

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بنام خداوند بخشنده مهربان

۳۷۱۸۵

وزارت اطلاعات و ارتباطات
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی برق
پژوهشکده الکترونیک

پایان نامه

موضوع :

طراحی و رشد سلول خورشیدی با ساختار pn با نیمه
هادی گالیم آرسناید (GaAs) ، به روش MBE

ارائه کننده :

حجت‌اله حمیدی

۷۸۴۱۱۶۰۷

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته : برق - الکترونیک

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر سید احمد محدث کسائی

زمستان ۱۳۷۹

۱۳۸۰ / ۸ / ۳۰

015286

۳۷۱۵۸



تقدیم به :

خورشیدان همیشه جاودان
آسمان زندگیم

پدر و مادرم

و از همراهی و مساعدت همسر

مهربان و خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

مینمایم.

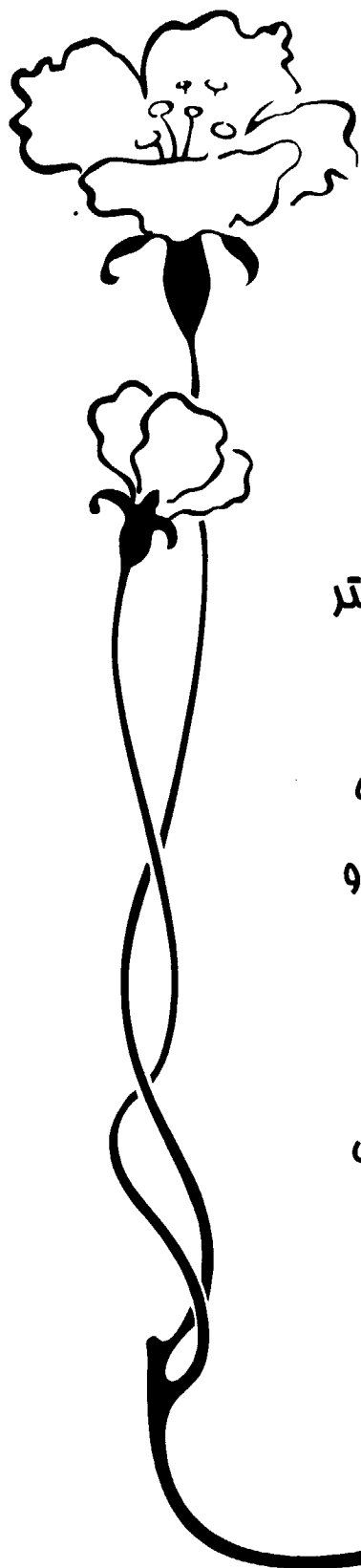
چکیده

چکیده

هدف از این پایان‌نامه طراحی و رشد سلول خورشیدی با ساختار Pn با نیمه هادی گالیم آرسناید، به روش رونشستی پرتو مولکولی (MBE) میباشد. اساس تولید انرژی الکتریکی در سلول‌های خورشیدی، پدیده فتولتائیک است که طی آن در یک دیود Pn بر اثر تابش نور، جریان الکتریکی تولید می‌شود. دلیل استفاده از دیود Pn این است که برای تبدیل نور به انرژی الکتریکی لازم است الکترون‌ها و حفره‌های تولید شده توسط نور، از یکدیگر جدا شوند و هر دسته به یکی از اتصال‌های خارجی هدایت شود. برای تحقق این امر به یک میدان الکتریکی داخلی نیاز است که در نیمه هادی تولید شود و این نیز با استفاده از پیوند دیودی امکان پذیر است. در این پایان‌نامه سعی بر این است که اصول اساسی سلول‌های خورشیدی دیودی III-V مرور شود و به این منظور به بررسی اثر تابش نور بر نیمه هادی و پیوند دیودی و همچنین روابط و پارامترهای مهم در سلول‌های خورشیدی دیودی پرداخته شود.

رشد لایه‌های گالیم آرسناید به روش MBE استفاده شده است. در این روش، تحت خلا بسیار بالای 10^{-7} Torr، پرتوهای مولکولی عناصر گالیم آرسناید و ناخالصی نوع n، سیلیسیم بر روی سطح زیر لایه داغ کریستالی گالیم آرسناید با جهت کریستالی (001) نشانده شده است. طی این آزمایش‌ها سه لایه بنامهای L122NP2 (پیوند Pn)، L120PD31 (پیوند Pn) و L120PD3 (پیوند Pin) رشد داده شد. در لایه اول (L122NP2) ضخامت لایه رشد داده شده (n)، 2 میکرومتر و میزان غلظت الکترونها 10^{16} بر سانتیمتر مکعب میباشد. و با اندازه‌گیری‌های که با تابش نور توسط یک چراغ آزمایشگاهی با توان فتونهای تابش شده $14.6412 \frac{mw}{cm^2}$ صورت گرفت و با توجه به مساحت قطعه (0.06 سانتیمتر مربع)، بازده 13.86 درصدی بدست آمد. و برای قطعه L120PD31 ضخامت لایه رشد داده شده، 0.25 میکرومتر و میزان غلظت الکترونهای لایه n، $10^{17} \times 7.5$ بر سانتیمتر مکعب میباشد و با توجه به مساحت قطعه (0.06 سانتیمتر مربع)، بازده 21.3 درصدی بدست آمد.

اما قطعه سوم (L120PD3) یک پیوند Pin میباشد که در ابتدا یک لایه n با ضخامت 0.9 میکرومتر با غلظت تقریباً 0.3×10^{16} بر سانتیمتر مکعب، بر روی زیر لایه P رشد داده شد و سپس یک لایه n دیگر، البته با غلظت به مراتب خیلی بیشتر از لایه n اولی (6.5×10^{17}) و با ضخامت 0.1 میکرومتر بر روی لایه n اولی رشد داده شد، و با توجه به مساحت قطعه (0.1 سانتیمتر مربع)، بازده 18.2 درصدی بدست آمد. در ادامه همین اندازه‌گیری‌ها، اندازه‌گیری‌های دیگری که بر روی سه لایه رشد داده شده صورت گرفت، اندازه‌گیری‌های ECV می‌باشد که طی این اندازه‌گیری‌ها منحنی‌های I-V، C-V و منحنی‌های غلظت بر حسب ناخالصی برای هر قطعه بدست آمدند و برای لایه L120PD31 نتیجه اندازه‌گیری اثر هال بدست آورده شد که قابلیت تحرک الکترونها برای این لایه $3848.7 \frac{cm^2}{V.S}$ بدست آمد.



تقدیر و تشکر

بدینوسیله از زحمات دلسوزانه
استاد گرانقدرم ، جناب آقای دکتر
سیدامجد ممدت‌کسائی که
اینجانب را در بثمررسانیدن این
پایان‌نامه یاری نمودند ، تشکر و
قدردانی می‌نمایم و از فداوند
متعال برای ایشان و خانواده
مهمترمشان سلامتی و توفیقات
روزافزون را خواهانم.

فهرست



صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	تشع خورشیدی
۳	گذارهای تشععی
۶	جذب نوری در نیمرسانا
۹	دیود نوری پیوندی
۱۰	حالت فوتو ولتی
۱۲	حالت نور رسانا
۱۴	مقدمه‌ای بر سلولهای خورشیدی
۱۵	سلول خورشیدی پیوندگاه $p-n$
۱۸	بازده تبدیل
۱۹	کاربردهایی از سیستم فتوولتائیک
۲۲	مزایا و معایب یک سیستم فتوولتائیک
۲۳	تاریخچه فتوولتائیک و استفاده آن در ایران

۲۵	چه زمانی فتولتائیک اقتصادی خواهد شد
----	-------	-------------------------------------

فصل اول

بررسی نیمرسانای گالیم آرسناید

۳۰	.....	۱-۱) بررسی نیمرسانای گالیم آرسناید
۳۳	.....	۱-۲) ناخالصی‌ها در گالیم آرسناید
۳۴	.....	۱-۲-۱) بررسی رفتار ناخالصی بریلیم در لایه گالیم آرسناید
۳۵	.....	۱-۲-۲) بررسی رفتار ناخالصی کربن در لایه گالیم آرسناید
۳۵	.....	۱-۲-۳) بررسی رفتار ناخالصی سیلیسیم در لایه گالیم آرسناید

فصل دوم

خواص نیمرساناهای ترکیبی III - V

۳۷	.....	۱-۲) خواص الکتریکی
۳۸	.....	۲-۲) خواص نوری
۴۴	.....	۲-۳) خواص ساختاری
۴۶	.....

فصل سوم

۵۲	.....	روابط و پارامترهای مهم در طراحی سلولهای خورشیدی (پیوند pn)
۵۲	.....	۱-۳) اثر تابش نور بر نیمرسانا
۵۳	.....	۱-۱-۳) هدایت الکتریکی نوری
۵۴	.....	۱-۲-۳) تابش نور بر یک پیوند دیودی
۵۷	.....	۱-۳-۳) پاسخ طیفی سلول خورشیدی دیودی
۵۹	.....	۱-۳-۴) مشخصه ولتاژ - جریان سلول خورشیدی دیودی

۶۱	.....	۲-۳) پارامترهای اساسی سلول خورشیدی
۶۴	.....	۳-۳) بازده سلول خورشیدی دیودی ایده‌آل
۷۴	.....	۳-۴) عوامل مؤثر در تلفات بازده سلول خورشیدی
۷۵	.....	۱-۴-۳) تلفات نوری
۷۵	.....	۲-۴-۳) تلفات باز ترکیب
۷۶	.....	۳-۴-۳) تلفات مقاومتهای سری و موازی
۷۷	.....	۴-۴-۳) تأثیر دما
۷۸	.....	۳-۵) روشهای تکنولوژیک برای بهبود کارایی سلول خورشیدی دیودی
۷۸	.....	۱-۵-۳) استفاده از پوشش ضد باز تابش
۸۰	.....	۲-۵-۳) ایجاد ناهمواری در سطح خورشید
۸۱	.....	۳-۵-۳) به دام اندازی نور
۸۲	.....	۴-۵-۳) استفاده از BSF
۸۳	.....	۵-۵-۳) غیر فعال کردن سطح امیتر
۸۴	.....	۶-۵-۳) استفاده از اتصالات عمقی
۸۵	.....	۷-۵-۳) استفاده از اتصالات نقطه‌ای

فصل چهارم

۸۷	.....	انواع ساختارهای سلول خورشیدی III - V
۸۷	.....	۱-۴) سلولهای خورشیدی تک پیوندی
۸۷	.....	۱-۱-۴) سلولهای خورشیدی با پیوند همسان
۸۹	.....	۲-۱-۴) سلولهای خورشیدی با پیوند ناهمسان
۹۱	.....	۳-۱-۴) Heteroface سلولهای خورشیدی
۹۳	.....	۲-۴) سلولهای خورشیدی چند پیوندی

فصل پنجم

۱۰۳	.....	رونشستی پرتومولکولی (MBE)
۱۰۳	.....	۱ - ۵) مفاهیم اولیه
۱۰۵	.....	۲ - ۵) فرایندهای اصلی
۱۰۹	.....	۳ - ۵) ساختمان دستگاه MBE
۱۰۹	.....	۱ - ۳ - ۵) شمای کلی سیستم
۱۱۰	.....	۲ - ۳ - ۵) منابع پرتوها
۱۱۵	.....	۳ - ۳ - ۵) موانع پرتوها (قطع کنندهای پرتومولکولی)
۱۱۶	.....	۴ - ۳ - ۵) مراقبت رشد (مطالعه ساختار سطح هنگام رشد)
۱۱۸	.....	۴ - ۵) محیط فرایند رشد
۱۱۹	.....	۱ - ۴ - ۵) محفظه ورودی
۱۱۹	.....	۲ - ۴ - ۵) محفظه میانی انتقال
۱۲۲	.....	۳ - ۴ - ۵) محفظه آماده سازی و مطالعه
۱۲۲	.....	۴ - ۴ - ۵) محفظه رشد
۱۲۳	.....	۵ - ۴ - ۵) سیستم کنترل
۱۲۵	.....	۵ - ۵) مطالعه ساختار سطح و تکنیک RHEED
۱۳۱	.....	۶ - ۵) فرآیند رشد
۱۳۱	.....	۱ - ۶ - ۵) دینامیک رشد
۱۳۴	.....	۲ - ۶ - ۵) مکانیزم رشد در MBE

فصل ششم

آماده سازی نمونه

۱۳۹	.....	۱ - ۶) آماده سازی نمونه قبل از رشد
۱۴۲	.....	۲ - ۶) فرایند رشد
۱۴۴	.....	۳ - ۶) آماده سازی نمونه بعد از رشد

فصل هفتم

۱۴۷	.....	روشهای مشخصه نگاری
۱۴۸	.....	۱- ۷) اثر هال
۱۵۷	.....	۲- ۷) روشهای الکتروشیمیایی ECV

فصل هشتم

۱۶۸	.....	آزمایشها و نتایج
۱۶۸	.....	۱- ۸) آزمایشهای لایه گالیم آرسناید نوع n (که بر روی زیر لایه p رشد داده شده است)
۱۷۳	.....	۲- ۸) نتایج آزمایشها

نتیجه گیری

۱۸۵	منابع
-----	-------	-------

فهرست تصاویر ، جداول و نمودارها

صفحه	عنوان
	مقدمه
۲	شکل ۱) نمودار طیف الکترومغناطیسی از ناحیه ماورای بنفش تا ناحیه مادون قرمز
۳	شکل ۲) طیف‌های مربوط به درخشندگی طیف خورشید در شرایط AM_0 و AM_1
۴	شکل ۳) سه فرایندگذار اساسی بین دو تراز انرژی الف) جذب ب) گسیل خود به خودی ج) گسیل برانگیخته حالت اولیه در سمت چپ و حالت نهایی ، بعد از روند گذار در سمت راست می‌باشد .
۷	شکل ۴) جذب نوری برای الف) $h\nu = E_g$ ب) $h\nu > E_g$ ج) $h\nu < E_g$
۸	شکل ۵) جذب نوری الف) نیمرسانای تحت تابش ب) کاهش نمایی شار فوتون
۸	شکل ۶) ضرایب جذب نوری برای مواد نیمرسانای مختلف
۹	شکل ۷) دیود نوری پیوندی pn ، در تاریکی
۱۰	شکل ۸) یک دیود نوری پیوندی pn تابش دیده در حالت فوتو ولتی
۱۱	شکل ۹) فرآیند تبدیل انرژی نوری به انرژی الکتریکی الف) سلول خورشیدی با مقاومت بار ب) پخش الکترونها و حفره‌ها که جریان تولید می‌کنند ج) نمودار نوار انرژی د) برقراری ولتاژ مدار باز (نمایش طرح‌واره)
۱۲	شکل ۱۰) دیود نوری پیوندی pn تابش دیده در حالت نور رسانا
۱۳	شکل ۱۱) پاسخ جریان - ولتاژ پیوند pn تحت تابش دهی
۱۴	شکل ۱۲) تصویر نشان دهنده اثر فتو و لتائیک
۱۵	شکل ۱۳) نمایشی از یک سلول خورشیدی
۱۶	شکل ۱۴) نمایش سلول خورشیدی پیوندگاه pn سیلیسیم
۱۷	شکل ۱۵) الف - نمودار نوار انرژی سلول خورشیدی پیوندگاه pn تحت تابش با پرتوهای خورشیدی ب - مدار معادل (ایده آل شده) سلول خورشیدی
۱۸	شکل ۱۶) الف - مشخصه‌های جریان - ولتاژ سلول خورشیدی تحت تابش ب - وارونه قسمت الف ، حول محور ولتاژ
۱۹	شکل ۱۷) بازده سلول خورشیدی ایده‌آل در دمای 300k
۲۶	شکل ۱۸) استفاده از سلولهای خورشیدی در کاربردهای فضایی

- شکل ۱۹) سیستم کوچک آبیاری که آب را برای آبیاری زمین کشاورزی از یک چاه کم عمق بالا می‌آورد ۲۶
- شکل ۲۰) مجموعه پکیپارچه‌ای از سلول‌های خورشیدی متمرکز کننده ردیاب دو محوری، این طرح برای استفاده در پروژه‌های سولراس فرودگاه فورت ورث شهر دالاس در نظر گرفته شده است. ۲۷
- شکل ۲۱) ماشین حسابی که با سلول خورشیدی از جنس سیلیسیم در نور محیط، کار می‌کند. سلول خورشیدی مذکور در قسمت پائین صفحه نمایش قرار دارد ۲۷
- شکل ۲۲) تکرار کننده‌های تلویزیونی از نوع سلول خورشیدی با پانل ۲۸
- شکل ۲۳) استفاده از سلول خورشیدی در دستگاههای مخابراتی ۲۸
- شکل ۲۴) منبع تولید برق خورشیدی واقع در اندونزی ۲۹

فصل اول

- شکل ۱-۱) ساختار بلوری GaAs که یک ساختار روی - سولفید می‌باشد ۳۰
- شکل ۱-۲) ساختار باند انرژی گالیم آرسناید، سیلیسیم و ژرمانیم ۳۱
- شکل ۱-۳) نمودار سرعت حاملهای بر حسب میدان الکتریکی برای گالیم آرسناید، سیلیسیم و ژرمانیم ۳۱
- جدول ۱-۱) خواص گالیم آرسناید، سیلیسیم، ژرمانیم و SiO_2 ۳۳

فصل دوم

- جدول ۱-۲) ناخالصی‌های دهنده و پذیرنده در گالیم آرسناید و گالیم فسفاید و انرژی یونیزاسیون هر یک ۳۹
- شکل ۱-۲) تأثیر مکانیزمهای پراکندگی در گالیم آرسناید بر قابلیت تحرک الکترونها ۴۱
- جدول ۲-۲) مقایسه قابلیت تحرک و سرعت رانش الکترونها در چند نیمرسانا ۴۱
- شکل ۲-۲) مشخصه انتقال الکترون تحت میدان مغناطیسی در Si، GaAs و InP ۴۲
- شکل ۲-۳) محدوده نوری ترکیبهای III - V ۴۵
- شکل ۲-۴) تغییر فاصله انرژی و ثابت شبکه ترکیبهای سه تایی III - V ۴۷

- ۴۸ شکل ۵-۲) تغییر فاصله انرژی و ثابت شبکه در ترکیب چهار تایی

$$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$$
- ۵۰ شکل ۶-۲) ساختار باند انرژی گالیم آرسناید
- ۵۰ شکل ۷-۲) تغییر فاصله انرژی با درصد ترکیب $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$
- ۵۱ شکل ۸-۲) نمودار باند انرژی ساختار چند جنسی AL GaAs/GaAs

فصل سوم

- ۵۵ شکل ۱-۳) نمودار شماتیک سلول خورشیدی
- ۵۸ شکل ۲-۳) پاسخ طیفی سلول خورشیدی دیودی Pn
- ۶۱ شکل ۳-۳) مدار معادل سلول خورشیدی دیودی
- ۶۲ شکل ۴-۳) منحنی مشخصه ولتاژ - جریان سلول خورشیدی دیودی
- ۶۳ شکل ۵-۳) تغییرات V_{OC} و I_{SC} سلول خورشیدی دیودی با توان تابشی
- ۶۷ شکل ۷-۳) بازده سلول خورشیدی ایده‌آل بر حسب فاصله انرژی
- ۷۰ شکل ۸-۳) پاسخ طیفی نرمالیزه بر حسب عرض امیتر نرمالیزه برای سلول خورشیدی $n - on - p$ با فرض $J_{dep}=0$ و $S_n = S_p$ و $L_n = L_p$
- ۷۱ شکل ۹-۳) مسیر جریان در سلول خورشیدی Pn
- ۷۴ شکل ۱۰-۳) تغییرات پتانسیل بر حسب فاصله از اتصالها در سلول خورشیدی
- ۷۷ شکل ۱۱-۳) تأثیر مقاومت‌های سری و موازی بر مشخصه ولتاژ - جریان سلول خورشیدی دیودی
- ۷۹ شکل ۱۲-۳) تأثیر پوشش AR در ضریب بازتابش
- ۸۰ جدول ۱-۳) مواد مورد استفاده برای پوشش AR در سلولهای خورشیدی
- ۸۱ شکل ۱۳-۳) تصویر SEM از سطح یک سلول خورشیدی $V\text{-Grooved}$
- ۸۳ شکل ۱۴-۳) سلول خورشیدی دیودی با BSF و باند انرژی آن
- ۸۴ شکل ۱۵-۳) تغییرات سرعت باز ترکیب سطحی در سطح عقبی سلول خورشیدی دیودی بر حسب ضخامت لایه BSF
- ۸۵ شکل ۱۶-۳) طرح یک سلول خورشیدی از نوع $PESC$
- ۸۶ شکل ۱۷-۳) طرح یک سلول خورشیدی $PESC$ با اتصالهای عمقی و سطوح جلویی و عقبی $Laser - Grooved$

شکل ۱۸ - ۳) طرح یک سلول خورشیدی Pcsc با ترمینالهای سمت عقبی

۸۶

فصل چهارم

شکل ۱ - ۴) طرح یک سلول خورشیدی n^+pp^+ با GaAs

۸۸

شکل ۲ - ۴) نمودار باند انرژی یک پیوند ناهمسان $n - on - p$

۸۹

شکل ۳ - ۴) میزان ناپیوستگی در باند هدایت بر حسب تفاوت و بستگی الکترون

۹۱

در پیوندهای ناهمسان

شکل ۴ - ۴) طرحی از یک سلول خورشیدی

۹۲

Heteroface با سیستم ALGaAs / GaAs

جدول ۱ - ۴) مواد دارای فاصله انرژی بزرگ به عنوان پنجره و پوشش AR در

۹۳

سلولهای Heteroface

شکل ۵ - ۴) دو نوع ساختار در سلولهای چند پیوندی، تاندوم (بالا) و جدا کننده

۹۴

طیف (پائین)

شکل ۶ - ۴) مشخصه ولتاژ - جریان برای دو سلول سری

۹۶

شکل ۷ - ۴) دو نوع ساختار در سلولهای تاندوم، قرار گرفته به صورت مکانیکی

۹۶

(بالا) و یکپارچه (پائین)

شکل ۸ - ۴) طرحی از یک سلول تاندوم یکپارچه با دیود تونل به عنوان

۹۷

اتصال سری

شکل ۹ - ۴) طرحی از یک سلول تاندوم یکپارچه $(1993)InP/GaInAs$

۹۸

شکل ۱۰ - ۴) منحنی مشخصه دیود تونل GaInAs به کار رفته سلول تاندوم

۹۹

(شکل ۹ - ۴)

شکل ۱۱ - ۴) منحنی مشخصه ولتاژ - جریان سلول تاندوم (شکل ۹ - ۴)

۱۰۰

شکل ۱۲ - ۴) پاسخ طیفی سلول تاندوم شکل ۹ - ۴ (خط چین طیفی خارجی و

۱۰۱

خط پر پاسخ طیفی داخلی است)

شکل ۱۳ - ۴) منحنیهای بازده برای سلولهای تاندوم بر حسب تعداد سلول و

۱۰۲

میزان تمرکز نور

شکل ۱۴ - ۴) کانتورهای بازده برای سلولهای تاندوم بر حسب فاصله انرژی

۱۰۲

سلولهای تشکیل دهنده