

دانشگاه کاشان

پژوهشکده علوم و فناوری نانو

پایان نامه

جهت اخذ درجه ی کارشناسی ارشد

در رشته نانو فیزیک

عنوان:

ساخت نانو سیم های ایریدیوم اکسید با روش انباشت الکترودی و به کار
گیری آن ها در ساخت حسگرهای الکتروشیمیایی

اساتید راهنما:

دکتر عبدالعلی رضانی

دکتر عبدالله سلیمی

استاد مشاور:

دکتر محمد الماسی کاشی

به وسیله:

عرفان مفاخری

اسفند ماه ۱۳۸۹

مهیمنا، خاکسار و امیدوار
بر آستان کبریای تو،
در آستانه سفری پر تب و تابیم .
لوح و قلم با توست ،
عنایتی تا در این هنگامه فرو نمائیم .
که هر تابدی و توفیقی از جانب توست .

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که وجودشان معنای
زندگیست.

قدر دانی و تشکر

خداوند را سپاس می گویم که به لطف و عنایت بی دریغش موفق به اتمام این دوره تحصیلاتی شده ام. بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار که در طول تحصیل مرا در کسب علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر عبدالله سلیمی و دکتر عبدالعلی رضائی که بزرگوارانه مسئولیت راهنمایی این تحقیق را پذیرفتند و با دقت و سعه صدر، با راهنمایی های ارزنده و نظارت همه جانبه خود، نگارنده را در تالیف این پژوهش یاری رساندند، قدردانی به عمل می آورم.

از مشاوره های ارزنده و تلاش های استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد الماسی کاشی نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقای دکتر رحمان هلاج بخاطر شکیبایی و دلگرمی های امید بخششان در انجام این کار بسیار سپاسگزارم.

این حقیر، موفقیت خود را در انجام این تحقیق مرهون راهنمایی های این بزرگواران می داند و هرگونه ضعف و کاستی در آن متوجه تهیه کننده است. در پایان، توفیق روزافزون این عزیزان را ایزد منان مسألت دارم.

همچنین از تشریک مساعی جناب آقای دکتر مصطفی زاهدی فر و جناب آقای دکتر سید احسان روزمه به عنوان اساتید داور که این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده اند تشکر و قدردانی می کنم.

از جناب آقای دکتر مسعود همدانیان به عنوان ناظر تحصیلات تکمیلی کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

و در نهایت از دانشگاه کردستان جهت همکاری در انجام این پایان نامه به صورت مشترک، سپاسگزارم.

چکیده:

امروزه انواع مختلف حسگرها توجه زیادی را به خود جلب کرده اند و از این میان حسگرهای زیستی و حسگرهای الکتروشیمیایی از اهمیت ویژه ای برخوردار اند و کاربردهای وسیعی یافته اند. در اکثر موارد تلاش بر این بوده است که مراحل اندازه گیری اندک، زمان آزمایش کوتاه، دقت روش بالا، گستره کاربرد آن وسیع و از یک سو مقادیر کمی از نمونه قابل اندازه گیری باشد.

روش ولتامتری چرخه ای یک روش انعطاف پذیر در ساخت انواع نانو ساختارها می باشد و دارای قابلیت های فراوانی می باشد. در این کار نانولوله های اکسید ایریدیم با روش ولتامتری چرخه ای با استفاده از یک سیستم سه الکترودی ساخته شد. ابتدا با استفاده از نمک پتاسیم هگزاکلرو ایریدات، طی یک فرآیند دو مرحله ای، محلول مناسب برای انباشت آماده شد و اسیدیته آن به ۱۰/۵ افزایش یافت. مرحله آماده کردن محلول مهمترین مرحله کار است و باید با دقت فراوان صورت گیرد. بنا بر مشکلات استفاده از قالب آلومینا در این کار، و حل شدن آن در اسیدیته های بالاتر از ۹ و پایین تر از ۴، از قالب پلی کربنات حفره دار شده رد یونی استفاده شد. سنتز این نانولوله ها با استفاده از روش ولتامتری چرخه ای برای اولین بار است که گزارش می شود.

منحنی ولتامتری چرخه ای نانولوله های به دست آمده، به وضوح وجود ترکیب اکسید ایریدیم را اثبات می کند. بررسی در محیط های با اسیدیته های از ۱ تا ۶ نشان داد که اسیدیته ۵ مناسب ترین محیط است و ثابت سرعت انتقال الکترون و ضریب انتقال بار محاسبه شد و مقادیر $\alpha = 0.39$ و $3/38$ بدست آمدند که نشان می دهد می توان از آنها به عنوان حد واسط انتقال الکترون استفاده کرد. از نانولوله های به دست آمده برای ساخت حسگرهای کروم و آرسنیک استفاده شد و غلظت های ۱ تا ۹ میکرومولار به محلول بافر با اسیدیته ۵ تزریق شد و منحنی های جریان-ولتاژ رسم گردید. بزرگی جریان کاتالیتیکی به صورت خطی با غلظت کروم و آرسنیک افزایش می یابد و حساسیت بدست آمده برای این الکتروود اصلاح شده، برای کروم $1 \text{ nA}\mu\text{M}^{-1}$ و پایین ترین حد آشکارسازی $0.3 \mu\text{M}$ است و برای آرسنیک حساسیت بدست آمده برای این الکتروود اصلاح شده، $3/0 \text{ nA}\mu\text{M}^{-1}$ و پایین ترین حد آشکارسازی $0.3 \mu\text{M}$ است.

کلمات کلیدی: نانولوله های اکسید ایریدیوم، ولتامتری چرخه ای، قالب حفره دار پلی کربنات،

سنسورهای الکتروشیمیایی، آرسنیک، کروم، قالب نانو حفره دار آلومینا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول
1	مروری بر روش های انباشت و حسگرهای الکتروشیمیایی
2	1-1-مقدمه
3	2-1- روش های بر پایه قالب
4	1-2-1-انباشت الکتروشیمیایی
11	3-1- نانولوله های کربن
12	4-1-نانولوله های فلزی
12	1-4-1- نانولوله های فلزی در قالب AAO دارای CNTs انباشت شده در آن
18	2-4-1- ساخت نانولوله های CdS
21	5-1- مقدمه های بر حسگرها و زیستحسگرهای الکتروشیمیایی و لزوم اصلاح آنها
21	1-5-1- حسگرها و زیست حسگرهای الکتروشیمیایی
24	2-5-1- لزوم اصلاح سطح الکتروود
25	3-5-1- استفاده از نانوسیمها در اصلاح سطح الکتروود
	فصل دوم
27	ساخت قالب های آلومینا و معرفی ولتامتری چرخه ای
28	1-2-مقدمه
28	2-2- ساخت حفره ها درون فیلم اکسید آلومینیوم

- 29 1-2-2- مراحل پیش از آندایز و الکتروپولیش
- 31 2-2-2- آندایز آلومینیوم
- 34 3-2-2- بررسی ویژگیهای حفره های تشکیل شده در اکسید آلومینا
- 37 4-2-2- حل کردن لایه اکسید و آندایز مرحله دوم
- 38 5-2-2- افزایش قطر حفره ها و نازک سازی لایه سدی
- 40 6-2-2- غشای پلی کربنات (PC)
- 41 3-2- تکنیکهای الکتروشیمیایی
- 41 1-3-2- معرفی الکتروشیمی
- 42 2-3-2- تئوری ولتامتری چرخهای (CV)
- 46 3-3-2- چند رابطه حاکم بر الکتروشیمی

فصل سوم

- ساخت نانولوله های اکسید ایریدیم با روش انباشت الکتروشیمیایی در قالب پلی کربنات بوسیله ولتامتری چرخه ای و کاربرد آن ها در ساخت حسگر های کروم و آرسنیک
- 51 1-3- مقدمه
- 52 2-3- معرفی نانولوله های اکسید ایریدیم
- 53 3-3- بخش تجربی
- 53 1-3-3- وسایل و تجهیزات
- 54 2-3-3- مواد و واکنشگرها
- 55 3-3-3- الکتروانباشت نانولوله های اکسید ایریدیم درون قالب پلی کربنات
- 57 4-3-3- سونش قالب پلی کربنات و آماده سازی آن برای عکسبرداری SEM
- 67 4-3- الکتروانباشت درون قالب آلومینا جهت به دست آوردن نانو ساختار های اکسید ایریدیم ...
- 72 5-3- مطالعات الکتروشیمیایی و ساخت حسگر

- 73 Cr^(III) کاربرد و اهمیت و کاربرد 6-3-6
- 74 اهمیت زیست شناختی 1-6-3
- 75 مطالعات الکتروشیمیایی سطح الکتروود نانولوله ای اکسید ایریدیم 7-3
- 75 بررسی اثرات تغییرات سرعت روبش و محاسبه پارامترهای سینتیکی انتقال الکترون در نانولوله های اکسید ایریدیم 1-7-3
- 77 استفاده می شود. 77
- 78 استفاده از اثر کاتالیزوری الکتروود نانولوله های اکسید ایریدیم در الکترواکسیداسیون یون کروم (III) 8-3
- 78 مقایسه رفتار الکتروشیمیایی الکتروود طلا و الکتروود قالب پلی کربنات دارای نانولوله های اکسید ایریدیم در حضور و عدم حضور کروم (Cr(III)) 1-8-3
- 80 بررسی اثر اسیدیته روی رفتار اکسیداسیون الکتروود در اکسایش Cr(III) 2-8-3
- 80 اثر غلظت Cr(III) در فرآیند اکسایش در سطح الکتروود اصلاح شده با 80IrOx/NTs 3-8-3
- 81 اندازه گیری غلظت های پایین تر کروم با روش ولتامتری پالس تفاضلی 4-8-3
- 82 اثر مزاحمت سایر کاتیون ها در اندازه گیری کروم: 5-8-3
- 83 استفاده از اثر کاتالیزوری الکتروود نانولوله های اکسید ایریدیم در الکترواکسیداسیون آرسنیک (III) 9-3
- 84 نتیجه گیری 10-3
- 86 فهرست مراجع

فهرست شکل ها و نمودار ها

صفحه

عنوان

فصل اول

شکل (1-1): نمایش (a) کاهش و (b) اکسایش نمونه A در محلول. اربیتال های مولکولی نشان داده شده نمونه A عبارتند از بالاترین تراز اشغال شده و پایین ترین تراز خالی6

شکل (2-1) شکل معمول انباشت الکتروشیمیایی نانوسیم ها درون قالب. (a) طرحواره ترتیب الکتروود ها برای انباشت (b) یک منحنی جریان-ولتاژ نوعی.....7

شکل (3-1) (a) عکس TEM، (b) الگوی پراش نانولوله های نیکل بعد از حذف کامل آلومینا، (c) نمای بالا و (d) نمای بغل میکروسکوپ الکترونی روبشی از آرایه نانولوله های نیکل بعد از حل جزئی قالب آلومینا.....8

شکل (4-1) فرایند چند مرحله ای مبنی بر قالب برای آماده سازی نانولوله های فلزی.....14

شکل (5-1): تصویر SEM از (A) نانولوله های کربن در AAO، (B) آرایه نانولوله های فلزی بعد از حل کردن AAO و هسته های اکسید نیکل، و (C) نمای بالا از نانولوله های فلزی.....15

شکل (6-1): تصویر TEM از نانولوله های فلزی آماده شده.....16

شکل (7-1): تصویر TEM از نانولوله های فلزی با ضخامت دیواره متفاوت (A) 5 nm، (B)nm 17

شکل (8-1): طیف UV جذب نانولوله ها با قطر: (a) 20، (b) 25، (c) 35، (d) 45nm و (e) قالب اولیه.....19

شکل (9-1): توضیح طرحواره آماده سازی نانولوله ها و نانو سیم های CdS : (a) دیواره های لوله با پوشش لایه های اتمی شکل می گیرد؛ (b) انباشتگی ذرات CdS در نانوحفره های قالب؛ (c) نانولوله های CdS با رشد به صورت انباشتگی شکل می گیرد؛ و (d) نانوسیم ها با پر شدن نانولوله ها تشکیل می شوند.....20

شکل (10-1): المان های سازنده یک زیست حسگر.....23

فصل دوم

شکل (1-2): منحنی جریان آندایز بر حسب زمان.....32

شکل (2-2): نمایی از ساختار شش گوشه تنگ پکیده اکسید آلومینا.....34

شکل (3-2): تصویر SEM از سطح آلومینای آندی بعد از چهار ساعت آندایز.....35

شکل (4-2): ساختار شش گوشه که در هر گوشه آن یک حفره قرار دارد.....36

شکل (5-2): تصویری از لایه سدی نمونه ای که در اسید فسفریک با ولتاژ 195 ولت آندایز شده است.....37

شکل (6-2): اعمال ولتاژ موج مثلثی به سطح الکتروود حین ولتامو گرام چرخه ای.....42

شکل (7-2): تصویر نوعی یک ولتاموگرام چرخه ای.....44

شکل (8-2): تصویر طرحواره از لایه دوگانه شامل (1) IHP ، (2) OHP ، (3) لایه پخشی، (4) یون های محلول، (5) یون های جذب شده بصورت اختصاصی و (6) مولکول های حل شده است.....46

فصل سوم

شکل (1-3): سلول سه الکترودی شیمیایی متصل به μ -Autolab جهت انجام الکتروانیاخت و آزمایشات الکتروشیمیایی.....54

شکل a(2-3): منحنی رشد نانولوله ها در طول چرخه های پتانسیل متوالی با سرعت 100 mv/s در محلول پتاسیم هگزاکلروایریدات در $pH=10/5$ 56

شکل b(2-3): تصویر مقطعی بزرگ شده منحنی رشد از پتانسیل صفر تا 0/7 57

شکل (3-3): ولتاژ چرخه ای نانولوله های اکسید ایریدیم در قالب پلی کربنات در بافر فسفات با $pH=2$ و سرعت روبش 20 mv/s 57

شکل (4-3): تصویر SEM قالب پلی کربنات قبل از انباشت 60

شکل (5-3): (a) تصویر SEM از سطح قالب پلی کربنات بعد از الکتروانباشت (b) تصویر با بزرگنمایی بیشتر که نانولوله ها را نشان می دهد 61

شکل (6-3): تصویر SEM نانولوله های اکسید ایریدیم بعد از حل کردن قالب پلی کربنات در دی کلرو متان 63

شکل (7-3): تصاویر SEM از نانولوله ها (a) شکستگی لوله ها (b) لوله های منقطع با طول حدود 3 میکرو متر 64

شکل (8-3): تصویر SEM نانولوله های اکسید ایریدیم به هم چسپیده در محیط ژله ای، در اثر حل شدن قالب در دی کلرو متان 65

شکل (9-3): تصویر SEM از سطح قالب پر شده و مسدود شدن دهانه حفره ها 66

شکل (10-3): تصویر SEM از سطح قالب آلومینای انباشت شده با روش DC، ولتاژ 5 ولت به مدت 3 دقیقه در محلول پتاسیم هگزا کلرو ایریدات 68

شکل (11-3): (a) تصویر SEM سطح قالب آلومینای انباشت شده در محلول پتاسیم هگزا کلرو ایریدات، (b) تصویر سطح قالب با بزرگنمایی کمتر، ولتاژ 15-15، انباشت AC با فرکانس 100 هرتز، زمان انباشت 3 دقیقه 69

شکل (3-12): تصاویر SEM از سطح حفره های آلومینای پر شده در محلول پتاسیم هگزا کلرو ایریدات. ولتاژ 13-13، انباشت AC با فرکانس 100 هرتز، زمان انباشت 3 دقیقه.....71

شکل (3-13): منحنی پوربایکس کروم در آب خالص.....73

شکل (3-14): ولتاموگرام های چرخه ای سطح از سرعت روبش 10 تا 100 میلی ولت بر ثانیه در بافر pH=5، در نمودار حاشیه تغییرات جریان پیک ها بر حسب سرعت روبش رسم شده است.....76

شکل (3-15): تغییرات پتانسیل پیک ها نسبت به لگاریتم سرعت روبش در سرعت های 10 تا 5000 میلی ولت بر ثانیه در بافر با اسیدیته 5.....78

شکل (3-16): ولتاموگرام های چرخه ای الکتروود نانو لوله های اکسید ایریدیم در بافر فسفات 0/1 مولار با pH=5 و با سرعت روبش 20 میلی ولت بر ثانیه، (c) در عدم حضور کروم (d) در محلول حاوی کروم 100 میکرو مولار، و (a) و (b) نیز به همان صورت برای الکتروود اصلاح نشده است.....79

شکل (3-17): ولتاموگرام های چرخه ای در حضور غلظت های متفاوتی از کروم (10 تا 80 میکرومولار)، سرعت روبش 20mv/s و pH=5. نمودار حاشیه تغییرات جریان کاتالیزی نسبت به غلظت کروم در سرعت روبش 20mv/s و pH=5.....81

شکل (3-18): منحنی ولتامتری پالس تفاضلی در غلظت های کروم 1 تا 9 میکرومولار. نمودار خطی در حاشیه، تغییرات قله جریان نسبت به غلظت کروم را نشان می دهد.....82

شکل (3-19): اثر مزاحمت کاتیون های مختلف با روش ولتامتری پالس تفاضلی.....83

شکل (3-20): ولتامتری پالس تفاضلی از تزریق آرسنیک (1-8 میکرو مولار) در بافر فسفات 0/1 مولار، نمودار حاشیه تغییرات جریان قله ها نسبت به غلظت آرسنیک است.....84

فهرست جدول ها:

جدول (1-1): خلاصه ای از نانو ساختار های اکسید فلزی سنتز شده با استفاده از روش های مختلف.....10

فصل اول

مروری بر روش های انباشت و حسگرهای الکتروشیمیایی

۱-۱- مقدمه

سنتز، مطالعه خصوصیات و کاربرد نانوسیم ها، نانومیله ها، نانولوله ها، و نانوتسمه ها (در کل به عنوان نانوساختار های یک بعدی شناخته می شوند) جنبه های قابل توجهی از مطالعات امروز در مورد نانوساختار ها را به خود اختصاص داده اند. بسیاری از تکنیک ها و روش ها بخاطر افزایش درک بنیادی از این نانوساختار ها توسعه یافته اند [۱-۵]، برای رشد بسیاری از نانوسیم ها و نانومیله های اکسیدی، رشد میعان-بخار^۱ بکار برده شد. رشد بخار-مایع-جامد^۲ یک روش قدیمی

1 . Evaporation-condensation

2 . Vapor-Liquid-Solid

برای ساختن نانوسیم های نیمه رسانا است [۶]. اگر چه روش مبنی بر قالب برای ساخت نانوسیم ها یا نانومیله ها یک روش قدیمی تر است، اما مطالعات زیادی در این راستا انجام می شود [۷].

بجز روش قالب و روش بخار-مایع-جامد، بیشتر روش ها نانوسیم هایی با جهت گیری تصادفی و بیشتر در شکل پودر تولید می کنند. همانطور که از اسم آن می توان فهمید، رشد بخار-مایع-جامد یک روش انباشت بخار است که به کمک یک کاتالیست انجام می شود [۸، ۹]. این روش امکان رشد نانوسیم های منظم را که مستقیماً به بستر متصل هستند فراهم می کند و این یک مزیت برای کاربرد ها و مطالعات بعدی است اگر چه کاتالیست های مخصوصی برای رشد نانوسیم ها به عنوان کپسول های مایع لازم می باشند. میزان حضور کاتالیست با نانوسیم و جدا کردن کاتالیست از روی نانوسیم ها یا نانومیله ها، دو مشکل برای این کار به حساب می آیند [۱۰].

رشد درون قالب در کل بر پایه محلول، یا پراکندگی کلوئیدی است. این روش ارزان تر است و می توان آن را از لحاظ تولید جرم نهایی مقیاس بندی کرد. قطر، چگالی و طول نانوساختار ها را می توان مستقیماً کنترل کرد. اما نانوسیم ها یا نانومیله های تولید شده در این روش بصورت طبیعی بس بلور^۱ هستند، همچنین یافتن قالب مناسب با قطر حفره ها، طول و شیمی سطح مورد نیاز مشکل است و حل کردن قالب بدون اینکه تجمع نانوسیم ها به هم بریزد نیز از مشکلات این روش است.

۱-۲- روش های بر پایه قالب

این روش برای سنتز بسیاری نانوساختار ها مورد استفاده قرار گرفته است و مطالعات زیادی روی آن انجام شده است. یکی از عمومی ترین قالب ها که به صورت تجاری نیز موجود است، غشای آلومینای آندایز شده^۲ است [۱۱] و دیگری قالب های رد یونی پلی کربنات است [۱۲]. قالب های دیگری نیز استفاده می شوند مانند نانو کانال های شیشه ای [۱۳]، میکای تابش رد یونی [۱۴]، مواد مزوپروز^۳ [۱۵]، سیلیکون حفره دار شده توسط سونش شیمیایی

1 . Poly Crystal

2 .Anodic Alumina Membrane

3 . Mesoporous

[۱۶]، زئولیت‌ها [۱۷] و نانولوله‌های کربن [۱۸، ۱۹]. نانوحفره‌های آلومینای معمول مورد استفاده با حفره‌های موازی و یکنواخت، با انداز صافه آلومینیم در محلول‌هایی از اسید سولفوریک، اکسالیک، و فسفریک ساخته می‌شود [۲۰، ۱۱]. حفره‌ها در یک آرایه شش‌گوشی می‌توانند مرتب شوند و چگالی ($\text{cm}^2/\text{حفره}$) 10^{11} بدست می‌آید [۲۱] و حفره‌ها از 10 nm تا $100 \mu\text{m}$ متغیر است [۲۲، ۲۱].

غشاهای پلی‌کربنات با بمباران یک صفحه بدون حفره پلی‌کربنات ساخته می‌شود که این صفحه بطور موضعی از $6 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$ ضخامت دارد، سپس رد‌های ناشی از این تخریب را به صورت شیمیایی سونش می‌کنند تا به حفره‌ها تبدیل شود [۱۲]. در این غشاهای حاصل از سونش رد تابش یونی، حفره‌ها دارای اندازه یکنواخت و در حدود 10 nm هستند ولی بصورت تصادفی جهت‌گیری کرده‌اند. چگالی حفره‌ها می‌تواند به اندازه ($\text{cm}^2/\text{حفره}$) 10^9 باشد. قالب‌ها باید با شرایط مراحل کار سازگار باشند. برای مثال، اولاً یک عایق الکتریکی برای یک قالب در انباشت الکتروشیمیایی مورد نیاز است و باید قالب در طول این فرآیند به صورت خنثی عمل کند. ثانیاً، محلول انباشت باید دیواره داخلی حفره‌ها را خیس کند. ثالثاً، برای انباشت نانو سیم‌ها و نانولوله‌ها، انباشت باید از ته حفره‌ها یا از یک انتهای کانال‌ها شروع شود، هرچند برای نانولوله‌ها این رشد باید از دیواره‌ها شروع شود.

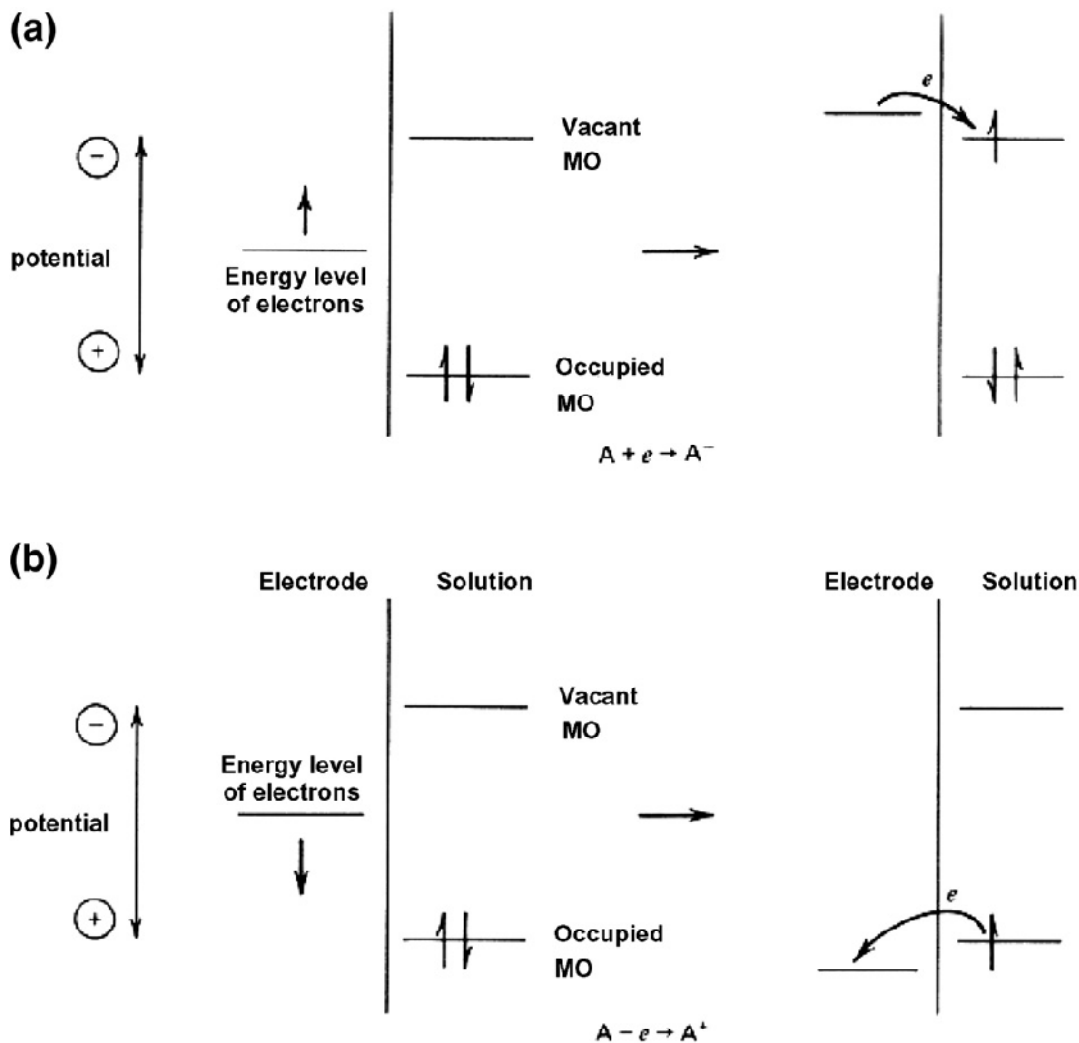
۱-۲-۱- انباشت الکتروشیمیایی

انباشت الکتروشیمیایی، به عنوان الکتروانباشت شناخته می‌شود و عبارتست از پخش جهت دار نمونه‌های واکنشی درون یک محلول هنگامی که یک میدان الکتریکی اعمال شود و نمونه‌های باردار در سطح رشد یا سطح انباشت که به آن الکتروود نیز گفته می‌شود، احیا شوند. در کل این روش تنها برای مواد رسانا مانند فلزات، آلیاژها، نیمه رساناها، و پلیمرهای رسانا و اکسیدها کاربرد دارد. بعد از انباشت اولیه، الکتروود توسط لایه انباشت شده از محلول انباشت جدا می‌شود

و جریان الکتریکی باید از این لایه عبور کند تا انباشت ادامه یابد. هنگامی که مواد انباشت درون حفره های غشا محبوس شود، نانوکامپوزیت تولید می گردد [۱۰].

هنگامی که پتانسیل الکترود از سطح انرژی اربیتال های مولکولی خالی در محلول الکترولیت منفی تر (بزرگتر) است، الکترون ها از الکترود به داخل محلول منتقل خواهد شد و این با کاهش (احیای) محلول الکترولیت خواهد بود که در شکل a (۱-۱) نشان داده شده است [۲۳].

اگر پتانسیل الکترود مثبت تر (کمتر) از سطح انرژی اربیتال های مولکولی اشغال شده باشد، الکترون ها از محلول الکترولیت به الکترود انتقال خواهند یافت، که باعث اکسایش الکترولیت خواهد شد که در شکل b (۱-۱) دیده می شود [۲۳]. هنگامی که حالت تعادل به دست آید واکنش ها متوقف می شوند.

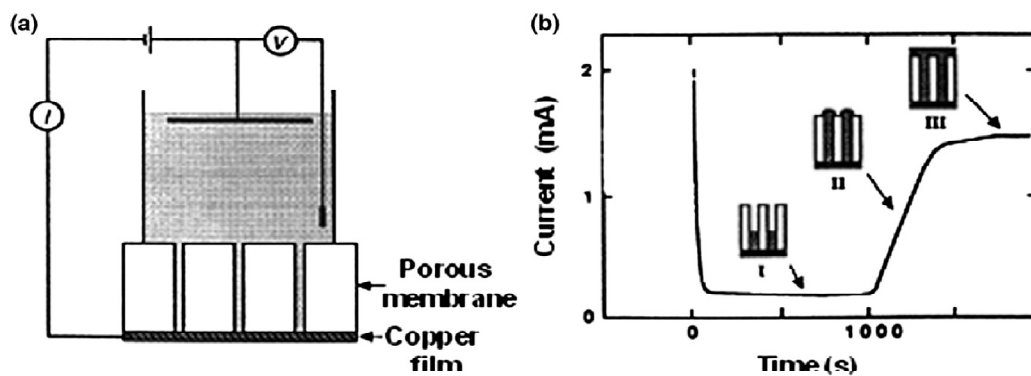


شکل (۱-۱): نمایش (a) کاهش و (b) اکسایش نمونه A در محلول. اربیتال های مولکولی نشان داده شده نمونه A عبارتند از بالاترین تراز اشغال شده و پایین ترین تراز خالی [۲۳].

هنگامی که یک میدان الکتریکی خارجی بین دو الکترود غیر همسان اعمال می شود، نمونه های باردار از یک الکترود به دیگری جاری می شوند و فرآیند های الکتروشیمیایی در هر دو الکترود اتفاق می افتد که این فرآیند الکترولیز نامیده می شود و انرژی الکتریکی را به پتانسیل شیمیایی تبدیل می کند. سیستم استفاده شده برای فرآیند الکترولیز، سلول الکتروشیمیایی نامیده می شود. در یک چنین سیستمی الکترود وصل شده به قطب مثبت منبع تغذیه، آند است، به گونه ای که در

آن فرآیند اکسیداسیون اتفاق می افتد، از طرف دیگر الکتروود متصل شده به قطب منفی منبع تغذیه کاتد است که در طول انباشت، فرآیند کاهش یا احیاء اتفاق می افتد.

رشد نانوسیم های مواد رسانا در یک میدان الکتریکی یک فرآیند خود پخشی^۱ است [۲۴]. ابتدا میله های کوچک شکل می گیرند، میدان الکتریکی و چگالی خط های جریان بین نوک نانوسیم ها و الکتروود مقابل، بزرگتر از همان بین دو الکتروود است و این به خاطر فاصله کوتاهتر است. برای کنترل بهتر اندازه و شکل، قالب های با کانال های دلخواه استفاده می شود تا رشد نانوسیم ها را هدایت کند. شکل (۲-۲) سیستم معمول برای رشد نانوسیم ها بر پایه قالب را نشان میدهد [۲۵]. هنگامی که یک میدان الکتریکی اعمال می شود، کاتیون ها درون کانال ها پخش می شوند و روی کاتد نشست می کنند که نتیجه آن رشد نانوسیم ها درون قالب است. این شکل همچنین به صورت طرحواره یک چگالی جریان را در مراحل مختلف انباشت، هنگامی که میدان الکتریکی ثابت اعمال شود را نشان می دهد. جریان تغییر زیادی نمی کند تا زمانی که حفره ها کاملاً پر شوند، در چنین نقطه ای جریان به سرعت افزایش می یابد که به خاطر افزایش تماس با محلول الکتروولیت است. هنگامی که سطح قالب کاملاً پوشیده شود جریان اشباع می شود [۱۰].



شکل (۲-۱) شکل معمول انباشت الکتروشیمیایی نانوسیم ها درون قالب. (a) طرحواره ترتیب الکتروود ها برای انباشت (b) یک منحنی جریان-ولتاژ نوعی [۲۵].

با استفاده از روش الکترو انباشت لوله های کوچک فلزی تو خالی را نیز می توان سنتز کرد [۲۶، ۲۷]. در این مورد دیواره حفره های قالب به صورت شیمیایی با مولکول های آلی سیلان

1. Self propogating