

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

برخازن های الکتروشیمیایی

مفاهیم بنیادی، آنالیز الکتروشیمیایی و پیشرفت های اخیر

دکتر علی احسانی

دانشیار شیمی فیزیک (الکتروشیمی) دانشگاه قم

محمد بیگدلو

دانشجوی دکتری شیمی کاربردی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	: احسانی، علی، ۱۳۵۵ - Ehsani, Ali
عنوان و نام پدیدآور	: ابرخازن‌های الکتروشیمیایی: مفاهیم بنیادی، آنالیز الکتروشیمیایی و پیشرفتهای اخیر / علی احسانی، محمد بیگدلو.
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۹. مشخصات ظاهری: ۲۸۰ ص.
شابک	: 978-600-843656-0
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: Ali ehsani, Mohammad Bigdeloo. Electrochemical supercapacitors fundamental, aspects, electrochemical analyses and recent progress
عنوان دیگر	: مفاهیم بنیادی، آنالیز الکتروشیمیایی و پیشرفتهای اخیر.
موضوع	: ابرخازن‌ها -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Supercapacitors -- Study and teaching (Higher)
موضوع	: نانوجندسازهایها -- کاربردهای صنعتی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Nanocomposites (Materials) -- Industrial applications -- Study and teaching (Higher)
شناسه افزوده	: بیگدلو، محمد، ۱۳۷۲ - دانشگاه قم. انتشارات
رده بندی کنگره	: TK۷۸۷۲. رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۲۴۲۴ شماره کتابشناسی ملی: ۶۱۹۹۶۰۴



انتشارات دانشگاه قم

عنوان: ابرخازن‌های الکتروشیمیایی: مفاهیم بنیادی، آنالیز الکتروشیمیایی و پیشرفتهای اخیر

مؤلف: علی احسانی، محمد بیگدلو

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

طراح جلد: احمد رضا حیدری / صفحه آرا: حسین معظمی

نوبت و سال چاپ: اول، تابستان ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۴۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۵۶-۰

آدرس الکترونیکی: Publication@Qom.ac.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۳۳۴۴۰۳۲۱-۲۵-۰۳۳۴۵-۳۲۱-۰۲۵

پیشگفتار مولفین

حمد باد خداوندی را که سخنوران در ثنایش فرومانند و شمارندگان از شمارش نعمت‌هایش عاجز آیند و کوشندگان هر چه کوشند، حق نعمتش را آنسان که شایسته اوست، اداکردن نتوانند. خداوندی که اندیشه‌های دورپرواز او را درک نکنند و زیرکان تیزهوش، به عمق جلال و جبروت او نرسند.

نهج البلاغه امیرمومنان(علیه السلام) - خطبه (۱)

انرژی‌های پاک و سیستم‌های ذخیره انرژی، زندگی بهتر برای نسل فردا

بشر همواره برای زندگی خود به انرژی نیازمند بوده است. از دوره‌ای که انسان اولیه از چوب برای گرم کردن خود استفاده می‌کرده است تا امروز، انرژی نقشی حیاتی در ادامه بقای انسان داشته است. البته با گذشت زمان، بر کاربرهای انرژی در زندگی بشر افزوده شده است و امروزه طیف گسترده‌ای از کاربردهای انرژی در زمینه‌های صنایع، حمل‌ونقل و تولید برق را شاهد هستیم.

امروزه نیاز به صرفه جویی در مصرف انرژی به دلیل کمبود منابع سوخت‌های فسیلی بیش از پیش احساس می‌گردد. از این رو لازم است از سیستم‌های بهینه ذخیره و تبدیل انرژی‌ای استفاده نمود که علاوه بر عدم اتکا به سوخت‌های فسیلی، تجدید پذیر و دوست دار محیط زیست باشند. ابرخازن‌ها که با نام خازن‌های الکتروشیمیایی نیز شناخته می‌شوند، به دلیل خواص بارز، نظیر چگالی توان بالا، چرخه‌ی عمر طولانی و ماندگاری بالا نوید بخش دستگاه‌های ذخیره انرژی با کارایی بالا هستند.

باتوجه به محدودیت منابع فارسی زبان در خصوص سیستم‌های ذخیره و تبدیل انرژی الکتروشیمیایی به روز نظیر ابرخازن‌ها، هدف ما در این کتاب، معرفی دقیق قسمت‌های تشکیل دهنده یک ابرخازن و بررسی آخرین پژوهش‌های انجام شده به ویژه کارهای انجام گرفته در گروه تحقیقاتی مولف در دانشگاه قم و دانشگاه‌های همکار در چند سال

اخیر می‌باشد. امید است با فراگرفتن اطلاعات مربوط به این سیستم‌ها و تقویت پژوهش‌های انجام شده، روز به روز شاهد پیشرفت کشور در این زمینه تحقیقاتی باشیم. این کتاب به عنوان منبع درسی برای دانشجویان کارشناسی شیمی و مهندسی شیمی، کارشناسی ارشد و دکتری شیمی تجزیه، شیمی فیزیک، شیمی کاربردی و کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی شیمی و مهندسی مکانیک (گرایش سیستم‌های انرژی) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

لازم به ذکر است این کتاب می‌تواند اشکالاتی داشته باشد که مزید امتنان و سپاس خواهد بود که خوانندگان و پژوهشگران محترم ما را مورد لطف قرار داده و نکات مورد نظر را در اختیار قرار دهند تا در ویرایش بعدی لحاظ گردد.

علی احسانی
a.ehsani@qom.ac.ir
ehsani46847@yahoo.com

فهرست مطالب

فصل اول: الکتروشیمی و انرژی	۱
۱-۱- تاریخچه الکتروشیمی	۲
۲-۱- ماهیت الکتروشیمی	۵
۳-۱- صنایع مرتبط با الکتروشیمی	۷
۱-۳-۱- باتری	۷
۲-۳-۱- پیل‌های سوختی	۱۱
۳-۳-۱- سلول‌های خورشیدی	۱۶
۴-۱- انرژی‌های پاک و توسعه پایدار	۱۸
۵-۱- ذخیره سازهای انرژی	۲۲
فصل دوم: ذخیره سازی انرژی در خازن‌ها	۲۹
۱-۲- خازن‌های معمولی و انواع آن	۳۰
۱-۱-۲- خازن الکترواستاتیکی	۳۱
۲-۱-۲- خازن الکتrolیتی	۳۲
۲-۲- خازن‌های الکتروشیمیایی (ابرخازن‌ها)	۳۴
۱-۲-۲- تاریخچه ابرخازن‌ها	۳۴
۲-۲-۲- مکانیسم (اصول) ذخیره انرژی در ابرخازن‌ها	۳۶
۳-۲-۲- دسته بندی ابرخازن‌ها	۳۷
۱-۳-۲-۲- خازن لایه دوگانه الکتروشیمیایی	۳۹
۲-۳-۲-۲- شبه خازن‌ها	۴۱
۳-۳-۲-۲- ابرخازن‌های هیبریدی	۴۳
۴-۲-۲- تقسیم بندی سیستم‌های ابرخازنی (برپایه مواد الکترودی)	۴۴
۱-۴-۲-۲- ابرخازن‌های متقارن	۴۵
۲-۴-۲-۲- ابرخازن‌های نامتقارن	۴۶
۳-۴-۲-۲- ابرخازن‌های هیبریدی	۴۷
۵-۲-۲- مقایسه مکانیسم عملکردی ابرخازن‌ها با باتری‌ها و پیل‌های سوختی	۵۰
۶-۲-۲- ساختار کلی ابرخازن‌ها	۵۲

۵۳.....	۷-۲-۲ قسمت‌های مختلف (ساختمان) ابرخازن‌ها
۵۳.....	۱-۷-۲-۲ الکترودها
۵۵.....	۱-۱-۷-۲-۲ الکترودهای مورد استفاده در خازن‌های لایه دوگانه الکتروشیمیایی
۶۴.....	۲-۱-۷-۲-۲ پیشرفت‌های اخیر الکترودهای خازن‌های لایه دوگانه الکتروشیمیایی
۷۴.....	۳-۱-۷-۲-۲ الکترودهای مورد استفاده در شبه خازن‌ها
۸۹.....	۲-۷-۲-۲ الکترولیت‌ها
۹۰.....	۱-۲-۷-۲-۲ الکترولیت آبی
۹۰.....	۲-۲-۷-۲-۲ الکترولیت آلی
۹۱.....	۳-۲-۷-۲-۲ پیشرفت‌های اخیر الکترولیت‌های ابرخازن‌ها
۹۶.....	۳-۷-۲-۲ جداساز
۹۶.....	۴-۷-۲-۲ جمع کننده و جا دهنده
۹۶.....	۸-۲-۲ ذخیره سازی بار در ابرخازن‌ها
	۹-۲-۲ بررسی ویژگی‌های مواد ابرخازنی (از طریق آنالیزها و آزمون‌های غیر از الکتروشیمیایی)
۱۰۱.....	
۱۰۳.....	۲-۹-۲-۲ طیف سنجی فوتو الکترونی پرتوایکس و طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز
۱۰۴.....	۳-۹-۲-۲ طیف سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای
۱۰۶.....	۱۰-۲-۲ بررسی ویژگی‌های الکتروشیمیایی ابرخازن‌ها
۱۰۷.....	۱-۱۰-۲-۲ ولتامتری چرخه‌ای
۱۰۹.....	۲-۱۰-۲-۲ آزمون شارژ-دشارژ گالوانواستاتیک
۱۱۱.....	۳-۱۰-۲-۲ طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی
۱۲۱.....	۴-۱۰-۲-۲ تکنیک تبدیل فوریه سریع
۱۲۴.....	۵-۱۰-۲-۲ تکنیک ادمیتانس الکتروشیمیایی
۱۲۶.....	۶-۱۰-۲-۲ چگالی انرژی و چگالی توان
۱۲۹.....	۱۱-۲-۲ کاربردهای ابرخازن‌ها
۱۳۰.....	۱-۱۱-۲-۲ وسایل الکترونیکی
۱۳۰.....	۲-۱۱-۲-۲ ابزارها
۱۳۰.....	۳-۱۱-۲-۲ حائل قدرت شبکه
۱۳۱.....	۴-۱۱-۲-۲ حائل قدرت تجهیزات
۱۳۱.....	۵-۱۱-۲-۲ تثبیت کننده ولتاژ
۱۳۲.....	۶-۱۱-۲-۲ برداشت کننده انرژی
۱۳۲.....	۷-۱۱-۲-۲ باتری‌های ترکیبی

۱۳۳	.....	۸-۱۱-۲-۲	چراغ‌های LED جهت روشنایی معابر
۱۳۳	.....	۹-۱۱-۲-۲	خودروها
۱۳۵	.....	۱۰-۱۱-۲-۲	ماشین‌های نظامی
۱۳۶	.....	۱۱-۱۱-۲-۲	صنعت راه آهن
۱۳۷	.....	۱۲-۱۱-۲-۲	بالابر هوایی

فصل سوم: ابرخازن‌های بر پایه نانوکامپوزیت سه‌گانه متشکل از پلیمر رسانا / گرافن /

۱۳۹ اکسید فلز در پژوهش‌های اخیر

۱۴۰	.....	۱-۳	مقدمه
۱۴۰	.....	۲-۳	روش‌های مختلف سنتز و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه
۱۴۰	.....	۱-۲-۳	روش‌های شیمیایی
۱۵۲	.....	۲-۲-۳	روش‌های الکتروشیمیایی
۱۵۸	.....	۳-۲-۳	روش‌های دو مرحله‌ای شیمیایی - الکتروشیمیایی
		۳-۳	تکنیک‌های الکتروشیمیایی جهت بررسی خصوصیات کامپوزیت‌های سه‌گانه در پژوهش‌های اخیر
۱۶۰	.....	۱-۳-۳	ولتامتری چرخه‌ای (CV)
۱۶۳	.....	۲-۳-۳	طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی
۱۶۸	.....	۳-۳-۳	اندازه‌گیری شارژ - دشارژ گالوانوستاتیک

فصل چهارم: پژوهش‌های انجام شده توسط گروه تحقیقاتی الکتروشیمی دانشگاه قم ... ۱۷۷

۱۷۸	.....	۱-۴	ابرخازن بر پایه کامپوزیت دوگانه پلیمر رسانا/گرافن
۱۷۸	.....	۱-۱-۴	مراحل سنتز
۱۸۰	.....	۲-۱-۴	نتایج الکتروشیمیایی
۱۸۴	.....	۲-۴	ابرخازن بر پایه پلیمر رسانا / مایعات یونی
۱۸۵	.....	۱-۲-۴	مراحل سنتز
۱۸۹	.....	۲-۲-۴	نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
۱۹۶	.....	۳-۴	ابرخازن بر پایه پلیمر رسانا/ چارچوب آلی فلزی (MOF)
۱۹۸	.....	۱-۳-۴	مراحل سنتز
۱۹۹	.....	۲-۳-۴	نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
۲۰۳	.....	۴-۴	ابرخازن‌های بر پایه پلیمر رسانا/اکسید فلز
۲۰۳	.....	۱-۴-۴	مراحل سنتز

۲۰۴	نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
۲۱۲	۵-۴ ابرخازن بر پایه پلیمر رسانا/ آمینو اسید
۲۱۳	۱-۵-۴ مراحل سنتز
۲۱۵	۲-۵-۴ نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
۲۲۱	۶-۴ ابرخازن‌های بر پایه پلیمر رسانا/ کو پلی‌ایمید
۲۲۱	۱-۶-۴ مراحل سنتز
۲۲۴	۲-۶-۴ نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
۲۳۰	۷-۴ ابرخازن بر پایه کامپوزیت دو گانه پلیمر رسانا/ پلیمرهای طبیعی
۲۳۰	۱-۷-۴ مراحل سنتز
۲۳۱	۲-۷-۴ نتایج تکنیک‌های بررسی سطح و آنالیزهای الکتروشیمیایی
	۸-۴ ابرخازن بر پایه نانو کامپوزیت سه گانه پلی‌آنیلین / اکسید گرافن اکسید کاهش یافته/ نانو ذرات طلا
۲۳۷	۱-۸-۴ سنتز نانو ساختار گرافن اکسید (GO)
۲۴۲	۲-۸-۴ سنتز الکترودهای پلیمری و کامپوزیتی
۲۴۲	۳-۸-۴ نتایج بدست آمده از بررسی‌های مورفولوژیک و تکنیک‌های الکتروشیمیایی
۲۴۳	۴-۸-۴ بررسی خصوصیات الکتروشیمیایی
۲۵۷	دورنمای ابرخازن‌ها
۲۵۹	منابع و مراجع

فصل اول

الکتروشیمی و انرژی