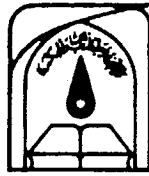


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۳۳۳۷
۵ طریقی
۵۰۱۷

۱۳۸۰ / ۶ / ۲۸



مرکز اطلاعات مدرک علمی ایران
تهیه مدرک

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - الکترونیک

**ساخت و آنالیز دیود لیزری با ساختار دوگانه
غیر همجنس InGaAsP/InP و ساختار نواری
(Stripe) در محدوده $1/3\mu\text{m}$**

مرتضی رضائی

013182

استاد راهنما:

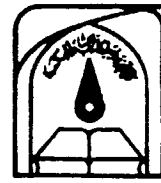
دکتر وحید احمدی

استاد مشاور:

دکتر محمد کاظم مروج فرشی

اسفندماه ۱۳۷۹





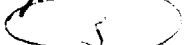
۳۵۰۹۶



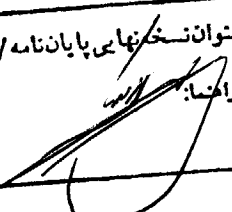
دانشگاه تربیت مدرس

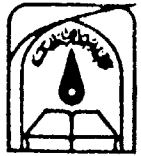
تاییدیه هیات داوران

آقای مرتضی رضایی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان ساخت و آنالیز دیود لیزری با ساختار دوگانه غیرهمجنس InGaAsP/InP و ساختار نواری (Stripe) در محدوده $1.3\mu\text{m}$ در تاریخ ۷۹/۱۲/۲۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق با گرایش الکترونیک پیشنهاد می کنند.

<u>امضاء</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>اعضای هیات داوران</u>
	آقای دکتر احمدی	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر مروج فرشی	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر نبوی	۳- استادان ممتحن:
	آقای دکتر کوهیان	
	آقای دکتر کبیر	۴- مدیر گروه:

(یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهائی پایان نامه / رساله مورد تایید است.
امضای استاد راهنما: 



بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
و کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته برق - الکترونیک است که در سال ۱۳۷۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر وحید احمدی، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمدرکابم فرج فرشی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر — از آن دفاع شده است.

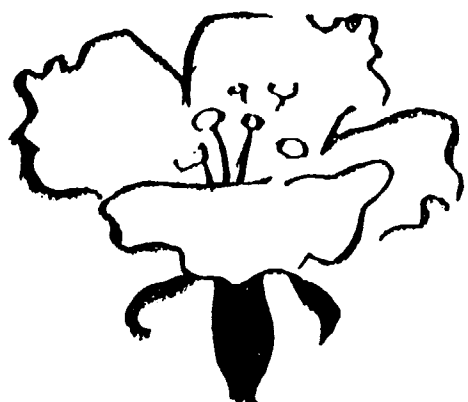
ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجویان تعهد و قبول می کنند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب مرتضی رضایی دانشجوی رشته برق - الکترونیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مرتضی رضایی
تاریخ و امضا: ۱۳۸۰/۴/۱۳



تقدیم به پدر و مادر بزرگوار و

همسر مهربانم

تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر احمدی که استاد راهنمایی این پروژه را برعهده داشتند تشکر می‌کنم.

از جناب آقای دکتر مروج فرشی که مشاورت این پروژه را برعهده داشتند سپاسگزاری می‌کنم.

از جناب آقای دکتر کوهیان که در رفع نواقص و اشکالات پایان نامه، همکاری داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

از جناب آقای مهندس غلامرضا عبائینی که همکاری صمیمانه ای در انجام این پروژه داشتند قدردانی می‌شود.

از همکاری جناب آقای نور بخش، قسمت طیف نگاری در لایه نشانی SiO_2 ، سرکار خانم عطار در لیتوگرافی و آلیاژسازی قطعات، سرکار خانم شهرزاد سالمی در *Coating* قطعات، جناب آقای رضا مصدق در تهیه و بسته بندی قطعات کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از همکاری جناب آقای مهندس سلطانمرادی و جناب آقای محمدی کمال تشکر را دارم. سرکار خانم مریم صمیمی که در امور تایپ همکاری داشتند تشکر می‌کنم.

از جناب آقای داود رضائی و سرکار خانم مژگان رضائی که در امور نوشتاری پایان نامه همکاری داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از همکاری دوستانم جناب آقای جلال امامی و رضا ورمزیاری در تهیه مواد شیمیایی، تشکر می‌کنم.

چکیده:

در این پروژه ساخت و آنالیز دیود های نوری لیزری (LD) و معمولی (LED) با ساختار نواری در محدوده $1/3 \mu m$ ارائه گردیده است برای این منظور نخست مباحث تئوری مرتبط با این نوع دیود لیزری بررسی میگردد. در این رساله پخش شدگی جریان، مقاومت سری و مقاومت گرمایی از پارامترهای مهم دیود با ساختار نواری است. در بدست آوردن جریان آستانه دیود، نخست عوامل فوق لحاظ نمی شود با توجه به ساختار فیزیکی و هندسی جریان آستانه دیود محاسبه میگردد و سپس با توجه به عوامل فوق جریان آستانه دائمی (CW) بدست می آید.

نتایج بدست آمده از مدلسازی با نتایج عملی مقالات همخوانی دارد. در انتها با توجه به امکانات موجود در سازمان انرژی اتمی ایران قطعاتی از این نوع دیود ساخته شد و مشخصه های الکتریکی و الکتریکی _ نوری قطعات بدست آمد.

دیودهای ساخته شده رفتار (LED) را در طول موج های $1/3$ و $1/350 \mu m$ از خود نشان میدهند. در این حالت برای برخی نمونه ها، در جریان 400 mA توانی حدود $200 \mu W$ حاصل می شود. شدت نور خروجی در گسترده وسیع خطی مشخصه L-I، از خصوصیات قطعات است.

کلمات کلیدی: دیود لیزری (LD)، ساختار نواری (Stripe)، ساختار غیر همجنس دوگانه،

InGaAsP/InP

فصل اول :

تاریخچه و مقدمه

- ۱-۱) روند توسعه لیزر نیمه هادی ۱
- ۲-۱) اصول عملکرد ۳
- ۱-۲-۱) پیوند نیمه هادی ۴
- ۲-۲-۱) فرآیندهای باز ترکیب ۶
- ۳-۲-۱) آستانه لیزری ۶
- ۴-۲-۱) پهنای باند و طیف نوسان ۷
- ۳-۱) سازمان نوشتار ۱۲

فصل دوم :

تئوری لیزرهای با ساختار نواری

- ۱-۲) شماتیک و ساختار لیزر نیمه هادی با اتصال نواری ۱۵
- ۲-۲) پخش شدگی جریان در لیزرهای با اتصال نواری ۱۶
- ۳-۲) بررسی توزیع حامل در ساختار هدایت بهره ای و نمودار توان - جریان ۱۸
- ۱-۳-۲) معادله نفوذ حامل ها ۱۹
- ۲-۳-۲) Lasing مود ۲۲
- ۳-۳-۲) اثر پهنای نوار (Stripe) ۲۵
- ۴-۲) مقاومت گرمایی لیزرهای با ساختار غیر همجنس ۲۸
- ۱-۴-۲) مدل مقاومت گرمایی ۲۹
- ۲-۴-۲) تحلیل ریاضی مقاومت گرمایی ۲۹
- ۳-۴-۲) تغییر مقاومت گرمایی در طول نوار ۳۵
- ۵-۲) عملکرد موج پیوسته (CW) لیزر های نواری alnAsP ۳۷
- ۱-۵-۲) معیار سنجش جهت عملکرد CW ۳۸
- ۲-۵-۲) مقاومت سری ۴۰
- ۳-۵-۲) مقاومت گرمایی ۴۳
- ۱-۳-۵-۲) محاسبه توزیع مقاومت گرمایی از منابع گرمایی مختلف ۴۳
- ۲-۳-۵-۲) محاسبه مقاومت گرمایی ۴۵
- ۳-۳-۵-۲) محاسبه در ساختارهای ویژه ۴۷

فصل سوم :

مدلسازی و آنالیز عددی

- ۱-۳) جریان آستانه پالسی ۵۶
- ۲-۳) اساس مدلسازی ۶۰
- ۱-۲-۳) اثر ضخامت لایه فعال و پهنای نوار روی دانسیته جریان آستانه پالسی ۶۰
- ۲-۲-۳) اثر پهنای وضاحت لایه ها روی مقاومت گرمایی ۶۲

- ۳-۲-۳) تغییر ناخالصی غلاف و اثر آن روی جریان آستانه ۶۴
- ۳-۲-۴) اثر تغییرات پهنای نوار روی دانسیته جریان آستانه ۶۷

فصل چهارم:

ساخت لیزر با ساختار دوگانه غیر همجنس با اتصال نواری InGaAsP/InP و اندازه گیری

مشخصات لیزر

- ۴-۱) تهیه زیر لایه ۷۱
- ۴-۲) رشد ساختار دوگانه غیر همجنس InGaAsP/InP به روش LPE ۷۱
- ۴-۳) لایه نشانی عایق ۷۲
- ۴-۴) نواری کردن قطعه (Stripe) ۷۲
- ۴-۵) فلز گذاری و آلیاژ سازی ۷۳
- ۴-۶) تهیه قطعه و بسته بندی ۷۳
- ۴-۷) تعیین مشخصه های قطعه های ساخته شده ۷۴
- ۴-۷-۱) مشخصه های الکتریکی ۷۴
- ۴-۷-۲) مشخصه های الکتریکی - نوری ۷۴
- نتیجه گیری ۸۰

فهرست شکلها

- شکل ۱-۱ : عدم تحدید حامل الکتریکی در ساختار همجنس ۵
- شکل ۲-۱ : تحدید حامل الکتریکی در ساختار دوگانه غیرهمجنس ۵
- شکل ۳-۱ : اساس ساختار تحدید نوری در جهت موازی با پیوند در یک لیزر هدایت بهره ای با ساختار نواری ۸
- شکل ۴-۱ : مقایسه بین مشخصات نمونه لیزرهای هدایت بهره ای و هدایت شکستی ۹
- شکل ۵-۱ : ساختارهای اساسی لیزرهای هدایت بهره ای ۱۰
- شکل ۱-۲ : لیزر اتصال نواری با عایق SiO_2 ۱۶
- شکل ۲-۲ : دیاگرام ساده نقاط هم پتانسیلی و توزیع جریان بین اتصال (کنتاکت) و لایه فعال در لیزر با اتصال نواری ۱۷
- شکل ۳-۲ : شماتیک موجبر لیزری با ساختار دوگانه غیر همجنس ۲۰
- شکل ۴-۲ : طیفهای دانسیته جریان تزریقی ، در طول صفحه پیوند که در محاسبات استفاده میشود ۲۱
- شکل ۵-۲ : نمودارهای محاسبه شده توان خروجی بر حسب دانسیته جریان تزریقی ۲۶
- شکل ۶-۲ : تغییرات در طول صفحه پیوند ۲۷
- شکل ۷-۲ : تغییرات در طول صفحه پیوند ۲۸
- شکل ۸-۲ : فلوی گرمایی دوبعدی از یک منبع گرمایی نواری یکنواخت ۳۰
- شکل ۹-۲ : متغیرهای گرمایی یک لیزر غیرهمجنس $GaAs-Ga_{0.76}Al_{0.24}As$ نمونه (نامی) و مقایسه با متغیرهای نازک و ضخیم ۳۳
- شکل ۱۰-۲ : مقاومت گرمایی لیزر نامی شکل (۲-۹) ، بصورت تابعی از تغییرات ابعاد به اندازه ضریبی از نیم تا دو برابر ۳۴
- شکل ۱۱-۲ : مقاومت گرمایی لیزر نازک و نامی ، بصورت تابعی از ضخامت صفحه پخش کننده گرما ۳۶

- شکل ۲-۱۲: طیف مقاومت گرمایی لایه فعال ۳۷
- شکل ۲-۱۳: جریان آستانه CW محاسبه شده بر حسب جریان آستانه پالسی ۳۹
- شکل ۲-۱۴: شماتیک لیزر ایزوله اکسید ۴۰
- شکل ۲-۱۵: شماتیک لیزر ایزوله پروتونی ۴۳
- شکل ۲-۱۶: ابعاد و هدایت های گرمایی ساختار قطعه، برای محاسبات مقاومت گرمایی ... ۴۴
- شکل ۲-۱۷: افزایش دمای منابع گرمایی مختلف به صورت تابعی از ضخامت لایه P-Passive .. ۴۶
- شکل ۲-۱۸: مقاومت گرمایی و افزایش دمای پیوند برای چهار نوار ۴۸
- شکل ۲-۱۹: افزایش دما پیوند برای لیزر با پهنای $10 \mu m$ بصورت تابعی از جریان، برای چند بازده داخلی مختلف ۴۹
- شکل ۲-۲۰: اثر مقاومت اتصال و مقاومت توده لایه P - Passive روی افزایش دمای پیوند، بصورت تابعی از جریان عملکرد ۴۹
- شکل ۲-۲۱: مقاومت های گرمایی و افزایش دمای پیوند برای لیزر با پهنای $10 \mu m$ با یک لایه غلاف به ضخامت $1 \mu m$ ۵۲
- شکل ۲-۲۲: مقاومت های گرمایی و افزایش دمای پیوند برای لیزر های با پهنای $10 \mu m$ ، پوشیده شده با گرماده های سیلیکن، مس، یا الماس ۵۲
- شکل ۳-۱: لیزر با ساختار دوگانه که بصورت یک موجبر دو بعدی ۵۶
- شکل ۳-۲: فلوجارت مدلسازی ۶۱
- شکل ۳-۳: نمودار دانسیته جریان آستانه بر حسب ضخامت لایه فعال در پهنای نوار 5، 10 و $20 \mu m$ ۶۲
- شکل ۳-۴: نمودار مقاومت گرمایی بر حسب تغییرات ضخامت لایه های مختلف ۶۳

- شکل ۳-۵: آستانه نرمالیزه شده بر حسب ناخالصی لایه غلاف n (در ضخامت لایه فعال ،
 0.15 و 0.2 و $0.25 \mu m$) ۶۴
- شکل ۳-۶: آستانه نرمالیزه شده بر حسب ناخالصی لایه غلاف P (در ضخامت لایه غلاف ، 1
 و 2 و $3 \mu m$) ۶۵
- شکل ۳-۷: آستانه نرمالیزه شده بر حسب ناخالصی لایه غلاف n (در ضخامت لایه غلاف ،
 1, 2, $3 \mu m$) ۶۶
- شکل ۳-۸: دانسیته جریان آستانه بر حسب ضخامت لایه غلاف n ۶۷
- شکل ۳-۹: دانسیته جریان آستانه بر حسب پهنای نوار لیزر ۶۸
- شکل ۴-۱: نمودار مسیر مراحل اصلی ساخت لیزر اتصال نواری ۷۰
- شکل ۴-۲: مشخصه های V-I سه نمونه از دیودهای ساخته شده ۷۵
- شکل ۴-۳: طیف نمونه RP6 برای جریان های مختلف ۷۶
- شکل ۴-۴: طیف نمونه RP3 برای جریان های مختلف ۷۶
- شکل ۴-۵: مشخصه توان نور خروجی بر حسب جریان ورودی نمونه های مختلف ۷۷
- شکل ۴-۶: مشخصه L-I نمونه های RP3, RP4, RP5, RP6، برای عملکرد پالسی در دمای
 اتاق ۷۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱) روند توسعه لیزر نیمه هادی

لیزر نیمه هادی ، در سال ۱۹۶۲ شناخته شد و در حال حاضر ، یک قطعه ضروری در ارتباطات نوری ، دیسک نوری ، و دیگر کاربردهای الکترونیک نوری است . در اینجا تاریخ گسترش لیزر نیمه هادی را مرور می کنیم ، که می توان آن را به چهار بخش تقسیم کرد که در جدول (۱-۱) به این بخشها پرداخته شده است [1] .

Stage	Years	Structure	Concept
I	1962 – 1969	GaAs homojunction	Direct modulation
II	1970 – 1976	GaAlAs double heterojunction	Transvers mode control
III	1977 – 1984	1 μ m-band GaInAsP system	DSM(Dynamic Single Mode)
IV	1985 -	short – wave length region	Quantum Well Coherence Control , etc .

جدول (۱-۱) : توسعه لیزرهای نیمه هادی

اولین مرحله مربوط به لیزر نیمه هادی تزریقی است ، که در سال ۱۹۶۲ شروع شد . چهار سازمان در ایالات متحده (جنرال الکتریک ، انستیتو تکنولوژی ماساچوست ، ماشین آلات Business بین المللی ، و دانشگاه Illinois) لیزرنیمه هادی با ساختار همجنس (Homojunction) را توسعه دادند . چند سال قبل از این ، برانستین انتقال تابشی (Radiative transition) رادر نیمه هادیهها پیشنهاد کرد ، و نیشی زاوا (ژاپن) یک اسیلاتور نیمه هادی Tellurium رابه ثبت رساند .

ج. باسوف (روسیه) ، تابش برانگیخته (Induced emission) را بوسیله تزریق حاصل در نیمه هادیها پیشنهاد کرد . علاوه بر آن ، در یک یادداشت وان نیومن ، یک پیشنهاد قدیمی در زمینه تابش برانگیخته (Induced emission) یک نیمه هادی وجود داشت .

در اوایل سال ۱۹۶۰ ، زمانیکه تحقیقات روی لیزر هلیوم - نئون ، یاقوت و دیگر لیزرها شروع شده بود ، بسیاری از آزمایشگاهها و انستیتوها ، نیز تحقیقات ، روی لیزرهای نیمه هادی را شروع کرده بودند . در آن زمان ، ج . ب . گان اثری را بنام اثرگان کشف کرد که با توجه به آن اثر ، قطعات حالت جامد از قبیل گالیوم آرسناید و سولفید کادمیوم ، قادر به راه اندازی اسیلاتور ماکروویو بودند ، در نتیجه ، مطالعه در زمینه نیمه هادی های گروههای III - V شروع شد . در آن زمان بود که دریافت شد ، لیزرهای نیمه هادی نه تنها بعنوان دیودهای ساده ، بلکه بعنوان موجبرهای نوری می تواند بکار گرفته شود .

مرحله دوم در توسعه لیزر نیمه هادی ، به سال ۱۹۷۰ بر می گردد ، که با استفاده از قطعات با ساختار غیر همجنس دوگانه (Double heterostructure) ، نوسان در دمای اتاق بدست آمد . با توجه به اینکه گسترش لیزر نیمه هادی GaAlAs / GaAs ، مدت زیادی طول کشید لذا یک بخش مجزا برای آن در نظر گرفته شده است . این گسترش و پیشرفت را ، هایاشی مرور و بازننگری کرد [2] . در سال ۱۹۷۵ ، سیستمهای ارتباطی (مخابراتی) فیبر نوری Well - balanced با استفاده از لیزرهای GaAs ، با ترکیبی از آشکار سازهای سیلیکونی و فیبرهای شیشه ای نوری تحقق یافت .

در ضمن آن ، پیشنهاد کنترل مود عرضی ارائه گردید ، و ساختارهای مختلفی برای رسیدن به این هدف پیشنهاد شد . متعاقب آن ، یک باند با تلفات پایین در فیبرهای نوری سیلیکا و در منطقه بالای $1 \mu m$ پیدا شد . ج . سای (آمریکا) در کنفرانس بین المللی لیزرهای نیمه هادی در شهر نمانوساتو ژاپن ، یک لیزر GaInAsP / InP با طول موج خروجی $1.1 \mu m$ را تشریح کرد .

مرحله سوم در سال ۱۹۷۷ شروع شد و با لیزرهای نیمه هادی GaInAsP / InP شکل گرفت . در این میان با پیشرفت فیبرهای نوری با تلفات کم ، قابلیت اطمینان اینگونه سیستمها ، در یک زمان کوتاه افزایش یافت ، بنابراین در این سال بود که استفاده از ارتباطات فیبر نوری افزایش قابل توجهی داشت . در سال ۱۹۷۹ ، ی . سوماتسو (ژاپن) لیزرهای DFB و DBR (Dynamic Single - mode) را پیشنهاد کرد ، که به توسعه لیزرهای DFB و DBR برای سیستم های موج نوری با سرعت بالا کمک کرد .

با این پیشرفت ها ، زمینه صنعتی دیگری ، بنام دیسک های لیزری آشکار شد . در ابتدا دیسک های صوتی نوری یا دیسک فشرده (compact discs) در سال ۱۹۸۴ بطور قابل توجهی عرضه شد . تولید ماهانه چیپ های لیزری هم اکنون به بیش از یک میلیون رسیده است [5] . بدین ترتیب ، مرحله چهارم تکامل لیزرهای نیمه هادی ، مربوط به زمانی است که ، وسایل مورد نیاز لیزرهای ، با عملکرد بالا ، در سیستم های ارتباطی نوری ، دیسک های نوری با ظرفیت حافظه بزرگتر ، و بسیاری از کاربردهای دیگر ، پیشرفت کرده اند . برای اینگونه کاربردها ، لیزرهای مرئی با عملکردهای متنوع و کنترل همگرایی از فاکتورهای مهم هستند .

۱-۲) اصول عملکرد

در این قسمت ، به اختصار ، مبانی فیزیکی عملکرد لیزر نیمه هادی بطور کیفی بررسی می شود . برای عملکرد لیزر ، دو فرآیند اساسی مورد نیاز است : (۱) محیط بهره که تشعشع الکترومغناطیسی عبوری از آن با گسیل تحریک شده تقویت می شود و تولید نویز ورودی گسیل خود به خودی می نماید و (۲) فرآیند پسخور که میدان الکترومغناطیسی را در حالات نوری خوش تعریف محدود می سازد . محیط بهره در لیزر نیمه هادی متشکل از مواد