بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی نانوفناوری

گرایش نانوالکترونیک

عنوان:

شبیه سازی و بهینه سازی سلول‌های خورشیدی(پلاسمونی)سطح شکل داده شده باانانو ذرات فلزی

استاد راهنما:

دکتر سعید گل محمدی هریس

استاد مشاور:

دکتر کریم عباسیان

پژوهشگر:

جعفر پورصفر

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به:

پدر و مادرم

تقدیر و تشکر

خدای بزرگ را شکرگزارم که به من توفیق کسب دانش در محضر اساتیدبزرگوار در جوار دوستان صمیمی و در بستر خانواده‌ای مهربان در کشور عزیزمان عنایت فرمود.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید بزرگوارم از جمله دکتر سعید گل محمدی و دکتر کریم عباسیان صمیمانه تشکر نمایم که جدا از کوله بار سنگین علم ودانششان، هیچ‌گاه صفا و محبت خود را از من دریغ نکردند و همواره برای من همچون برادری مهربان بودند. برایشان آینده‌ای درخشان مملو از موفقیت‌های بی پایان را از خداوند منان خواستارم.

نام خانوادگی دانشجو: پورصفر **نام:** جعفر
عنوان پایان نامه: شبیه سازی و بهینه سازی سلولهای خورشیدی(پلاسمونی)سطح شکل داده شـده بانـانو ذرات فلزی
استاد راهنما:دکتر سعید گل محمدی هریس
استاد مشاور: دکتر کریم عباسیان
مقطع تحصیلی:کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی نانو فناوری **گرایش:** نانوالکترونیک**دانشگاه:**تبریز **دانشکده:**مهندسی فناوری های نوین **تاریخ فارغ التحصیلی:** شهریور ۱۳۹۳ **تعداد صفحات:** ۷۹
کلید واژه ها: سلول های خورشیدی-سیلیکن- سطوح شکل داده شده- نانو ذرات فلزی

چکیده:

در این پایان نامه ابتدا سلولهای خورشیدی سطوح شکل داده شده را مورد مطالعه قرار داده‌ایم. شکل سطح سلول خورشیدی را بصورت نیم کره در نظر گرفته و روابط ریاضی حاکم را مورد تحلیل و بررسی قرار داده و مقایسه بین سلولهای خورشیدی سطح صاف و سطح شکل داده شده بصورت نیم کره انجام داده‌ایم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که شکل دهی سطح سلول خورشیدی بصورت نیم کره باعث دو تغییر اساسی در عملکرد سلول خورشیدی می شود که یکی متمرکز کردن نور برخوردی در مرکز نیم کره می باشد (به دلیل خاصیت عدسی) و دیگری تاثیردار کردن زاویه برخورد نور به سطح سلول نسبت به مکان می باشد که این دو مورد مزیت‌های اساسی سلولهای خورشیدی دارای سطوح شکل داده شده بصورت نیم کره نسبت به سلولهای خورشیدی دارای سطح صاف می‌باشند. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده با استفاده از روش حل FDTD معادلات ماکسول این مورد را تائید می‌کنند. همچنین به دلیل اینکه این نوع سلول های خورشیدی، زیر مجموعه ی سلول های خورشیدی لایه نازک می باشند بیشتر تحلیل و بررسی‌های انجام یافته نوری می باشند. نتایج بدست آمده و مقایسه های انجام شده مربوط به کمیت های نوری از جمله میزان جذب نور، میزان میدان و چگالی جریان می باشند که این هم به دلیل قابل صرفنظر بودن میزان بازترکیب حامل های ایجاد شده دراین نوع سلول های خورشیدی برمی-گردد.

در این پایان‌نامه همچنین تحلیل ساختار شکل داده شده با حضور نانو میله‌هایی که در پایین نیم کره ی سیلیکنی قرار داده شده‌اند، انجام یافته است. لازم به ذکر است که سلولهای خورشیدی سیلیکنی به دلیل گاف انرژی غیر مستقیمی که دارند جذب نور کمتری دارند که البته با افزایش طول موج نور برخوردی کاهش شدیدتری در جذب نور از خود نشان می‌دهند. این مشکل نیز با استفاده از خاصیت پلاسمونی نانوذرات و نانومیله های فلزی که در ته سلولهای خورشیدی طراحی شده‌اند، حل شده است. بعلاوه به دلیل اینکه در سلول های خورشیدی سطح نیم کروی شدت نور در مرکز نیم کره خیلی بالا می‌باشد، طراحی این نانو میله ها از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو طراحی نانومیله ها با توجه به سطح شکل داده شده بصورت نیم کره انجام پذیرفته و بصورت صلیبی می باشند که با توجه به نتایج به دست آمده ساختاری را که طراحی کرده‌ایم افزایش راندمان بیش از ۲۷ درصدی و همچنین در طول‌موج‌های بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر تقریبا به طور متوسط بیش از ۴۰ درصد افزایش جذب نور را از خود نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول بررسی منابع و پیشینه پژوهش..... ۱

مقدمه..... ۲

۱-۱- تعریف سلول خورشیدی ۵

۱-۲- فناوری های ساخت سلول های خورشیدی ۵

۱-۲-۱- نسل اول و دوم سلول های خورشیدی..... ۵

۱-۲-۲- نسل سوم سلول های خورشیدی..... ۷

۱-۳- ساختار سلول خورشیدی..... ۸

۱-۴- عملکرد سلول خورشیدی ۹

۱-۵- پارامترهای مهم یک سلول خورشیدی ۱۱

۱-۵-۱- جریان اتصال کوتاه (I_{SC}) ۱۱

۱-۵-۲ولتاژ مدار باز $(\boldsymbol{V_{oc}})$..... ۱۲

۱-۵-۳ فیل فاکتور (FF)..... ۱۳

۱-۶- انواع مختلف سلول های خورشیدی ۱۴

۱-۶-۱- سلول های خورشیدی لایه نازک پلاسمونی ۱۵

۱-۶-۱--۱ ساختار و روش شبیه سازی ۱۵

۱-۶-۲- سلول های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی ۲۲

۱-۶-۳- سلول های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی سیلیکونی..... ۲۳

۱-۶-۴ سلول های خورشیدی سیلیکونی چند اتصاله مبتنی بر نانو ذرات ۲۵

۱-۶-۵- سلول های خورشیدی باند میانی ۲۶

فصل دوم مواد و روش ها ۲۸

تئوری حاکم بر سلول های خورشیدی با سطوح شکل داده شده و روش شبیه سازی ۲۹

۲-۱- توسعه ی مدل نوری ۲۹

۲-۱-۱- طول مسیرنوری وزاویه تابش ۳۱

۲-۱-۲- زاویه تابش (برخورد) وابسته به انعکاس ۳۳

۲-۱-۳- نرخ تولیددرنقطه دلخواه داخل کره ۳۳

۲-۲- مدل الکتریکی ۳۶

۲-۲-۱- معادلات ۳۶

۲-۲-۲- نرخ باز ترکیب R(x) ۴۰

۲-۲-۲-۱- باز ترکیب تابشی (باند به باند) ۴۰

۲-۲-۲-۲- باز ترکیب اوژه ۴۱

۲-۲-۲-۳- بازترکیب شاتلی-رد-هال ۴۲

۲-۲-۲-۴- زمان بازترکیب کلی ۴۴

۲-۳- حل معادلات حاکم ۴۴

۲-۳-۱- روش FDTD (حل نوری) ۴۴

۲-۳-۱-۱- معادلات به هنگام سازی ۴۵
۲-۳-۲- روش حل الکتریکی ۴۷
فصل سوم نتایج و بحث ۴۹
نتایج و بحث ۵۴
۳-۱- ساختارهای بررسی و ارائه شده ۵۴
۳-۱-۱- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح صاف بدون نانوساختارهای فلزی ۵۴
۳-۱-۲- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره بدون نانوساختارهای فلزی..... ۵۸
۳-۱-۳- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح صاف با شش نانو میله‌ی آلومینیومی..... ۶۱
۳-۱-۴- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با نانوساختارهای فلزی (آلومینیومی) ۶۶
۳-۱-۴-۱- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم‌کره با نانوذرات نقره..... ۶۷
۳-۱-۴-۲- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با دو نانومیله‌ی آلومینیومی..... ۶۹
۳-۱-۴-۳- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با دو نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۶۹
۳-۱-۴-۴- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با سه نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۷۰
۳-۱-۴-۵- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با چهار نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۷۰

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱- پارامترهای بکار رفته در معادلات حاکم ۳۷

جدول ۲-۲- شرایط اولیه ۳۹

جدول ۳-۱- مقادیر چگالی جریان با طول موج های منبع متفاوت..... ۵۷

جدول ۳-۲- مقادیر چگالی جریان با طول موج های منبع متفاوت ۶۱

جدول ۳-۳- مقادیر چگالی جریان با طول موج های منبع متفاوت ۶۵

جدول ۳-۴- مقادیر چگالی جریان با تعداد نانو موجبرهای صلیبی آلومینیومی متفاوت ۷۰

جدول ۳-۵- مقادیر چگالی جریان با طول موج های منبع متفاوت ۷۴

جدول ۳-۶- پارامترهای الکتریکی برای چهار ساختار هرمی ۷۷

جدول ۳-۷- پارامترهای الکتریکی برای چهار ساختار نیم‌کروی ۷۸

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- زیر گروه های کلی سلول های خورشیدی کریستالی و لایه نازک ۶

شکل ۱-۲- شبکه ی کریستالی سیلیکون با اتم های دوپینگ ۹

شکل ۱-۳- شماتیک کلی سلول خورشیدی ۱۰

شکل ۱-۴- جریان اتصال کوتاه در منحنی مشخصه ۱۳

شکل ۱-۵- ولتاژ مدار باز در منحنی مشخصه ۱۳

شکل ۱-۶- منحنی مشخصه و فیل فاکتور ۱۴

شکل ۱-۷- a) شماتیک سلول خورشیدی b) نمای جانبی سلول خورشیدی ۱۷

شکل ۱-۸- a) مقدار جذب برای سیلسیم خالی b) مقدار جذب برای ساختار ارائه شده ۱۹

شکل ۱-۹- افزایش جذب برای موج برخوردی ۱۹

شکل ۱-۱۰- توزیع میدان مغناطیسی برای موج تخت با طول موج های ۲۱

شکل ۱-۱۱- سلول خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی ۲۲

شکل ۱-۱۲- بهبود بازده فتوولتائیک در سلول های خورشیدی نقطه کوانتومی با استفاده از یونیزاسیون ضربه ای ۲۳

شکل ۱-۱۳- سلول خورشیدی پشته ای چند اتصالی ۲۵

شکل ۱-۱۴-الف نمودار باند یک سلول خورشیدی با باند میانی ۲۶

شکل ۱-۱۴-ب نشان دهنده سه مکانسیم انتقال مختلف در سلول های خورشیدی باند میانی ۲۷

شکل ۲-۱- مختصات کره ای استفاده شده در مدل کردن با نقطه دلخواه (r,θ,ϕ) ۳۰

شکل ۲-۲- مسیر نوری شبیه سازی شده از اشعه های بطور مساوی تقسیم شده با طول موج 600nm داخل کره در صفحه ABC از شکل ۲-۱ .....۳۰

شکل ۲-۳- شبیه سازی الگوی جذب فوتون (باترسیم تعقیب اشعه)در یک نیم دایره با صفحه ثابت φ نشان از قابل صرفنظر بودن جذب در پایین صفحه میانی (خط ABC از شکل ۲-۱-)میباشد ۳۱

شکل ۲-۴- افزایش یکنواخت فاصله نقطه شروع در صفحه میانی(AB) ۳۲

شکل ۲-۵- زاویه برخورد محاسبه شده وابسته به انعکاس برای طول موج 600nm ۳۳

شکل ۲-۶- المان حجم مور قبول با مرکز (r,θ,ϕ) با تعداد فوتون ورودی و خروجی φ_1 تا φ_4 در مناطق المان ΔS_1 تا ΔS_4 در r ثابت و θ ثابت ؛ بدون عبور فوتون ها از صفحه ثابت φ ۳۴

شکل ۲-۷- محاسبه فلاکس فوتون با تصویر کردن نوری از یک وجه المان ΔS_1 از المان حجم شکل ۵,۸ بدست امده با تصویر کردن از نقاط به نقاط متناظر برخورد نور در سطح کره . φ_1 فلاکس فوتون عبوری یک وجه ΔS_1 از المان حجم و φ_1^* فلاکس فوتون ورودی اصلی در سطح کره میباشد ۳۶

شکل ۲-۸- باز ترکیب تابشی ۴۱

شکل ۲-۹- بازترکیب اوژه ۴۲

شکل ۲-۱۰- بازترکیب شاتکلی-رد-هال ۴۳

شکل ۲-۱۱- شبکه بندی در فضای fdtd سه بعدی و محل قرار گیری مولفه های میدان های الکتریکی و مغناطیسی بر روی هر سلول ۴۵

شکل ۲-۱۲- فولوچارت حل معادلات پواسون و پیوستگی ۴۸

شکل ۳-۱- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح صاف بدون نانوذرات فلزی ۵۴

شکل ۳-۲- میدان الکتریکی دوبعدی الف) حالت افقی ب) حالت عمودی ۵۵

شکل ۳-۳- میزان درصد جذب نور ۵۶

شکل ۳-۴- میزان درصد جذب نور با زاویه ی نور برخوردی ۴۵ درجه ۵۷

شکل ۳-۵- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره ۵۸

شکل ۳-۶- میدان الکتریکی دوبعدی الف) حالت افقی ب) حالت عمودی ۵۹

شکل ۳-۷- میزان درصد جذب نور ۶۰

شکل ۳-۸- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح صاف با سه نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۶۲

شکل ۳-۹- میدان الکتریکی دوبعدی الف) حالت افقی ب) حالت عمودی ۶۳

شکل ۳-۱۰- میزان درصد جذب نور ۶۴

شکل ۳-۱۱- سلول خورشیدی سیلیکنی سطح شکل داده شده بصورت نیم کره با نانومیله های فلزی (آلومینیومی) ۶۶

شکل ۳-۱۲ نمای جانبی سلول خورشیدی با نانوذرات..... ۶۷

شکل ۳-۱۳- میزان درصد جذب نور..... ۶۸

شکل ۳-۱۴- سلول خورشیدی با با دو نانومیله فلزی آلومینیومی.....۶۹

شکل ۳-۱۵- سلول خورشیدی با دو نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۶۹

شکل ۳-۱۶- سلول خورشیدی با سه نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۷۰

شکل ۳-۱۷- سلول خورشیدی با چهار نانو موجبر صلیبی آلومینیومی ۷۰

شکل ۳-۱۸- میدان الکتریکی دوبعدی الف) حالت افقی ب) حالت عمودی ۷۲

شکل ۳-۱۹- میزان درصد جذب نور ۷۳

شکل ۳-۲۰- میزان درصد جذب نور با زاویه ی نور برخوردی ۴۵ درجه ۷۵

شکل ۳-۲۱- مقایسه میزان درصد جذب نور ۷۶

فصل اول

بررسی منابع و پیشینه پژوهش

بررسی منابع و پیشینه پژوهش

مقدمه

یک سلول فتوولتائیکی (یک سلول خورشیدی) دستگاه الکتریکی است که انرژی نورانی را مستقیما توسط اثر فتوولتائیک به الکتریسیته تبدیل می کند. در حقیقت، سلول خورشیدی شکلی از سلول فتوالکتریکی می باشد که هنگامی که در معرض نور قرار می گیرد، می تواند جریان الکتریکی را بدون نیاز داشتن به منبع ولتاژ بیرونی تولید کند و خواص الکتریکی آن از جمله جریان، ولتاژ یا مقاومت با دریافت انرژی نورانی تغییر می کند. امروزه در کلیه کشورها با توجه به محدودیت ذخایر و فناپذیر بودن منابع فسیلی و مشکلات و مسائل زیست محیطی ناشی از استخراج و احتراق این منابع، ایجاد وابستگی به سایر کشورها و تهدید امنیت انرژی، انرژی های جایگزین که تجدیدپذیر، پاک، سهل الوصول، فناپذیر و مقرون به صرفه می باشند از جمله انرژی خورشیدی، مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند [۱]. در سال های اخیر سهم منابع تجدیدپذیر در سبد انرژی جهانی با توجه به بحران های کنونی انرژی، تنوع بخشی در بخش انرژی، توسعه پایدار، ایجاد امنیت انرژی و غیره افزایش یافته و سبب گردیده است تا کشورها در این بخش سرمایه گذاری کرده و ضمن جایگزین کردن منابع کنونی انرژی خود فرصت های شغلی زیادی را نیز فراهم آوردند. مطالعات گوناگونی که آینده ی انرژی در کشورهای جهان را بررسی می کنند همه بر افزایش سهم انرژی های نو در میان مدت و بلند مدت در جهان تاکید دارد. در حال حاضر نیروگاه های خورشیدی در جهان عمدتا فتوولتائیکی می باشند. نرخ رشد ظرفیت نیروگاه های فتوولتائیک سریع تر از برق بادی بوده و در کشورهای OECD[۱] طی ۹ سال اخیر ۲۷/۶برابر شده و در سال ۲۰۰۹ به ۲۱،۰ گیگاوات رسیده است[۲]. علاوه بر این، مطالعه ی آژانس بین المللی انرژی در سال ۲۰۰۸ پیش بینی کرده است که بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۰، سرمایه گذاری کل در انرژی

[۱] سازمان همکاری اقتصادی و توسعه

های نو به ۵/۵ تریلیون دلار خواهد رسید. همچنین تولید برق با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای OECD تا سال ۲۰۳۰ بیش از دو برابر تولید برق از منابع فسیلی و اتمی خواهد شد و تولید برق آبی نیز به هفت برابر خواهد رسید[۱]. در این بین، ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند تابشی خورشید از پتانسیل بالایی در زمینه بهره برداری از این موهبت خدادادی برخوردار است. به طوری که در ٪۹۰ خاک کشورمان بیش از ۳۰۰ روز آفتاب خیلی مؤثر وجود دارد. شایان ذکر است مصرف برق در سالیان اخیر به دلیل متعددی نظیر رشد سریع جمعیت، توسعه شهرنشینی، افزایش سطح زندگی و رفاه، واقعی نبودن تعرفه ها، تغییرات آب و هوا و توسعه ی صنعتی و تجاری افزایش داشته است[۲]. لذا با توجه به روند صعودی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در جهان، پتانسیل های ملی در زمینه ی انرژی های نو هدفمندسازی یارانه ها استفاده از انرژی های تجدیدپذیر از جمله برق خورشیدی نه تنها ممکن بلکه ضروری می باشد. علاوه بر این در چشم انداز عملی ساختن استفاده از انرژی های نو در ایران، زمینه ی مناسبی جهت اشتغال زایی متخصیصین وجود دارد.

برخی از مزیت های سرمایه گذاری در بخش انرژی های نو عبارتند از [۱] :

- ❖ افزایش امنیت تامین انرژی و کاهش وابستگی به بازارهای جهانی
- ❖ افزایش رقابت در بازارهای داخلی
- ❖ عدم آسیب رسانی به اکوسیستم
- ❖ تولید غیر متمرکز و ثبات سیستم تولید و توزیع در صورت بروز مشکلاتی در سیستم
- ❖ کاهش تلفات انتقال به علت نزدیکی منابع تولید و مصرف به یکدیگر

در مورد انرژی خورشیدی و استفاده از سیستمهای فتوولتائیک می توان به مزایای ذیل اشاره کرد:

- ❖ عدم نیاز به شبکه سراسری
- ❖ عدم نیاز به حفاری و کابل اندازی
- ❖ عدم نیاز به تابلو برق توزیع و چاه ارت
- ❖ سازگاری با محیط زیست
- ❖ قابلیت استفاده در مناطق دور دست

برای موفقیت در این زمینه سناریوهای زیر می تواند مفید واقع شود:

- ❖ افزایش میزان جذب سلول های خورشیدی در ابعاد ثابت
- ❖ کاهش تلفات درون سلولی و افزایش راندمان
- ❖ مهندسی مواد و استفاده از تکنیک های افزایش راندمان نظیر استفاده از نانوذرات
- ❖ کاهش ابعاد سلولها با میزان توان ثابت
- ❖ کاهش قیمت تجهیزات فتوولتائیک
- ❖ افزایش تولید کنندگان داخلی و کاهش تعرفه های گمرکی برای واردات تجهیزات فتوولتائیک
- ❖ حمایت و تشویق دولت برای استفاده از طرحهای انرژی خورشیدی در بخشهای خصوصی و دولتی
- ❖ پرداخت یارانه به طرحهای انرژی خورشیدی

لذا با توجه به نیاز و مزیت های ذکر شده، مطالعه و بررسی سلول های خورشیدی با هدف افزایش بازده آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر مطالعه ی دقیق بر روی نسل های مختلف سلول های خورشیدی به ویژه نسل سوم را می طلبد. این نسل همانطور که در بخش های آتی توضیحات بیشتری را به خود اختصاص خواهد داد، دارای راندمان بالاتر در قیاس با سایر نسل های سلول های خورشیدی می باشد.

در این پایان نامه سعی بر این است تا با مطالعه ی تئوریکی انواع سلول های خورشیدی سطوح شکل داده شده و سلول های خورشیدی لایه نازک پلاسمونی (با نانوذرات فلزی) و بررسی معایب و مزیت های هرکدام و نهایتا طراحی یک سلول خورشیدی سطوح شکل داده شده با نانومیله های فلزی که از هر دو مزیت شکل دهی و افزودن نانوذرات فلزی یکجا استفاده می کند و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد.

۱-۱- تعریف سلول خورشیدی

یک سلول خورشیدی (یک سلول فتوولتائیکی) دستگاه الکتریکی است که انرژی نورانی را مستقیما توسط اثر فتوولتائیک به الکتریسیته تبدیل می کند.

۱-۲- فناوری های ساخت سلول های خورشیدی

سلول های خورشیدی بسته به نسل مورد نظر از مواد اولیه و روش های ساخت متفاوتی پیروی می‌کنند. این تفاوت ها، بازده‌ها، مزایا و معایب گوناگونی را موجب خواهند شد. در ذیل به معرفی نسل‌های مختلف سلول های خورشیدی می پردازیم.

۱-۲-۱- نسل اول و دوم سلول های خورشیدی

در حال حاضر دو فناوری در ساخت سلول‌های خورشیدی غالب است: فناوری نسل اول و نسل دوم [۳]. فناوری نسل اول بر پایه ویفرهای سیلیکونی با ضخامت ۴۰۰-۳۰۰ میکرومتر است که ساختاری بلوری یا چند بلوری دارند که یا از بریدن شمش بدست می آیند یا از روش EFG[۲] با کمک خاصیت موییننگی رشد داده می شوند[۴].

[2] Edge defined Film-fed Growth

فناوری نسل دوم یا تکنولوژی لایه نازک، براساس لایه نشانی نیمه هادی روی بسترهای شیشه ای، فلزی یا پلیمری، در ضخانت های ۵-۳ میکرومتر است[۵].

هزینه مواد اولیه در تکنولوژی نسل دوم، پایین تر است و از آن گذشته، اندازه سلول تا ۱۰۰ برابر بزرگتر از اندازه سلول ساخته شده با تکنولوژی نسل اول است که مزیتی برای تولید انبوه آن محسوب می شود. در عوض بازدهی سلول های نسل اول، که اغلب سلول های بازار را تشکیل می دهند، به دلیل کیفیت بالاتر مواد، از بازدهی سلول های نسل دوم بیشتر است. انتظار می رود اختلاف بازدهی میان سلول های نسل با گذشت زمان کمتر شده و تکنولوژی نسل دوم جایگزین نسل اول شود [۶]. در شکل (۱-۱) سلول های خورشیدی را به دو گروه اساسی سلول های کریستالی و لایه نازک[۳] تقسیم بندی کرده اند.

[3] Thin films