بسم اللّه الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق

بررسی آخرین دستاوردهای لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی InGaAsP/InP

سمینار درس الکترونیک نوری

استاد :

آقای دکتر محمدنژاد

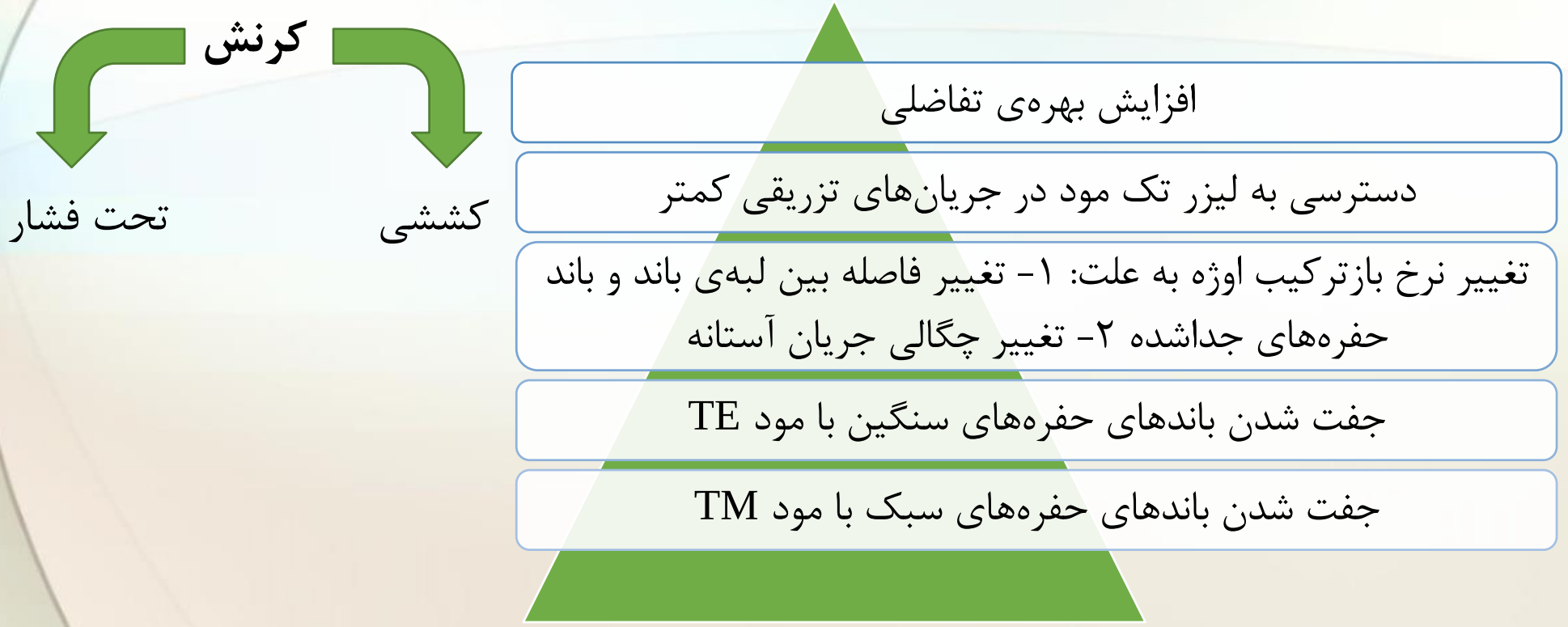
آذر ماه ۱۳۹۴

آن چه در این سمینار خواهید دید:

- مقدمه
- لیزرهای InGaAsP/InP چاه کوانتومی کرنشی با بازدهی تزریق بهینه
- لیزرهای InGaAsP/InP چاه کوانتومی کرنشی با دیسک‌های جفت‌شده
- لیزرهای InGaAsP/InP چاه کوانتومی کرنشی با قابلیت تولید پالس بسیار کوتاه در فرکانس‌های بالا
- جمع بندی مطالب

✓ کرنش در باند هدایت نیمه‌هادی‌های III-V باعث تغییر مکان لبه باند می‌شود.

✓ اثر کرنش در باند ظرفیت شدیدتر است و در ازای تغییرات گاف انرژی، اختلاف انرژی بین حفره‌های سبک و سنگین تغییر می‌کند.



در لیزر چاه کوانتومی منفرد (SQW) چگالی جریان آستانه بسیار پایین است.

تعدد چاههای کوانتومی در لیزرهای با چاه‌های کوانتومی متعدد (MQW) بهره‌ی بالایی را فراهم می‌نماید که

تلفات زیاد آینه‌ها را در کاواک کوچک می‌پوشاند.

معایب MQW
- تزریق غیر یکنواخت
- تولید نقص در چاه کوانتومی کرنشی

لیزرهای نیمه‌هادی در کلاس ایمن برای چشم انسان، با عملکرد در طول موج 1.55 μm مورد نیاز می‌باشد.

لیزرهای InGaAsP/InP مورد استفاده قرار گرفتند.

مزیت لیزر چاه کوانتومی با بهره‌ی مود TEغالب

مشخصات بهتر مانند ضرایب بازترکیب تشعشعی بزرگتر و بهره‌ی تفاضلی بالاتر

کرنش

- ✓ لیزر مدولاسیون مستقیم سریع
- ✓ تقویت کننده‌ی اپتیکی نیمه‌هادی با پولاریزاسیون شدت
- ✓ مدولاتورهای فاز

میزان کرنش تا 0.7% می‌تواند دست‌یابی به طول موج 1.55 µm را فراهم نماید.

کاربردهای کرنش

- کاربردهای نظامی: مخابرات نوری فضای آزاد
- کاربردهای اپتوالکترونیک مجتمع: مدولاتورهای جذب الکتریکی
- میکرو کاواک‌ها: تولید پالس‌های اپتیکی بسیار سریع وبسیار کوتاه

کارایی لیزر InGaAsP/InP به فاصله‌ی لایه‌ی P-InP تا لایه‌ی فعال بستگی دارد.

سه ساختار لیزری با ضخامت یکسان موجبر نوری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ناحیه‌ی فعال:

۳ چاه کوانتومی کرنشی تحت فشار با ضخامت 5nm

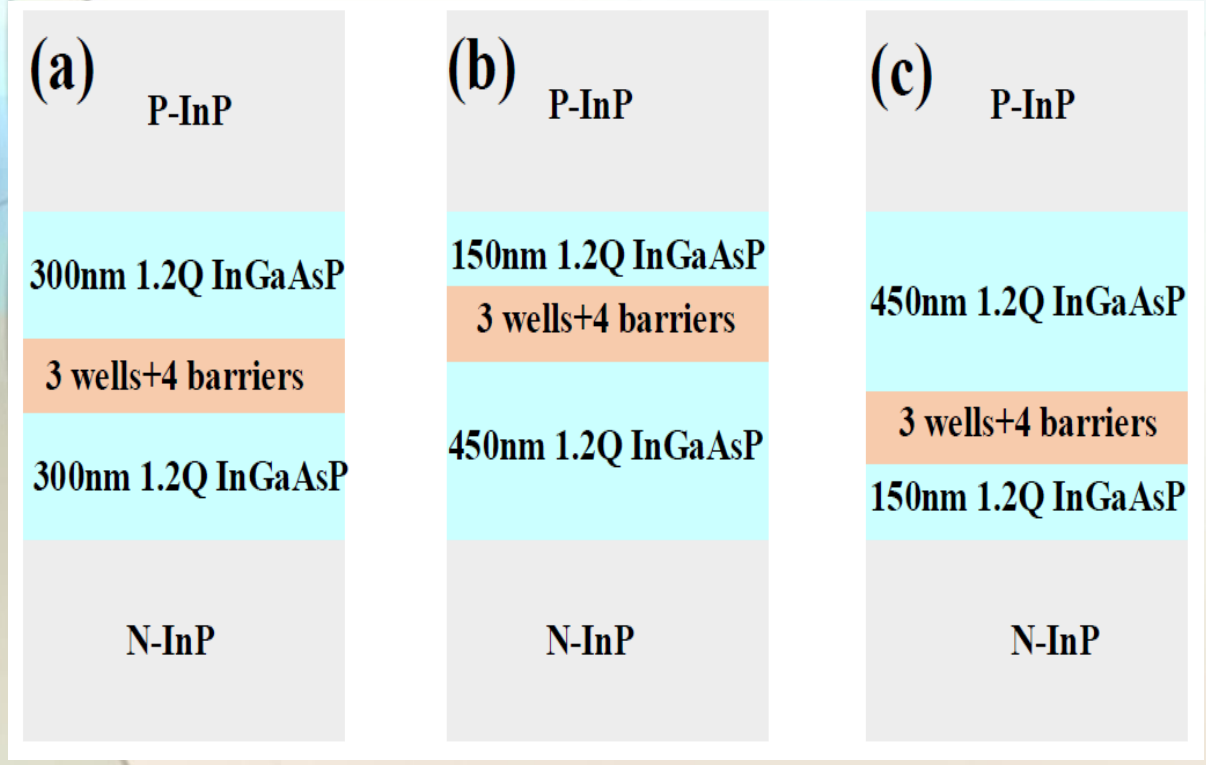
$In_{0.63}\,Ga_{0.37}\,As_{0.9}\,P_{0.1}$

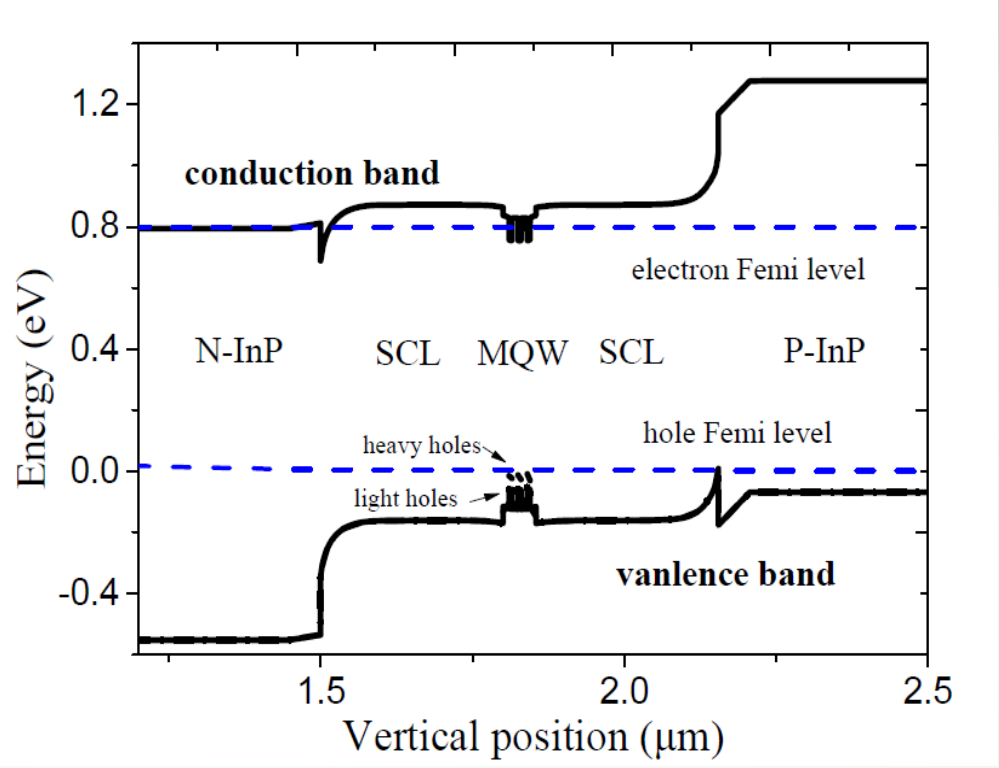
۴ سد کوانتومی کرنشی کششی با ضخامت 10nm

$In_{0.738}\,Ga_{0.262}\,As_{0.568}\,P_{0.432}$

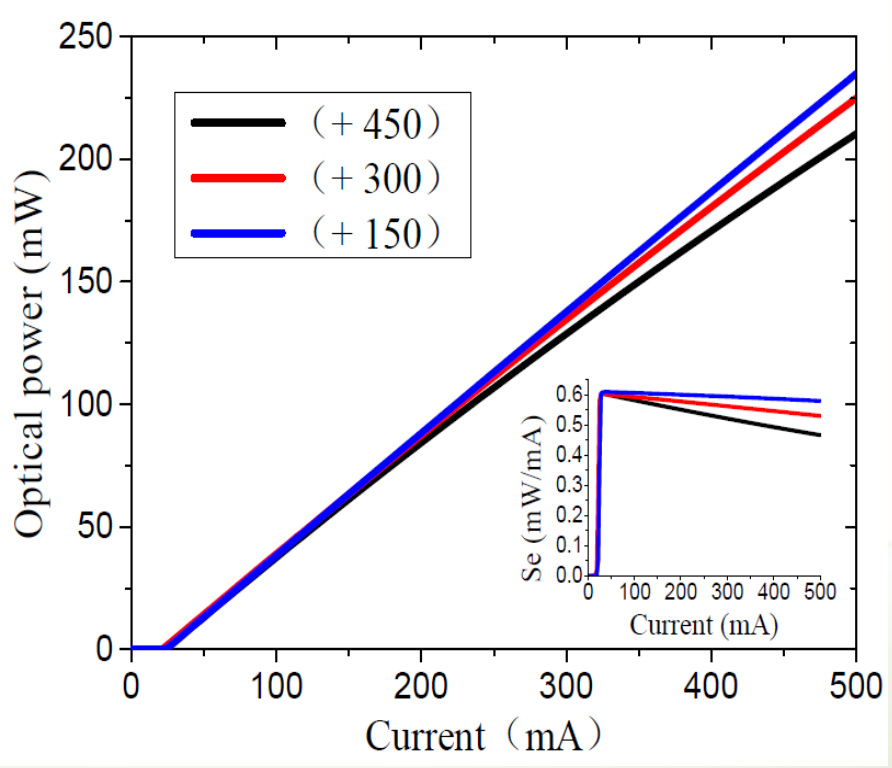
دوپ p با استفاده از Zn به میزان $10^{18}\ cm^{-3}$

دوپ n با استفاده از Si به میزان $2 * 10^{18}\ cm^{-3}$



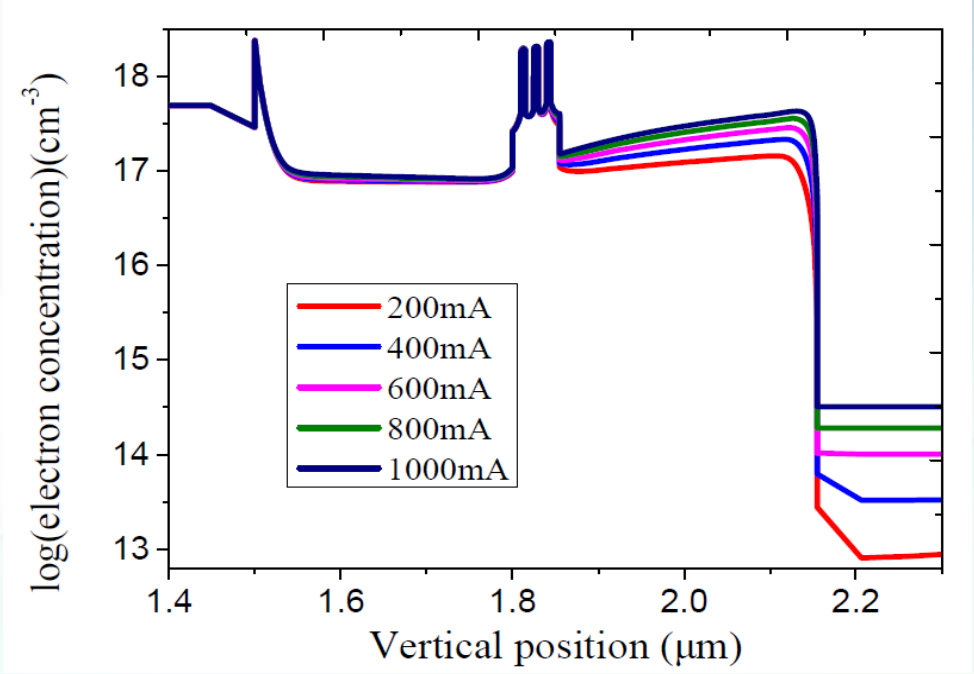


دیاگرام باند انرژی برای ساختار 300+

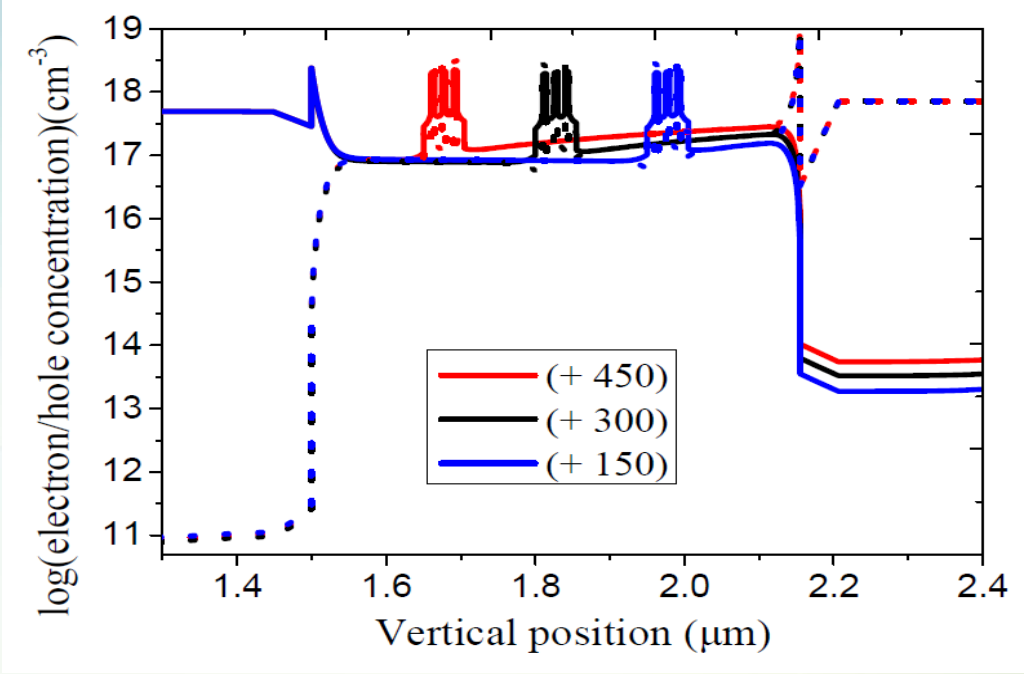


جریان نوری برای یک لیزر 1mm

- ✓ بهترین کارایی: ساختار 150+
- ✓ در منحنی داخلی، شیب بازدهی ساختار 450+ با افزایش جریان، سریع‌تر افت می‌کند.



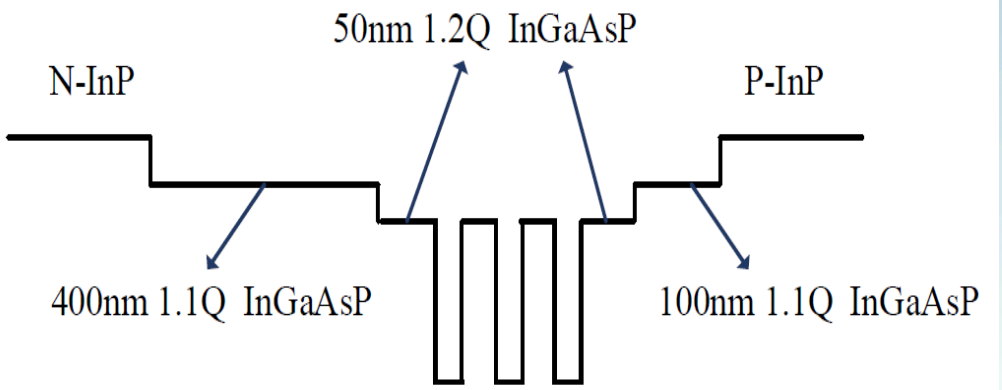
تمرکز توزیع الکترون در ساختار 300+ در جریان‌های تزریق مختلف



تمرکز توزیع الکترون حفره در جریان تزریقی 400 mA

تمرکز الکترون در لایه‌ی SCL بالایی و P-InP در ساختار با SCL باریکتر کاهش می‌یابد.

به منظور کاهش تاثیرات نشت الکترون، فرایند بازترکیب تشعشعی خود به خودی حامل‌ها و بهبود بازدهی تزریق حامل‌ها، ساختار 150+ بهترین انتخاب می‌باشد.



دیاگرام باند ساختار لیزر بهینه شده

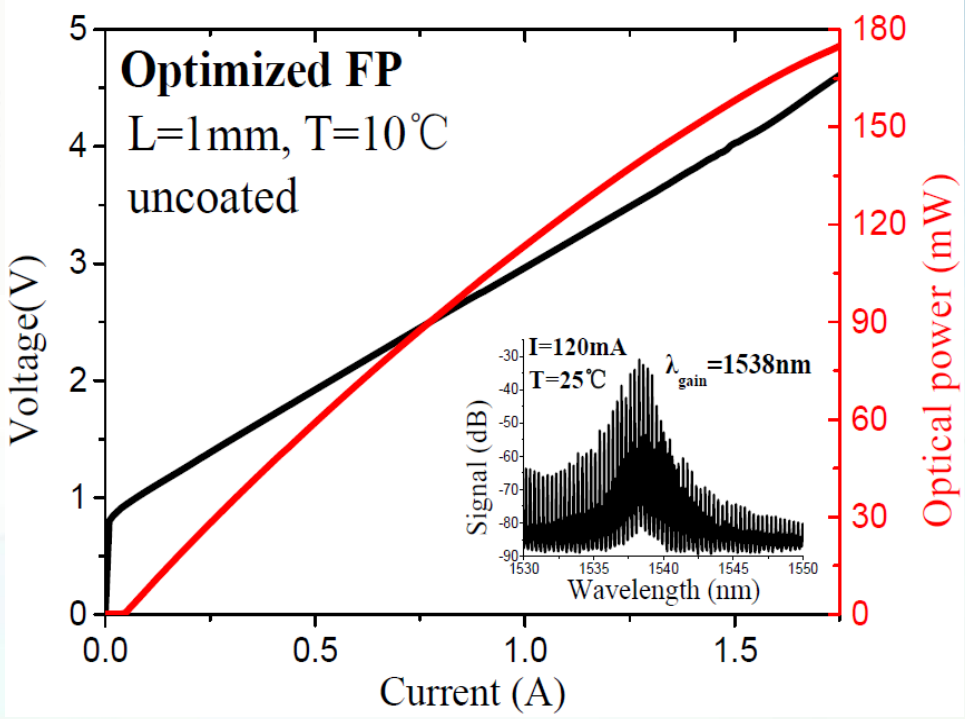
جایگزین کردن موجبر دو قسمتی به جای موجبر یکپارچه به منظور محدودیت بهتر حامل‌ها در ناحیه‌ی فعال

تحدید مود جانبی با استفاده از ساختار موجبر دولبه‌ای و تکنیک زدایش شیمیایی تر

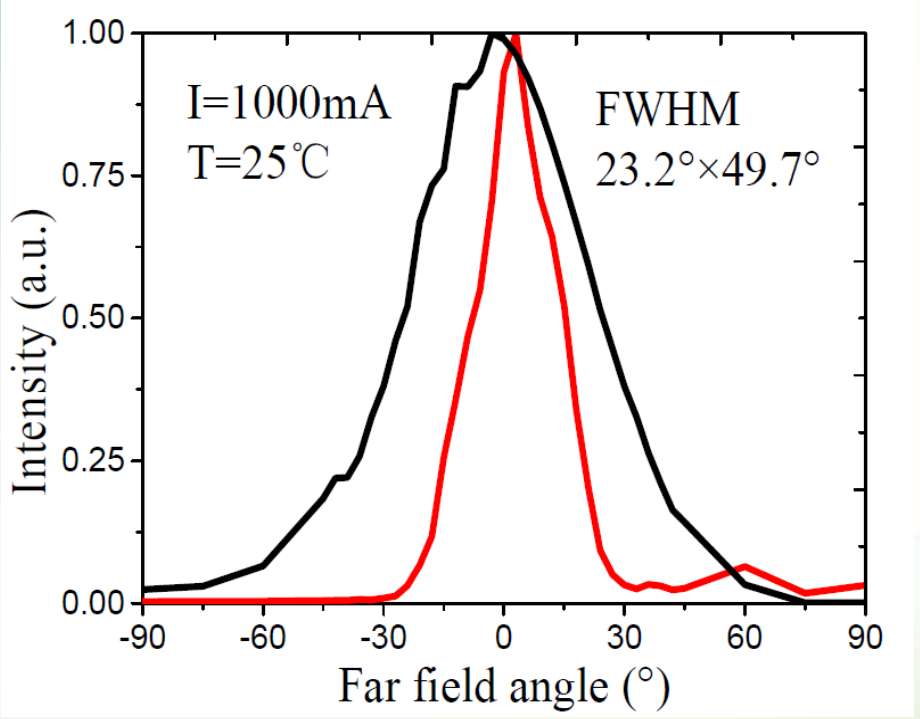
استفاده از یک قطعه‌ی فابری – پرو

رشد ساختار هم‌بافته روی زیرلایه‌ی n-InP با استفاده از تکنیک MOCVD

چسباندن میله‌هایی داخل تراشه به منظور اتصال لایه‌ی P به هیت سینک‌های مسی



منحنی جریان ولتاژ نوری



توزیع میدان دور در جریان 1000 mA

ماکزیمم توان خروجی تک مود برابر با 175 mW در جریان 1.75 A

طول موج ماکزیمم بهره‌ی خروجی در جریان تزریق 120 mA برابر با 1538 nm

ناحیه فعال 6 قسمت 6 nm

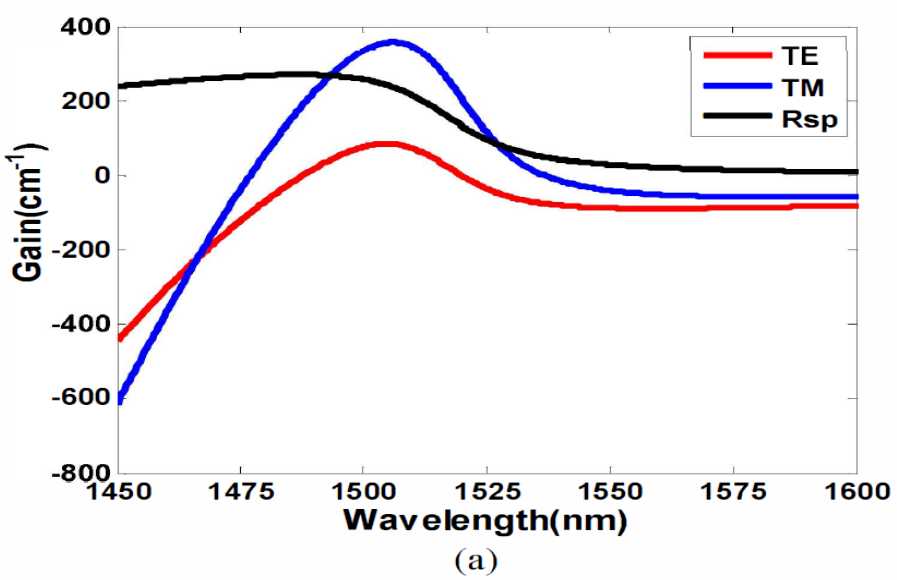
InGaAsP دوپ نشده با کرنش 0.42% محدود شده توسط SCHهای 110 nm

Contact	InGaAs	P^+	200nm
Up cladding	InP	P	1600nm
SCH	Q1.1	u	110nm
Barrier	ε=0, Q1.3	u	6nm
Well	ε=-0.42%, Q1.55	u	6nm
SCH	Q1.1	u	110nm
Down cladding	InP	n	900nm
Substrate	InP	n^+	

ساختار و ضخامت لایه‌های طراحی شده

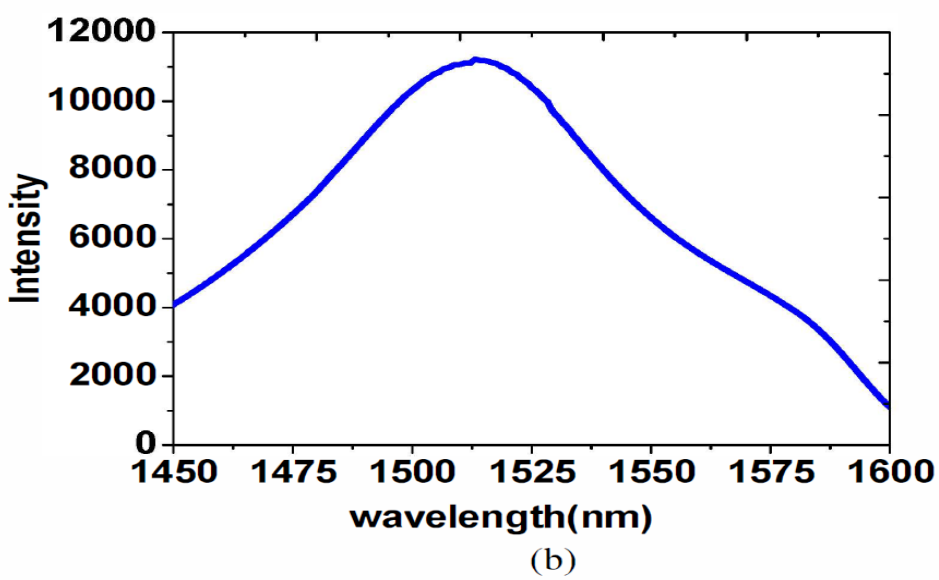
لایه‌ی P-InP باید به اندازه‌ی کافی ضخیم باشد تا ضریب جذب فلزی عمودی را کاهش دهد.

استفاده از روش بسط موج صفحه‌ای به منظور حل معادلات ماتریسی



(a)

بهره بر حسب طول موج



(b)

شدت بر حسب طول موج

پیک بهره‌ی مود TM ⟸ 357/cm در طول موج 1508 nm

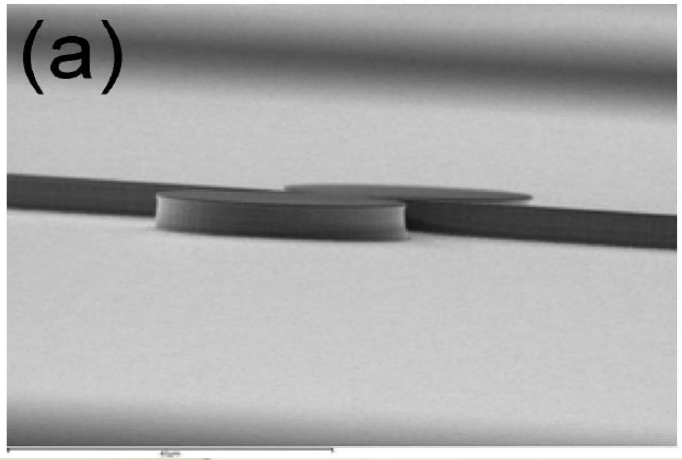
پیک بهره‌ی مود TE ⟸ 85/cm در طول موج 1505 nm

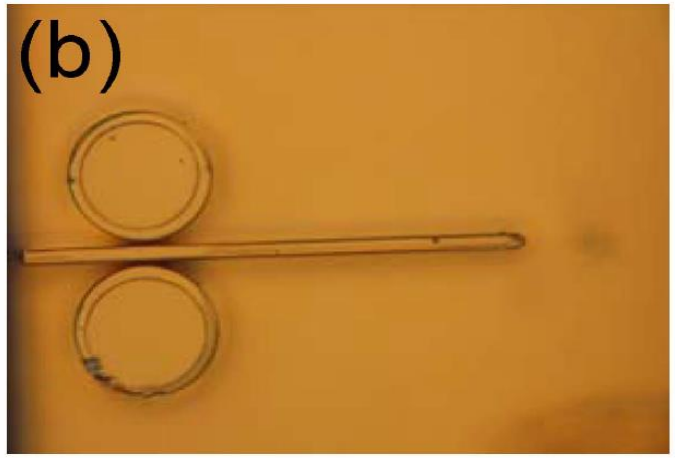
مود TE دارای محدودیت اپتیکی بیشتر و همچنین بازتابش بزرگتر در دو وجه می‌باشد.
لیزینگ برای مود TE در کاواک فابری پروی تجاری دشوار می‌باشد.
در شرایط یکسان، مود TM نسبت به مود TE دارای ضریب کیفیت بالاتری است.

⟸ مود TM را برای لیزینگ انتخاب می‌کنیم.

فرآیند ساخت دیسک‌های جفت شده:

- ✓ رشد SiO_2 به ضخامت 800 nm به عنوان عایق تحت روش PECVD
- ✓ انتقال الگوی دیسک‌های تشدیدگر جفت‌شده روی SiO_2 با استفاده از تکنیک‌های فتولیتوگرافی استاندارد و روش زدایش ICP
- ✓ حذف SiO_2 باقی‌مانده توسط روش HF
- ✓ نشاندن لایه‌ی عایق مانند SiN روی ویفر
- ✓ اتصال Contact با روش فتولیتوگرافی و یا زدایش ICP
- ✓ نشاندن اتصال فلزی P شامل Ti-Pt-Au و اتصال فلزی n شامل Au-Ge-Ni با استفاده از فرآیند استاندارد نشست فلزی



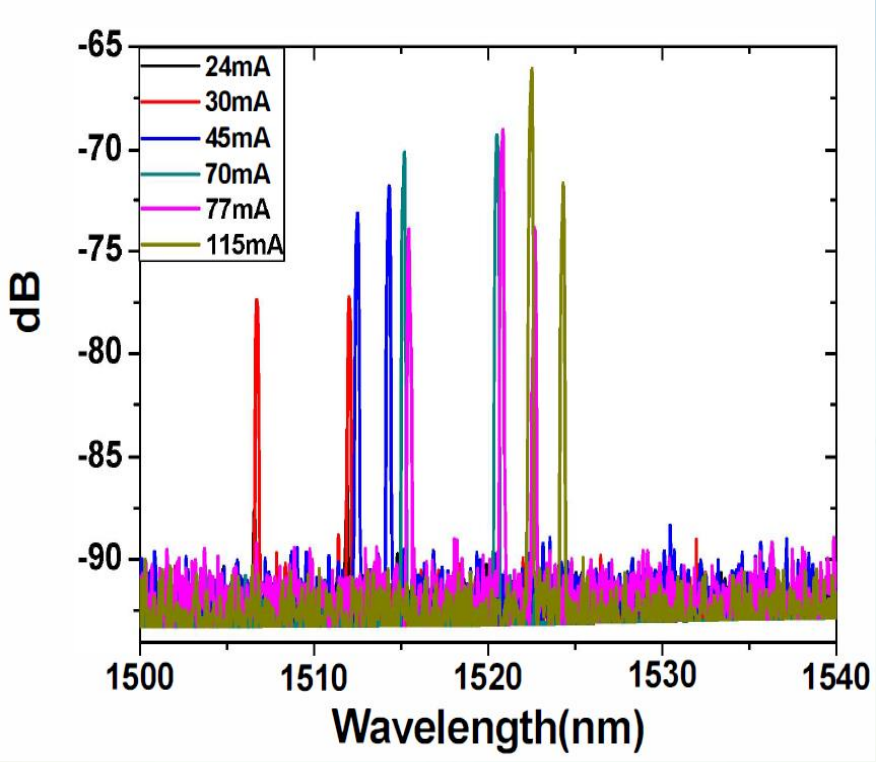


a) تصویر SEM بعد از زدایش InP به وسیله‌ی ICP

b) تصویر میکروسکوپی از دیسک‌های جفت‌شده با شعاع 10 µm

جریان تزریقی	طول موج لیزینگ
30 mA	1506.7 nm , 1511.9 nm
45 mA	1512.4 nm , 1514.3 nm
70 mA	1512.2 nm , 1520.5 nm
115 mA	1522.4 nm , 1524.3 nm

فاصله‌ی 2 nm و 7 nm بین مودهای غالب قابل مشاهده است که مربوط به تقسیم مود بین مودهای متقارن و نامتقارن است که ناشی از انحراف در موجبر می‌باشد.



طیف لیزینگ بر حسب طول موج در جریان‌های تزریق مختلف

استفاده از دو دیسک به عنوان کاواک کامل، طول اپتیکی و کوپلینگ اپتیکی را افزایش می‌دهد
شیفت طول موج 0.04 nm/mA می‌باشد که در مقایسه با میکروکاواک تجاری با مقدار 0.1 nm/mA عدد کمتر و مناسب‌تری را نشان می‌دهد
شدت پیک مود غالب در جریان تزریقی 115 mA ، 25 dB بالاتر از زمینه می‌باشد

کاربرد پالس‌های اپتیکی بسیار کوتاه و بسیار سریع:

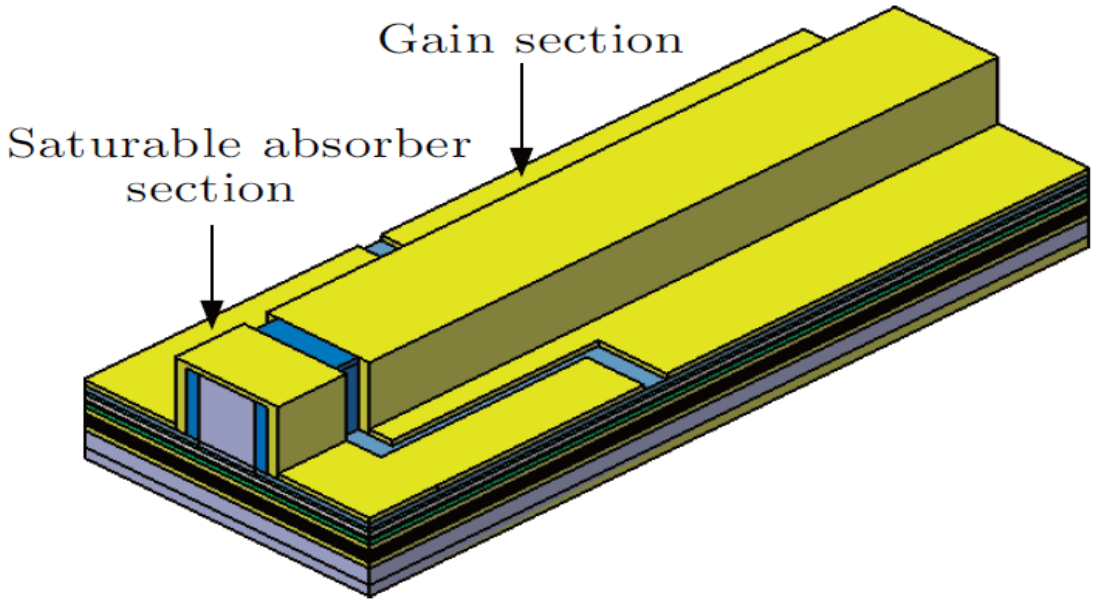
مالتی پلکسینگ و دی مالتی پلکسینگ اپتیکی
تولید منابع پالسی همزمان
تولید منابع کلاک اپتیکی

پیکربندی فابری-پرو برای تولید پالس‌های اپتیکی بسیار سریع و بسیار کوتاه نویدبخش بوده است.

علت

ابعاد فشرده، تنظیم ساده‌ی ولتاژ جاذب قابل اشباع، قابلیت کنترل نرخ تکرار پالس به وسیله‌ی طول قطعه

از کاواک فابری پروی InGaAsP/InP چاه کوانتومی غیرفعال با دو بخش بهره و بخش جاذب قابل اشباع استفاده شده است.



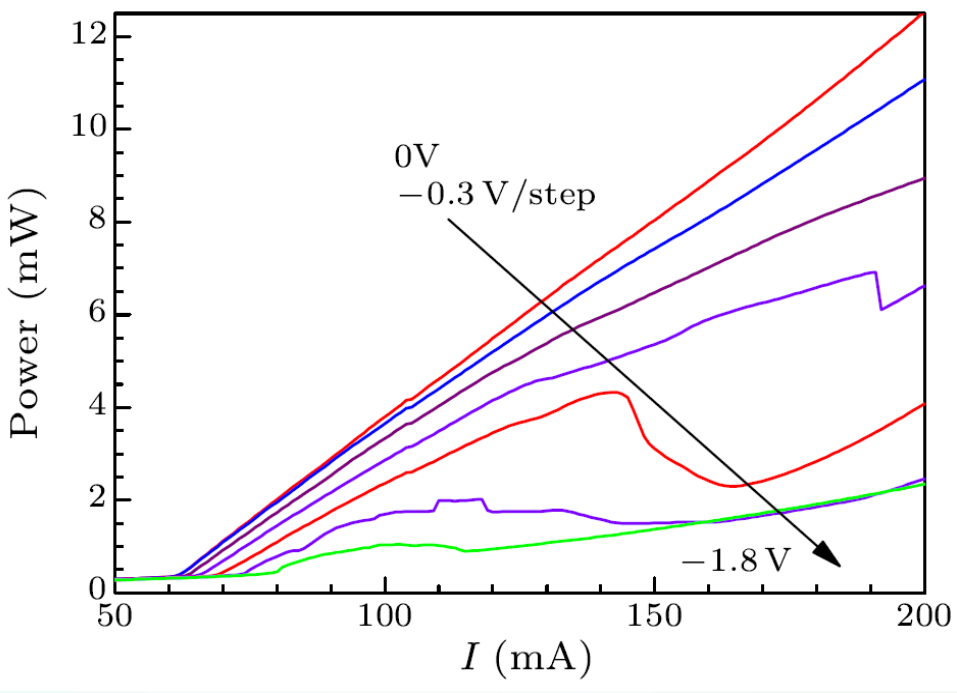
ساختار شماتیک لیزر دو قسمتی

جاذب قابل اشباع: بایاس معکوس به طول 35 µm

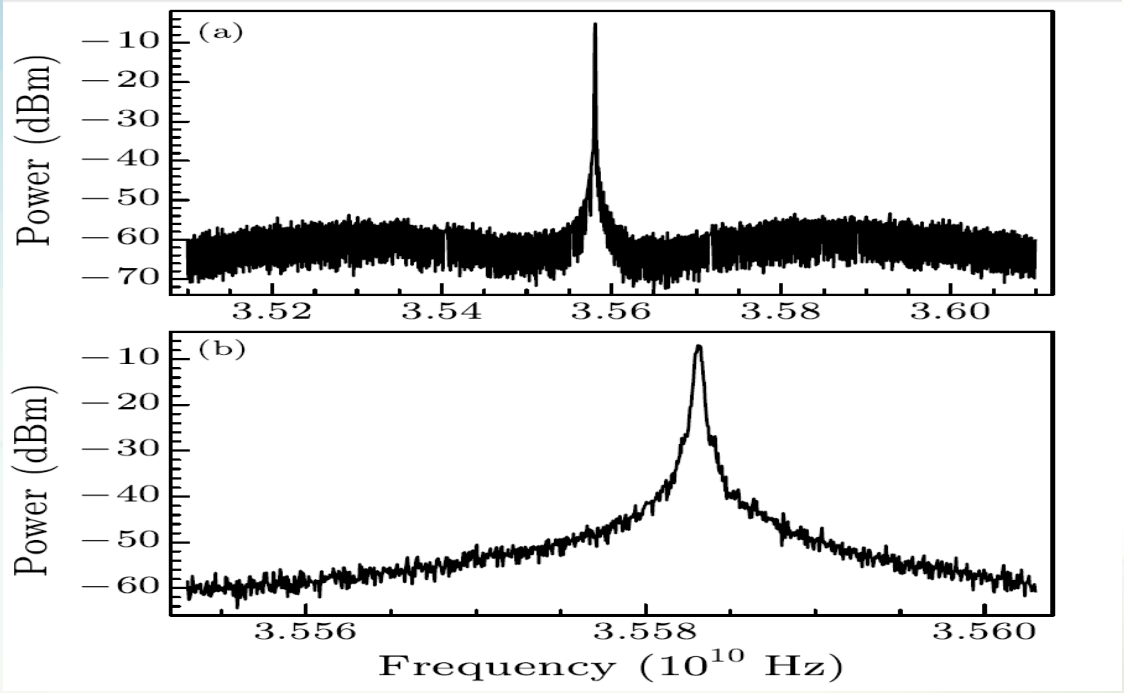
قسمت بهره: بایاس مستقیم به طول 1140 µm

گودال به منظور ایزولاسیون به طول 10 µm

- ✓ رشد ساختار هم‌بافته روی زیرلایه‌ی n-InP به روش MOVPE
- ✓ لایه‌ی فعال شامل ساختار چاه کوانتومی چندگانه با ۶ چاه کوانتومی InGaAsP
- ✓ محدودیت چاه‌های کوانتومی توسط لایه‌های SCH به ضخامت 80 nm از هر دو طرف
- ✓ ساخت قطعه توسط تکنیک‌های لیتوگرافی استاندارد و زدایش خیس



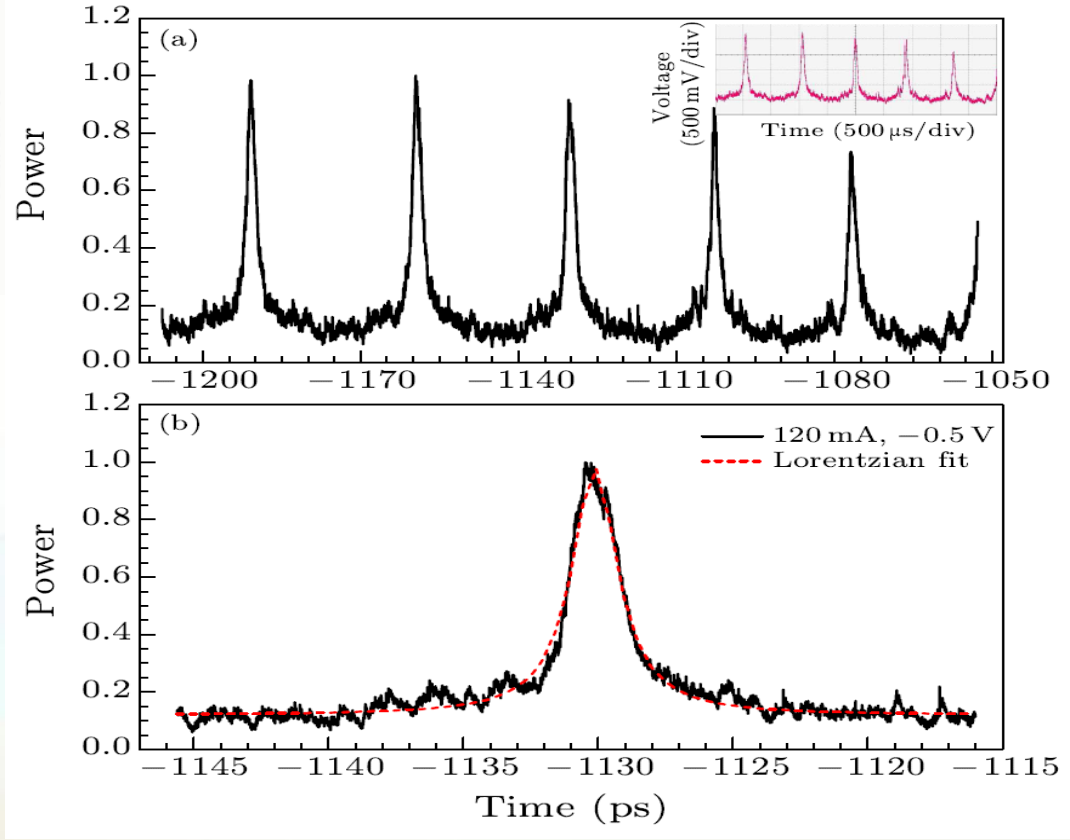
مشخصه‌ی جریان – توان بر حسب ولتاژ بایاس معکوس اعمالی به قسمت جاذب

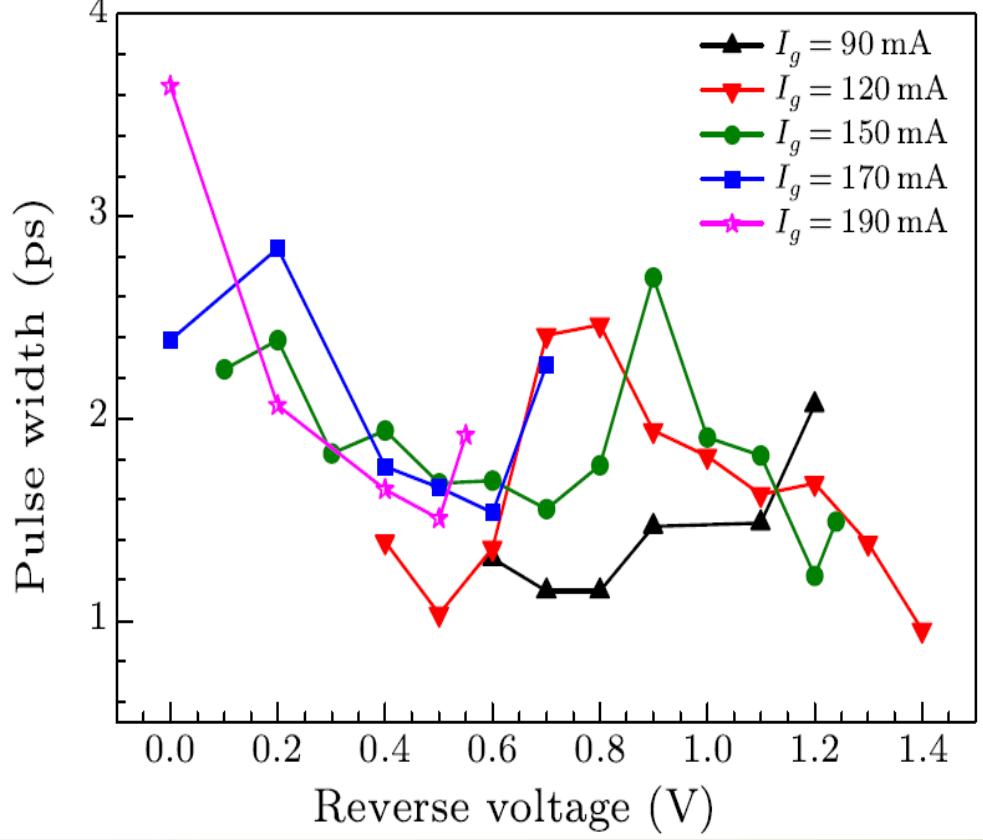


طیف RF قطعه

- ✓ پهنای خط 3-dB برابر با 300 KHz
- ✓ نسبت پیک سیگنال به سطح نویز برابر با 50 dB
- ✓ عملکرد مود قفل شده در فرکانس 35.6 GHz

جریان آستانه در ولتاژ بایاس 0 V برابر با 61 mA می‌باشد.





افزایش عرض پالس با افزایش جریان بایاس مسقیم قسمت بهره به علت افزایش بازترکیب نویز

کاهش عرض پالس با افزایش ولتاژ بایاس معکوس اعمالی به علت جذب لبه‌ی پالس اپتیکی توسط SA

متغیر بودن محدوده‌ی FWHM از 1.03 ps تا 3.6 ps

کوتاه‌ترین و بهینه‌ترین شکل پالس در جریان بایاس 120 mA و ولتاژ بایاس معکوس -0.5v به میزان 1.03 ps (بهترین نتیجه‌ی گزارش شده تا کنون)

جمع بندی مطالب

- کرنش باعث تغییر مکان لبه‌ی باندها و زیرباندها می‌گردد و افزایش بهره‌ی تفاضلی را در پی دارد.
- اثرات کرنش در باند ظرفیت محسوس‌تر است.
- لیزرهای چاه کوانتومی کرنشی InGaAsP/InP می‌توانند در طول موج حدود 1.55 µm تشعشع داشته باشند.
- بهترین بازدهی تزریق، در ساختارهای با فاصله‌ی کم چاه‌های کوانتومی ناحیه فعال تا لایه‌ی P-InP ، به دست می‌آید.
- استفاده از دو دیسک به عنوان کاواک کامل، طول اپتیکی و کوپلینگ اپتیکی را افزایش می‌دهد.
- با طراحی ساختار جدید با دو ناحیه جداگانه‌ی بهره و جاذب قابل اشباع با طول‌ها و بایاس‌های متفاوت، می‌توان پالس‌های اپتیکی بسیار سریع و بسیار کوتاهی را تولید نمود.

THANK YOU
FOR YOUR
TIME