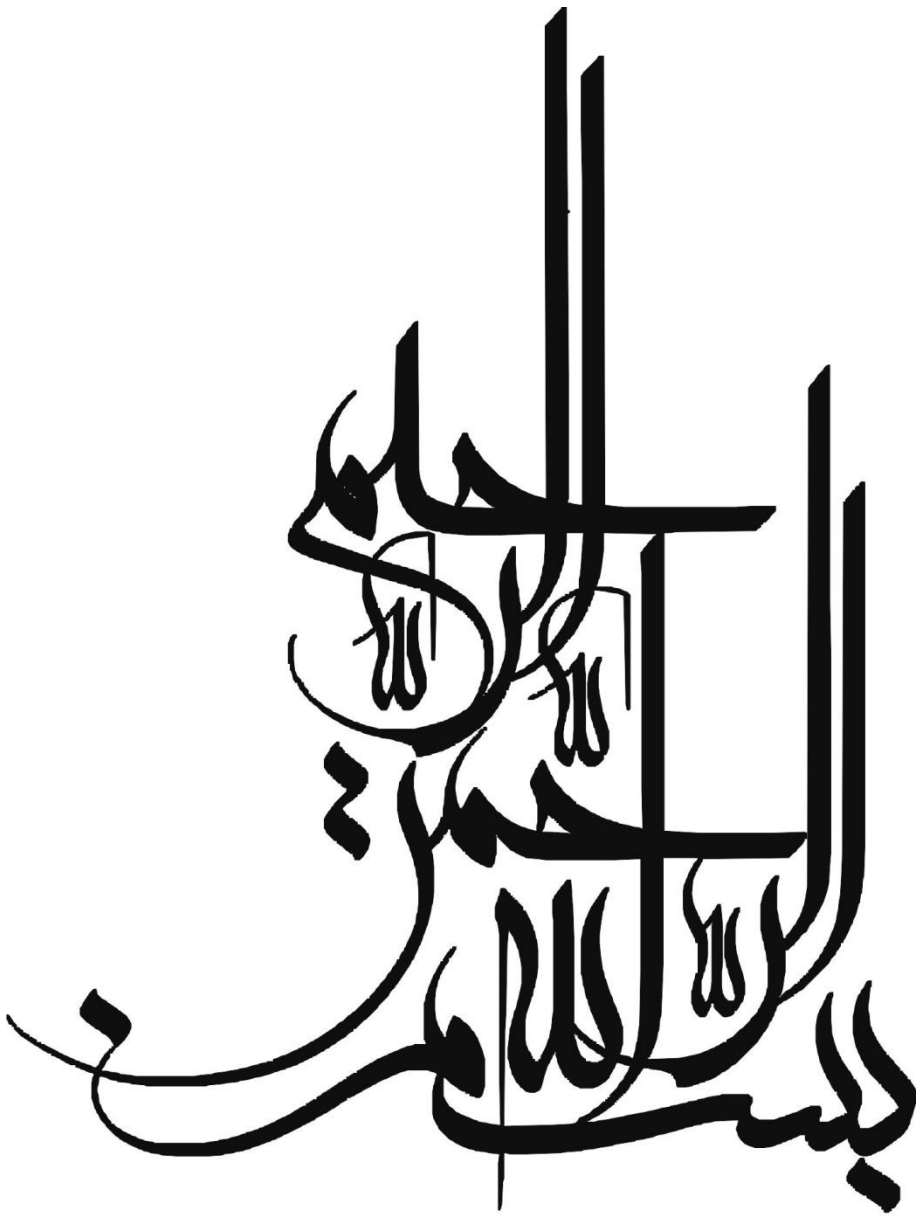
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد برق

گرایش الکترونیک

عنوان :

تحلیل و شبیه‌سازی سلول‌های خورشیدی فیلم نازک InP

استاد راهنما:

دکتر عبدالنبی کوثریان

استاد مشاور:

دکتر محمد سروش

نگارنده :

زینب خادمی

بهمن ماه ۱۳۹۲

بسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه خانم زینب خادمی **دانشجوی رشته:** برق **گرایش:** الکترونیک

دانشکده مهندسی **به شماره دانشجویی** ۸۹۴۲۰۰۷

با عنوان :

تحلیل و شبیه‌سازی سلول خورشیدی فیلم نازک InP

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد **در تاریخ** : ۱۳۹۲/۱۱/۲۷ **توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه..... تصویب گردید.**

۱.	**اعضا ی هیأت داوران :**	**رتبه علمی**	**امضاء**
	استاد راهنما: دکترعبدالنبی کوثریان	.....	.....
	استاد مشاور : دکتر محمد سروش	.....	.....
	استاد داور :.....	.....	.....
	استاد داور :.....	.....	.....
	نماینده تحصیلات تکمیلی :.....	.....	.....
۲.	**مدیرگروه** : .دکتر محمد سروش	.....	.....
۳.	**معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :**	.....	.....
۴.	**مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه :**	.....	.....

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تقدیم به تو ....

تقدیر و تشکر:

از استاد راهنمای عزیزم جناب آقای دکتر عبدالنبی کوثریان و استاد مشاورم جناب آقای دکتر محمد سروش به خاطر راهنمایی های بی دریغ شان کمال سپاس را دارم.

فهرست مطالب

فصل۱: مقدمه..... ۱

۱-۱ لزوم استفاده از منابع تجدیدپذیر..... ۱

۱-۲ اثر فتوولتائیک و محدودیت‌های آن..... ۲

۱-۳ پیشینه سلول‌های خورشیدی..... ۳

۱-۴ ساختار پایان‌نامه..... ۶

فصل۲: اساس عملکرد سلول‌های خورشیدی هم‌پیوند..... ۷

۲-۱ مقدمه..... ۷

۲-۲ ساختارهای هم‌پیوند و فراپیوند..... ۸

۲-۳ غلظت حامل‌ها ۹

۲-۴ فرآیند تولید..... ۱۲

۲-۴-۱ جذب نوری ۱۲

۲-۴-۲ ثابت جذب ۱۳

۲-۴-۳ پروفایل تولید در سلول‌های خورشیدی..... ۱۵

۲-۵ فرآیند بازترکیب..... ۱۶

۲-۵-۱ مکانیزم‌های بازترکیب در بالک..... ۱۶

۲-۵-۱-۱ بازترکیب SRH..... ۱۷

۲-۵-۱-۲ بازترکیب نوار به نوار..... ۱۹

۲-۵-۱-۳ بازترکیب اوژه ۲۱

۲-۵-۲ بازترکیب سطحی..... ۲۲

۲-۶ مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی ۲۳

۲-۶-۱ مشخصه J-V سلول خورشیدی ایده‌آل..... ۲۴

۲-۶-۲ مشخصه J-V سلول خورشیدی غیر ایده‌آل..... ۲۶

۲-۶-۲-۱ تلفات در سلول‌های خورشیدی..... ۲۷

فصل۳: اصول شبیه‌سازی سلول‌های خورشیدی..... ۳۲

۳-۱مقدمه..... ۳۲

۳-۲ هدف از شبیه‌سازی..... ۳۲

۳-۳ مدل نفوذ-رانش..... ۳۳

۳-۴ حل معادلات DD..... ۳۴

۳-۴-۱انتخاب متغیرهای مستقل..... ۳۵

۳-۴-۲ گسسته‌سازی معادلات دیفرانسیلی با روش تفاضل محدود..... ۳۷

۳-۴-۲-۱ ملاحظات گسسته‌سازی..... ۴۰

۳-۴-۳ نرمال‌سازی معادلات ۴۱

۳-۴-۴ گسسته‌سازی و نرمال‌سازی معادلات DDM(در یک بعد)..... ۴۳

۳-۴-۴-۱ در تعادل حرارتی..... ۴۳

۳-۴-۴-۲ در شرایط عدم تعادل حرارتی..... ۴۶

۳-۴-۵ روش‌های عددی حل معادلات DDM ۵۱

۳-۴-۵-۱ الگوریتم تکرار گامل ۵۲

۳-۴-۵-۲ روش جای‌گذاری LU..... ۵۳

فصل۴: نتایج شبیه‌سازی ۵۹

۴-۱ مقدمه..... ۵۹

۴-۲ توضیح پارامترهای سلول خورشیدی مبنا..... ۶۰

۴-۳ نتایج شبیه‌سازی سلول مبنا..... ۶۲

۴-۳-۱ نتایج در حالت تاریک..... ۶۲

۴-۳-۱-۱ نوار انرژی ساختار ۶۲

۴-۳-۱-۲ پتانسیل الکتریکی ساختار ۶۲

۴-۳-۱-۳ غلظت حامل‌ها..... ۶۴

۴-۳-۱-۴ میدان داخلی سلول ۶۶

۴-۳-۲ نتایج شبیه‌سازی سلول مبنا تحت تابش نور ۶۹

۴-۳-۲-۱ غلظت حامل‌ها ۶۹

۴-۳-۲-۳ منحنی جریان-ولتاژ..... ۷۱

۴-۳-۳ بررسی اثر ضخامت لایه‌ی امیتر..... ۷۳

۴-۳-۴ بررسی اثر تغییر غلظت لایه امیتر ۷۵

۴-۴ نتایج افزودن دو لایه‌ی $Ga_xIn_{1-x}P$ به سلول خورشیدی مبنا..... ۷۷

۴-۴-۱ نتایج شبیه‌سازی سلول پایه با افزودن دو لایه $Ga_xIn_{1-x}P$ در حالت تاریک..... ۷۹

۴-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی سلول پایه با افزودن دو لایه $Ga_xIn_{1-x}P$ تحت تابش نور..... ۸۵

۴-۵ نتایج شبیه‌سازی تدریجی کردن شکاف انرژی لایه‌ی پنجره‌ای..... ۸۸

فصل۵: نتیجه‌گیری و پیشنهاد..... ۹۵

۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۵

۵-۲ پیشنهادات..... ۹۶

پیوست‌ها..... ۹۷

پیوست الف..... ۹۷

پیوست ب.....۱۱۳

منابع و مراجع.....۱۲۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ : (الف) نیمه‌هادی با شکاف باند مستقیم. (ب) نیمه‌هادی با شکاف باند غیرمستقیم.....۱۴

شکل ۲-۲ : فرآیندهای بازترکیب در نیمه‌هادی‌ها: (الف) بازترکیب اوژه، (ب) بازترکیب SRH، و (ج) بازترکیب نوار به نوار.....17

شکل۲-۳: مشخصه جریان ولتاژ یک سلول خورشیدی در شرایط تاریک(منحنی سبزرنگ)و تحت تابش نور(منحنی آبی رنگ).....۲۴

شکل۲-۴: مدل مداری یک سلول خورشیدی ایده آل.....۲۵

شکل۲-۵: مدل مداری یک سلول خورشیدی واقعی.....۳۰

شکل۳-۱: گسسته سازی فضای x به روش تفاضل محدود.....۴۰

شکل ۳-۲ : الگوریتم تکرار گامل.....۵۳

شکل۴-۱ : نوار انرژی سلول مبنا InP در حالت تاریک.(الف) نتیجه شبیه سازی با MATLAB. (ب) نتیجه شبیه سازی با Silvaco ۶۳

شکل۴-۲ : پتانسیل داخلی سلول مبنا InP در حالت تاریک(الف) نتیجه شبیه سازی با MATLAB (ب)نتیجه شبیه سازی باSilvaco ۶۵

شکل۴-۳ : غلظت حامل های سلول مبنا InP در حالت تاریک (الف) نتیجه شبیه سازی با MATLAB (ب) نتیجه شبیه سازی باSilvaco ۶۷

شکل ۴-۴ : میدان داخلی سلول مبنا InP در حالت تاریک. (الف) نتیجه شبیه سازی با MATLAB.(ب) نتیجه شبیه سازی با Silvaco.....۶۸

شکل ۴-۵ : طیف نور خورشید.....۷۰

شکل ۴-۶ : غلظت حامل های سلول مبنا InP تحت تابش نور در بایاس مستقیم. (الف) نتیجه شبیه سازی با MATLAB .(ب) نتیجه شبیه سازی باSilvaco. ۷۱

شکل ۴-۷ : منحنی جریان ولتاژ سلول InP مبنا. (الف)نتیجه شبیه سازی با MATLAB .(ب)نتیجه شبیه سازی باSilvaco ۷۳

شکل ۴-۸ : اثر تغییر ضخامت لایه امیتر بر عملکرد سلول مبنا.InP ۷۴

شکل ۴-۹ : اثر تغییر ناخالصی لایه امیتر بر عملکرد سلول مبناInP ۷۶

شکل ۴-۱۰ : ساختار سلول مبنا با افزودن دو لایه ی $Ga_xIn_{1-x}P$ به آن.....۷۸

شکل ۴-۱۱: شکاف انرژی سلول خورشیدی InP با افزودن دو لایه $Ga_{0.51}In_{0.41}P$.....۷۹

شکل۴-۱۲: نوار انرژی سلول خورشیدی ساختار جدید در حالت تاریک.....۸۱

شکل ۴-۱۳: پتانسیل داخلی در حالت تاریک.....۸۳

شکل ۴-۱۴: غلظت حامل ها در حالت تاریک.....۸۴

شکل۴-۱۵: میدان داخلی سلول در حالت تاریک.....۸۴

شکل۴-۱۶: غلظت حامل های سلول تحت تابش نور و تحت بایاس مستقیم.....۸۵

شکل۴-۱۷ : ترم بازترکیب.(الف)سلول مبنا.(ب) سلول مبنا پس از افزودن دو لایه $Ga_{0.51}In_{0.41}P$.....۸۷

شکل۴-۱۸:منحنی مشخصه جریان ولتاژ سلول مبنا پس از افزودن دو لایه $Ga_{0.51}In_{0.41}P$ ۸۷

شکل ۴-۲۰ : تغییر شکاف انرژی ساختار(۴-۳) با شکاف انرژی لایه ی پنجره ای تدریجی شده ..۹۰

شکل ۴-۲۱ : نوار انرژی ساختار بخش (۴-۳).....۹۱

شکل ۴-۲۲ : میدان داخلی سلول خورشیدی بخش (۴-۴).....۹۲

شکل ۴-۲۳ : ترم بازترکیب سلول خورشیدی بخش (۴-۴).....۹۳

شکل ۴-۲۵ : منحنی مشخصه جریان ولتاژ سلولInP برای سه ساختار بررسی شده.....۹۳

فهرست جداول

جدول۳-۱: پارامترهای نرمالسازی در DDM..... ۴۲

جدول۴-۱: پارامترهای ورودی سلول پایه InP..... ۶۱

جدول۴-۲ : مقایسه پارامترهای سلول مبنا InP ۷۲

جدول۴-۳ : پارامترهای شبیه سازی سلول InP با افزودن دو لایه ی $Ga_{0.51}In_{0.41}P$ ۷۸

جدول۴-۴: پارامترهای نهایی سلول مبنا پس از افزودن دو لایه $Ga_{0.51}In_{0.41}P$ ۸۷

جدول۴-۵ : مقایسه پارامترهای نهایی سلول خورشیدی با ساختارهای مختلف مورد بررسی..... ۹۴

اختصارات و معرفی علامت‌ها و کمیت‌ها

E_g	Energy gap
χ	Electron affinity
n(p)	Electron (hole) concentration
$E_c(E_v)$	Conduction (Valence) band edge
$E_{Fn}(E_{Fp})$	Quasi Fermi energy for electrons (holes)
$N_c(N_v)$	Effective density of states for electrons (holes) in the conduction (valence) band
$N_d(N_a)$	Donor (acceptor) concentration
$\mu_n(\mu_p)$	Electron (hole) mobility
$D_n(D_p)$	Electron (hole) diffusion coefficient
$J_n(J_p)$	Electron (hole) current density
$\tau_n(\tau_p)$	Lifetime electron (hole)
$G(G_t)$	Excess (thermal) generation rate
L_D	Diffusion length
E_A	Additional effective electric field
ρ	Space charge density
$\phi_0(\phi_i)$	Reference (Built-in) potential
n_i	Intrinsic carrier concentration
k	Boltzmann's constant
q	Elementary charge
ε	Dielectric constant
h	Planks constant
N	Photon flux density
J_{sc}	Short circuit current
V_{oc}	Open circuit current
FF	Fill factor
η	Conversion efficiency

چکیده

نام خانوادگی : خادمی	**نام**: زینب	**شماره دانشجویی** :۸۹۴۲۰۰۷
عنوان پایان نامه : تحلیل و شبیه‌سازی سلول خورشیدی فیلم نازک InP		
استاد راهنما: دکتر عبدالنبی کوثریان		
استاد مشاور: دکتر محمد سروش		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** برق	**گرایش:** الکترونیک
دانشگاه : شهید چمران	**دانشکده:** مهندسی	**گروه** : برق
تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۲/۱۱/۲۷		**تعداد صفحه:۱۳۰**

کلید واژه ها : سلول خورشیدی InP ، حل عددی معادلات نفوذ-رانش، ساختارهای هم‌پیوند.

سلول خورشیدی فیلم نازک InP یکی از بهترین انتخاب‌ها برای تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته می‌باشد؛ به دلیل ثابت جذب بالای این نیمه‌هادی(تقریبا $10^5/cm$)، شکاف انرژی مستقیم ، مقاومت تابشی بالا و دمای تابکاری کم از بهترین گزینه‌ها در کاربردهای فضایی محسوب می‌شود. در این پایان نامه برای شبیه‌سازی از مدل نفوذ-رانش یک بعدی استفاده شده است. معادلات نفوذ-رانش به روش عددی گامل به کمک نرم‌افزارهای MATLAB و Silvaco حل شده‌اند. در ابتدا نحوه انتقال حامل‌های تولید شده در این نوع سلول‌ها و عواملی که موجب محدودیت کارایی سلول می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته است. از آن جایی که در این دسته سلول‌ها به دلیل ضخامت کم لایه جاذب فاصله‌ی بین اتصال پشتی و ناحیه تخلیه ناچیز است، نور بیشتری به اتصال پشتی می‌رسد و بازترکیب در این ناحیه مکانیسم تلفات اصلی در سلول می‌باشد. از این رو راه‌کارهایی جهت دور کردن حامل‌ها از اتصال پشتی سلول همچون افزودن لایه‌ی پنجره‌ای و BSF به ساختار مبنا و تدریجی کردن شکاف انرژی لایه‌ی پنجره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شبیه‌سازی سلول InP در دمای ۳۰۰ K با شکاف انرژی ۱/۳۵ eV، V_{oc}=۰/۸۵۳ V، J_{sc}=۳۳/۵۱ mA/cm^2، FF=۸۲/۱۸ و راندمان ۲۳/۵۱٪، و در شبیه‌سازی سلول پیشنهادی ، V_{oc}=۱/۰۱۹ V، J_{sc}= ۳۴/۴۳ mA/cm^2، FF=۸۶/۸۸ و راندمان ۳۰/۵٪ بدست آمده است که نسبت به سلول پایه ۶/۹۹٪ بهبود یافته است.

اختصارات و معرفی علامت‌ها و کمیت‌ها

E_g	Energy gap
χ	Electron affinity
n(p)	Electron (hole) concentration
$E_c(E_v)$	Conduction (Valence) band edge
$E_{Fn}(E_{Fp})$	Quasi Fermi energy for electrons (holes)
$N_c(N_v)$	Effective density of states for electrons (holes) in the conduction (valence) band
$N_d(N_a)$	Donor (acceptor) concentration
$\mu_n(\mu_p)$	Electron (hole) mobility
$D_n(D_p)$	Electron (hole) diffusion coefficient
$J_n(J_p)$	Electron (hole) current density
$\tau_n(\tau_p)$	Lifetime electron (hole)
$G(G_t)$	Excess (thermal) generation rate
L_D	Diffusion length
E_A	Additional effective electric field
ρ	Space charge density
$\phi_0(\phi_i)$	Reference (Built-in) potential
n_i	Intrinsic carrier concentration
k	Boltzmann's constant
q	Elementary charge
ε	Dielectric constant
h	Planks constant
N	Photon flux density
J_{sc}	Short circuit current
V_{oc}	Open circuit current
FF	Fill factor
η	Conversion efficiency

چکیده

نام خانوادگی : خادمی	**نام**: زینب	**شماره دانشجویی** :۸۹٤۲۰۰۷

عنوان پایان نامه : تحلیل و شبیه‌سازی سلول خورشیدی فیلم نازک InP		
استاد راهنما: دکتر عبدالنبی کوثریان		
استاد مشاور: دکتر محمد سروش		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** برق	**گرایش:** الکترونیک
دانشگاه : شهید چمران	**دانشکده:** مهندسی	**گروه :** برق
تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۲/۱۱/۲۷		**تعداد صفحه:۱۳۰**

کلید واژه ها : سلول خورشیدی InP ، حل عددی معادلات نفوذ–رانش، ساختارهای هم‌پیوند.

سلول خورشیدی فیلم نازک InP یکی از بهترین انتخاب‌ها برای تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته می‌باشد؛ به دلیل ثابت جذب بالای این نیمه‌هادی(تقریباً $10^5/cm$)، شکاف انرژی مستقیم ، مقاومت تابشی بالا و دمای تابکاری کم از بهترین گزینه‌ها در کاربردهای فضایی محسوب می‌شود. در این پایان نامه برای شبیه‌سازی از مدل نفوذ–رانش یک بعدی استفاده شده است. معادلات نفوذ–رانش به روش عددی گامل به کمک نرم‌افزارهای MATLAB و Silvaco حل شده‌اند. در ابتدا نحوه انتقال حامل‌های تولید شده در این نوع سلول‌ها و عواملی که موجب محدودیت کارایی سلول می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته است. از آن جایی که در این دسته سلول‌ها به دلیل ضخامت کم لایه جاذب فاصله‌ی بین اتصال پشتی و ناحیه تخلیه ناچیز است، نور بیشتری به اتصال پشتی می‌رسد و بازترکیب در این ناحیه مکانیسم تلفات اصلی در سلول می‌باشد. از این رو راه‌کارهایی جهت دور کردن حامل‌ها از اتصال پشتی سلول همچون افزودن لایه‌ی پنجره‌ای و BSF به ساختار مبنا و تدریجی کردن شکاف انرژی لایه‌ی پنجره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شبیه‌سازی سلول InP در دمای ۳۰۰ K با شکاف انرژی ۱/۳۵ eV، V_{oc}=۰/۸۵۳ V، J_{sc}=۳۳/۵۱ mA/cm^2، FF=۸۲/۱۸ و راندمان ۲۳/۵۱٪، و در شبیه‌سازی سلول پیشنهادی ، V_{oc}=۱/۰۱۹ V، J_{sc}= ۳٤/٤۳mA/cm^2، FF=۸٦/۸۸ و راندمان ۳۰/۵٪ بدست آمده است که نسبت به سلول پایه ٦/۹۹٪ بهبود یافته است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ لزوم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر

امروزه بشردر اثر پیشرفت‌های علمی در زمینه‌های گوناگون نیاز روز افزونی به انرژی پیدا کرده است. این امر بشر را بر آن داشته تا با روش‌های گوناگون انرژی مورد نیاز خود را کسب کند. در عین حال اساسی- ترین مشکلی که در تولید انرژی به روش‌های سنتی (سوخت‌های فسیلی، گاز طبیعی و زغال سنگ) وجود دارد آلودگی‌های زیست محیطی آن‌ها، همچون گرم شدن کره‌ی زمین و اثرات گل‌خانه‌ای، همچنین کاهش سوخت‌های فسیلی، و افزایش هزینه‌ی تولید آن‌ها می‌باشد.بنابراین روی آوردن بشر به منابع انرژی جدیدی که هم تا حدی پایان ناپذیر باشند و هم اینکه باعث آلودگی هوا نشوند امری اجتناب ناپذیر است. در این بین انرژی خورشید به عنوان یک منبع پاک، آزاد و تجدید پذیر پایدار، به عنوان جایگزینی خوب برای سایر منابع انرژی مورد توجه قرار گرفته است. خورشید منبع عظیم انرژی است و می‌توان گفت منشاء تمام انرژی‌های دیگر است. انرژی تابشی خورشید که در هر روز به زمین می‌رسد، برای برآورده کردن انرژی مورد نیاز یک سال کره‌ی زمین کافی است. انرژی خورشیدی به طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند به دیگر اشکال انرژی همانند گرما و الکتریسیته تبدیل شود. استفاده از فوتون‌های خورشید برای تولید انرژی، فرآیند پاکی است که کم‌ترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کند.