



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد گران

روش های الکترو تجزیه ای: راهنمایی برای انجام آزمایشات و کاربردها

تالیف: اف. شولز

ترجمه:

دکتر مهدی عبادی

دکتر معصومه مقیمی

دکتر مازیار احمدی گلسفیدی

۱۳۹۸

عنوان و نام پدیدآور	روش‌های الکتروآنالیزهای: راهنمایی برای انجام آزمایشات و کاربردها / [ویراستار] اف. شولز؛ ترجمه مهدی عبادی، معصومه مقیمی، مازیار احمدی گلسفیدی.
مشخصات نشر	گرگان: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۴۰۱ ص: مصور (بخشی رنگی)، نمودار.
شابک	978-964-10-5518-1
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: Electroanalytical methods: guide to experiments and applications, 2010.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	الکتروشیمی تجزیه
موضوع	Electrochemical analysis
شناسه افزوده	شولتز، فریتس، ۱۹۵۵ - م.، ویراستار
شناسه افزوده	Scholz, F. (Fritz)
شناسه افزوده	یادمان مهدی، ۱۳۵۶ - مترجم
شناسه افزوده	چیمی، معصومه، ۱۳۵۲ - مترجم
شناسه افزوده	احمدی گلسفیدی، مازیار، ۱۳۵۲ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
رده بندی کنگره	۱۱۰.۵۵ / ۱۷
رده بندی دیویی	۵۴۳/۴
شماره کتابشناسی ملی	۴۱۴۰۵۱۹

نام کتاب: روش‌های الکتروآنالیزهای: راهنمایی برای انجام آزمایشات و کاربردها

تالیف: اف. شولز

ترجمه: مهدی عبادی، معصومه مقیمی، مازیار احمدی گلسفیدی

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

سال نشر: ۱۳۹۸

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۳۰۰

تعداد صفحه: ۴۰۱

قیمت: ۴۷۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۵۵۱۸-۱

امور توزیع و فروش: گرگان، بلوار شهید کلاتری، خیابان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی

تلفن و نمابر: ۰۱۷-۳۲۳۳۲۲۹۲

کدپستی: ۴۹۱۴۷-۳۹۹۷۵

تکنیک‌های الکتروتجزیه‌ای اطلاعات منحصر به فردی را در مورد سیستم‌های شیمیایی، بیوشیمیایی و فیزیکی در اختیار قرار می‌دهد. لذا، اساس نظری و دستگاهی آن به نحوی ارائه گردیده است که غیرمتخصصان نیز به راحتی می‌توانند آن را بکارگیری کنند. با این حال هنوز هم این تکنیک‌ها برای افرادی که متخصص نبوده و در زمینه الکتروشیمی تجربه ندارند و آموزشی ندیده‌اند، جالب، قابل پذیرش نیست. نویسندگان این کتاب احساس کردند که اکنون زمان مناسبی است برای نوشتن کتابی که بطور واقعی بروی تکنیک‌ها و اطلاعات مهم تمرکز داشته و برای کاربرانی که از دانش الکتروشیمی برخوردار نیستند، مفید واقع شود. همه نویسندگان تجربه طولانی در امر تدریس دانش و سوء تفاهات نظری، تفسیرهای نادرست و مشکلات تجربی شایع را می‌شناسند. این کتاب به این منظور نوشته شده است که در آزمایشگاه مورد استناد قرار گیرد. "روش‌های الکتروتجزیه‌ای" آدرس مناسبی است برای شیمیدان‌ها و بیوشیمیست‌هایی که علاقه‌مند هستند از تکنیک‌های الکتروتجزیه‌ای با کاربرد بالایی در اسپکتروسکوپی و یا شاید هم محاسبات نظری استفاده نمایند. این کتاب آدرس مناسبی برای زیست‌شناسان، دانشمندان محیط زیست و مواد، فیزیکدان‌ها، پزشکان و مهمتر از همه دانشجویان در تمام شاخه‌های علوم که نیاز به استفاده از تکنیک‌های الکتروتجزیه‌ای دارند، می‌باشد. در بخش اول کتاب با عنوان "الکتروشیمی پایه"، ملزومات ترمودینامیک و ستیک الکتروشیمیایی ارائه شده است. در بخش دوم با عنوان "تکنیک‌های الکتروتجزیه‌ای"، اغلب تکنیک‌های متداول مورد استفاده در آنالیز پتانتری چرخه‌ای، ولتامتری پالسی و موج مربع، کروماتوگرافی و غیره آمده است. در بخش سوم، به اجزای تشکیل دهنده پیل الکتروشیمیایی یعنی الکترودها و الکترولیت‌ها پرداخته شده است. در سرتاسر کتاب، به راهنمایی کاربران برای انجام آزمایشات موفق آزمایشگاهی و ارزیابی اطلاعات حاصله توجه ویژه‌ای شده است. این کتاب تنها بر تکنیک‌های مدرن و گسترده متمرکز است. برای اینکه خواننده را با پیش زمینه تاریخی آشنا نماید، لیست کوتاهی از نشریات چاپ شده در زمینه الکتروشیمی و الکتروتجزیه در فصل (۱-۴) ارائه شده است. آن (لیست) مشتمل بر بسیاری از جزوات و مقالاتی که با دقت نوشته شده‌اند و از تکنیک‌های الکتروتجزیه‌ای بهره گرفته‌اند و

همچنین کتاب‌های "الکتروشیمی پایه" می‌باشد. برای درک و بینش عمیق‌تر در این موضوع به مقالات پایه که در فصل (۱-۴) آمده است، مراجعه کنید. شبکه جهانی وب نیز نقش بسزایی در اعتلاء پیوسته اطلاعات الکتروشیمی دارد. هرچند که تغییرات و بروزرسانی بعضی از این آدرس‌ها، دسترسی آسانتر و جستجوی موفق‌تری را موجب می‌شود. در ضمن در دومین ویرایش، رفتار الکتروشیمیایی نانوبالانس بلور کوارتز آورده شده است.

آلمان، گریفسوآلد، ۲۰۰۱

پیشگفتار مترجمان

همه ما مدیون خون شهدای این مرزو بوم هستیم لذا هر کسی به نوبه خود در صدد ادای این دین است، ما نیز برآن شدیم که از طریق ترجمه کتاب "روش‌های الکتروتجزیه‌ای: راهنمایی برای انجام آزمایشات و کاربردها" ادای احترامی به محققین و دانش پژوهان این سرزمین نمائیم، باشد که مورد استفاده بهینه قرار گیرد.

این کتاب تأکید ویژه‌ای بر روی روش‌های الکتروتجزیه‌ای، سنتیک، مکانیسم و همچنین سنتز الکتروشیمیایی می‌آورد. الکتروشیمی بحث بسیار گسترده‌ای است که می‌تواند بررسی باطری‌ها، پیل‌ها، سول‌ها، خوردگی، پتانسیل غشاها و الکتروتجزیه را پوشش دهد. هرچند در سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۶۰ روش‌های دیدگاهی نوینی که ارائه گردید، تأثیر خوبی بر روی تعلیم و آموزش الکتروشیمیست‌ها داشت، اما از سال ۱۹۷۰ روش‌های الکتروتجزیه‌ای جان دوباره‌ای به مباحث الکتروشیمیایی بخشید. بیشتر این علم نظری الکتروتجزیه با کارهایی که توسط هیروسکی و همکارانش انجام شد قوت گرفت. این روش‌های پلاروگرافی، ظهور الکترودهای ریز و دیسک چرخان و تکنیک‌هایی مثل ولتامتر، چرخه‌ها، توانست فهم سنتیک و فرآیند پیشرفت واکنش را بالا ببرد. این کتاب توسط جمعی از موسسان سابقه در امر آموزش و پژوهش نوشته شده است که می‌تواند درک افرادی را که با الکتروشیمی سروکار دارند را بالا ببرد. در این کتاب مجموعه‌ای از روش‌ها و تکنیک‌های جدید و کلاسیک، هم به صورت نظری و پایه و هم بصورت عملی ارائه گردیده است که خواننده را در جهت درک بهتر مباحث الکتروشیمیایی (بخصوص الکتروتجزیه) رهنمون می‌سازد. امید است که خواننده عزیز ما را از پیشنهاد و انتقادهای خود محروم نسازد. در اینجا لازم می‌دانیم از تمام کسانی که ما را در این کار یاری نمودند، تشکر نمائیم.

با تشکر

مهدی عبادی (دانشگاه آزاد اسلامی - واحد گرگان)

معصومه مقیمی (دانشگاه آزاد اسلامی - واحد گنبد کاووس)

مازیار احمدی گلسفیدی (دانشگاه آزاد اسلامی - واحد گرگان)

فهرست مطالب

۱	بخش اول: الکتروشمی پایه
۳	فصل ۱-۱: لایه دوگانه الکتریکی و ساختار آن
۳	۱-۱-۱ مقدمه
۶	۱-۱-۲ مدل‌های لایه دوگانه
۹	۱-۱-۳ ضخامت لایه دوگانه الکتریکی
۱۰	۱-۱-۴ پیشرفت‌های اخیر
۱۱	منابع
۱۳	فصل ۲-۱: ترمودینامیک الکترودهای الکتروشیمیایی
۱۳	۲-۱-۱ مقدمه
۱۴	۲-۱-۲ پتانسیل استاندارد
۲۴	۲-۱-۳ پتانسیل فرمال
۲۸	۲-۱-۴ بررسی پتانسیل‌ها و تکنیک‌های الکترود تجزیه‌ای
۲۸	۲-۱-۴-۱ پلاروگرافی جریان مستقیم (بکارگیری الکترود - جیوه)
۲۸	۲-۱-۴-۲ پتانسیل نیم موج $E_{1/2}$
۲۹	۲-۱-۴-۲-۱ تأثیر نفوذ (دیفوژن)
۲۹	۲-۱-۴-۲-۲ تأثیر ملغمه شدگی
۳۰	۲-۱-۴-۲-۳ تأثیر تعادلی محلول
۳۲	۲-۱-۴-۲-۴ تأثیر برگشت ناپذیری سیستم الکترودی
۳۳	۲-۱-۴-۲-۵ ولتامتری چرخه‌ای
۳۳	۲-۱-۴-۲-۶ پتانسیل‌های پیک
۳۵	۲-۱-۴-۲-۷ ولتامتری پالس دیفرانسیلی (DPV)
۳۵	۲-۱-۵ ترمودینامیک‌های انتقال یون بین دو فاز
۳۹	۲-۱-۶ اطلاعات ترمودینامیکی استحصال شده از پتانسیل‌های استاندارد و فرمال
۳۹	۲-۱-۶-۱ اطلاعات بدست آمده از پتانسیل‌های استاندارد
۴۰	۲-۱-۶-۲ اطلاعات حاصل شده از پتانسیل فرمال
۴۲	منابع

فصل ۳-۱	۴۳
۳-۱-۱ مقدمه	۴۳
۳-۱-۲ ارتباط بین دانسیته جریان و پتانسیل در حالت‌های پایدار	۴۴
۳-۱-۲-۱ تعادل	۴۷
۳-۱-۲-۲ کنترل سرعت با مراحل انتقال بار	۴۸
۳-۱-۲-۳ اثر انتقال جرم روی ستیک فرآیندهای الکترودی	۵۰
۳-۱-۲-۳-۱ انتشار	۵۰
۳-۱-۲-۳-۲ مهاجرت	۵۶
۳-۱-۲-۳-۳ همرفت	۵۷
۳-۱-۲-۴ برگشت پذیری شبه برگشت پذیری و برگشت ناپذیری	۶۰
۳-۱-۲-۵ اثر ساختار لایه و آنه روی سرعت واکنش انتقال بار	۶۶
۳-۱-۳ حالت‌های گذرای جریان - پتانسیل	۶۷
۳-۱-۳-۱ باردار شدن لایه دوگانه	۶۷
۳-۱-۳-۲ جریان فارادی	۶۹
منابع	۷۲

بخش دوم: تکنیک‌های الکترو تجزیه‌ای

فصل ۱-۲	۷۵
۱-۱-۲ مقدمه	۷۵
۱-۱-۲-۱ شکل ولتاموگرام‌های چرخه‌ای	۸۰
۱-۱-۲-۲ اصول مقدماتی	۸۵
۱-۲-۳ اثرات منتج شده از خازن و مقاومت	۹۷
۱-۲-۴ تأثیرات شکل هندسی، سایز الکتروود و اثر همرفت	۱۰۰
۱-۲-۵ تعیین حالت اکسیداسیون و احیا (ردوکسی) و تعداد الکترون‌های منتقل شده	۱۰۵
۱-۲-۵-۱ روش آزمون کرنوآمپرومتری	۱۰۵
۱-۲-۵-۲ روش‌هایی که بر ولتامتری چرخه‌ای بنا شده‌اند	۱۰۶
۱-۲-۵-۳ روش‌هایی که بر تکنیک‌های حالت یکنواخت پایدار بنا شده‌اند	۱۰۷
۱-۲-۶ ستیک ناهمگن	۱۰۹

۱۱۸	۷-۱-۲ ستیک‌های همگن.....
۱۲۰	۱-۷-۱-۲ فرآیند EC.....
۱۲۵	۲-۷-۱-۲ فرآیند EC'.....
۱۲۷	۳-۷-۱-۲ فرآیند CE.....
۱۳۰	۴-۷-۱-۲ فرآیند $\bar{E}CE$
۱۳۴	۵-۷-۱-۲ فرآیند $\bar{E}CE$
۱۳۵	۶-۷-۱-۲ طرح‌های مربع و طرح‌های واکنش‌های بسیار پیچیده.....
۱۳۶	۸-۱-۲ سیستم‌های حذفی.....
۱۴۱	منابع.....
۱۴۹	فصل ۲-۲ ولتاژمتری پالس.....
۱۴۹	۱-۲-۲ مقدمه.....
۱۵۳	۲-۲-۲ ولتاژمتری پله‌ای.....
۱۵۴	۱-۲-۲-۲ هم‌ارزی ولتاژمتری‌های پله‌ای و اسکرینینگ.....
۱۵۵	۳-۲-۲ ولتاژمتری پالس نرمال.....
۱۵۸	۱-۳-۲-۲ تأثیرات جذب سطحی.....
۱۶۰	۴-۲-۲ ولتاژمتری پالس معکوس.....
۱۶۳	۵-۲-۲ ولتاژمتری پالس دیفرانسیلی.....
۱۶۵	منابع.....
۱۶۷	فصل ۳-۲ ولتاژمتری موج-مربع.....
۱۶۷	۱-۳-۲ مقدمه.....
۱۶۹	۲-۳-۲ واکنش‌های ساده روی الکترودهای صفحه‌ای ساکن.....
۱۷۶	۳-۳-۲ واکنش‌های ساده در الکترودهای کروی ایستا و ریزالکترودها.....
۱۷۸	۴-۳-۲ واکنش‌های تشکیل ملغمه‌های فلزی روی الکترودهای فیلم نازک جیوه.....
۱۷۹	۵-۳-۲ واکنش‌های الکترودی که توسط جذب سطحی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات پیچیده شده‌اند.....
۱۸۷	۶-۳-۲ کاربردهای ولتاژمتری موج مربع.....
۱۹۰	پوست.....
۱۹۹	منابع.....

فصل ۲-۴ کرنوکولومتری.....	۲۰۵
۲-۴-۱ مقدمه.....	۲۰۵
۲-۴-۲ اساس ملاحظات نظری.....	۲۰۶
۲-۴-۳ مشکلات عملی.....	۲۱۰
۲-۴-۴ مراحل دوگانه کرنوکولومتری.....	۲۱۲
۲-۴-۵ اثر ستیک‌های ناهمگن روی پاسخ‌های کرنوکولومتری.....	۲۱۶
منابع.....	۲۲۰
فصل ۲-۵ طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی.....	۲۲۱
۲-۵-۱ مقدمه.....	۲۲۱
۲-۵-۲ تعاریف، روابط، تبدیلات کرامر-کرونیگ.....	۲۲۱
۲-۵-۳ تکنیک‌های اندازه‌گیری.....	۲۲۴
۲-۵-۴ نمایش داده‌های امپدانس.....	۲۲۸
۲-۵-۵ مدارهای معادل.....	۲۲۹
۲-۵-۶ عنصر فاز ثابت.....	۲۲۹
۲-۵-۷ حداقل مربعات رگرسیون غیرخطی پیچیده (CNRLS) برای آنالیز داده‌های امپدانس.....	۲۳۰
۲-۵-۸ برنامه‌های تجاری کامپیوتری برای مدل‌سازی داده‌های امپدانس.....	۲۳۱
۲-۵-۹ انتقال بار در الکتروود با استفاده از مدل رندلزن.....	۲۳۲
۲-۵-۱۰ انتشار نیمه کرونی نیمه نامتناهی برای فرآیندهای فارادی.....	۲۳۸
۲-۵-۱۱ انتشار ذرات در نواحی طولی محدود و امپدانس وربرگ.....	۲۳۸
۲-۵-۱۲ واکنش‌های شیمیایی همگن یا ناهمگن به عنوان مراحل شناسایی.....	۲۴۱
۲-۵-۱۳ الکتروودهای متخلخل.....	۲۴۱
۲-۵-۱۴ الکتروودهای نیمه رسانا.....	۲۴۲
۲-۵-۱۵ ستیک فرآیندهای الکتروودی غیرفارادی.....	۲۴۳
۲-۵-۱۶ منابعی در زمینه‌های مرتبط و کاربردی EIS.....	۲۴۶
منابع.....	۲۴۷
فصل ۲-۶ طیف الکتروشیمیایی UV/Vis/NIR.....	۲۴۹
۲-۶-۱ مقدمه- چرا تکنیک‌های جفت شده؟.....	۲۴۹

۲-۶-۲	سیستم‌های راکد در مقابل سیستم‌های جاری، دستیابی به حالات فضایی، حالات گذار، دقت در مکانیسم.....	۲۵۱
۱-۲-۶-۲	تکنیک‌های گذرا یا حالات یکنواخت پایا.....	۲۵۱
۲-۲-۶-۲	ملاحظات در طراحی آزمایشات و شکل مهندسی پیل‌ها.....	۲۵۳
۳-۲-۶-۲	ملاحظات مقیاس زمان.....	۲۵۴
۴-۲-۶-۲	تحلیل و تفکیک مکانیسم و حالت فضایی.....	۲۵۶
۳-۶-۲	تکنیک‌های طیف‌سنجی الکتروشیمیایی UV/Vis/NIR.....	۲۵۷
۱-۳-۶-۲	طیف جری الکتروشیمیایی در حالت انتقال.....	۲۵۷
۲-۳-۶-۲	طیف جری الکتروشیمیایی در حالت انعکاسی ^۴	۲۷۱
	منابع.....	۲۷۳
۷-۲	فصل ولتامتری جریان‌سازی.....	۲۷۷
۱-۷-۲	مقدمه.....	۲۷۷
۲-۷-۲	مروری بر روش‌های پیش تغلیظی.....	۲۷۸
۱-۲-۷-۲	رسوب فلزی روی الکترودهای جامد.....	۲۸۰
۲-۲-۷-۲	رسوب فلزی روی الکترودهای جیوه.....	۲۸۴
۱-۲-۲-۷-۲	شبه پلاروگرافی.....	۲۸۶
۳-۲-۷-۲	رسوب‌گذاری جزئی نمک‌های محلول بر روی الکترودها.....	۲۸۸
۴-۲-۷-۲	جذب پیش تغلیظی.....	۲۹۰
۵-۲-۷-۲	پیش تغلیظ توسط کمپلکس روی سطح.....	۲۹۷
۳-۷-۲	ولتامتری جریان‌سازی در محلول‌های الکتrolیتی دو مایع غیرامتزاج‌پذیر.....	۲۹۸
۴-۷-۲	ویژگی‌های عمومی ولتامتری جریان‌سازی.....	۲۹۸
	منابع.....	۳۰۲
۸-۲	فصل مطالعات الکتروشیمیایی مواد و ترکیبات جامد.....	۳۰۷
۱-۸-۲	مقدمه.....	۳۰۷
۲-۸-۲	آزمایش.....	۳۰۷
۱-۲-۸-۲	الکترودها و آماده‌سازی آنها.....	۳۰۷
۱-۱-۲-۸-۲	الکترودهای کربنی.....	۳۰۸

۳۱۰	 ۲-۱-۲-۸-۲ الکترودهای فلزی
۳۱۱	 ۳-۱-۲-۸-۲ الکترودهای دیگر
۳۱۱	 ۲-۲-۸-۲ آماده‌سازی نمونه
۳۱۲	 ۳-۲-۸-۲ چیدمان آزمایش
۳۱۳	 ۴-۲-۸-۲ استراتژی
۳۱۴	 ۵-۲-۸-۲ چه ترکیبات و موادی را می‌توان مورد مطالعه قرار داد؟
۳۱۴	 ۳-۸-۲ روش‌های الکتروشیمیایی
۳۱۴	 ۱-۳-۸-۲ رسم ویژگی‌های فازی و آنالیز کمی جامدات
۳۱۷	 ۲-۳-۸-۲ سمات رفتارهای الکتروشیمیایی مواد جامد
۳۲۰	 ۴-۸-۲ روش‌های تجزیه
۳۲۰	 ۴-۸-۲ روش‌های ماسه (خارج محل)
۳۲۱	 ۲-۴-۸-۲ روش‌های درون محل (توام)
۳۲۳	 منابع
۳۲۵	 فصل ۲-۹ پتانسیومتری
۳۲۵	 ۱-۹-۲ مقدمه
۳۲۶	 ۲-۹-۲ ولتاژ پیل
۳۲۷	 ۳-۹-۲ الکترودهای شناساگر و پتانسیل‌های آنها
۳۲۷	 ۱-۳-۹-۲ الکترودهای ردوکس
۳۳۲	 ۲-۳-۹-۲ الکترودهای فلزی یا الکترودهای نوع اول
۳۳۴	 ۳-۳-۹-۲ الکترودهای نوع دوم
۳۳۵	 ۴-۳-۹-۲ الکترودهای غشایی
۳۳۶	 ۱-۴-۳-۹-۲ غشای نیمه تراوا بدون پتانسیل انتشار داخلی
۳۳۸	 ۲-۴-۳-۹-۲ اختلاف پتانسیل در الکترودهای شیشه‌ای
۳۴۵	 ۳-۴-۳-۹-۲ سیستم‌های مرجع داخلی اتصال جامد
۳۴۵	 ۴-۹-۲ مزاحمت‌ها و حدود تشخیص در اندازه‌گیری‌های پتانسیومتری
۳۵۲	 منابع
۳۵۳	 فصل ۲-۱۰ میکروبالانس بلور کوارتز الکتروشیمیایی

۳۵۳	 ۱-۱۰-۲ مقدمه
۳۵۴	 ۲-۱۰-۲ تئوری و اساس عملکرد
۳۵۴	 ۱-۲-۱۰-۲ پیزوالکتریسته، بحث پیزوالکتریسته، مواد پیزوالکتریک و نوسانگرها
۳۵۵	 ۲-۲-۱۰-۲ نانوبالانس بلور کوارتز
۳۵۸	 ۳-۲-۱۰-۲ نانوبالانس بلور کوارتز الکتروشیمیایی (EQCN)
۳۶۱	 ۳-۱۰-۲ کاربردهای EQCN: مثال‌های انتخاب شده
۳۶۲	 ۱-۳-۱۰-۲ تحولات سیستم اکسیداسیون و احیاء $[Fe(CN)_6]^{3-}/[Fe(CN)_6]^{4-}$ بر روی طلا
۳۶۲	 ۲-۳-۱۰-۲ رسم در تانسیل ناکافی برای هیدروژن و اکسیژن بر روی سطح Pt و Rh و اثر لایه دوگانه الکتروشیمیایی
۳۶۴	 ۳-۳-۱۰-۲ الکترودهای نیم پلایه: ترآیندهای الکتروسوب و تبادل یونی
۳۶۷	 ۴-۳-۱۰-۲ ریزبلورها
۳۶۹	 ۵-۳-۱۰-۲ نوسانات الکتروشیمیایی
۳۷۰	 منابع
۳۷۳	 بخش ۳ الکترودها و الکترولیت‌ها
۳۷۵	 فصل ۱-۳ الکترودهای کار
۳۷۵	 ۱-۱-۳ مقدمه
۳۷۸	 ۲-۱-۳ جنس الکترودها
۳۸۶	 ۳-۱-۳ شکل هندسی الکترودها
۳۸۹	 ۴-۱-۳ شرایط هیدرودینامیکی
۳۹۵	 ۵-۱-۳ الکترودهای اصلاح شده شیمیایی
۳۹۸	 منابع