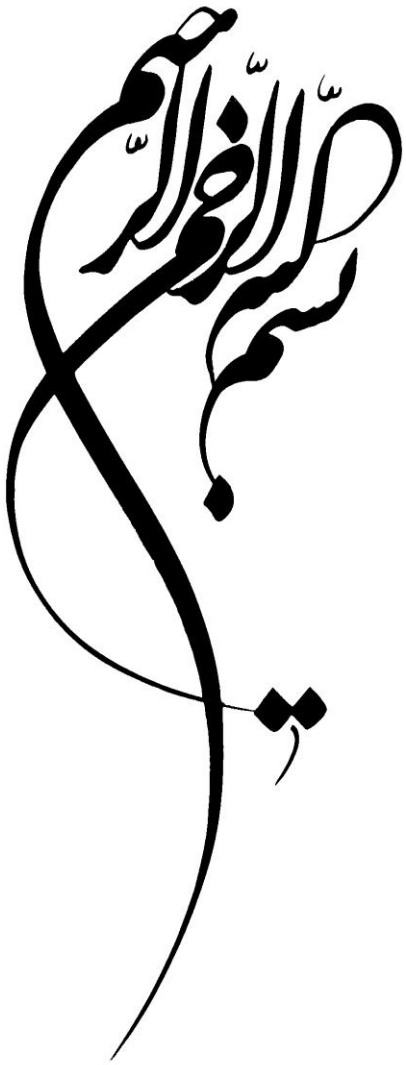

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد

نجمه اکبری قوام آبادی

مطالعه ویژگی‌های ساختاری نانوساختارهای اکسید تیتانیوم (TiO_2) تهیه شده به روش مایکروویو اصلاح شده

در تاریخ ۹۲/۱۲/۲۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر جمیله سید یزدی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخلی گروه دکتر علی رحمتی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور داخلی گروه دکتر پروانه ایرانمنش با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۴ – نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دکتر حمیدرضا افشین با مرتبه ی علمی دانشیار امضاء

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان پایان‌نامه

مطالعه‌ی ویژگی‌های ساختاری نانوساختارهای اکسید تیتانیم (TiO_2) تهیه شده به روش مایکروویو اصلاح شده

استاد راهنما
دکتر جمیله سیدیزدی

نگارنده
نجمه اکبری قوام آبادی

اسفند ۱۳۹۲

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

سپاسگزاری

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است. و همسرم که در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه خانم دکتر جمیله سیدیزدی که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راه گشای اینجانب در اتمام و اکمال پایان نامه بوده اند.

با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

تقدیم

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است.

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به مهربانترین نگاه زندگیم، نگاه سبز مادرم

به آغاز فصل سبز زندگی ام، پناه خستگیم و امید بودنم، همسرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس

نتوانم بگویم.

امروز، هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

رهاوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه،

غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

چکیده

در این پژوهش، نانوساختارهای دی‌اکسید تیتانیوم از جمله، نانوذرات، نانومیله‌ها و نانوسیم‌ها با استفاده از روش ساده و سریع مایکروویو تهیه شدند. نانوساختارها به وسیله‌ی یک دستگاه مایکروویو خانگی و بدون استفاده از اتوکلاو و با استفاده از اکسیژن موجود در هوا تهیه شدند. مشخصه‌یابی با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف سنجی (UV-Vis) برای بررسی ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی انجام شد. نتایج XRD نشان داد که ساختارها دارای فاز بلوری آناتاز و روتایل هستند و تصاویر SEM نشان داد که اندازه‌ی ذرات در حدود ۷۰-۳۰ نانومتر است. در ادامه با تغییر پارامترهای مختلفی از قبیل پودر اولیه، توان تابشی مایکروویو، زمان حرارت‌دهی مایکروویو و انجام بازپخت، پارامترهای این روش بهینه شد. در ادامه‌ی پژوهش، ابتدا نانوذارت دی‌اکسید تیتانیوم به روش مایکروویو ساخته شدند و سپس به عنوان پودر اولیه برای انجام آزمایش به کار گرفته شدند. در این مرحله نتایج نهایی نشان دهنده‌ی تولید نانوساختارهای یک بعدی، نانومیله‌ها و نانوسیم‌های دی‌اکسید تیتانیوم با قطر ۵۰-۴۰ نانومتر و طول ۱۰۰۰-۲۰۰ نانومتر می‌باشد.

واژگان کلیدی: دی‌اکسید تیتانیوم، نانوساختارها، روش مایکروویو.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
فصل دوم: آشنایی با دی‌اکسید تیتانیوم و کاربردهای آن ۳
۲-۱ساختار و فازهای بلوری اکسیدتیتانیوم (TiO_2) ۳
۲-۱-۱ فاز روتایل ۳
۲-۱-۲ فاز آناتاز ۴
۲-۱-۳ فاز بروکیت ۵
۲-۲ ساختار الکترونی دی‌اکسید تیتانیوم. ۶
۲-۳ مقایسه فازهای روتایل و آناتاز ۷
۲-۴ اثر فوتوکاتالیست ۱۰
۲-۴-۱ بهبود فعالیت کاتالیزوری نوری دی‌اکسید تیتانیوم ۱۲
۲-۴-۱-۱ آلائیدن ۱۳
۲-۴-۱-۲ اصلاح شیمیایی سطح ۱۳
۲-۴-۱-۲-۱ حساس سازی ۱۳
۲-۴-۱-۲-۲ جفت شدن دو نیمرسانا ۱۳
۲-۵ نانو کاتالیزور نوری ۱۴
۲-۶ اثر آبدوستی ۱۵
۲-۷ کاربردهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۱۶
۲-۷-۱ خاصیت خودتمیزشوندگی ۱۶
۲-۷-۲ مه زدایی ۱۷
۲-۷-۳ تصفیه‌ی هوا ۱۷
۲-۷-۴ تصفیه‌ی خاک ۱۷
۲-۷-۵ تصفیه‌ی آب ۱۸
۲-۷-۶ تخریب میکرو ارگانیسم‌ها ۱۸
۲-۷-۷ مقاومت در برابر خوردگی ۱۸

عنوان **صفحه**

۲-۷-۸ کاربرد در سلول‌های خورشیدی حساس شده به رنگ..... ۱۹
۲-۸ کاربردهای نوین..... ۲۰
۲-۸-۱ لباس‌های محافظ..... ۲۰
۲-۸-۲ رنگ‌های کاتالیزورنوری..... ۲۱
فصل سوم: روش‌های ساخت نانومواد و مبانی روش مایکروویو ۲۳
۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ انواع روش‌های ساخت نانوبلورها..... ۲۳
۳-۲-۱ روش بالا به پایین ۲۳
۳-۲-۲ روش پایین به بالا ۲۴
۳-۲-۲-۱ روش‌های فیزیکی ۲۴
۳-۲-۲-۱-۱ نشست شیمیایی بخار..... ۲۴
۳-۲-۲-۱-۲ نشست فیزیکی بخار..... ۲۶
۳-۲-۲-۱-۳ کندوپاش..... ۲۶
۳-۲-۲-۱-۴ سایش لیزری ۲۷
۳-۲-۲-۲ روش‌های شیمیایی ۲۸
۳-۲-۲-۲ -۱ فرآیند سُل- ژل ۲۸
۳-۲-۲-۲ -۲ روش هیدروترمال..... ۲۹
۳-۲-۲-۲ -۳ میکروامولسیون ۳۰
۳-۲-۲-۲ -۴ روش هم‌رسوبی ۳۱
۳-۳ روش مایکروویو ۳۲
۳-۳-۱ تاریخچه ۳۲
۳-۳-۲ مقدمه‌ای بر شیمی مایکروویو..... ۳۳
۳-۳-۳ اساس فناوری مایکروویو..... ۳۳
۳-۳-۳-۱ قطبش دوقطبی ۳۴
۳-۳-۳-۲ عملکرد هدایتی..... ۳۵
۳-۳-۳-۳ عملکرد قطبش دووجهی ۳۵

عنوان **صفحه**

۳-۳-۴ عوامل مؤثر بر جذب امواج مایکروویو توسط ماده ۳۵
۳-۳-۴-۱ ثابت دی‌الکتریک ۳۶
۳-۳-۴-۲ ظرفیت حرارتی ویژه ۳۶
۳-۳-۴-۳ توان دستگاه ۳۶
۳-۳-۴-۴ حالت ماده ۳۷
۳-۳-۴-۵ مقدار ماده ۳۷
۳-۳-۵ انواع روش‌های انجام واکنش‌های شیمیایی با استفاده از امواج مایکروویو ۳۷
۳-۳-۶ فواید کاربرد مایکروویو ۳۸
۳-۳-۶-۱ افزایش سرعت واکنش‌ها ۳۸
۳-۳-۶-۲ منبع مؤثر برای گرمادهی ۳۹
۳-۳-۶-۳ افزایش بهره واکنش ۳۹
۳-۳-۶-۴ گرمادهی یکنواخت ۳۹
۳-۳-۶-۵ گرمادهی انتخابی ۳۹
۳-۳-۶-۶ کم خطر بودن برای محیط زیست ۴۰
۳-۳-۶-۷ افزایش قابلیت تکرارپذیری ۴۰
۳-۴ پژوهش‌های اخیر انجام شده در زمینه‌ی تهیه‌ی نانوساختارهای دی‌اکسید تیتانیوم ... ۴۰
فصل چهارم: مواد و روش‌ها ۴۳
۴-۱ مقدمه ۴۳
۴-۲ مواد و دستگاه‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها ۴۳
۴-۳ تهیه‌ی نانوذرات TiO_2 به روش تابش مایکروویو ۴۵
۴-۳-۱ مقدمه ۴۵
۴-۳-۲ جزئیات آزمایش ۴۵
۴-۳-۲-۱ تهیه‌ی نانوساختارهای TiO_2 با استفاده از پودر کپه‌ای و نانوذرات TiO_2 ..... ۴۵
۴-۳-۲-۲ تهیه‌ی نانوساختارهای TiO_2 با استفاده از $TiCl_4$ و C_7H_8O ۴۸
۴-۳-۲-۳ تهیه‌ی نانوساختارهای TiO_2 با استفاده از $TiCl_4$ و NH_4Cl ۴۹
۴-۳-۲-۴ تهیه‌ی نانوساختارهای TiO_2 با استفاده از $TiCl_3$ و NH_3 ..... ۴۹

عنوان **صفحه**

۴-۴ روش‌های مشخصه‌یابی نانوساختارهای TiO_2 ..... ۵۰
۴-۴-۱ مشخصه‌یابی UV ۵۰
۴-۴-۲ مشخصه‌یابی XRD ۵۱
۴-۴-۳ مشخصه‌یابی SEM ۵۲
فصل پنجم: نتایج و بحث ۵۵
۵-۱ مقدمه ۵۵
۵-۲ نتایج حاصل از مشخصه‌یابی نانوذرات TiO_2 ..... ۵۵
۵-۲-۱ بررسی اثر بازپخت بر روی نمونه ۵۶
۵-۲-۲-۱ مشخصه‌یابی XRD ۵۶
۵-۲-۲-۲ مشخصه‌یابی SEM ۶۱
۵-۲-۲-۳ مشخصه‌یابی UV-Vis ۶۴
۵-۲-۲ بررسی اثر زمان بر روی اندازه و ساختار نمونه ۶۶
۵-۲-۲-۱ مشخصه‌یابی XRD ۶۶
۵-۲-۲-۲ مشخصه‌یابی SEM ۶۸
۵-۲-۲-۳ مشخصه‌یابی UV-Vis ۷۰
۵-۲-۳ بررسی اثر توان تابشی بر روی اندازه و ساختار نمونه ۷۱
۵-۲-۳-۱ مشخصه‌یابی XRD ۷۱
۵-۲-۳-۲ مشخصه‌یابی SEM ۷۳
۵-۲-۳-۳ مشخصه‌یابی UV-Vis ۷۵
۵-۲-۴ بررسی اثر مواد اولیه ۷۷
۵-۲-۴-۱ مشخصه‌یابی XRD ۷۷
۵-۲-۴-۲ مشخصه‌یابی SEM ۷۹
۵-۲-۴-۳ مشخصه‌یابی UV-Vis ۸۲
۵-۳ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۳
۵-۳-۱ نتایج بدست آمده از تهیه‌ی نانوساختارهای TiO_2 به روش تابش مایکروویو ۸۳
۵-۳-۲ پیشنهادها ۸۴

عنوان صفحه

مراجع..... ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱: نمایش ساختار بلوری روتایل	۴
شکل ۲-۲: نمایش ساختار بلوری آناتاز	۵
شکل ۲-۳: نمایش ساختار بلوری بروکیت	۶
شکل ۲-۴: ساختار سلول واحد، روتایل (سمت چپ) و آناتاز (سمت راست)	۷
شکل۲-۵: اثر هوندا-فوجی‌شیما	۱۱
شکل۲-۶: مقایسه عملکرد یک کاتالیزور نوری و کلروفیل	۱۲
شکل۲-۷: انتقال بار در نیمه‌رسانای جفت شده‌ی سولفیدکادمیوم- دی‌اکسیدتیتانیوم	۱۴
شکل۲-۸: ایجاد سطح فوق آبدوست	۱۵
شکل۲-۹: خاصیت آبدوستی سطح دی‌اکسید تیتانیوم و تشکیل لایه‌ی یکنواخت آب و عدم تشکیل قطره (سمت چپ)	۱۶
شکل۲-۱۲: طرحواره و نحوه عملکرد سلول خورشیدی حساس شده به رنگ	۲۰
شکل۳-۱: محدوده‌ی فرکانسی امواج مایکروویو	۳۳
شکل۳-۲: (الف) تصویر SEM و (ب) الگوی پراش پرتوی ایکس	۴۱
شکل ۵-۱: الگوی پراش پرتوی ایکس از نانو TiO_2 پیش از بازپخت (منحنی‌های سیاه‌رنگ) و پس از بازپخت در دمای ^oC ۴۰۰ (منحنی‌های قرمز رنگ). (الف) نمونه‌های ۴ و ۹، (ب) نمونه‌های ۵ و۱۰	۵۷
شکل ۵-۲: الگوی پراش پرتوی ایکس از نانو TiO_2 پیش از بازپخت (منحنی‌های سیاه‌رنگ) و پس از بازپخت در دمای ^oC ۴۰۰ (منحنی‌های قرمز رنگ). (ج) نمونه‌های ۷ و ۱۲، (د) نمونه‌های ۸ و ۱۳	۵۸
شکل ۵-۳: الگوی پراش پرتوی ایکس از نانو TiO_2 پیش از بازپخت (منحنی‌های سیاه‌رنگ) و پس از بازپخت در دمای ^oC ۴۰۰ (منحنی‌های قرمز رنگ). (و) نمونه‌های ۱۵و ۱۴، (ه) نمونه‌های ۲۲ و ۱۶	۵۹
شکل ۵-۴: تصاویر SEM، الف) نمونه‌ی ۹، ب) نمونه‌ی ۱۲ و ج) نمونه‌ی ۱۳	۶۲
شکل ۵-۵: تصاویر SEM، الف) نمونه ۲۲، ب) نمونه بازپخت شده‌ی آن در دمای ^oC۴۰۰ به مدت یک ساعت	۶۳

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۶: تصاویر SEM، الف) نمونه ۱۵، ب) نمونه بازپخت شده‌ی آن در دمای $400^{o}C$ به مدت یک ساعت ۶۳
شکل ۵-۷: طیف جذبی برای نمونه‌های بازپخت شده (منحنی‌های قرمز رنگ) و نمونه‌های بدون بازپخت (منحنی‌های سیاه رنگ). (الف) نمونه‌های ۵ و۱۰، (ب) نمونه‌های ۱۵ و ۱۴ .....۶۵
شکل ۵-۸ : الگوی پراش پرتوی ایکس از نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم. الف) نمونه‌ی ۳۱ با زمان حرارت‌دهی تابش مایکروویو ۱۰ دقیقه، ب) نمونه‌ی ۲۱ با زمان حرارت‌دهی تابش مایکروویو ۱۵ دقیقه و ج) نمونه‌ی ۲۳ با زمان حرارت‌دهی تابش مایکروویو ۲۵ دقیقه ۶۷
شکل ۵-۹: تصاویر SEM، الف) زمان تابش مایکروویو: ۱۰ دقیقه، ب) زمان تابش مایکروویو: ۱۵ دقیقه و ج) زمان تابش مایکروویو: ۲۵ دقیقه ۶۹
شکل ۵-۱۰: طیف جذبی نانوساختارهای TiO_2 زمان حرارت‌دهی ۱۰ دقیقه (منحنی آبی رنگ) و زمان حرارت‌دهی ۱۵ دقیقه (منحنی سیاه رنگ) و زمان حرارت‌دهی ۲۵ دقیقه (منحنی قرمز رنگ) ۷۱
شکل ۵-۱۱: الگوی پراش پرتوی ایکس از نانوذرات TiO_2. الف) نمونه‌ی ۳۱ با توان تابش مایکروویو ۵۴۰W، ب) نمونه‌ی ۱۹با توان تابش مایکروویو ۳۶۰W. ج) نمونه‌ی۲۰ با توان تابش مایکروویو ۱۸۰W ۷۲
شکل ۵-۱۲: تصاویر SEM، الف) توان ۵۴۰W، ب) توان ۳۶۰W و ج) توان ۱۸۰W ۷۴
شکل ۴-۱۳: طیف جذبی نانوساختارهای TiO_2، توان تابش ۵۴۰W (منحنی سیاه رنگ) و توان تابش ۳۶۰W (منحنی آبی رنگ) و توان تابش ۱۸۰W (منحنی قرمز رنگ)..... ۷۵
شکل ۵-۱۴: تصویر SEM مربوط به نمونه‌ی ۳۲ .....۷۶
شکل ۵-۱۵: الگوی پراش پرتوی ایکس از نانوساختارهای TiO_2. الف) نمونه‌ی ۱۸، ب) نمونه‌ی ۲۶ و ج) نمونه‌ی ۲۷ ..... ۷۸
شکل ۵-۱۶: تصاویر SEM، الف) نمونه‌ی ۱۸، ب) نمونه‌ی ۲۶. ..... ۸۰
شکل ۵-۱۷: تصویر SEM مربوط به نمونه‌ی ۳۳ ..... ۸۱
شکل ۵-۱۸: (الف) منحنی $(\alpha h\upsilon)^{1/2}$ بر حسب $h\upsilon$ برای نمونه شماره ۱۸، (ب) طیف جذبی برای نمونه‌ی شماره ۱۸ ..... ۸۲

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۲-۱: خواص فیزیکی TiO_2 ۹
جدول ۳-۱: سیر تکاملی استفاده از مایکروویو ۳۲
جدول ۴-۱:پارامترهای مربوط به هر نمونه شامل مواد اولیه‌ی محلول هیدروکسید سدیم ۱۰ مولار و پودر کپه‌ای TiO_2 ۴۶
جدول ۴-۲: پارامترهای مربوط به هر نمونه شامل مواد اولیه‌ی محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۸ مولار و پودر کپه‌ای TiO_2 ۴۸
جدول ۴-۳: پارامترهای مربوط به هر نمونه شامل مواد اولیه‌ی محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ مولار و نانوذرات TiO_2 ۴۸
جدول ۴-۴: پارامترهای مربوط به هر نمونه ۵۰
جدول ۵- ۱: مشخصات الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌ها پیش و پس از بازپخت ۶۰
جدول۵- ۲: لبه‌ی جذب و انرژی گاف محاسبه شده برای نمونه‌های بازپخت شده و بدون بازپخت ۶۶
جدول۵-۳: مشخصات الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌ها ۶۸
جدول۵-۴: لبه‌ی جذب و انرژی گاف محاسبه شده ۷۰
جدول۴-۵: مشخصات الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌ها ۷۳
جدول۵-۶: لبه‌ی جذب و انرژی گاف محاسبه شده ۷۶
جدول۵-۷: مشخصات الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌ها ۷۹

فصل اول

مقدمه

تیتانیوم[1]، فلزی نقره‌ای رنگ، سبک، چکش‌خوار با هدایت گرمایی و رسانش گرمایی پایین می‌باشد. تیتانیوم پس از آهن، منیزیم و آلومینیوم، با ۰٫۶ درصد فراوانی، چهارمین فلز در پوسته‌ی زمین می‌باشد. تیتانیوم بیشتر به صورت کانی‌های روتیل TiO_2 و ایلمنیت[2] ($FeTiO_3$) یافت می‌شود. این فلز با عدد اتمی ۲۲ از جمله اولین عناصری است که پس از انقلاب علمی کشف شده است. این عنصر درسال ۱۷۹۱ میلادی توسط ویلیام گریگور[3] (۱۸۱۷-۱۷۶۱) کشیش و کانی‌شناس آماتور انگلیسی، کشف شد. او تیتانیوم را از شن‌های سیاه که شبیه باروت[4] بودند، بدست آورد. گریگور تشخیص داده بود که ایلمنیت حاوی عنصر جدیدی است. امروزه می‌دانیم که ایلمنیت یک کانی حاوی تیتانیوم، آهن و اکسیژن می‌باشد. در سال ۱۷۹۵ میلادی مارتین هینریچ

---

[1] Titanium
[2] Ilmenite
[3] William Gregor
[4] Gunpowder

کلاپروت[1] (۱۸۱۷-۱۷۴۳) شیمی‌دان آلمانی این عنصر را از اکسید تیتانیوم که این کانی را به نام روتایل[2] می‌شناسند، بدست آورد و با اقتباس از تیتان (Titan) قهرمان اسطوره‌ای یونان، این عنصر را تیتانیوم نامید.

بیش از ۹۰ درصد از تیتانیوم استخراج شده به صورت دی‌اکسید تیتانیوم[3] می‌باشد که با نام‌های اکسید تیتانیوم یا تیتانیا شناخته می‌شود. این ماده دارای فرمول شیمیایی TiO_2 است و زمانی که به عنوان رنگدانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، نام‌های تیتانیوم سفید یا رنگدانه سفید را به خود می‌گیرد. دی‌اکسید تیتانیوم در سه فاز اصلی بلورین روتایل، آناتاز[4] و بروکیت[5] وجود دارد. این عنصر کاربرد وسیعی در صنایع آرایشی، بهداشتی، نظامی، علوم زیستی، خودروسازی، هواپیمایی و کالاهای ورزشی را دارا است.

شکاف انرژی[6] این ماده در حدود ۳٫۲eV است که می‌تواند نور فرابنفش را جذب کند. از این خاصیت می‌توان به عنوان جاذب نور فرابنفش در کرم‌های ضدآفتاب استفاده کرد و به ویژه به عنوان واکنشگرهای نوری (فوتوکاتالیست) در تصفیه پساب‌ها و پاکسازی هوا استفاده می‌شود. از دی‌اکسید تیتانیوم برای از بین بردن آلودگی‌های آلی مانند پلی‌کلروبی‌فنیل، سورفکتانت‌ها، حشره‌کش‌ها و رنگ‌های آلی و همچنین جهت تولید محصولات خودتمیزشونده و آب‌گریز استفاده می‌شود.

تمام خصوصیات TiO_2 در نانو TiO_2 نیز وجود دارد، یافته‌های اخیر نشان می‌دهد اگر ذرات یک ماده در حد چند نانومتر کوچک شوند، این ذرات ویژگی‌های متفاوتی با ذرات بزرگ اولیه خواهند داشت که از آن جمله می‌توان به نسبت سطح به حجم بزرگ (افزایش فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی)، انحلال‌پذیری و فعالیت بیشتر، اشاره نمود. این امر سبب شده مقیاس نانو بیش از سایر مقیاس‌ها مورد توجه قرار بگیرد.

در فصل دوم آشنایی با دی‌اکسید تیتانیوم و کاربردهای آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل سوم به روش‌های ساخت نانومواد و مبانی روش مایکروویو پرداخته می‌شود. در فصل چهارم مواد و روش‌ها و در فصل پنجم نتایج و بحث و در آخر نیز نتیجه‌گیری کلی بیان می‌شود.

---

[1] Martin Heinrich Klaproth
[2] Rutile
[3] Titaniuim-Dioxide
[4] Anatase
[5] Brookite
[6] Band Gap

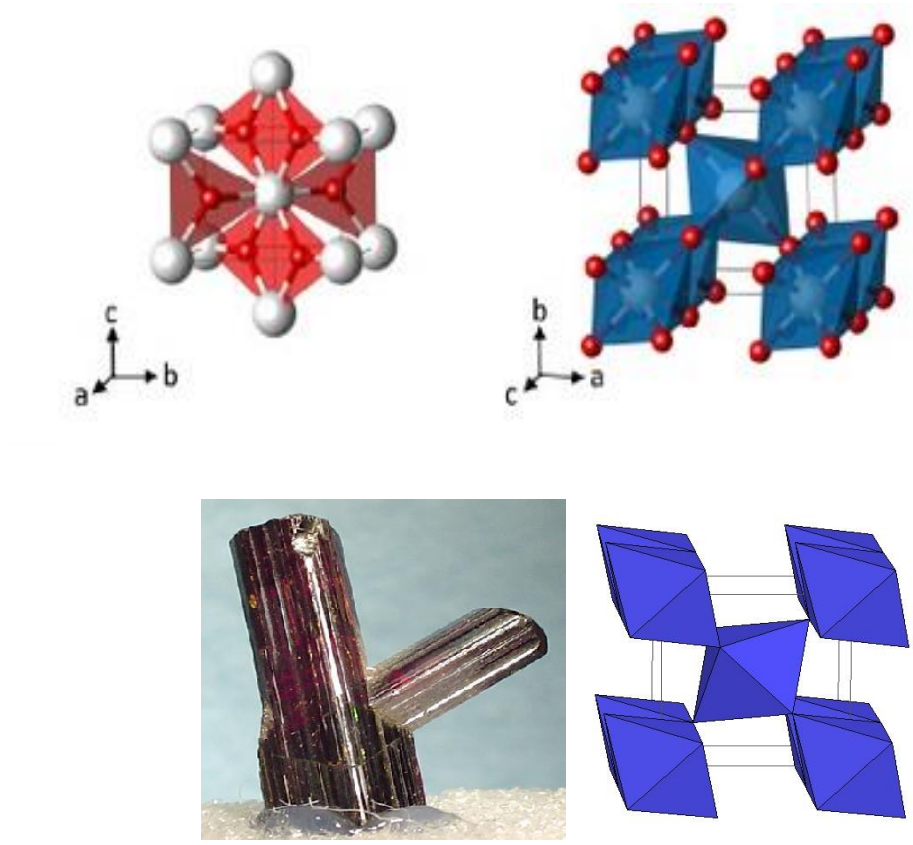
فصل دوم

آشنایی با دی‌اکسید تیتانیوم و کاربردهای آن

۲-۱ ساختار و فازهای بلوری اکسید تیتانیوم (TiO_2)

۲-۱-۱ فاز روتایل

شبکه بلورین روتایل به صورت چارگوشی (تتراگونال) است (شکل۲-۱) [۱]. و دارای ضریب شکست و قدرت پراکندگی بالایی در میان فلزها است. روتایل نام خود را از واژه‌ی Rutilus به معنای قرمز تیره برگرفته است. فاز روتایل نسبت به دو فاز دیگر (آناتاز و بروکیت) پایدارتر بوده و دو فاز دیگر در اثر حرارت به روتایل تبدیل می‌شوند[۵-۲]. روتایل به دلیل مقاومت شیمیایی بالا، طول عمر بالا، غیرسمی بودن، بی‌خطر بودن برای محیط زیست، ارزان بودن و در دسترس بودن برای کاربردهای فوتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب شکست اپتیکی روتایل ۲٫۹-۲٫۶ است. گروه فضایی آن P42/mnm است. جهت رشد تک بلور روتایل (۱۱۰) است. طول بردارهای یاخته‌ی یکه‌ی آن $a = b = ۴٫۵۹۳۷\text{Å}$ و $c = ۲٫۹۵۸۱\text{Å}$ است[۱].

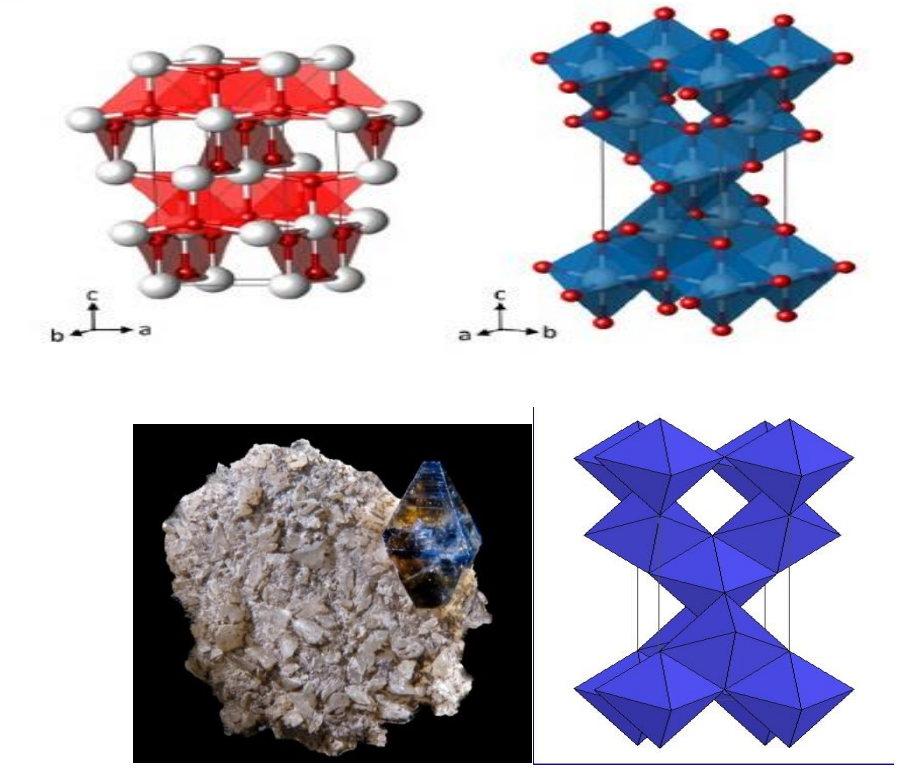


شکل ۲-۱: نمایش ساختار بلوری روتایل [۱].

۲-۱-۲ فاز آناتاز

شبکه بلورین آناتاز به صورت چارگوشی بوده و به علت کشیدگی شبکه‌ی بلورین آن (در راستای محور c) (شکل ۲-۲) به Anatasis یا کشیده، معروف شده است [۵-۲]. رنگ آناتاز به صورت آبی تیره، زرد، قرمز، قهوه‌ای مایل به سیاه وجود دارد و رنگ پودر آن سفید است. چگالی نسبی آناتاز $3,8-3,9 gr/cm^3$ است و نیمه شفاف است (در مقایسه با روتایل از شفافیت کمتری

برخوردار است). سختی مکانیکی آن ۶-۵٫۵ μHs است. آناتاز دارای گروه فضایی I41/amd است. جهت رشد تک بلور آن (۱۰۱) است. طول بردارهای یاخته‌ی یکه‌ی آن $a = b =$ ۳٫۷۸۴۲Å و $c =$ ۹٫۵۱۴۶Å است [۱].



شکل ۲-۲: نمایش ساختار بلوری آناتاز [۱].

۲-۱-۳ فاز بروکیت

این فاز دارای ساختار بلوری راستگوشه (ارتورومبیک) است (شکل ۲-۳) [۱]. این فاز به احترام جیمز بروک معدن‌شناسی که این فاز را برای اولین بار کشف نمود، بروکیت نام‌گذاری شده است. بروکیت دارای فعالیت نوری نیست و کمیاب‌ترین فاز بلورین دی‌اکسید تیتانیوم به شمار