقدار زیادی اکسیژن را نشان دادند.



شکل۲: نمودار XRD (ω-rocking curve) ، In_2O_3 (222)

جزئیات عملکرد الکترو شیمیایی الکترودهای نانو ساختاری In_2O_3/PSi در شکل ۱(ب) نشان داده شده اند. این اندازه گیری ها در چگالی جریان 4 mA/cm^2 و و در محدوده پتانسیل 1-1000 mV، در ۱۰ سیکل بدست آمده است. این شکل رفتار الکترود را در زمان شارژ و دشارژ در سیکل های متوالی نشان می دهد.همانطور که مشاهده می شود، در طول فرآیند شارژ–دشارژ، منحنی شارژ تقریبا متقارن با قسمت دشارژ مربوط به آن می باشد که یک فرایند فارادیک با مقاومت داخلی در ابتدای فرایند شارژ و د شارژ را نشان می دهد. این مقاومت داخلی در نمودار ممکن ا ست به وا سطه مقاومت یونی الکترولیت یا مقاومت ذاتی مواد فعال مورد اســـتفاده در الکترود باشـــد. ظرفیت ویژه ابرخازن باتوجه به نمودار شـــارژ و دشـــارژ، طبق رابطه $C_s = \frac{I \times \Delta t}{\Delta V \times A}$ محاسبه شد [٤] که در آن، I جریان دشارژ، Δt زمان دشارژ، ΔV افت پتانسیل در فرایند دشارژ و A مساحت ماده فعال در الکترود کار می باشد (cm^2). ابرخازن ساخته شده مبتنی بر نانوذرات In_2O_3/PSi رفتار الکتروشیمیایی خوبی با ظرفیت ویژه 0.6 F/cm^2 نشان دادند.

نتیجه گیری

کاهش هزینه مواد مورد استفاده و روش های ساخت در تکنولوژی ابرخازن ها بسیار مورد اهمیت است. ازین‌رو در این تحقیق، ابرخازنی بر مبنای نانوذرات In_2O_3 روی زیر لایه سیلیکون متخلخل بصورت کم هزینه، ساخته شد. زیر لایه سیلیکون به روش فوتوالکتروشیمیایی متخلخل شده و نانو حفره های سیلیکون متخلخل بستر مناسبی برای نانو ذرات In_2O_3 رشد یافته ایجاد کردند و موجب افزایش سطح ویژه الکترود ابرخازن شدند.

مرجع‌ها

1. Zandi, M., et al., Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2011. 60(2): p. 433-443.
2. Simon, P. and Y. Gogotsi, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2010. 368(1923): p. 3457-3467.
3. Langford, J.I. and A.J.C.Wilson, Journal of Applied Crystallography, 1978.11(2): p.102-113.
4. Greason, W.D., Electrostatic discharge in electronics. Vol. 12. 1992: Wiley-Blackwell.