بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش:حالت جامد

عنوان:

ساخت و بررسی خواص ضد باکتری لایه های نازک اکسید تنگستن

استاد راهنما:

دکتر روح الله عظیمی راد

استاد مشاور:

دکتر امید اخوان

پژوهشگر:

زهره قاسمی

تابستان ۱۳۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERCITY

Central Tehran Branch

Faculty of Sience – Department of Physics

“M.Sc”Thesis

On: Solid State

Subject:

Fabrication And Investigation Of Antibacterial Properties Of Tungsten Oxide Thin Films

Advisor:

Dr. Rouhollah Azimirad

Consulting – Advisor:

Dr. Omid Akhavan

By:

Zohre Ghasemi

summer 2011

تشکر و قدردانی:

خداوند بزرگ را شاکرم که به من فرصت تجربه کردن سفر زندگی را عطا نمود و همواره مرا در مسیر درست قرار داد.

بدین وسیله تشکر و قدردانی خود را از :

- استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر روح الله عظیمی راد که بزرگترین حامی من در مسیر اتمام این پروژه بوده‌اند و در به ثمر رساندن آن از هیچ مساعدتی دریغ نورزیدند. همچنین جناب آقای دکتر امید اخوان که در این پروژه مرا همراهی کردند.
- خانواده و دوستان عزیزم

اعلام می‌دارم.

تقدیم به:

فرشتگان بدون بال زندگی‌ام...

پدر و مادر مهربانم که دعای خیرشان پشتوانه ام در زندگی است.

عنوان صفحه

فصل اول: خواص فوتوکاتالیستی اکسید های فلزی.....۱

مقدمه ۲

۱-۱ کاربردهای فوتو کاتالیست ها ۳

۱-۱-۱ کنترل بیماری های عفونی ۳

۱-۱-۲ روکش های ضد باکتری وسایل نقلیه ۴

۱-۱-۳ در صنعت نساجی ۵

۱-۲ مقدمه ای بر فوتوکاتالیستی ۷

۱-۳ مفهوم فوتوکاتالیست و نحوه عملکرد آن ۹

۱-۴ اهمیت استفاده از فوتوکاتالیست ها ۱۱

۱-۵ مکانیزم واکنش های فوتوکاتالیستی ۱۳

۱-۶ انواع واکنش های فوتو کاتالیستی ۱۸

۱-۶-۱ واکنش های حساس شده نوری ۱۸

۱-۶-۲ کاتالیست شده نور ۱۸

۱-۷ کاربرد های فوتوکاتالیست ها ۱۸

۱-۸ عوامل موثر بر سرعت فوتوکاتالیست ها ۲۴

۱-۹ فوتوکاتالیست های نیمه هادی ۲۶

۱-۹-۱ دی اکسید تیتانیم ۲۸

۱-۹-۱-۱ مکانیزم واکنش‌های فتوکاتالیستی در TiO_2 ..... ۳۰

۱-۹-۱-۲ بهره گیری از لایه ها و نانو الیاف تیتانیا برای کاهش خطر عفونت زخم ۳۲

۱-۹-۱-۳ خاصیت فوتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم ۳۳

۱-۹-۲ اکسید قلع ۳۵

۱-۹-۳ اکسید روی ۳۶

۱-۹-۴ اکسید تنگستن ۳۷

۱-۱۰ ضد باکتری ۴۹

۱-۱۰-۱ دسته بندی باکتری ها ٤٩

۱-۱۰-۲ عوامل موثر بر رشد باکتری ها ٤٠

۱-۱۰-۳ عوامل ضد میکروبی ٤٠

۱-۱۰-۴ مواد ضد باکتری ۴۲

فصل دوم: خواص شیمیایی و فیزیکی لایه های نازک اکسید تنگستن ۴۸

مقدمه ۴۹

۲-۱ روش های ساخت لایه های نازک ۵۰

۲-۱-۱ روش تبخیر حرارتی ۵۰

۲-۱-۱-۱ روش تبخیر حرارتی با باریکه الکترونی ۵۱

۲-۱-۲ کند و پاش ۵۳

۲-۱-۳ رسوب بخار شیمیایی(CVD) ۵۴

۲-۱-۴ سل – ژل ۵۶

۲-۱-۵ آبکاری ۵۷

۲-۲ معرفی ساختارهای کریستالی اکسید تنگستن ۵۸

۲-۳ تحولات ساختاری لایه های نازک اکسید تنگستن با دما و میزان اکسیژن ۶۱

۲-۳-۱ لایه نازک $W_{25}O_{75}$ ۶۳

۲-۳-۲ لایه های نازک $W_{54}O_{46}$ و $W_{30}O_{70}$ ۶۴

۲-۳-۳ لایه های نازک W_{100} و$W_{90}O_{10}$ ۶۸

۲-۴ بررسی خواص اپتیکی لا یه های نازک اکسید تنگستن ۷۳

۲-۴-۱ معرفی الکتروکرومیک ۷۴

۲-۴-۱-۱ مواد الکتروکرومیک ۷۴

۲-۴-۱-۲ اجزای تشکیل دهنده یک پوشش الکتروکرومیک ۷۸

۲-۴-۲ معرفی گاز کرومیک ۷۹

۲-۴-۲-۱ لایه های گاز کرومیک ۸۰

۲-۴-۲-۲ موادی که خاصیت گاز کرومیک دارند ۸۰

۲-۴-۳ درک بنیادی از پدیده های کروموژنیک در اکسید تنگستن ۸۱

۲-۴-۴ مکانیزم رنگی شدن لایه های نازک اکسید تنگستن ۸۲

۲-۴- ۵ طیف عبور ۸۷

۲-۵ خواص فوتو کاتالیستی لایه های نازک اکسید تنگستن ۹۰

فصل سوم: ساخت لایه های نازک اکسید تنگستن ۹۵

مقدمه ۹۶

۳-۱ روش ساخت نمونه ها ۹۶

۳-۲ آنالیز های مورد استفاده در این پژوهش ۹۸

۳-۲-۱ طیف سنجی ۹۸

۳-۲-۱-۱ اجزاء اسپکتروفوتومتر ۱۰۰

۳-۲-۱-۲ عملکرد دستگاه ۱۰۳

۳-۲-۱- ۳ انواع مختلف دستگاه طیف سنج ۱۰۴

۳-۲-۲ میکروسکوپ نیروی اتمی ۱۰۵

۳-۲-۲-۱ روش کار ۱۰۷

۳-۲-۲-۲ مزایا ۱۰۹
۳-۲-۲-۳ کاربردها ۱۱۰
۳-۵-۳ پراش اشعه ایکس ۱۱۱
۳-۵-۳-۱ سازوکار پراش پرتو ایکس ۱۱۳
۳-۲-۳-۲ کاربردها ۱۱۶
۳-۲-۴ طیف‌نگاری فتوالکترون اشعه ایکس ۱۱۷
۳-۲-۴-۱ شرح مختصر روش کار (روش فیزیکی) ۱۲۱
۳-۵-۴-۲ کاربرد ها ۱۲۰
۳-۲- ۵ اندازه گیری زاویه تماسی قطره با سطح ۱۲۱
۳-۲- ۵-۱ زوایای تماس ۱۲۲
۳-۲- ۵-۲ تئوری مسئله ۱۲۳
۳-۲- ۵-۳ روش های اندازه گیری ۱۲۴
۳-۲- ۵-۴ اجزای دستگاه اندازه گیر زاویه تماس ساکن ۱۲۶
۳-۲- ۵-۴ کاربردها ۱۲۷
فصل چهارم: نتایج اندازه گیری خواص لایه ها ۱۲۹
مقدمه ۱۳۰

۴-۱ طیف سنجی و بررسی خواص نوری نمونه ها ۱۳۰
۴-۱-۱ مشخصات دستگاه اندازه گیری ۱۳۱
۴-۱-۲ نتایج و تحلیل ۱۳۲
۴-۱-۲-۱ بررسی طیف های عبور و بازتاب ۱۳۲
۴-۱-۲-۲ محاسبه گاف انرژی لایه ها ۱۳۷
۴-۱-۲-۳ ثابت های نور ی n و k ۱۴۵
۴- ۲ آنالیز AFM و تحلیل آماری داده ها ۱۴۹
۴-۲-۱ مشخصات دستگاه اندازه گیری ۱۴۹
۴-۲-۲ مفاهیم اساسی ۱۵۱
۴-۲-۳ تاثیر مدت زمان پخت در محیط هیدروژن بر روی سطح ۱۵۳
۴-۳ آنالیز XRD ۱۵۹
۴-۳-۱ مشخصات دستگاه اندازه گیری ۱۵۹
۴-۳-۲ نتایج و تحلیل ۱۶۰
۴-۴ بررسی خاصیت آبدوستی نمونه ها ۱۶۶
۴-۴-۱ مشخصات دستگاه اندازه گیری ۱۶۶
۴-۴-۲ نتایج و تحلیل ۱۶۹

۴-۵ آنالیز XPS ۱۷۳

۴-۵-۱ مشخصات دستگاه اندازه گیری ۱۷۳

۴-۵-۲ نتایج و تحلیل ۱۷۴

۴-۶ بررسی رسانش الکتریکی لایه ها ۱۸۳

۴-۶-۱ نتایج و تحلیل ۱۸۴

فصل پنجم: نتایج خواص ضد باکتریایی نمونه ها (تحلیل نتایج) ۱۸۹

مقدمه ۱۹۰

۵-۱ بررسی خاصیت فوتوکاتالیستی نمونه ها ۱۹۱

۵-۱-۱ مراحل انجام آزمایش ۱۹۲

۵-۱-۲ نتایج و تحلیل ۱۹۲

۵-۲ جمع بندی نتایج و بحث ۱۹۴

۵-۳ تحلیل کلی نتایج ۲۰۲

فهرست منابع و مآخذ ۲۰۴

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

جدول۱-۱: نیمه هادی ها ، گاف نواری و طول موج مربوطه ۱۵

جدول۲-۱: تاثیر سرعت جریان اکسیژن بر فشار کل، پتانسیل کل، شرایط شیمیایی و سرعت لایه نشانی پوشش های اکسید تنگستن ۶۲

جدول۲-۲: عناصری که اکسید آنها الکتروکرومیک های شناخته شده ای هستند ۷۵

جدول۲-۳: خلاصه ای از خصوصیات اصلی اکسید های الکتروکرومیک ۷۷

جدول۲-۴: طیف های عبور اکسید تنگستن در سه حالت اکسیداسیونی در حین پخت در خلا ۹۰

جدول۴-۱: مقادیر انرژی گاف برای نمونه های مختلف پخت شده در محیط هیدروژن در مدت زمان های مختلف ۱۴۴

جدول۴-۲: مشخصات ابعاد دانه ها و زبری سطح لایه های نازک اکسید تنگستن پخت شده ۱۵۷

جدول۴-۳: نسبت مساحت سطحی و زوایای تماسی آب با سطح برای لایه های نازک پخت شده در محیط هیدروژن در مدت زمان های مختلف ۱۷۱

جدول۴-۴: تغییرات رسانندگی الکتریکیσ برای لایه های نازک پخت شده در محیط هیدروژن ۱۸۷

جدول۵-۱: نتایج طیف XRD از نمونه های مختلف پخت شده در محیط هیدروژن ۱۹۹

جدول۵-۲: اطلاعات مربوط به قله های W(4f) و O(1s) نمونه های پخت شده در محیط هیدروژن به مدت های ۶۰ و ۴۸۰ دقیقه..... ۲۰۰

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل۱-۱: سلول فتوولتایی با الکترودهای TiO_2 و Pt ۸

شکل۱-۲: مقایسه اثر فوتوکاتالیستی و فوتوسنتز ۱۰

شکل۱-۳: برانگیختگی الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش ۱۴

شکل۱-۴: تشکیل جفت الکترون - حفره ۱۵

شکل۱-۵: مکانیسم واکنش فوتوکاتالیستی ۱۷

شکل۱-۶: میزان نابودی غشاء سلولی باکتری ای کلای در اثر تابش پرتو ماورای بنفش ۲۰

شکل۱-۷: سازوکار خود تمیز شوندگی سطح آبدوست اکسید تیتانیوم ۲۱

شکل۱-۸: برج MM در یوکوهامای ژاپن با سطح خود تمیز شونده –۲۰۰۸ ..... ۲۲

شکل۱-۹: سقف خود تیز شونده در ایستگاه قطار ماتسوشیمای ژاپن - ۲۰۰۸ ..... ۲۲

شکل۱-۱۰: مقایسه سطوح با قابلیت تمیز شوندگی که به مدت ۳ سال در معرض آلودگی قرار گرفتند..... ۲۳

شکل۱-۱۱: نمایی از کلیسای دیواس در میسریکوریدا ساخته شده با سیمان با قابلیت خود تمیزشوندگی..... ۲۳

شکل۱-۱۲: الف) سطح بدون پوششTiO_2 ب) سطح با پوشش TiO_2 ..... ۲۴

شکل۱-۱۳: مراحل جذب و دفع در سطح خارجی یک کاتالیست ۲۵

شکل۱-۱۴: ساختار انرژی برای نیمه هادی های مختلف ۲۷

شکل۱-۱۵: فاز های بلوری دی اکسید تیتانیوم ۳۰

شکل۱- ۱۶: مکانیزم ایجاد اردیکال آزاد در دی اکسید تیتانیوم ۳۴

شکل۱-۱۷: تجزیه فوتوکاتالیستی محلول رودامین توسط لایه نازک WO_3 رشد داده شده بر روی زیرلایه بادمای۳۷۷،b) 443 c) ۴۸۳ و d) ۵۲۳ K ۳۸

شکل۱- ۱۸: شماتیت سیستمی که در معرض الکترو اسپرینگ قرار گرفته است ۴۴

شکل۱-۱۹: قرار گرفتن فیلم های دی اکسید تیتانیوم آغشته به باکتری ای کولای تحت تابش نور فلورسنت در مدت زمان های متفاوت ۴۶

شکل۱-۲۰: منحنی تغییرات میزان باکتری های موجود بر روی سطح نمونه با افزایش مدت زمان تابش نور فلورسنت ۴۷

شکل۲-۱: روش های گرمایش در تبخیر: الف) قایقک مقاومت الکتریکی و ب) باریکهٔ الکترون ۵۱

شکل۲-۲: نمایی از روش تبخیر با باریکه الکترونی، ب) یک نمونه تفنگ الکترونی ۵۲

شکل۲-۳: فرایند لایه نشانی به روش کند و پاش ۵۴

شکل۲-۴: نمایش طرح واره از روش PECVD ۵۶

شکل۲-۵: WO_6 هشت وجهی ۵۸

شکل۲-۶: شکل های کریستالی تری اکسید تنگستن ۵۹

شکل۲-۷: هشت وجهی های WO_6 باگوشه های به اشتراک گذاشته شده ۶۰

شکل۲- ۸ : میکروگراف های انتقال الکترون برای دو کریستال مختلف بامقادیر مختلف x ۶۱

شکل۲- ۹: پراش اشعه X برای لایه $W_{25}O_{75}$ در دماهای مختلف در محیط اتاق ۶۳

شکل۲-۱۰: پراش اشعه X برای لایه های $W_{25}O_{75}$ و $W_{30}O_{70}$ در جو محافظت شده ۶۵

شکل۲-۱۱: پراش اشعه X برای لایه های $W_{25}O_{75}$ و $W_{30}O_{70}$ در جو اتاق ۶۷

شکل۲- ۱۲: پراش اشعه X برای لایه های برای لایه های W_{100} و $W_{90}O_{10}$ ۶۹

شکل۲-۱۳: خلاصه ای از تکامل ساختاری نمونه های ذکر شده بعنوان تابعی از دما ۷۰

شکل۲-۱۴: اجزای تشکیل دهده یک دستگاه الکتروکرومیک ۷۸

شکل۲-۱۵: شماتیت تشکیل پلارون در جامدات یونی ۸۳

شکل۲-۱۶: مدل جدید رنگ آمیزی در WO_3 شامل جای خالی اکسیژن ۸۶

شکل۲-۱۷: منحنی طیف های عبور بر حسب طول موج برای دماهای مختلف پخت ۸۸

شکل۲-۱۸: منحنی زوال باکتری را برای WO_3 در دو حالت نانو و میکرو ۹۴

شکل۳-۱: تصویر لایه های نازک تولید شده در مدت زمان مختلف پخت در محیط هیدروژن ۹۸

شکل۳-۲: دستگاه اسپکتروفوتومتر ۹۹

شکل۳-۳: طرح واره کلی از مسیر نور در اسپکتروفوتومتر ۱۰۳

شکل۳-۴: نمایی از سوزن و سطح نمونه در ابعاد نانو ۱۰۶

شکل۳-۵: نمایی از یک انبرک ۱۰۸

شکل۳-۶: پراش پرتو X توسط یک بلور ۱۱۳

شکل۳- ۷: تصویر هندسی دوربین پودری دبای – شرر ۱۱۴

شکل۳-۸ : پهنای پیک در نصف ارتفاع ۱۱۵

شکل۳-۹ : یک دستگاه پراش اشعه X ساده ۱۱۷

شکل۳-۱۰: خروجی آنالیز XPS بصورت طیف ۱۱۹

شکل۳-۱۱: روش کار دستگاه طیف سنج فوتوالکترون پرتو ایکس ۱۲۰

شکل۳-۱۲: نمایی از آنالیز عنصری سطوح ۱۲۱

شکل۳-۱۳: قطره مایع روی سطح جامد ۱۲۳

شکل۳-۱۴: تصویر قطره آب روی سطح شیشه ۱۲۵

شکل۳-۱۵: تصویری از اندازه گیری زاویه تماس به روش قطره روی سطح بوسیله نرم افزار ۱۲۶

شکل۳-۱۶: دستگاه اندازه گیری زاویه تماس نوعی ۱۲۶

شکل۴-۱: دستگاه اسکپتروفوتومتر UV/Vis/NIR مدل Cary 500 (ساخت شرکت واریان) ۱۳۱

شکل۴-۲: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه قبل از احیاء در محیط هیدروژن (صفر دقیقه) ۱۳۲

شکل۴-۳: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۱۵ دقیقه ۱۳۳

شکل۴-۴: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۳۰ دقیقه.....۱۳۴

شکل۴-۵: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت۶۰ دقیقه ۱۳۴

شکل۴-۶: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۱۲۰ دقیقه ۱۳۵

شکل۴-۷: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۲۴۰ دقیقه ۱۳۵

شکل۴-۸: طیف عبور(T) و بازتاب (R) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۴۸۰ دقیقه ۱۳۶

شکل۴-۹: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه قبل از احیاء.....۱۴۳

شکل۴-۱۰: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت۱۵ دقیقه ۱۴۱

شکل۴-۱۱: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت۳۰ دقیقه.....۱۴۱

شکل۴-۱۲: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۶۰ دقیقه ۱۴۲

شکل۴-۱۳: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۱۲۰دقیقه.....۱۴۲

شکل۴-۱۴: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۲۴۰دقیقه ۱۴۳

شکل۴-۱۵: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بر حسب hν برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۴۸۰دقیقه.....۱۴۳

شکل۴-۱۶: منحنی تغییرات ضریب شکست n برای لایه های نازک.....۱۴۷

شکل۴-۱۷: منحنی تغییرات ضریب خاموشی k برای نمونه های مختلف بر حسب طول موج ۱۴۸

شکل۴-۱۸: دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۱۵۰

شکل۴-۱۹: نمایی از نرم افزار SPIP(VERSION 5.1.6) ۱۵۱

شکل۴-۲۰: تصاویر AFM سه بعدی و دو بعدی در مقیاس های μm^2 ۱×۱ وμm^2 ۳×۳ و μm^2 ۵×۵ از لایه های نازک اکسید تنگستن پخت شده در هیدروژن به مدت زمان های: الف) بدون پخت، ب) ۱۵ دقیقه، ج)۳۰ دقیقه، د)۶۰ دقیقه، ه)۱۲۰ دقیقه، و)۲۴۰ دقیقه، ز)۴۸۰ دقیقه..... ۱۵۶

شکل۴-۲۱: دستگاه پراش پرتو ایکسXRD..... ۱۵۹

شکل۴-۲۲: نمایی از نرم افزار Match ۱۶۰

شکل۴-۲۳: برای نمونه بدون احیاء در محیط هیدروژن(صفر دقیقه) ۱۶۱

شکل۴-۲۴: برای نمونه ۱۵ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۲

شکل۴-۲۵: برای نمونه ۳۰ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۳

شکل۴-۲۶: برای نمونه ۶۰ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۳

شکل۴-۲۷: برای نمونه ۱۲۰ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۴

شکل۴-۲۸: برای نمونه ۲۴۰ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۵

شکل۴-۲۹: برای نمونه ۴۸۰ دقیقه پخت شده در محیط هیدروژن ۱۶۵

شکل۴-۳۰: دستگاه زاویه سنج قطره تماسی ساخته شده در دانشگاه مالک اشتر..... ۱۶۷

شکل۴-۳۱: تصویر قطره آب روی سطح شیشه ۱۶۸

شکل۴-۳۲: تعیین زاویه تماس قطره با سطح جامد توسط برنامهٔ رایانه ایSca20 .....۱۶۸
شکل۴-۳۳: منحنی تغییرات زاویه تماس میان سطح و قطره آب بر حسب زمان های مختلف درمحیط هیدروژن ۱۶۹
شکل۴-۳۴: تغییرات زاویه تماس آب با سطح لایه های نازک اکسید تنگستن پخت شده در محیط هیدروژن در مدت زمان های مختلف برحسب تابعی از دمای پخت قبل و بعد از تصحیح اثر ونزل.....۱۷۲
شکل۴-۳۵: دستگاه طیف سنج فوتو الکترون اشعه X ۱۷۳
شکل۴-۳۶: طیف گسترده XPS از لایه نازک اکسید تنگستن قبل از پخت در محیط هیدروژن ۱۷۴
شکل۴-۳۷: طیف XPS تکفیک شده از فوتوالکترون های تراز W(4f) نمونه پخت نشده در محیط هیدروژن.....۱۷۵
شکل۴-۳۸: طیف XPS تفکیک شده از فوتوالکترون های تراز O(1s) نمونه پخت نشده در محیط هیدروژن.....۱۷۶
شکل۴-۳۹: طیف گسترده XPS از لایه نازک اکسید تنگستن پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۶۰ دقیقه.....۱۷۷
شکل۴-۴۰: طیف XPS تکفیک شده از فوتوالکترون های تراز W(4f) نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۶۰ دقیقه ۱۷۸
شکل۴-۴۱: طیف XPS در محدوده انرژی پیوندی O(1s) برای نمونه پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۶۰ دقیقه ۱۸۰
شکل۴-۴۲: طیف گسترده XPS از لایه نازک اکسید تنگستن پخت شده در محیط هیدروژن به مدت ۴۸۰دقیقه ۱۸۱