

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
مِنْ حَجِّ الْكَبْرِ  
مِنْ حَجِّ الْكَبْرِ



دانشگاه لرستان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه

بررسی اثرات غیرخطی ساختاری روی بهره نوری ترانزیستور لیزری

نگارش

ندا بیرانوند

استاد راهنما

دکتر علی بهاری

استاد مشاور

مهندس محسن قهرمانی سالیانه

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

شهریور ماه ۱۳۹۲

همه امتیازات این پایان نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات، کتفرانس یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه لرستان (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به:

صاحب زمان در عصری که غیبت با سکوت قرین شد

# السلام علی ولدک الفرج

و

به پروماد عزیزم که از دستان پر مهرشان ایستادگی و سخت کوشی همراه با عطف و آموختنم

و معنای زندگی را در زلال چشمانشان یافتم

و به خواهر و برادرهای عزیز و باصفایم

الهی و ربی!

به هر سمت و سونظر کردم تو را یافتم، چگونه سپاسگزاری کنم و حمد و شتای تو گویم حال آن که زبانم قاصر است و  
ذهنم محدود، با این حال بر من منت گذاشتی و نهمدودی را در نظرم جلوه کردی و سپاس و ستایش خود را بر زبانم  
جاری ساختی. سرورم! لطف نهان و بی نهایت تو را باید در آن لحظه ای دید که از عدم مرا به عالم وجود، هستی  
بخشیدی. با آن که از قصور و خطای من با خبر بودی مراد مسیر تعالی به سمت خودت قرار دادی و در این راه  
یاری ام کردی. بار دیگر در سایه ی لطف و کرم و وصف نپذیرت توانستم مرحله ای را به پایان برسانم که تو شاید بر  
هر آغاز و پایانی. با این حال معبود من! در هر مکان و زمان نهایت وجود ناچیز و حقیرم را جز در وجود  
بی نهایت تو نمی بینم، هر چند که بر من نشاید این خواسته لیکن از وجود کامل تو انتظار می رود محقق شود متعالی شدن  
بر وجود ناقص و قاصری، که این فقط از تو برمی آید و بس.

## سپاس و تقدیر

سپاس و ستایش مخصوص خداست که پروردگار عالم است و آفریننده‌ی جهان‌های بی‌نهایت و سلطان ملک وجود، سلطان مطلق بر سلاطین عالم و نافذ به‌کنه ذات ریزترین و نهان‌ترین اشیاء.

پروردگاری بی‌انتهای صاحب عزت و جلال و بزرگواری است.

بر خود لازم میدانم که از راه‌نمایی‌ها و همکاری استاد گرامی جناب آقای دکتر بهاری در این پروژه تقدیر و تشکر کنم، که وقت گرانمای خود را برای به‌ثمر رسیدن این پایان‌نامه صرف کردند.

از جناب آقای قهرمانی که در این پروژه همکاری داشتند نیز کمال تشکر را دارم.

هم‌چنین شایسته است از اساتید گرامی جناب آقای دکتر دادستانی و جناب آقای دکتر سهوند که داوران این پروژه را بر عهده گرفتند مراتب تقدیر و تشکر را به‌جا آورم.

و از تمامی دوستان و کسانی که در این راه یاریم کردند سپاسگزارم.

نذیر انوند

شهریورماه ۹۲

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول: بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه ی پژوهش)
۳	۱-۱ نیم رسانا
۳	۲-۱ نیم رساناهای آرایش یافته
۴	۳-۱ اتصالات (پیوندهای) نیم رسانا
۶	۴-۱ ساختارهای نامتجانس
۸	۵-۱ نانو ساختارهای نیم رسانا
۸	۱-۵-۱ ساختار چاه کوانتومی
۹	۱-۱-۵-۱ چاه های کوانتومی نوع اول و دوم
۱۱	۲-۱-۵-۱ محاسبه ی چگالی حامل ها در چاه کوانتومی
۱۳	۳-۱-۵-۱ ویژه توابع و ویژه مقادیر حالت های مقید پتانسیل چاه کوانتومی
۱۶	۲-۵-۱ ساختار سیم کوانتومی
۱۷	۳-۵-۱ ساختار نقطه کوانتومی
۱۸	۶-۱ ترانزیستور دو قطبی
۲۱	۱-۶-۱ ناحیه کار ترانزیستورها
۲۲	۲-۶-۱ نحوه اتصال ترانزیستورها
۲۳	۳-۶-۱ کاربرد ترانزیستورها
۲۳	۴-۶-۱ ترانزیستورهای دو قطبی ساختار نامتجانس
۲۵	۷-۱ دیودهای لیزری
۲۵	مقدمه
۲۶	۱-۷-۱ گسیل القایی
۲۷	۲-۷-۱ تجمع معکوس
۲۸	۸-۱ دیود لیزری نیم رسانا
۳۰	۱-۸-۱ تجمع معکوس در لیزرهای نیم رسانا
۳۰	۲-۸-۱ لیزرهای ساختار نامتجانس
۳۲	۳-۸-۱ لیزر چاه کوانتومی

۳۴.....	۹-۱ مدولاسیون
۳۵.....	۱-۹-۱ مدولاسیون پهنای باند لیزر
۳۵.....	۲-۹-۱ رزونانس لیزر
۳۶.....	۳-۹-۱ دینامیک حامل
۳۷.....	۱۰-۱ ترانزیستور لیزری

## ۳۹ فصل دوم: مبانی و روش ها

۴۰.....	مقدمه
۴۰.....	۱-۲ روش تفاضلات متناهی
۴۳.....	۲-۲ دینامیک حامل در لیزرهای چاه کوانتومی
۴۴.....	۳-۲ بهره نوری و سرعت مدولاسیون مستقیم
۴۴.....	۱-۳-۲ محاسبه ی بهره ی نوری لیزرهای چاه کوانتومی
۴۶.....	۲-۳-۲ تئوری بهره خطی
۴۶.....	۳-۳-۲ تئوری بهره غیرخطی
۴۷.....	۱-۳-۳-۲ تراکم بهره
۴۹.....	۴-۲ فرار و گیراندازی حامل
۵۰.....	۱-۴-۲ زمان گیراندازی حامل
۵۲.....	۲-۴-۲ زمان فرار حامل
۵۲.....	۵-۲ ترانزیستور لیزری
۵۳.....	۱-۵-۲ مدل سازی یک ترانزیستور لیزری
۵۵.....	۲-۵-۲ تحلیل DC حالت ایستا ترانزیستور لیزری
۵۶.....	۳-۵-۲ تحلیل AC سیگنال کوچک و مدولاسیون فرکانس بالای ترانزیستور لیزری
	۶-۲ اثبات رابطه ی اثرات غیرخطی ساختاری و تراکم بهره از پاسخ مدولاسیون
۵۷.....	ترانزیستور لیزری

## ۵۹ فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

۶۰.....	مقدمه
۶۲.....	۱-۳ نتایج حاصل از محاسبات



۲-۳ مدولاسیون فرکانس بالای ترانزیستور لیزری در تقریب سیگنال کوچک ..... ۶۸

۳-۳ مواد نیتریدی ..... ۷۰

۴-۳ نتایج حاصل از محاسبات با در نظر گرفتن مواد نیتریدی در ساختار ترانزیستور لیزری ..... ۷۲

۵-۳ نتیجه گیری ..... ۷۵

منابع ..... ۷۶

Abstract ..... ۸۰

## فهرست اشکال و جداول فصل ۱

- شکل ۱-۱ دو نوع نیم رسانای نوع p و n قبل و بعد از اتصال ۴
- شکل ۲-۱ پیوند p-n در حالت غیر تعادلی تحت اعمال بایاس مستقیم ۵
- شکل ۳-۱ مشخصه ی جریان- ولتاژ پیوند p-n ۵
- شکل ۴-۱ دو نوع ساختار نامتجانس متشکل از دو ماده ی A و B ۷
- شکل ۵-۱ شماتیک ساختار نامتجانس دو گانه ۷
- شکل ۶-۱ نانو ساختارهای چاه کوانتومی، سیم کوانتومی و نقطه کوانتومی ۸
- شکل ۷-۱ پروفایل بانندی یک چاه کوانتومی به عرض L و ارتفاع  $V_b$  ۹
- شکل ۸-۱ (a) شکل هندسی ساختار چاه کوانتومی (b) دیاگرام سطوح انرژی برای الکترون ها و حفره ها در یک چاه کوانتومی (c) مقطع عرضی نسبت E-K ۹
- شکل ۹-۱ چاه کوانتومی نوع اول ۱۰
- شکل ۱۰-۱ چاه کوانتومی نوع دوم ۱۰
- شکل ۱۱-۱ چگالی حالت ها در یک چاه کوانتومی ۱۲
- شکل ۱۲-۱ توابع موج برای چاه کوانتومی به عرض L ۱۴
- شکل ۱۳-۱ نمودار چگالی حالت ها برای الکترون های دو بعدی در چاه کوانتومی ۱۵
- شکل ۱۴-۱ چگالی حالت ها برای ساختار چاه کوانتومی (نمودار پیوسته) و جسم کپه ای (نمودار خط چین) ۱۵
- شکل ۱۵-۱ نمودار چگالی حالت ها برای الکترون های یک بعدی در سیم کوانتومی ۱۷
- شکل ۱۶-۱ نمودار چگالی حالت ها برای الکترون ها صفر بعدی در نقطه کوانتومی ۱۸
- شکل ۱۷-۱ پروفایل بانندی BJT نوع n-p-n تحت بایاس مستقیم پیوند امیتر-بیس و بایاس معکوس پیوند بیس - کلکتور ۱۹
- شکل ۱۸-۱ پروفایل بانندی BJT نوع n-p-n قبل از اعمال بایاس ۱۹
- شکل ۱۹-۱ پروفایل بانندی BJT نوع n-p-n تحت بایاس در ناحیه فعال ۲۰
- شکل ۲۰-۱ مدار معادل اتصال امیتر مشترک ۲۱
- شکل ۲۱-۱ مدار معادل اتصال بیس مشترک ۲۲
- شکل ۲۲-۱ مدار معادل اتصال کلکتور مشترک ۲۲

- شکل ۲۳-۱ شماتیک HBT برای ساختارهای AlGaAs/GaAs ۲۴
- شکل ۲۴-۱ پروفایل بانندی ترانزیستورهای دوقطبی ساختار نامتجانس ۲۴
- شکل ۲۵-۱ شار الکترونی تزریقی و بازتابشی در اتصال امیتر-بیس و هم چنین جمع آوری شار الکترونی و شار بازتزریقی در اتصال بیس - کلکتور ۲۵
- شکل ۲۶-۱ شماتیک فرآیندهای جذب، گسیل خودبخودی و گسیل القایی ۲۷
- شکل ۲۷-۱ پروفایل بانندی دیود لیزری و ایجاد تجمع معکوس بر اثر اعمال بایاس مستقیم ۳۰
- شکل ۲۸-۱ لیزر ساختار نامتجانس دوگانه در حالت تعادل و هم چنین تحت بایاس مستقیم ۳۱
- شکل ۲۹-۱ پروفایل بانندی و چگالی حامل ها در (a) لیزر ساختار نامتجانس یگانه (b) لیزر ساختار نامتجانس دوگانه ۳۱
- شکل ۳۰-۱ محصورسازی حامل ها و نور در لیزرهای ساختار نامتجانس دوگانه ۳۲
- شکل ۳۱-۱ پروفایل بانندی و چگالی حالت ها در لیزر چاه کوانتومی ۳۳
- شکل ۳۲-۱ محصورسازی حامل ها و نور در لیزرهای چاه کوانتومی ۳۴
- شکل ۳۳-۱ شماتیک ساده ای از ترانزیستور لیزری ۳۷

## فهرست اشکال و جداول فصل ۲

- شکل ۱-۲ دینامیک مختلف حامل سهمیم در عملکرد لیزر (a) فرآیند میان بانندی (b) فرآیند درون بانندی و (c) فرآیند پراکندگی ۴۷
- شکل ۲-۲ دیاگرام بانندی و شماتیک ترانزیستور لیزری ۵۳
- شکل ۳-۲ شماتیک فرآیندهای گیراندازی و فرار در چاه کوانتومی و پراکندگی حامل با دیاگرام باند انرژی و غلظت حامل در بالای آن ۵۴

### فهرست اشکال و جداول فصل ۳

- شکل ۳-۱ شماتیک ترانزیستور لیزری به کار رفته در این پایان نامه ۶۰
- جدول ۳-۱ ساختار ترانزیستور لیزری چاه کوانتومی ۶۱
- شکل ۳-۲ وابستگی زمان گیراندازی به انرژی اولیه الکترون ۶۲
- شکل ۳-۳ وابستگی زمان گیراندازی به طول چاه کوانتومی برای انرژی اولیه دلخواه الکترون  $80\text{ meV}$ . ۶۳
- شکل ۳-۴ تغییرات زمان گیراندازی بر حسب طول چاه کوانتومی طبق مشاهدات [۲۱] و [۲۲] ۶۳
- شکل ۳-۵ ضریب تراکم بهره به عنوان تابعی از انرژی اولیه الکترون ۶۴
- شکل ۳-۶ ضریب تراکم بهره به عنوان تابعی از طول چاه کوانتومی برای انرژی اولیه الکترون  $80\text{ meV}$ . ۶۴
- شکل ۳-۷ وابستگی بهره نوری ترانزیستور لیزری به انرژی الکترون ۶۵
- شکل ۳-۸ وابستگی بهره نوری به طول چاه کوانتومی برای انرژی اولیه دلخواه الکترون  $80\text{ meV}$ . ۶۵
- شکل ۳-۹ ضریب تراکم بهره بر حسب نسبت زمان گیراندازی به فرار ۶۶
- شکل ۳-۱۰ وابستگی نسبت زمان گیراندازی به فرار بر حسب دما ۶۶
- شکل ۳-۱۱ وابستگی دانسیته فوتون ها به انرژی اولیه الکترون ۶۷
- شکل ۳-۱۲ وابستگی بهره نوری ترانزیستور لیزری به زمان گیراندازی الکترون ۶۸
- شکل ۳-۱۳ پاسخ مدولاسیون ترانزیستور لیزری بر حسب فرکانس برای مقادیر مختلف بهره نوری ۶۹
- شکل ۳-۱۴ زمان گیراندازی بر حسب میدان الکتریکی داخلی ناشی از اثرات پیزوالکتریک ۷۲
- شکل ۳-۱۵ تغییرات نرخ گیراندازی بر حسب میدان الکتریکی داخلی در مشاهدات مونت کارلو ۷۳
- شکل ۳-۱۶ تراکم بهره بر حسب میدان الکتریکی داخلی ناشی از اثرات پیزوالکتریک ۷۳
- شکل ۳-۱۷ بهره نوری ترانزیستور بر حسب میدان الکتریکی داخلی از اثرات پیزوالکتریک ۷۴
- شکل ۳-۱۸ پاسخ مدولاسیون سیگنال کوچک ترانزیستور لیزری نیتزیدی با میدان های داخلی متفاوت ۷۴

نام خانوادگی: بیرانوند	نام: ندا
عنوان پایان نامه: بررسی اثرات غیرخطی ساختاری روی بهره نوری ترانزیستور لیزری	
استاد راهنما: دکتر علی بهاری	استاد مشاور: مهندس محسن قهرمانی سالیانه
درجه‌ی تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
محل تحصیل: دانشگاه لرستان	گرایش: اتمی - مولکولی
دانشکده: علوم پایه	گروه آموزشی: فیزیک
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۳۹۲/۰۶/۳۱	تعداد صفحه: ۸۰
کلید واژه‌ها: فارسی: ترانزیستور لیزری- بهره نوری ترانزیستور لیزری- اثرات غیرخطی- فرآیندهای گیراندازی فرار انگلیسی: Transistor laser ,The optical gain of transistor laser ,The nonlinear effects, The capture and escape processes	
<p><b>چکیده:</b></p> <p>هدف از این پایان نامه بررسی اثرات غیرخطی ساختاری روی بهره نوری ترانزیستور لیزری InGaAs/GaAs است. ترانزیستور لیزری TL مورد نظر ما یک ترانزیستور دو قطبی ساختار نامتجانس HBT است که با به کارگیری نانو ساختارهای چاه کوانتومی در بیس و ایجاد کاواک نوری، می توان علاوه بر تقویت سیگنال الکتریکی ، سیگنال نوری همدوس نیز ایجاد کرد. این قطعه اپتو الکترونیکی قادر است به طور همزمان سیگنال های الکتریکی و نوری (لیزری) را با سرعتی در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ گیگا بایت بر ثانیه مدوله کند.</p> <p>بهره نوری دارای تأثیری مستقیم روی پاسخ مدولاسیون ترانزیستور لیزری است. حضور تعدادی از فرآیندها مانند حفره سوزی طیفی ، گرم کنندگی حامل و انتقالات حامل در لیزرهای نیم رسانا در فرمول بهره اصلاحاتی ایجاد می کنند و منجر به ظاهر شدن فاکتور تراکم بهره می شوند. در این کار اثرات غیرخطی ساختاری ناشی از فرآیندهای گیراندازی و فرار حامل به عنوان منشأ تراکم بهره در نظر گرفته شده است. رابطه ی بین این فرآیندها و تراکم بهره با مدل سازی معادلات نرخ برای ترانزیستور لیزری به دست آمده است. با به کار گیری روش پتانسیل تغییر شکل فونون نوری ، نرخ گیراندازی به انرژی اولیه الکترون و طول چاه بستگی پیدا می کند. به این ترتیب بهره نوری نیز می تواند به عنوان تابعی از انرژی اولیه الکترون و طول چاه کوانتومی نوسان داشته باشد. در آخر می توان تغییرات بهره ناشی از اثرات غیرخطی ساختاری را روی پاسخ مدولاسیون سیگنال کوچک ترانزیستور لیزری مورد بررسی قرار داد.</p>	

اولین قطعه ی پردازنده ی اطلاعات در الکترونیک حالت جامد (ترانزیستور) در سال ۱۹۴۸ توسط جان باردین و والتر بریتمن کشف شد. در این قطعه که ترانزیستور دو قطبی نام گرفت جریان بیس کلید عملکرد و کنترل کننده جریان خروجی محسوب می شود. اولین دیود لیزری نیز در سال ۱۹۶۲ تولید شد. به این ترتیب ترانزیستور بیش از ۶۰ سال و دیود های لیزری بیش از ۴۰ سال است که مورد استفاده قرار گرفته است. بعد از اختراع دیود لیزری نیاز به قطعه ای مشابه ترانزیستور برای ادوات نوری به عنوان پایه ای ترین عنصر پردازنده ی اطلاعات در فوتونیک و الکترونیک نوری احساس شد. به همین دلیل مطالعات و تحقیقات زیادی روی چنین قطعه ای آغاز شد. به گونه ای که حدوداً در سال ۱۹۸۰ یک گروه تحقیقاتی در انیستتو تکنولوژی کالیفرنیا موفق به ساخت قطعه ای آزمایشگاهی شدند که آن را Trans laser نامیدند. در این قطعه یک ترانزیستور به وسیله یک سیم رابط با دیود لیزری مجتمع شده بود به طوری که در خروجی قادر به تولید هر دو سیگنال الکتریکی و نوری بود. اما مشکل بزرگ این قطعه این بود که دو سیگنال الکتریکی و نوری هم زمان نبودند. تحقیقات ادامه داشت تا اینکه محققان در سال ۱۹۹۲ موفق به طراحی و ساخت یک ترانزیستور دو قطبی از جنس InGaAs شدند که از خود نور گسیل می کرد اما این ترانزیستور نیز در دماهای خیلی پایین و نزدیک به دمای نیتروژن مایع کار می کرد. در اوایل قرن ۲۱ ساخت و توسعه ی ترانزیستورهای دو قطبی نامتجانس HBT از جنس InGaAs/InP باعث به وجود آمدن ادوات با سرعت و فرکانس بالا شد. به طوری که HBT پرسرعت ایندیمی این زمینه را فراهم کرد تا در سال ۲۰۰۶ اولین ترانزیستور لیزری با این قابلیت که در ورودی سیگنال الکتریکی را دریافت و در خروجی هر دو سیگنال الکتریکی و نوری گسیل کند ساخته شود.

به طور خلاصه تا قبل از اختراع ترانزیستور لیزری در سال ۲۰۰۶ قطعه ای ساخته نشده بود که کار پردازش اطلاعات را در الکترونیک نوری و فوتونیک انجام دهد.

ترانزیستور لیزری دارای مشخصه های کاربردی طول عمر سریع خودبخودی حامل، بهره ی دیفرانسیلی بالا و مشخصه های الکتریکی-نوری سه پایانه ای برای بازخوانی مستقیم مشخصه های نوری خود است. این مشخصه ها به طور بالقوه به ویژگی های ممتازی برای طراحی فرستنده های سرعت بالا تبدیل می شوند که بدون محدودیت های تشدید رزونانس که یک ویژگی مشترک در عملکرد لیزرهای دیودی نیم رسانا (دو پایانه ای) است، عمل می کنند. این مشخصه های ترانزیستور لیزری با در نظر گرفتن انتقال حامل و کوپلینگ فوتون و دینامیک های باز ترکیب مکانیک-کوانتومی، الکترون-حفره در عملکرد ترانزیستور لیزری مورد بررسی قرار می گیرند.

هدف از این پایان نامه بررسی اثرات غیر خطی ساختاری ناشی از فرآیندهای گیراندازی و فرار حامل ها در چاه کوانتومی روی بهره ی ترانزیستورلیزری  $\text{AlGaAs/GaAs}$  بر اساس ساختارهای چاه کوانتومی  $\text{InGaAs/GaAs}$  می باشد.

## فصل ۱ - بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

### ۱-۱ نیم رسانا

نیم رساناها به طور گسترده ای در فتونیک به عنوان منبعی برای دیودهای گسیل نوری و دیودهای لیزری و یا آشکار سازها کاربرد دارند.

یک نیم رسانا یک کریستال یا یک جامد بی شکل است که رسانایی الکتریکی آن به طور متوسط بین یک فلز و عایق است (کم تر از فلز و بیشتر از عایق) و رسانایی آن می تواند با اصلاح دما یا غلظت آلایندگی با مواد یا با تابیدن نور به طور مؤثری بهبود یابد. ساختار باند و توانایی برای تشکیل پیوندها و ساختارهای نامتجانس که در ادامه آمده منجر به خواص منحصر به فردی برای نیم رساناها شده است. وسایل الکتریکی نیم رساناها به طور اصولی از Si شروع می شوند در حالی که وسایل اپتوالکترونیکی نیم رسانا اغلب از ترکیبات سه تایی مانند  $\text{InGaAs}$ ،  $\text{AlGaAs}$  و چهارتایی نیم رسانا مانند  $\text{InGaAsP}$ ،  $\text{AlInGaN}$  ساخته می شوند. [۱]

### ۱-۲ نیم رساناهای آلایش یافته

خواص اپتیکی و الکتریکی اصولاً با ورود کنترل شده ی مقدار کمی از ناخالصی ها به داخل ماده ی نیم رسانا بهبود می یابد، که این فرآیند را آلایندگی می گویند.

آلایش هایی که موجب افزایش الکترون های باند رسانش می شوند بخشنده<sup>۱</sup> نام دارند و این نوع رسانا را نوع n می گویند و آلایش هایی که موجب افزایش حفره های باند ظرفیت می شوند پذیرنده<sup>۲</sup> و این نوع رسانا را نوع p می نامند.

در نیم رسانای نوع n الکترون ها حامل های اکثریت و حفره ها حامل های اقلیت هستند در حالی که در نیم رسانای نوع p عکس قضیه صادق است.

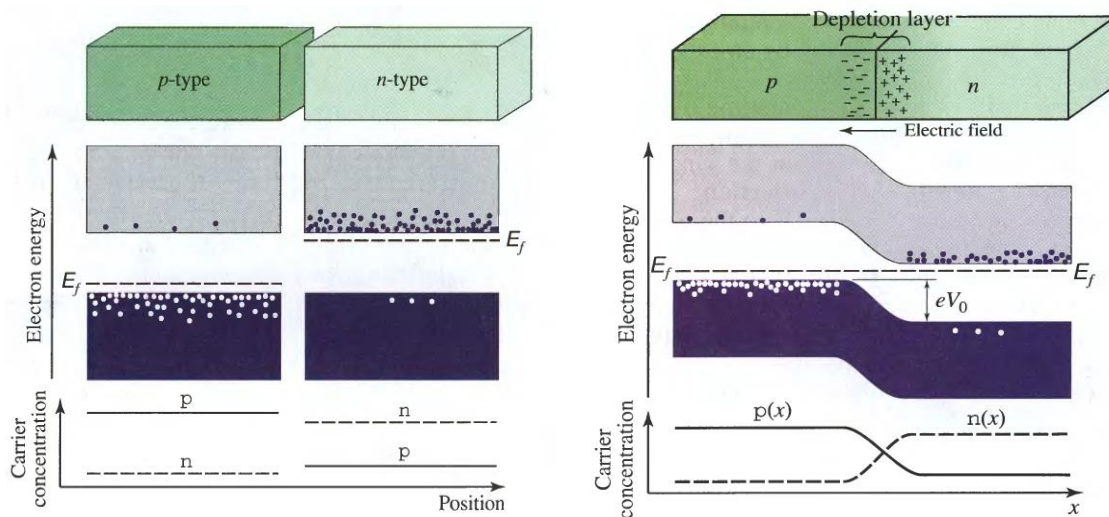
---

<sup>۱</sup> Donor  
<sup>۲</sup> Acceptor

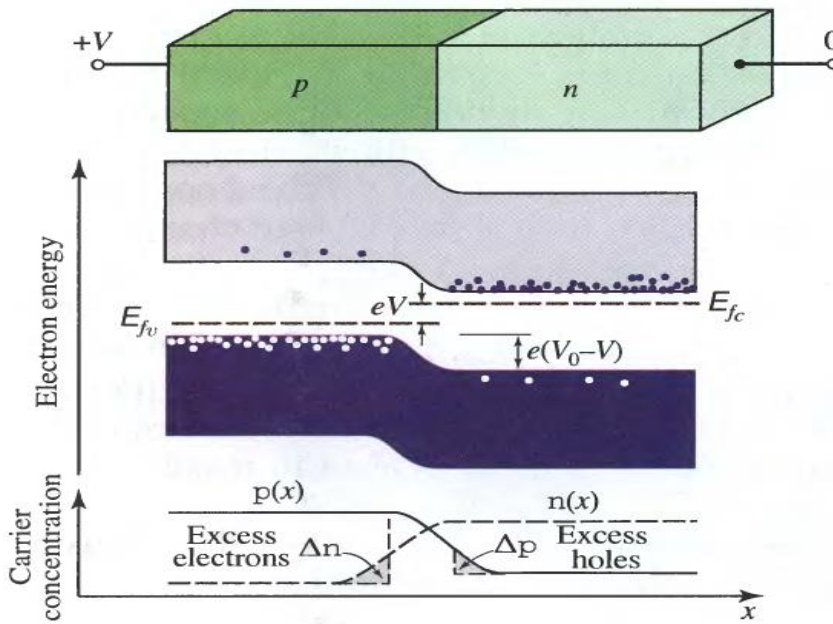


### ۳-۱ اتصالات (پیوندهای) نیم رسانا

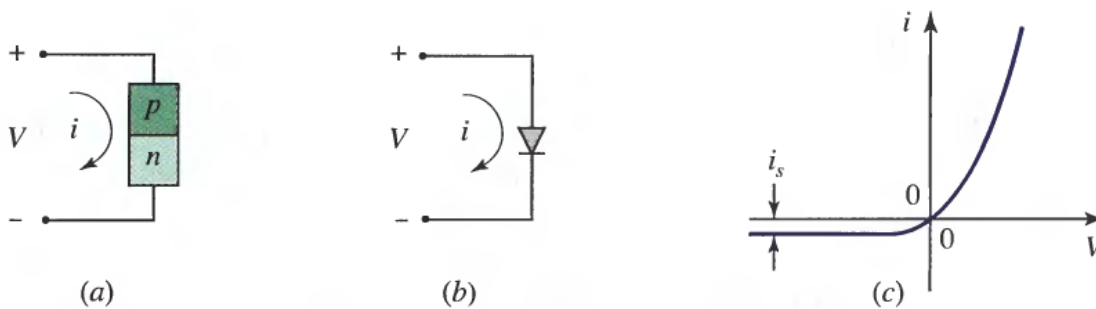
پیوند  $p-n$  یک پیوند همگن بین نیم رسانای نوع  $n$  و نیم رسانای نوع  $p$  است. شکل (۱-۱) اتصال دو نیم رسانای نوع  $n$  و  $p$  را نشان می دهد. این پیوند به صورت یکسو کننده ی جریان (دیود) در الکترونیک و در اپتو الکترونیک به صورت یک دیود گسیل نوری (LED)، دیود لیزری (LD)، آشکار ساز، یا انرژی خورشیدی عمل می کند. در این پیوند حامل ها از ناحیه ی با غلظت بیشتر به ناحیه ی با غلظت کم تر پخش می شوند در این حالت در پیوند گاه یک میدان داخلی ایجاد می شود که از پخش بیشتر بارهای متحرک به درون ناحیه ی پیوند جلوگیری می کند و در حالت کلی جریانات مربوط به پراکندگی و میدان داخلی یکدیگر را خنثی می کنند. [۱]



شکل ۱-۱. دو نیم رسانای نوع  $n$  و  $p$  قبل و بعد از اتصال .



شکل ۱-۲. پیوند p-n در حالت غیر تعادلی تحت اعمال بایاس مستقیم.



شکل ۱-۳. مشخصه ی جریان - ولتاژ پیوند p-n.

همانطور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است ، بعد از اعمال میدان توسط بایاس مستقیم به پیوند p - n دیود از حالت تعادل خارج یک ناهمترازی در سطوح فرمی در نواحی p و n ایجاد می شود و در حالت جدید سطوح شبه فرمی نامیده می شوند و دیود در حالت شبه تعادل قرار می گیرد. هم چنین در شکل (۱-۳) مشخصه ی جریان - ولتاژ پیوند p - n تحت بایاس مستقیم آمده است.

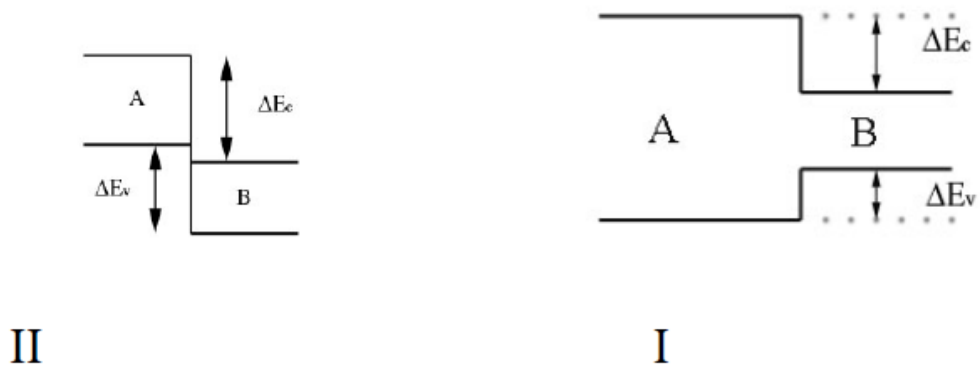
## ۴-۱ ساختار های نامتجانس<sup>۳</sup>:

اگر در یک ساختار نیم رسانا دو ماده از دو جنس متفاوت در کنار هم قرار داده شوند این ساختار را نامتجانس گویند. این تفاوت در ماده نیم رسانا سبب گسستگی در نوار هدایت و ظرفیت ساختار کل می شود که در حدود چند صد میلی الکترون ولت یا بیشتر است. این شکافتگی اساس محدود شدن حامل ها در ساختارهای محدود کوانتومی ست و لذا تأثیر شگرفی در خواص تراپردی حامل ها در سطح مشترک دو نیم رسانا دارد. ساختارهای نامتجانس از طریق روش های لایه نشانی دقیقی همچون برآرایی باریکه مولکولی و لایه گذاری بخار شیمیایی فلز- ماده آلی ساخته می شوند. این روش ها گرچه امکان ساخت لایه های فوق نازک با کیفیت عالی از نیم رسانا را فراهم می کند ولی با این حال مرز بین دو ماده در یک ساختار نامتجانس مرز تیزی نیست و ضخامت این مرز بسته به روش ساخت قطعات مقادیر متفاوتی می تواند داشته باشد. اصطلاح فوق نازک به سیستم هایی اطلاق می شود که ضخامت آن ها با شعاع بوهر اکسیتون قابل قیاس باشد.

ساختار های نامتجانس بسته به کاربرد و مشخصات الکترونیکی مورد نیاز از اتصالات نیم رسانا، فلز و یا عایق ساخته می شوند و از این نظر بسیار متنوع هستند. این ساختارها با ضریب شکست متفاوت برای ایجاد ساختارهای فوتونیک و موجبرهای نوری به کار برده می شوند که امکان حبس شدن و هم ردیف شدن فوتون ها را فراهم می کنند.

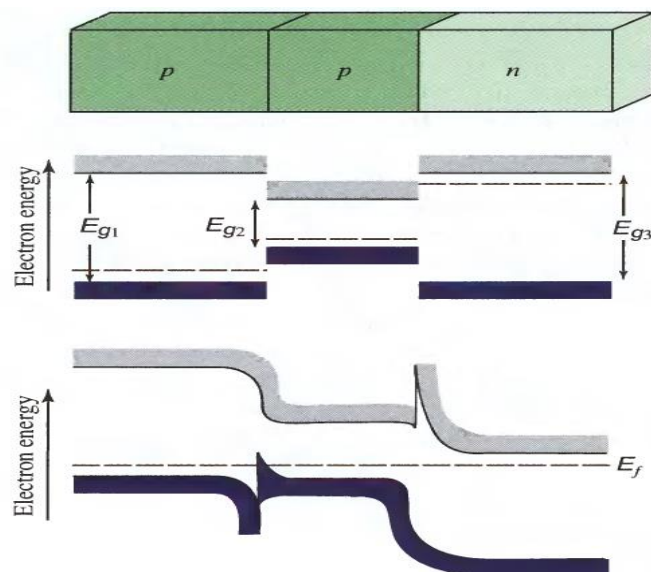
یکی دیگر از خواص مفید ساختارهای نامتجانس قابل کنترل بودن بانده انرژی حامل ها است. وقتی دو ماده مختلف در اتصال با یکدیگر قرار می گیرند تراز های هدایت و ظرفیت آن ها درست مقابل هم نیستند و همین امر موجب شکافتگی در ترازهای هدایت و ظرفیت دو ماده می شود. این شکافتگی در حدود چند صد میلی الکترون ولت یا بیشتر بوده و اساس محدود شدن حامل ها در ساختارهای کوانتومی به شمار می رود.

<sup>۳</sup> Heterostructures



شکل ۱-۴. دو نوع ساختار نامتجانس متشکل از دو ماده ی A و B.

همانطور که در شکل (۴-۱) نشان داده شده ، دو نوع اتصال نامتجانس قابل اعمال است. در اتصال نوع I تراز هدایت و ظرفیت ماده ی B بین ترازهای هدایت و ظرفیت ماده ی A واقع شده است. در صورتی که در نوع II ترازهای هدایت و ظرفیت ماده ی B زیر ترازهای هدایت و ظرفیت ماده ی A است. تفاوت در نوع ساختار متجانس به تغییراتی در خواص فیزیکی می انجامد. اگر یک لایه از یک ماده با گاف کوچک بین دو لایه از جنس دیگر با گاف بزرگتر قرار گیرد، یک ساختار با محدود شدگی بیشتر به نام ساختار نامتجانس دو گانه به وجود می آید که شماتیک آن در شکل (۵-۱) آمده است.



شکل ۱-۵. شماتیک ساختار نامتجانس دو گانه.