

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مرتبت بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

بهینه‌سازی خواص تابشی آندایزینگ آلومینیوم اشباع شده با نانو ذرات فلزی برای پوشش‌های جاذب خورشیدی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد-شناسایی و انتخاب و روش ساخت مواد

مریم باقری

استاد راهنما

دکتر فخرالدین اشرفی‌زاده

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان نگران مادرم

که هرچه بگویم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را پاس نتوانم بگویم .

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

کران سنگ تراز این ارزان‌نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نیم‌گونه‌خوار حشمتان را

بزوداید .

بوسه بردستان پر مهربان

شکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را شمردن نتوانند.

از پدر و مادر عزیزم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیدند و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده‌اند؛ و

از استاد بزرگوارم، دانشمند فرزانه جناب آقای دکتر اشرفی‌زاده به‌عنوان استاد راهنما که هم در دوران تحصیل و هم در طی انجام این تحقیق با راهنمایی‌های ارزنده خویش مرا راهنمایی نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر ادريس و جناب آقای دکتر میرآقایی که زحمت مطالعه، داوری و تصحیح این پایان‌نامه را تقبل نمودند، سپاس فراوان دارم.

باسپاس بی‌دریغ خدمت دوستان گران‌مایه‌ام خانم‌ها کردی، ابراهیمی و صرامی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند. همچنین از آقایان حسینی و شیرمحمدی که در طی انجام این تحقیق از ارشادات ایشان نهایت استفاده را برده‌ام تشکر می‌کنم.

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

مریم باقری

زمستان ۹۱

چکیده

سطح جاذب یکی از مهم ترین بخش های کلکتورهای خورشیدی است. این سطح باید خواص منتخب جذب بالا در ناحیه طیف خورشیدی و نشر پایین در ناحیه مادون قرمز داشته باشند. هدف از این پژوهش بهینه سازی خواص نوری سطوح جاذب ایجاد شده به روش آندایزینگ آلومینیوم است. اثر عواملی شامل ضخامت پوشش، زمان و ولتاژ رنگ کاری و همچنین فرایندهایی مانند عملیات حرارتی، زینکاته، منظم سازی حفرات پوشش و آندایزینگ چند مرحله ای بر خواص نوری پوشش مورد بررسی قرار گرفت. سطوح جاذب با پوشش دهی در حمام های اسید سولفوریک و اسید فسفریک و سپس پیگمنت نشانی در حمام های نیکل و مس تهیه شدند و شرایط بهینه برای ایجاد سطوح سیاه تعیین شد. پوشش ایجاد شده در اسید فسفریک ضخامت کمتر و خواص نوری منتخب (جذب ۰/۹۷۳۳ و نشر ۰/۲۵۳۹) بهتری نسبت به پوشش ایجاد شده در اسید سولفوریک نشان داد. برای بررسی ساختار پوشش ها و تعیین ضخامت آن ها از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ نوری استفاده شد. در شرایط رنگ کاری ۵ دقیقه و ولتاژ ۱۲ ولت بهترین خواص نوری (بیشترین نسبت نشر/جذب) به دست آمد. اثر عملیات حرارتی بر خواص نوری قبل از پوشش دهی و همچنین پس از فرایند رنگ کاری بررسی شد. بدین منظور زیرلایه آلومینیومی به مدت ۳ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد و نمونه های پوشش دهی شده، به مدت ۱ ساعت در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد در کوره قرار داده شدند. برای بررسی اثر عملیات حرارتی بر ساختار پوشش، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) از نمونه ها تهیه شد. آنیل زیرلایه آلومینیومی بدون تأثیر در مقدار جذب پوشش، باعث افزایش نشر می شود. عملیات حرارتی پس از رنگ کاری نیز جذب پوشش را افزایش داد. مقدار نشر پوشش نیز پس از عملیات حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد افزایش و در دماهای ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه کاهش یافت. فرایند زینکاته با غوطه ور کردن نمونه ها به مدت ۳۰ ثانیه در محلول زینکاته انجام شد. برای ارزیابی این پوشش طیف نگار تفکیک انرژی (EDS) و تصاویر SEM تهیه شدند. نتایج نشان داد فرایند زینکاته در هر دو حالت قبل و بعد از رنگ کاری، باعث کاهش جذب و نشر پوشش می شود. برای منظم سازی حفرات، پوشش حاصل از مرحله اول آندایزینگ در محلول ۶ درصد وزنی اسید فسفریک و ۱/۸ درصد وزنی اکسید کروم (Cr_2O_3) حذف گردید و مجدداً فرایند پوشش دهی انجام شد. بررسی ها نشان داد منظم شدن حفرات باعث کاهش قابل توجه مقدار نشر می شود. در فرایند آندایزینگ چند مرحله ای، بین هر دو مرحله آندایزینگ، یک مرحله عریض سازی قطر حفرات در محلول اسید فسفریک ۵ درصد حجمی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد صورت گرفت. نتایج نشان داد آندایزینگ دو مرحله ای جذب و نشر پوشش را افزایش می دهد و آندایزینگ سه مرحله ای در پوشش های با ضخامت کم باعث کاهش نشر می شود.

کلمات کلیدی: آندایزینگ، پیگمنت نشانی، سطح جاذب منتخب، ضریب جذب، ضریب نشر، لایه اکسید آندی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
یازده	فهرست اشکال
پانزده	فهرست جداول
۱	چکیده

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: مروری بر منابع

۵	۲-۱-۱ تئوری سطوح جاذب منتخب
۵	۲-۱-۲ تابش الکترومغناطیس
۵	۲-۱-۳ تابش حرارتی
۶	۲-۱-۴ تابش خورشیدی
۷	۲-۱-۵ خواص سطوح منتخب خورشیدی
۹	۲-۲ انواع سطوح جاذب منتخب
۹	۲-۲-۱ جاذب ذاتی
۹	۲-۲-۲ پوشش‌های نیمه‌هادی
۱۰	۲-۲-۳ پوشش‌های کامپوزیتی فلز-دی‌الکتریک
۱۰	۲-۲-۴ جاذب‌های چندلایه
۱۱	۲-۲-۵ سطوح بافت‌دار
۱۲	۲-۲-۶ پوشش‌های خورشیدی - عبوری منتخب روی یک جاذب مشابه جسم سیاه
۱۲	۲-۳ روش‌های تولید
۱۲	۲-۳-۱ رسوب فیزیکی بخار
۱۳	۲-۳-۲ روش‌های الکتروشیمیایی
۱۳	۲-۳-۳ رنگ کردن
۱۳	۲-۳-۴ روش سل-ژل
۱۴	۲-۴ کلکتورهای خورشیدی
۱۴	۲-۵ سطوح جاذب منتخب خورشیدی تولید شده به روش آندایزینگ

- ۱۵-۲-۵-۱ آندایزینگ.....
- ۱۶-۲-۵-۲ رنگ کاری الکترولیتی.....
- ۱۷-۲-۵-۳ آب بندی.....
- ۱۸-۲-۶-۱ عوامل مؤثر بر خواص نوری پوشش های جاذب منتخب خورشیدی تولید شده به روش آندایزینگ.....
- ۱۸-۲-۶-۱ زمان آندایزینگ.....
- ۱۹-۲-۶-۲ دمای آندایزینگ.....
- ۲۰-۲-۶-۳ الکترولیت آندایزینگ.....
- ۲۲-۲-۶-۴ ولتاژ آندایزینگ.....
- ۲۲-۲-۶-۵ زمان رنگ کاری.....
- ۲۳-۲-۶-۶ حمام رنگ کاری.....
- ۲۶-۲-۶-۷ شکل موج جریان رنگ کاری.....
- ۲۸-۲-۶-۸ اکسید قلع.....
- ۲۹-۲-۶-۹ پوشش ضدانعکاس.....
- ۳۱-۲-۷ جمع بندی و هدف از پژوهش حاضر.....

فصل سوم: مواد و روش ها

- ۳۲-۳-۱ مواد اولیه.....
- ۳۲-۳-۱-۱ زیر لایه.....
- ۳۳-۳-۱-۲ الکترولیت آندایزینگ.....
- ۳۳-۳-۱-۳ حمام رنگ کاری.....
- ۳۴-۳-۱-۴ اسید فسفریک ۵ درصد حجمی.....
- ۳۴-۳-۱-۵ محلول ترکیبی اسید فسفریک و اکسید کروم.....
- ۳۴-۳-۱-۶ محلول زینکاته.....
- ۳۴-۳-۱-۷ محلول آب بندی.....
- ۳۴-۳-۲ پوشش دهی نمونه ها.....
- ۳۷-۳-۳ عملیات حرارتی.....
- ۳۷-۳-۴ زینکاته کردن.....
- ۳۷-۳-۵ منظم سازی حفرات پوشش.....

- ۳-۶ آندایزینگ چند مرحله‌ای ۳۷
- ۳-۷ ارزیابی خواص نوری ۳۹
- ۳-۷-۱ اسپکتروفتومتر ۳۹
- ۳-۸ خواص غیرنوری ۴۰
- ۳-۸-۱ میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۰
- ۳-۸-۲ پراش پرتو ایکس ۴۰
- ۳-۸-۳ آنالیز طیف‌نگار تفکیک انرژی ۴۰
- ۳-۹ برنامه متلب ۴۰

فصل چهارم: یافته‌ها و بحث

- ۴-۱-۱ بررسی پارامترهای مؤثر بر خواص نوری پوشش ۴۳
- ۴-۱-۱-۱ اثر ضخامت پوشش بر خواص نوری ۴۳
- ۴-۱-۱-۲ اثر زمان رنگ‌کاری ۴۹
- ۴-۱-۱-۳ اثر ولتاژ رنگ‌کاری ۵۱
- ۴-۱-۱-۴ اثر عملیات حرارتی ۵۳
- ۴-۱-۱-۵ اثر عملیات زینک‌کاته ۶۳
- ۴-۱-۱-۶ اثر منظم شدن حفرات ۶۶
- ۴-۱-۱-۷ اثر فرایند آندایزینگ چند مرحله‌ای ۷۰
- ۴-۲ مقایسه خواص نوری پوشش‌های جاذب خورشیدی منتخب ایجاد شده به روش آندایزینگ آلومینیوم و روش الکترولس ۷۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

- ۵-۱ نتیجه‌گیری ۸۲
- ۵-۲ پیشنهادات ۸۳
- مراجع ۸۲

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۲-۱- تابش طیف نیم کروی خورشیدی برای AMI.5 و طیف تابشی جسم سیاه از قانون پلانک در سه دمای مختلف ۸
- شکل ۲-۲- نمایش طیف یک جاذب منتخب خورشیدی ایده آل ۸
- شکل ۲-۳- تصویری از پوشش نیمه هادی ۱۰
- شکل ۲-۴- تصویری از سطح مقطع دو نوع پوشش کامپوزیتی (الف) اکسید آلومینیوم پیگمنت نشانی شده با نیکل، و (ب) نیکل/اکسید نیکل پراکنش شده ۱۰
- شکل ۲-۵- تصویری از ساختار فیلم های جاذب چندلایه ۱۱
- شکل ۲-۶- تصویری از یک سطح بافت دار ۱۲
- شکل ۲-۷- تصویر پوشش خورشیدی عبوری منتخب بر یک جاذب مشابه جسم سیاه ۱۲
- شکل ۲-۸- تصویر ساده شده یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت مورد استفاده برای کاربرد آب گرم خانگی ۱۴
- شکل ۲-۹- ساختار فیلم آندی ۱۵
- شکل ۲-۱۰- ساختار آلومینیوم آندایز و پیگمنت نشانی شده با نیکل ۱۶
- شکل ۲-۱۱- تصویری از مکانیزم رنگ کاری الکترولیتی ۱۷
- شکل ۲-۱۲- جذب خورشیدی (-O-) و نشر حرارتی (-●-) به صورت تابعی از زمان آندایزینگ ۱۹
- شکل ۲-۱۳- (الف) نمودار ضخامت و (ب) نمودار نشر بر حسب زمان آندایزینگ برای فیلم ها تشکیل شده در الکترولیت های متفاوت (۱) اسید فسفریک، (۲) اسید کرومیک و (۳) اسید سولفوریک ۲۰
- شکل ۲-۱۴- نمودار نشر بر حسب فاکتور پرکنندگی برای پوشش اکسیدی تشکیل شده در الکترولیت های متفاوت (الف) فاکتور پرکنندگی f_1 و (ب) فاکتور پرکنندگی دیواره f_2 ۲۱
- شکل ۲-۱۵- تغییرات جذب و نشر پوشش حاصل از اسید سولفوریک و فسفریک با ولتاژ آندایزینگ ۲۲
- شکل ۲-۱۶- طیف انعکاسی نمونه های اکسید آندی پیگمنت نشانی شده با نیکل در زمان های رنگ کاری متفاوت (۱) ۳۰ ثانیه، (۲) ۱ دقیقه، (۳) ۲ دقیقه، (۴) ۴ دقیقه و (۵) ۸ دقیقه ۲۳
- شکل ۲-۱۷- وابستگی جذب برای نمونه های رنگ شده با نیکل (۱) بدون افزودنی، (۲) با افزودنی و وابستگی مقدار نیکل (۳) با افزودنی- بر زمان رنگ کاری ۲۴
- شکل ۲-۱۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) آلومینیوم آندایز شده، (ب) آلومینیوم آندایز شده و پیگمنت نشانی شده در الکترولیت واتس و (ج) آلومینیوم آندایز شده و پیگمنت نشانی شده در الکترولیت سترات. همه نمونه ها ۱۰ دقیقه در محلول فسفریک- کرومیک تهی شدند ۲۶
- شکل ۲-۱۹- جذب ذرات فلزی روی سطح بالای اکسید آندی ۲۷

- شکل ۲-۲۰- شکل موج جریان پیگمنت‌نشانی الکترولیتی (الف) یکسوشده نیم‌موج، (ب) هارمونیک و (ج) یکسوشده تمام‌موج..... ۲۷
- شکل ۲-۲۱- شکل موج جریان متناوب-معکوس پیگمنت‌نشانی..... ۲۸
- شکل ۲-۲۲- طیف انعکاسی آلومینیوم آندایز شده در اسید فسفریک و پوشش داده شده با اکسید قلع در ضخامت‌های مختلف..... ۲۹
- شکل ۲-۲۳- طیف انعکاسی پوشش اکسیدی پیگمنت‌نشانی شده با نیکل و بعد از پوشش‌دهی با اکسید قلع و پس از اعمال پوشش سیلیکایی..... ۳۱
- شکل ۳-۱- تصویری از دستگاه آندایزینگ..... ۳۶
- شکل ۳-۲- تصاویری از حمام‌های رنگ‌کاری الکترولیتی (الف) حمام مس و (ب) حمام نیکل..... ۳۶
- شکل ۳-۳- تصویری از (الف) پوشش اکسید متخلخل آندی و (ب) نمایی از سطح مقطع لایه آندایز شده..... ۳۸
- شکل ۴-۱- نمونه‌های آندایز شده در حمام اسید سولفوریک در زمان‌های پوشش‌دهی متفاوت (الف) ۱۰ دقیقه، (ب) ۲۰ دقیقه، (ج) ۲۵ دقیقه، (د) ۳۰ دقیقه و (ه) ۴۲ دقیقه..... ۴۴
- شکل ۴-۲- سطح مقطع پوشش‌های ایجاد شده در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر در زمان‌های (الف) ۱۰ دقیقه، (ب) ۲۰ دقیقه، (ج) ۲۵ دقیقه، (د) ۳۰ دقیقه و (ه) ۴۲ دقیقه..... ۴۵
- شکل ۴-۳- مقایسه انعکاس پوشش AOS با ضخامت‌های مختلف در طول‌موج‌های کوتاه..... ۴۵
- شکل ۴-۴- مقایسه انعکاس پوشش AOS با ضخامت‌های مختلف در طول‌موج‌های بلند..... ۴۶
- شکل ۴-۵- مقادیر جذب و نشر پوشش AOS بر حسب ضخامت پوشش..... ۴۶
- شکل ۴-۶- نمونه‌های آندایز شده در حمام اسید فسفریک در شرایط مختلف پوشش‌دهی (الف) ۱۸ ولت، ۳۰ دقیقه و پیگمنت مس، (ب) ۱۸ ولت، ۶۰ دقیقه و پیگمنت مس، (ج) ۱۸ ولت، ۹۰ دقیقه و پیگمنت مس (د) ۲۰ ولت، ۳۰ دقیقه و پیگمنت مس (ه) ۲۵ ولت، ۳۰ دقیقه و پیگمنت نیکل..... ۴۷
- شکل ۴-۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوشش AOP در بزرگنمایی‌های مختلف..... ۴۸
- شکل ۴-۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع پوشش AOP (الف) بدون پیگمنت‌نشانی و (ب) پیگمنت‌نشانی شده با ذرات نیکل..... ۴۸
- شکل ۴-۹- وابستگی انعکاس پوشش AOP در طول‌موج‌های کوتاه به زمان پیگمنت‌نشانی در حمام نیکل..... ۴۹
- شکل ۴-۱۰- وابستگی انعکاس پوشش AOP در طول‌موج‌های بلند به زمان پیگمنت‌نشانی در حمام نیکل..... ۵۰
- شکل ۴-۱۱- تصویری از پدیده کندگی پوشش..... ۵۱
- شکل ۴-۱۲- مقایسه انعکاس در طول‌موج‌های کوتاه پوشش‌های AOP پیگمنت‌نشانی شده در ولتاژهای رنگ‌کاری ۱۲ و ۱۵ ولت و زمان رنگ‌کاری ۵ دقیقه در حمام نیکل..... ۵۲

- شکل ۴-۱۳- مقایسه انعکاس در طول موج‌های بلند پوشش‌های AOP پیگمنت‌نشانی شده در ولتاژهای رنگ‌کاری ۱۲ و ۱۵ ولت و زمان رنگ‌کاری ۵ دقیقه در حمام نیکل..... ۵۲
- شکل ۴-۱۴- الگوی پراش پرتو ایکس آلومینیوم (الف) بدون آنیل و (ب) آنیل شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت..... ۵۳
- شکل ۴-۱۵- الگوی پراش پرتو ایکس پوشش اکسیدی پیگمنت‌شده با ذرات نیکل (الف) با زیرلایه بدون آنیل و (ب) با زیرلایه آنیل شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت..... ۵۳
- شکل ۴-۱۶- اثر آنیل زیرلایه آلومینیومی بر انعکاس پوشش AOP در طول موج‌های کوتاه..... ۵۴
- شکل ۴-۱۷- اثر آنیل زیرلایه آلومینیومی بر انعکاس پوشش AOP در طول موج‌های بلند..... ۵۵
- شکل ۴-۱۸- آنالیز پراش پرتو ایکس آلومینا (بدون زیرلایه آلومینیومی) آنیل شده در دماهای مختلف (الف) ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و (ب) ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد..... ۵۶
- شکل ۴-۱۹- تصویر نمونه‌های AOS عملیات حرارتی شده به مدت ۱ ساعت در دماهای (الف) ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد (ب) ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و (ج) ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد..... ۵۶
- شکل ۴-۲۰- مقایسه آنالیز پراش پرتو ایکس پوشش AOS پیگمنت‌نشانی شده با ذرات مس و عملیات حرارتی شده در دماهای مختلف (الف) بدون آنیل، آنیل شده در دمای (ب) ۴۰۰، (ج) ۵۰۰ و (ج) ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد..... ۵۸
- شکل ۴-۲۱- مقایسه آنالیز پراش پرتو ایکس پوشش AOP پیگمنت‌نشانی شده با ذرات نیکل (الف) بدون آنیل، (ب) آنیل شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و (ج) آنیل شده در شرایط نمونه (ب) و در کوره با محیط کنترل شده..... ۵۸
- شکل ۴-۲۲- اثر عملیات حرارتی در دماهای مختلف بر انعکاس پوشش AOS در طول موج‌های کوتاه..... ۶۰
- شکل ۴-۲۳- اثر عملیات حرارتی در دماهای مختلف بر انعکاس پوشش AOS مس در طول موج‌های بلند..... ۶۰
- شکل ۴-۲۴- اثر عملیات حرارتی در دماهای مختلف بر انعکاس پوشش AOP در طول موج‌های کوتاه..... ۶۱
- شکل ۴-۲۵- اثر عملیات حرارتی در دماهای مختلف بر انعکاس پوشش AOP در طول موج‌های بلند..... ۶۱
- شکل ۴-۲۶- مقادیر جذب و نشر پوشش AOS در دماهای مختلف عملیات حرارتی..... ۶۲
- شکل ۴-۲۷- مقادیر جذب و نشر پوشش AOP دماهای مختلف عملیات حرارتی..... ۶۲
- شکل ۴-۲۸- (الف) سطح آنالیز EDS ۱۰۰۰ برابر سطح پوشش AOP زینکاته شده قبل از فرایند پیگمنت‌نشانی و (ب) آنالیز EDS مربوط به قسمت (الف)..... ۶۳
- شکل ۴-۲۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوشش AOP در حالت‌های مختلف (الف) بدون زینکاته، (ب) زینکاته شده قبل از پیگمنت‌نشانی و (ج) زینکاته شده پس از پیگمنت‌نشانی..... ۶۴
- شکل ۴-۳۰- انعکاس در طول موج‌های کوتاه برای پوشش AOP بدون زینکاته و زینکاته شده..... ۶۵
- شکل ۴-۳۱- انعکاس در طول موج‌های بلند برای پوشش AOP بدون زینکاته و زینکاته شده..... ۶۵
- شکل ۴-۳۲- مقادیر جذب و نشر پوشش AOP در حالت‌های بدون زینکاته و زینکاته شده..... ۶۶

- شکل ۴-۳۳- مراحل ایجاد پوشش اکسیدی با حفرات منظم ۶۷
- شکل ۴-۳۴- مقایسه انعکاس پوشش AOS با حفرات منظم و نامنظم در طول موج های کوتاه ۶۸
- شکل ۴-۳۵- مقایسه انعکاس پوشش AOP با حفرات منظم و نامنظم در طول موج های کوتاه ۶۸
- شکل ۴-۳۶- مقایسه انعکاس پوشش AOS با حفرات منظم و نامنظم در طول موج های بلند ۶۹
- شکل ۴-۳۷- مقایسه انعکاس پوشش های AOP با حفرات منظم و نامنظم در طول موج های بلند ۶۹
- شکل ۴-۳۸- تصویری از آندایزینگ چند مرحله ای (الف) آندایزینگ معمولی، (ب) عریض سازی حفرات، (ج) آندایزینگ دو مرحله ای و (د) آندایزینگ سه مرحله ای ۷۰
- شکل ۴-۳۹- سطح مقطع پوشش های AOS با مراحل آندایزینگ متفاوت (الف) یک مرحله آندایزینگ، (ب) دو مرحله آندایزینگ و (ج) سه مرحله آندایزینگ ۷۱
- شکل ۴-۴۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پوشش های AOS با مراحل آندایزینگ متفاوت (الف) یک مرحله آندایزینگ، (ب) دو مرحله آندایزینگ و (ج) سه مرحله آندایزینگ ۷۲
- شکل ۴-۴۱- مقایسه انعکاس در طول موج های کوتاه برای پوشش AOS با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۳
- شکل ۴-۴۲- مقایسه انعکاس در طول موج های بلند برای پوشش AOS با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۳
- شکل ۴-۴۳- مقادیر جذب و نشر پوشش AOS با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۴
- شکل ۴-۴۴- مقایسه انعکاس در طول موج های کوتاه برای پوشش AOP با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۶
- شکل ۴-۴۵- مقایسه انعکاس در طول موج های بلند برای پوشش AOP با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۶
- شکل ۴-۴۶- مقادیر جذب و نشر پوشش AOP با مراحل مختلف آندایزینگ ۷۷
- شکل ۴-۴۷- (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح پوشش ایجاد شده به روش آندایزینگ و (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح الکترولس نیکل-فسفر سیاه ۷۸
- شکل ۴-۴۸- مقایسه طیف انعکاسی در طول موج های کوتاه پوشش های جاذب منتخب ایجاد شده به روش های آندایزینگ و الکترولس ۷۹
- شکل ۴-۴۹- مقایسه طیف انعکاسی در طول موج های بلند پوشش های جاذب منتخب ایجاد شده به روش های آندایزینگ و الکترولس ۷۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- تغییر مقادیر جذب و نشر با دمای حمام آندایزینگ برای اسید سولفوریک ۱۵ درصد وزنی	۱۹
جدول ۲-۲- اثر افزودنی حمام رنگ کاری ضریب جذب و مقدار نیکل	۲۵
جدول ۳-۲- ترکیب الکترولیت های رنگ کاری الکترولیتی پایه نیکل	۲۵
جدول ۴-۲- مقدار نیکل رسوبی در پوشش اکسیدی رنگ کاری الکترولیتی شده	۲۸
جدول ۵-۲- خواص نوری و پارامتر نمونه ها قبل بعد از اعمال پوشش ضدانعکاس	۳۰
جدول ۱-۳- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم سری ۱۱۰۰	۳۳
جدول ۲-۳- ترکیب حمام های رنگ کاری به همراه شرایط رنگی کاری	۳۳
جدول ۳-۳- شرایط آماده سازی پوشش های اکسیدی آندایز شده در حمام اسید سولفوریک ۱/۶ مولار	۳۵
جدول ۴-۳- شرایط آماده سازی پوشش های اکسیدی آندایز شده در حمام اسید فسفریک ۳ مولار	۳۵
جدول ۵-۳- زمان آندایزینگ و عریض سازی برای عملیات آندایزینگ چند مرحله ای	۳۸
جدول ۱-۴- مقادیر جذب و نشر پوشش AOP در زمان های مختلف پیگمنت نشانی در حمام نیکل	۵۰

فصل اول

مقدمه

صفحات جاذب یکی از اجزای مهم کلکتورهای خورشیدی هستند. کلکتور خورشیدی، مهم‌ترین قسمت هر سیستم خورشیدی است که انرژی تابشی ورودی از خورشید را به حرارت تبدیل می‌کند و سپس آن را به یک سیال (معمولاً هوا، آب یا روغن) انتقال می‌دهد. برای بیشینه ساختن کارایی کلکتورها، صفحات جاذب باید منتخب طیفی^۱ باشد؛ جذب بالا در ناحیه خورشیدی (۲/۵-۰/۳ میکرومتر) و نشر پایینی در ناحیه مادون قرمز (۲۵-۲/۵ میکرومتر) داشته باشند. انرژی خورشیدی که به‌طور فراوان در دسترس است، می‌تواند نقش بزرگی را به‌عنوان یکی از منابع انرژی جایگزین ایفا کند. با استفاده از انرژی خورشید و به‌دام انداختن پرتو آن می‌توان حرارت و الکتریسیته تولید کرد. ابزارهای فتوولتائیک^۲ از مواد نیمه‌هادی برای تبدیل مستقیم نور خورشید به الکتریسیته استفاده می‌کنند، درحالی‌که کلکتورهای خورشیدی، پرتو خورشید را به حرارت تبدیل می‌کنند. از کلکتورهای خورشیدی برای گرم کردن آب و هوا در ساختمان‌ها در دماهای پایین (کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) و تولید بخار برای تولید برق در دماهای بالا استفاده می‌شود. درباره انرژی خورشیدی مطالعات زیادی صورت گرفته و در مناطق مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. مبدل‌های حرارتی که برای گرم کردن آب و هوای ساختمان‌ها به کار می‌روند، اساساً کلکتورهای صفحه تخت هستند.

برای اولین بار در سال ۱۹۵۰، قواعد و مزایایی با استفاده از سطوح منتخب طیفی روی کلکتور استنتاج شد، هرچند پیشرفت کار تا سال ۱۹۷۰ بسیار کند بود. کروم سیاه برای اولین بار به‌عنوان سطح منتخب پیشنهاد شد که پوششی شناخته شده در اهداف تزئینی بود. آلومینای رنگ‌شده با نیکل نیز به‌عنوان سطح منتخب پیشنهاد شد. متداول‌ترین نوع جاذب‌ها، تاندوم‌های جاذب-منعکس‌کننده هستند که آن‌ها را با استفاده از ترکیب دو سطح، سطحی با جذب بالا در

^۱Spectrally selective
^۲Photo-voltaic devices

ناحیه خورشیدی و سطحی با انعکاس بالا در ناحیه مادون قرمز می‌سازند. روش‌های مختلفی برای تولید این سطوح استفاده می‌شود که معمولاً به روش‌های شیمی تر، رسوب در خلأ و رنگ آمیزی تقسیم‌بندی می‌شوند. روش شیمی تر معمولاً برای کاربرد جاذب‌های خورشیدی دما پایین استفاده می‌شود. از پوشش‌های متداول ایجاد شده با روش شیمی تر می‌توان کروم سیاه و اکسید آلومینیوم پیگمنت شده با نیکل را نام برد.

روش آندایزینگ از جمله فرایندهایی است که در صورت بومی شدن تکنولوژی آن در مصارف سیستم‌های خورشیدی، به دلیل مزایای اقتصادی نسبت به دیگر روش‌های پوشش‌دهی مطلوب تر است و موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی خواهد شد. در فرایند آندایزینگ، لایه نازک اکسید آلومینیوم متخلخل، با اکسید شدن آند آلومینیومی در الکترولیت‌های خاصی مانند اسید سولفوریک و اسید فسفریک شکل می‌گیرد. لایه‌های مناسب برای مبدل‌های فتوترمال انرژی خورشیدی را می‌توان با قرار دادن الکترولیتی ذرات فلزی مثل نیکل در زمینه متخلخل لایه‌های آندایز شده به دست آورد.

بررسی‌های زیادی بر خواص نوری و پایداری حرارتی سطوح جاذب خورشیدی اکسید آلومینیوم پیگمنت‌نشانی شده با ذرات فلزی به خصوص ذرات نیکل صورت گرفته است. پوشش‌های اکسیدی پیگمنت‌نشانی شده با ذرات نیکل نسبت به دیگر پیگمنت‌ها پایداری حرارتی و خواص نوری بهتری نشان داده‌اند. اثر متغیرهای آندایزینگ و پیگمنت‌نشانی مانند ولتاژ، زمان و نوع الکترولیت بر خواص نوری سطح جاذب نیز بررسی شده است. پارامترهای آندایزینگ روی ساختار و مورفولوژی لایه اکسیدی و در نتیجه خواص نوری پوشش نهایی مؤثرند. علاوه بر آن شرایط رنگ‌کاری مثل نوع فلز رسوبی، ولتاژ و زمان نیز بر ضریب جذب و نشر پوشش تأثیرگذار است. زاویه برخورد نور خورشید بر سطح جاذب یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بر خواص نوری سطوح جاذب معرفی شد. نتایج نشان داد که افزایش زاویه برخورد نور خورشید به سطح، جذب را کاهش می‌دهد و کاهش جذب برای پوشش اکسید آلومینیوم پیگمنت‌نشانی شده با نیکل نسبت به پوشش اکسید نیکل-نیکل پراکنش^۱ شده، در زوایای بیشتری رخ می‌دهد. تا کنون تحقیقی درباره مورفولوژی حفرات و همچنین فرایندهایی مانند عملیات حرارتی و زینکاته بر خواص نوری سطوح جاذب آندایز شده انجام نشده است.

با توجه به مطالب گفته شده و با در نظر گرفتن این که روش آندایزینگ یکی از روش‌های کم هزینه تولید پوشش‌های جاذب خورشیدی است، هدف از انجام این پژوهش ساخت پوشش جاذب خورشیدی به روش آندایزینگ و بهینه‌سازی خواص نوری آن است. انتظار می‌رود با بررسی اثر مورفولوژی و تخلخل‌های این پوشش بر ضریب جذب و نشر و همچنین انجام عملیات حرارتی و زینکاته، بتوان خواص نوری آن را بهبود داد.

در فصل دوم اطلاعاتی درباره تابش الکترومغناطیس خورشید و حرارت آمده است. همچنین در این بخش خواص نوری یک سطح جاذب منتخب و نحوه محاسبه این خواص، انواع سطوح جاذب و روش‌های تولید این سطوح توضیح داده می‌شود. علاوه بر این ساختار یک کلکتور متداول صفحه تخت نیز به طور خلاصه توصیف می‌گردد. در ادامه مراحل ایجاد سطوح جاذب منتخب خورشیدی به روش آندایزینگ شامل آندایزینگ آلومینیوم، رنگ‌کاری پوشش اکسیدی و آب‌بندی حفرات آن توضیح داده می‌شود. در پایان این فصل، عوامل مؤثر بر خواص نوری پوشش‌های جاذب خورشیدی منتخب ایجاد شده به روش آندایزینگ بررسی می‌شود. فصل سوم شامل مراحل آزمایشگاهی از جمله مواد اولیه، آماده‌سازی نمونه‌ها و عملیات تکمیلی برای بهبود خواص نوری، اندازه‌گیری

^۱Sputtering

خواص نوری و غیرنوری سطح جاذب است. نتایج آزمایشگاهی به طور مفصل در فصل چهارم توضیح داده می شود. در پایان، نتایج مهم تحقیق و پیشنهادات برای ادامه کار در فصل پنجم بیان می شود.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱ تئوری سطوح جاذب منتخب

۲-۱-۱ تابش الکترومغناطیس

پدیده الکترومغناطیس به عنوان شکل کلی توزیع شارژ الکتریکی جریان شناخته شده است. ماکسول^۱ اولین کسی بود که تئوری الکترومغناطیس کلاسیک را در سال ۱۸۶۵ پیشنهاد داد و نشان داد که نور شکلی از پرتو الکترومغناطیس است. تابش الکترومغناطیس را می توان مطابق با شرایط مختلف به محدوده های طول موج تقسیم بندی کرد. محدوده طول موج خاص طیف الکترومغناطیس، به طور مثال خورشید که محدوده خورشیدی ($\lambda = 0.3 - 2.5$ میکرومتر) UV/Vis/NIR (فرابنفش/مرئی/مادون قرمز) و حرارتی ($\lambda = 2.5 - 25$ میکرومتر) را پوشش می دهد، برای کاربردهای انرژی خورشیدی از اهمیت زیادی برخوردار است.

۲-۱-۲ تابش حرارتی

تابش الکترومغناطیس حرارتی از هر شیء با دمای بالای صفر مطلق نشر پیدا می کند. طول موج و شدت تابش با استفاده از دمای جسم سیاه و خواص نوری آن اندازه گیری می شود. جسم سیاه، یک جسم فیزیکی ایده آل است که کل پرتو برخوردی را جذب می کند و بیشینه مقدار انرژی برای دمای مورد نظر را نشر می دهد. از جسم سیاه معمولاً برای مقایسه خواص سطح واقعی استفاده می شود. قانون پلانک تابش جسم سیاه را به صورت زیر بیان می کند:

^۱Maxwell

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[e^{\left(\frac{C_2}{\lambda T} \right)} - 1 \right]} \quad (1-2)$$

که در این رابطه $C_1 = 3.7405 \times 10^8 \text{ W}\mu\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ و $C_2 = 1.4388 \times 10^4 \text{ W}\mu\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ثابت‌های اول و دوم پلانک هستند. λ طول موج بر حسب میکرومتر و $B(\lambda, T)$ بر حسب $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ است. انرژی نشر یافته کل را می‌توان با انتگرال گیری از طیف پلانک در سرتاسر محدود طول موج به دست آورد. قانون بولتزمن انرژی نشر یافته کل را برای جسم سیاه چنین بیان می‌کند:

$$B(T) = \sigma T^4 \quad (2-2)$$

که $\sigma = 5.6796 \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$ ثابت تئوری استفن-بولتزمن^۱ است. این قانون نشان می‌دهد که تابش جسم سیاه متناسب با توان چهارم دمای مطلق است. به عبارت دیگر، افزایش دما با فاکتور ۲ می‌تواند تابش را با فاکتور ۱۶ افزایش دهد.

۳-۱-۲ تابش خورشید

خورشید تقریباً 1.496×10^{11} متر از زمین فاصله دارد و انرژی تابشی کل $3.8 \times 10^{26} \text{ kW}$ را نشر می‌دهد. طیف تابش خورشید از طول موج کوتاه در محدوده مادون قرمز تا طول موج‌های خیلی کوتاه پرتو گاما توزیع شده است. هرچند بیشتر تابش خورشید توسط ترکیبات اتمسفر مثل اکسیژن، نیتروژن، ازن، کربن دی‌اکسید و بخار آب جذب یا پراکنده می‌شود. برخورد تابش خورشید حقیقی بر سطح زمین در کل سال به مقدار ثابت $G_{sc} = 1367 \pm 0.1 \text{ W/m}^2$ میل می‌کند، که به عنوان ثابت خورشید نام گذاری شده است. حدود ۸۰٪ درصد از تابش خورشید در زمین در ناحیه فرابنفش، ۴۵/۴۱ درصد در ناحیه مرئی و ۴۶/۴۰ درصد در ناحیه نزدیک مادون قرمز قرار دارد. همچنین دمای جسم سیاه مؤثر خورشید^۲ را می‌توان با استفاده از رابطه زیر از ثابت خورشید محاسبه کرد:

$$T = \left[\frac{G_{sc}}{\sigma} \left(\frac{r_0}{r_s} \right)^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3-2)$$

که r_0 و r_s به ترتیب فاصله خورشید تا زمین و شعاع میانگین خورشیدی است. از این رابطه، دمای جسم سیاه مؤثر خورشید ۵۷۷۷ کلوین است.

توزیع طیف خورشیدی و شدت آن می‌تواند با تغییر ترکیب جاذب‌ها و پراکنش‌های اتمسفر و همچنین مسیر پرتوهایی که از اتمسفر عبور می‌کنند (جرم هوا^۳)، تغییر یابد. با اندازه گیری موقعیت خورشید، امکان محاسبه جرم هوا وجود دارد. جرم هوا به عنوان نسبت جرم نوری در مسیر نوری مستقیم به مسیر عمودی تعریف می‌شود. جرم عمودی

^۱Stephan-Boltzman law

^۲Effective blackbody temperature

^۳Air Mass (AM)

هوا اساساً بر دانسیته تابش خورشیدی در طول موج‌های کوتاه مؤثر است که دانسیته کل تابش خورشیدی را تغییر می‌دهد. جرم هوا ۱/۵ (AM1.5) برای خواص نوری سطح منتخب خورشیدی گزیده شده است.

۲-۱-۴ خواص سطوح منتخب خورشیدی

کارایی جاذب‌های منتخب با استفاده از ضریب جذب و ضریب نشر آن‌ها طبقه‌بندی می‌شود. جذب خورشیدی به‌عنوان نسبت پرتو جذب شده به کل پرتو برخوردی تعریف می‌شود. با استفاده از قانون کیرشهف^۱، ضریب جذب طیفی را می‌توان بر حسب قابلیت انعکاس کل $R(\lambda, \theta)$ برای جسم کدر بیان کرد:

$$\alpha(\lambda, \theta) = 1 - R(\lambda, \theta) \quad (۴-۲)$$

که $R(\lambda, \theta)$ جمع انعکاس موازی و پراکنده شده، λ طول موج، θ زاویه برخورد نور و T دما را نشان می‌دهد. جذب خورشیدی را می‌توان با ترکیب رابطه (۴-۲) با طیف خورشیدی وابسته به طول موج $G(\lambda)$ به دست آورد:

$$\alpha(\theta) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [1 - R(\lambda, \theta)] G(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda) d\lambda} \quad (۵-۲)$$

که λ_1 و λ_2 به ترتیب مینیمم و ماکزیمم طول موج خورشید هستند. با استفاده از اسپکتروفتومترهای استاندارد، انعکاس خورشید معمولاً در طول موج ۲/۵-۰/۳ میکرومتر و در زاویه برخورد عمودی ($\theta = 0$) اندازه‌گیری می‌شود [۱].
نشر حرارتی پارامتر دیگری است که کارایی سطح منتخب خورشیدی را در ناحیه مادون قرمز توصیف می‌کند. نشر را می‌توان به صورت کسر پرتو نشر یافته از جسم حرارت دیده در مقایسه با جسم سیاه در دمای یکسان تعریف کرد. چون تابش حرارتی از تمام جهات نشر می‌یابد، نشر حرارتی نیم‌کروی استفاده می‌شود. استفاده از قانون کیرشهف برای یک جسم غیرشفاف، نشر حرارتی به صورت زیر گزارش شده است:

$$\varepsilon(\lambda, T) = 1 - R(\lambda, T) \quad (۶-۲)$$

و نشر حرارتی نیم‌کروی در دمای داده شده T با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$(۷-۲)$$

$$\varepsilon(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [1 - R(\lambda, T)] B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda}$$

تابش نشر یافته از یک جسم سیاه در دماهای پایین اساساً در ناحیه مادون قرمز یافت می‌شود. بنابراین ۲/۵ و ۲۵ به ترتیب برای λ_1 و λ_2 استفاده می‌شود. نشر حرارتی برای یک جسم سیاه، منحصر به فرد است.
طیف جسم سیاه در سه دمای مختلف به همراه طیف خورشیدی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. می‌توان ملاحظه کرد که طیف خورشیدی در ۲/۵-۰/۳ میکرومتر توزیع شده است و با طیف جسم سیاه هم‌پوشانی ندارد. همچنین

^۱Kirchoff