دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

طراحی و ساخت سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید فیلم نازک

نگارش:

ندا فرح فرد

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم عبیری

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا صالحی

بهمن ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

طراحی وساخت سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید فیلم نازک

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

ندا فرح فرد

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه الکترونیک دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر ابراهیم عبیری استادیار مهندسی برق و الکترونیک (استاد راهنما)

دکتر محمدرضا صالحی دانشیار مهندسی برق و الکترونیک(استاد مشاور)

دکتر علی مشرقی استادیار مهندسی و علم مواد (استاد داور)

دکتر زهیر کرد رستمی استادیار مهندسی برق و الکترونیک (استاد داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب ندافرح فرد دانشجوی رشته برق و الکترونیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۴۰۵۹ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: ندا فرح فرد

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر عبیری

تاریخ:

امضا:

تقدیم به

تمامی کسانی که دوستشان دارم و در این راه زحمت زیادی برای من کشیده اند. امیدوارم توانسته باشم گوشه ای از زحماتشان را بدین وسیله جبران کرده باشم.

تشکر و قدردانی

اکنون که این رساله به پایان رسیده است برخود فرض می دانم که از استاد ارجمند دکتر عبیری که در این راه بسیار مرا راهنمایی و کمک کرده اند و همچنین از پدر و مادر عزیزم که همیشه پشتیبان و حامی من بوده اند و همچنین از همسر عزیزم که با صبر و بردباری خود در این مدت به من درس زندگی آموختند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

طراحی و ساخت سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید فیلم نازک

نگارش:

ندا فرح فرد

با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در جهان، دیگر نمی توان به منابع موجود انرژی متکی بود. مصرف بی رویه و روز افزون سوخت های فسیلی به عنوان منابع محدود انرژی و تأثیر آن بر محیط زیست توجه جهانیان را به استفاده از انرژی های تجدید پذیر جلب نموده است. یکی از بهترین منابع تجدید شونده امید بخش برای تأمین انرژی در دهه های آینده، انرژی خورشیدی است. از این رو ساخت سلول خورشیدی آلی مورد توجه قرار گرفته است.

در این پایان نامه به بررسی کلیات هر پنل خورشیدی، پارامترها و روابط تأثیر گذار در آن ها(از جمله ولتاژ مدارباز، جریان اتصال کوتاه،فاکتور انباشتگی ،اتلاف ها، بازدهی و بازترکیب)، انواع سلول خورشیدی، گونه های مختلف از نظر ساخت، خصوصیات لایه های مختلف آن پرداخته شده است. همچنین با استفاده از نتایج شبیه سازی توسط برنامه های wxamps و بهینه کردن نتایج، داده های اولیه جهت ساخت سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید فیلم نازک را به دست آمده است. سلول مذکور دارای ۴لایه SnO_2(اتصال جلویی)، ZnO(لایه بافر)، CdS(لایه پنجره ای)، CdTe(لایه جاذب) می باشد. ایده به کار گرفته شده در این تحقیق، بهبود بازدهی به کمک اضافه کردن لایه بافر و بهینه کردن ضخامت لایه های مختلف می باشد. لایه بافر بین لایه پنجره ای (لایهCdS) و لایه اکسید رسانای شفاف قرار داده شده است. برای ساخت از سامانه لایه نشانی کندوپاش مگنترونMSS6-160 استفاده شده است. لایه نشانی توسط RF Sputtering و DC Sputtering صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی:سلول خورشیدی فیلم نازک، کادمیوم تلوراید، لایه پنجره ای، لایه اکسید رسانای شفاف، لایه بافر

فهرست مطالب

۱.فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کلیات ۳

۱-۳- هدف تحقیق و اهمیت آن ۵

۱-۳-۱- انرژی های تجدید پذیر ۶

۱-۴- بیان کلیات مساله ۱۰

۱-۴-۱- طبقه بندی نوع اول ۱۰

۱-۴-۲-طبقه بندی نوع دوم ۱۳

۱-۵- بخش‌های پایان نامه ۱۶

۲.فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده **۱۷**

۲-۱- مقدمه ۱۸

۲-۲- تعاریف، اصول و مبانی نظری ۱۸

۲-۲-۱- جذب نوری و بازترکیب در نیم رسانا ۱۸

۲-۲-۲- معادله پیوستگی ۲۴

۲-۲-۳- اثر هادی نور ۲۶

۲-۳- پارامترها و تعریف اولیه مهم در سیستم های خورشیدی ۲۷

۲-۳-۱- طیف خورشید ۲۷

۲-۳-۲- کمیت نور ۲۷

۲-۳-۳- کیفیت نور ۲۸

۲-۳-۴- طول مدت تابش ۲۸

۲-۳-۵- ثابت خورشیدی ۲۸

۲-۴- اصول اساسی سلول های خورشیدی با پیوندگاه p-n ۲۹

۲-۴-۱- خصوصیات فتوولتائیکی ۳۰

۲-۴-۲- پارامترهای بروندهی سلول های خورشیدی با پیوندگاه p-n ۳۳

۲-۵- اتلاف انرژی در سلول خورشیدی با پیوندگاه p-n ۳۹

۲-۵-۱- اتلاف انرژی در سلول خورشیدی ایده آل ۳۹

۲-۵-۲- اتلاف انرژی در سلول خورشیدی واقعی ۴۰

۲-۶- اصول اساسی سلول خورشیدی با استفاده از مواد نانو بلوری ۴۱

۲-۶-۱- خصوصیات بنیادی مواد نانوبلوری ۴۱

۲-۶-۲- ساختار نوار انرژی ۴۳

۲-۶-۳- جدایی بار ایجاد شده توسط نور ۴۴

۲-۷- مروری بر ادبیات موضوع ۴۵

۲-۷-۱- ساختار سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید ۴۶
۲-۷-۲- خصوصیات سلول خورشیدی CIGS ۵۴
۲-۷-۳- ساختار سلول خورشیدی حساس به رنگینه حالت جامد ۵۷
۲-۸- نتیجه‌گیری ۶۳

۳.فصل سوم: روش پیشنهادی برای حل مسأله ۶۶

۳-۱- مقدمه ۶۷
۳-۲- بیان مساله ۶۷
۳-۲-۱- علت انتخاب روش ۶۸
۳-۲-۲- روش حل و مدل ریاضی در عملکرد داخلی برنامه AMPS ۶۹
۳-۳- روش پیشنهادی برای حل مسأله ۸۳
۳-۴- آشنایی با سامانه لایه نشانی کندوپاش مگنترون MSS6-160 ..... ۹۲
۳-۵- رویه کار با دستگاه لایه نشانی کندوپاش مگنترون MSS6-160 ..... ۱۱۲
۳-۵-۱- تمیز کردن نمونه ها به وسیله پلاسما ۱۱۲
۳-۵-۲- گرم کردن نمونه ها ۱۱۲
۳-۵-۳- عملیات ساده کندوپاش جریان مستقیم ۱۱۳
۳-۵-۴- عملیات ساده کندوپاش بسامد رادیویی ۱۱۸
۳-۵-۵- تطبیق امپدانس برای کندوپاش RF ۱۲۰

۴.فصل چهارم: نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی ۱۲۱

۴-۱- مقدمه ۱۲۲
۴-۲- محتوا ۱۲۶
۴-۳- مشخصات ساخت لایه های سلول خورشیدی ۱۳۵
۴-۴- نتایج عکس برداری از نمونه های لایه نشانی شده ۱۳۶
۴-۵- بهینه سازی با استفاده از زیر سطح رنگی ۱۳۹

۵.فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱۴۰

۵-۱- مقدمه ۱۴۱
۵-۲- جمع بندی و نوآوری ۱۴۱
۵-۳- پیشنهادها ۱۴۲

مراجع ۱۴۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ : طرح نمایش عناصر کاربردی یک سیستم پیل خورشیدی ۳
شکل ۲-۱: فرآیند جذب نوری در نیم رسانا ۱۹
شکل ۲-۲: فرآیند بازترکیب در نیم رساناها (a)بازترکیب مستقیم،(b)بازترکیب غیر مستقیم و (C)بازترکیب اوژه ۲۲
شکل ۲-۳: جریان الکترون در حجمی کوچک برای تشریح معادله پیوستگی ۲۵
شکل ۲-۴ : پروفایل غلظت حامل اضافی در حالت پایا زمانی که غلظت بیشینه x = ۰ تولید شده است. ۲۵
شکل ۲-۵: دیاگرامی از هادی نور ۲۷
شکل ۲-۶ : بیان شماتیکی از جریان حامل در پیوندگاه p-n نورتابی شده در مورد مدار کوتاه ۳۰
شکل ۲-۷: دیاگرام نوار انرژی مربوط به پیوندگاه p-n نورتابی شده در (a)جریان مدار کوتاه (b)جریان مدار باز ۳۱
شکل ۲-۸: مشخصه های ولتاژ-جریان مربوط به پیوندگاه p-n تحت نورتابی و تاریکی..... ۳۲
شکل ۲-۹: شماتیک مقطع عرضی سلول خورشیدی با پیوندگاه p-n برای محاسبه پارامترهای سلول خورشیدی ۳۳
شکل ۲-۱۰ : چگالی جریان مدار کوتاه ایده آل سلول خورشیدی با پیوندگاه p-n به عنوان تابعی از بندگپ ۳۶
شکل ۲-۱۱: ولتاژ مدار باز ایده آل سلول خورشیدی باپیوندگاه p-n به عنوان تابعی از باندگپ ۳۸
شکل ۲-۱۲: راندمان تبدیل ایده آل سلول خورشیدی با پیوندگاه p-n به عنوان تابعی از گاف انرژی ۳۹
شکل ۲-۱۳: شماتیکی از توزیع طیفی نور خورشید و اتلاف های انرژی ۴۰
شکل ۲-۱۴ : حالت های الکترواستاتیکی برای (a)نیم رسانای توده ای (b)بلورهای ریز و (c) مولکول ۴۲
شکل ۲-۱۵: دیاگرام نوار انرژی ذرات (a)نیم رسانای برزگ، (b)نیم رسانای کوچک در الکترولیت ۴۴
شکل ۲-۱۶: نیمرخ نوار انرژی سلول خورشیدی بر پایه مواد نانوبلوری ۴۵
شکل ۲-۱۷ : (a)ریزنگارTEM از مقطع عرضی سلول CdTe بعد از لایه نشانی (b) یک نمونه از سطح بعد از بهبود توسط $CdCl_2$ ۴۷

شکل ۲-۱۸: شماتیکی از مقطع عرضی ساختار "superstrate" و "substrate" برای سلول خورشیدی لایه نازک CdTe و CIGS ۴۸
شکل ۲-۱۹: انتقال نور در لایه های مختلف اتصالات جلویی و لایه های بافر(چپ) و لایه های جاذب مختلف (راست) ۴۹
شکل ۲-۲۰: مقایسه پایداری سلول های CdTe با اتصالات پشتی مختلف در جذب ۵۳
شکل ۲-۲۱: اصل عملکرد دیاگرام سطح انرژی یک سلول خورشیدی حساس به رنگینه ۵۸
شکل ۲-۲۲: برش عرضی یک DSSC حالت جامد با استفاده از Spiro-OMeTAD به عنوان ماده انتقال دهنده حفره (HTM) و تصویر میکروسکوپی اسکن الکترون در لایه ۶۰
شکل ۲-۲۳: رنگینه Zn-Porphyrin و Zn-Phthalocyanine ۶۳
شکل ۳-۱: نمودار باند انرژی سد شاتکی در تعادل گرمایی ۷۰
شکل ۳-۲: نمودار چگالی حالات نمایش دهنده سطوح تزریق متمرکز گسسته ۷۴
شکل ۳-۳: نمودار چگالی حالات نشان دهنده یک گروه از حالات تزریق ۷۸
شکل ۳-۴: نمودار چگالی حالات عمومی نشان دهنده توزیع عمومی از حالات تزریق ۸۱
شکل ۳-۵: ساختار اولیه برای یک سلول خورشیدی لایه نازک ۸۵
شکل ۳-۶: نمودارIV مشاهده شده بدون استفاده از لایه بافر و با در نظر گرفتن ضخامت های مورد استفاده در جدول ۳-۱ ..... ۸۶
شکل ۳-۷: نمودارIV با افزایش ضخامت به مقدار ۰/۳۹μm و با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای جدول ۳-۱ ..... ۸۷
شکل ۳-۸: نمودارIV مشاهده شده بدون استفاده از لایه بافر و با در نظر گرفتن ضخامت های مورد استفاده در جدول ۳-۲ ..... ۸۸
شکل ۳-۹: نمودارIV با افزایش ضخامت به مقدار ۰/۳۹μm و با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای جدول ۳-۲ ..... ۸۹
شکل ۳-۱۰: نمودارIV سلول خورشیدی لایه نازک با استفاده از لایه SnO_2 به عنوان بافر و با استفاده از ضخامت های ذکر شده در جدول ۳-۳ ..... ۹۰
شکل ۳-۱۱: نمودارIV سلول خورشیدی لایه نازک با استفاده از بافر ZnO مطابق با پارامترهای جدول ۳-۴ ..... ۹۲
شکل ۳-۱۲: سامانه MSS6-160 ..... ۹۳
شکل ۳-۱۳: چیدمان ایستگاه ها بر روی صفحه کابینت ۹۴
شکل ۳-۱۴: کلید سه فاز آزمایشگاه و کلیدهای توزیع برق زیر سامانه ها ۹۵
شکل ۳-۱۵: کلید قطع اضطراری برق ۹۵
شکل ۳-۱۶: محفظه عملیات، اتصالات و خلاء سنج تمام برد متصل به آن ۹۶
شکل ۳-۱۷: دسته شیر خفانشی نصب شده بر روی لوله گلویی توربو ۹۶

شکل ۳-۱۸: موقعیت افقی (صفر درجه) ۹۷
شکل ۳-۱۹: نگهدارنده ثابت و نگهدارنده گردان نمونه ها ۹۷
شکل ۳-۲۰: دسته گردش نگهدارنده نمونه ها، شماره نمونه ها و ایستگاه ها ۹۸
شکل ۳-۲۱: دکمه های بالابر، سامانه بادی(رگولاتور، شیرهای ورود و تخلیه هوا)و ریل ۹۸
شکل ۳-۲۲: پمپ چرخشی دو مرحله ای ۹۹
شکل ۳-۲۳: پمپ توربومولکولار و کنترلر آن ۹۹
شکل ۳-۲۴: کلیدهای فرمان پمپ مکانیکی و کلیدها و شیرهای تخلیه محفظه و پشتیبان (Backing و Roughing) ۱۰۰
شکل ۳-۲۵: کنترلر خلاء سنج ها و کلید انتخاب حسگر ۱۰۱
شکل ۳-۲۶: حسگر تمام رنج (خلاء سنج متصل به محفظه) ۱۰۱
شکل ۳-۲۷: حسگر خلاء سنج پیرانی مسیر پشتیبان ۱۰۱
شکل ۳-۲۸: کلید چند حالته ۱۰۲
شکل ۳-۲۹: کلیدهای مینیاتوری مربوط به منابع تغذیه ۱۰۲
شکل ۳-۳۰: نمایشگرهای ولتاژ و جریان منبع تغذیه کندوپاش جریان مستقیم و تمیز کاری پلاسما ۱۰۳
شکل ۳-۳۱: کاتد کندوپاش مگنترون جریان مستقیم ۱۰۳
شکل ۳-۳۲: صفحه نمایشگر و فرمان مولد RF ۱۰۴
شکل ۳-۳۳: جعبه تطبیق امپدانس نصب شده بر روی کابینت خلاء ۱۰۵
شکل ۳-۳۴: حسگر مخصوص کنترل دمای آب ایستگاه ها و قاب محافظ آن ۱۰۵
شکل ۳-۳۵: شیرهای دستی و سوزنی ورود گاز به محفظه ۱۰۶
شکل ۳-۳۶: حسگر ضخامت سنج کریستالی ۱۰۷
شکل ۳-۳۷: نمای پشت و روی کریستال و نوسان ساز الکترونیک ۱۰۷
شکل ۳-۳۸: کارت کنترلر ضخامت سنج ۱۰۸
شکل ۳-۳۹: گرمکن تابشی ۱۰۸
شکل ۳-۴۰: کنترل دما و feed through الکتریکی مربوط به ترموکوپل آن ۱۰۹
شکل ۳-۴۱: کلید منیاتوری تغذیه گرمکن و تمیز کننده پلاسمایی ۱۰۹
شکل ۳-۴۲: کاتد تمیزکاری با پلاسما ۱۱۰
شکل ۴-۱: نمودار جریان-ولتاژ سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۲۷
شکل ۴-۲: نمودار جریان-ولتاژ سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۲۷
شکل ۴-۳: نمودار باند انرژی سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۲۸
شکل ۴-۴: نمودار باند انرژی سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۲۸
شکل ۴-۵: نمودار میدان الکتریکی سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۲۹

شکل ۴-۶: نمودار میدان الکتریکی سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۲۹
شکل ۴-۷: نمودار طول عمر حامل ها برای سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۳۰
شکل ۴-۸: نمودار طول عمر حامل ها برای سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر..... ۱۳۰
شکل ۴-۹: نمودار تولید و بازترکیب حامل ها برای سلول خورشیدی بدون لایه بافر..... ۱۳۱
شکل ۴-۱۰: نمودارتولید وبازترکیب حامل ها برای سلول خورشیدی بااستفاده ازلایه بافر... ۱۳۱
شکل ۴-۱۱: نمودار جریان سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۳۲
شکل ۴-۱۲: نمودار جریان سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۳۲
شکل ۴-۱۳: نمودار حامل ها برای سلول خورشیدی بدون لایه بافر ۱۳۳
شکل ۴-۱۴: نمودار حامل ها برای سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۳۳
شکل ۴-۱۵: نمودار پاسخ طیفی سلول خورشیدی بدون لایه بافر..... ۱۳۴
شکل ۴-۱۶: نمودار پاسخ طیفی سلول خورشیدی با استفاده از لایه بافر ۱۳۴
شکل ۴-۱۷: شمایی از هدف SnO_2 ..... ۱۳۵
شکل ۴-۱۸: عکس برداری از لایه نشانی SnO_2 بر روی لام معمولی شیشه با ضخامت µm ۰/۰۷۳ ..... ۱۳۶
شکل ۴-۱۹: عکس برداری از لایه نشانی SnO_2 بر روی لام معمولی شیشه با ضخامت µm ۰/۳۹ ..... ۱۳۷
شکل ۴-۲۰: عکس برداری از لایه نشانی SnO2 بر روی لام FTO با ضخامتµm ۰/۳۹ ..... ۱۳۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ : مقایسه نسل های مختلف سلول خورشیدی ۱۵
جدول ۳-۱ مشخصات الکتریکی مورد نیاز نرم افزار شبیه سازی سلول خورشیدی ۸۵
جدول ۳-۲ مشخصات الکتریکی مورد نیاز نرم افزار شبیه سازی سلول خورشیدی در حالت وجود ZnO به عنوان اتصال جلویی ۸۸
جدول ۳-۳ مشخصات الکتریکی مورد نیاز نرم افزار شبیه سازی سلول خورشیدی با لایه SnO_2 به عنوان بافر ۹۰
جدول ۳-۴ مشخصات الکتریکی مورد نیاز نرم افزار شبیه سازی سلول خورشیدی در حالت وجود بافر ZnO ۹۱
جدول ۳-۵ اقدامات گام به گام عملیات کندوپاش جریان مستقیم ۱۱۳
جدول ۴-۱ طول موج طیف های مرئی ۱۳۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

گاف انرژی	E_g
انرژی پایین نوار هدایت	E_C
انرژی بالای نوار ظرفیت	E_V
تعداد الکترون های نوار هدایت در واحد حجم	n
تعداد حفره های نوار ظرفیت در واحد حجم	p
سطح فرمی	E_F
ثابت بولتزمن	$\mathbf{K}$
دمای مطلق	T
جرم مؤثر الکترون	m_n
جرم مؤثر حفره	m_p
ثابت پلانک	h
چگالی مؤثر حالت های الکترون در نوار هدایت	N_C
چگالی مؤثر حفره ها در نوار ظرفیت	N_V
غلظت حامل های نیمرسانای ذاتی	n_i
غلظت دهنده	N_D
غلظت پذیرنده	N_A
بار الکترون	q
میانگین زمان میان برخوردها، زمان آزاد	τ_C
میدان الکتریکی	E
تحرک الکترون	μ_n
سرعت رانش الکترون	V_n
سرعت رانش حفره	V_p
تحرک حفره	μ_p
سطح مقطع عرضی	A
چگالی جریان نفوذ توسط الکترون	J_n

جریان الکترون	I_n
چگالی جریان نفوذ توسط حفره	J_p
جریان حفره	I_p
هدایت (رسانایی)	σ
ضریب نفوذ الکترون	D_n
ضریب نفوذ حفره	D_p
سرعت انتشار الکترون در واحد سطح	F
طول موج	λ
فرکانس نور	υ
طول موج قطع جریان	λ_0
جریان فوتونی نرمال	F_0
ضریب جذب	α
بازتاب پذیری سطح نسبت به نور منتشره معمولی	R
انرژی فوتون	E_p
ثابت تناسب	β
عمر حامل کمینه (الکترون)	τ_n
سرعت بازترکیب خالص	U
مقطع عرضی مکانی که حفره در آنجا به دام افتاده است.	δ_p
ثابت اوژه	A^{**} & A^{*}
غلظت حفره در سطح	P_s
سرعت بازترکیب سطح	S
سرعت تولید الکترون	G_n
سرعت بازترکیب الکترون	R_n
سرعت تولید حفره	G_p
سرعت بازترکیب حفره	R_p
طول نفوذ برای حفره ها	L_p
غلظت حامل های اضافی در x = ۰	$\Delta p(0)$

طول نفوذ برای الکترون ها	L_n
ثابت خورشیدی (فاصله متوسط یک واحد نجومی از خورشید)	G_{sc}
میزان تابش در سطح خارجی جو	G_{on}
پتانسیل درونی	V_b
ثابت الکتریکی نیمرسانا	ε
مجموع پهنای ناحیه تهی	w
بایاس مستقیم	V_F
بایاس معکوس	V_R
چگالی جریان اشباع	J_0
فاکتور ایده آل	n
ولتاژ مدار باز	V_{oc}
فاکتور انباشتگی	FF
مجموع توان پرتوی نور فرودی	P_{in}
راندمان تبدیل	η
جریان اتصال کوتاه	I_{sc}
بازدهی	eff
چگالی جریان فوتونی در ناحیه بار فضایی	J_d
میانگین مدت عبور از قسمت درونی نیمرسانا به شطح	τ_d
مقاومت ورقه ای	Ω_{square}
پتانسیل الکترواستاتیکی	ψ'
الکترون به دام افتاده	n_t
حفره به دام افتاده	p_t
تمرکز تزریق یونیزه شبه- دهنده	N_D^+
تمرکز تزریق یونیزه شبه- پذیرنده	N_A^-
میدان الکترواستاتیک	ζ
سد شاتکی (سطح خلاء محلی)	ψ
بار پذیرنده مجزا (گسسته)	N_{dA}^-