دانشکده مهندسی فناوری های نوین

گروه مهندسی نانوفناوری – نانو الکترونیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نانوفناوری- گرایش نانو الکترونیک

عنوان

طراحی لیزرآبشاری کوانتمی با فرآیند لیزینگ بدون وارون سازی جمعیت

استادان راهنما

دکتر کریم عباسیان

دکتر علی رستمی

استاد مشاور

دکتر حسن رسولی سقای

پژوهشگر

لیلی حیاتی

بهمن 1390

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری:

از استادان محترم وگرانقدرم سپاسگزارم که افتخار شاگردی در محضرشان، فرصتی مغتنم و تجربه ای ارزشمند بود برایم، که از دانش، منش، تجربه، خلق نیکو و صفات انسانی آنها بسیار آموختم.

نام خانوادگی دانشجو: حیاتی **نام:** لیلی

عنوان پایان نامه: طراحی لیزرآبشاری کوانتمی با فرآیند لیزینگ بدون وارون سازی جمعیت

استادان راهنما: دکتر کریم عباسیان – دکتر علی رستمی

استاد مشاور: دکتر حسن رسولی سقای

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی نانوفناوری **گرایش:** نانو الکترونیک

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** مهندسی فناوری های نوین

تاریخ فارغ التحصیلی:1390/11/16 **تعداد صفحه:74**

کلید واژه ها:انتقالات درون باندی، فرکانس تراهرتز، لیزرآبشاری نقطه کوانتومی، لیزینگ بدون وارون سازی جمعیت، جریان تونل زنی تشدیدی

چکیده:

طراحی لیزر بدون وارونگی جمعیت از اهمیت زیادی در سیستم های تمام نوری برخوردار است. امکان حذف پمپ الکتریکی یکی از راههای افزایش سرعت عملکرد در ادوات نوری می باشد. همچنین لیزرهای آبشاری کوانتومی یکی از دستاوردهای ساختارهای نیمه هادی برای دستیابی به فرکانس های تراهرتزمی باشند.دراین پایان نامه ابتدا اثرات نور غیر خطی برای نمونه فرآیند وارون سازی رامان در ناحیه فعال لیزر با استفاده از طرح سه ترازه ی لاندا مورد بررسی قرار گرفته است وبا استفاده از معادلات نرخ و با در نظر گرفتن حالت پایای سیستم بهره ی لیزر محاسبه شده است. سپس یک لیزر آبشاری نقطه کوانتومی در ناحیه ی تراهرتز بدون وارون سازی جمعیت طراحی می شود که ناحیه ی فعال این لیزر یک سیستم سه ترازه ی طرح نردبانی است واین قابلیت را داراست که درآن میدان کنترلی بدون نیاز به یک پمپ خارجی در درون خود سیستم تولید شود، لذا در این حالت مشکل جذب میدان کنترل حذف می شود. جریان تزریقی به این سیستم از طریق فرآیند تونل زنی تشدیدی که از سریع ترین راههای انتقال است، صورت می گیرد.

فهرست مطالب

فصل اول:بررسی منابع

1-1- مقدمه.....2

1-2- منابع تراهرتز 4

1-3- تاریخچه‌ی لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی.....5

۱-۳-۱- عملکرد لیزر آبشاری چاه کوانتومی 6

1-3- 2- انواع مکانیزم خروج حامل‌ها از تراز پایه‌ی لیزر و ایجاد وارونگی جمعیت در لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی.....10

1-3-3- عملکرد دمایی لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی ناحیه‌ی THz 12

1-3-4- موجبرهای پلاسمونی برای لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی ناحیه تراهرتز 14

1-4- لیزینگ با وارون‌سازی رامان و لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت.....16

1-4-1- لیزینگ با وارون‌سازی پنهان از طریق جمعیت همدوس به دام افتاده 18

۱-۴-۲- لیزینگ با وارون‌سازی پنهان از طریق ترازهای پوشیده‌ی سیستم 21

1-4-3- لیزینگ بدون وارون‌سازی پنهان 23

1-5- لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت با تولید هم‌زمان میدان کنترل 25

1-6- طراحی و ساخت یک لیزر آبشاری چاه کوانتومی در ناحیه‌ی فروسرخ متوسط توسط فرآیند وارون‌سازی رامان 27

1-7- لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت با استفاده از طرح سه ترازه‌ی آبشاری برای ناحیه‌ی فعال لیزر آبشاری کوانتومی 30

فصل دوم: مبانی و روش ها

2-1- مقدمه.....33

2-2- لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی براساس عناصر گروه III-V 34

2-3- شبیه‌سازی ناحیه‌ی فعال لیزر با استفاده از نرم‌افزار nextnano 35

2-4- بهره‌ی نوری سیستم سه ترازه‌ی لاندا براساس پروسه‌ی وارون‌سازی رامان.....37

2-5- بهره‌ی نوری سیستم سه ترازه‌ی آبشاری براساس فرآیند لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت.40

2-6- بررسی مکانیزم جریان تونل‌زنی تشدیدی در طرح سه ترازه‌ی آبشاری 43

2-6-1- زمان واپاشی در لیزرهای نقطه کوانتومی 44

2-6-2- محاسبه‌ی جریان تونل‌زنی در لیزر آبشاری نقطه کوانتومی 45

2-7- محاسبه‌ی جریان آستانه‌ی لیزینگ در طرح سه ترازه‌ی آبشاری 45

فصل سوم: نتایج و بحث

3-1) مقدمه 48

3-2) نتایج شبیه‌سازی لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی 49

3-2-1) نتایج شبیه‌سازی یک لیزر آبشاری چاه کوانتومی ناحیه تراهرتز 49

3-2-2) شبیه‌سازی یک لیزر آبشاری چاه کوانتومی ناحیه‌ی فروسرخ متوسط 51

3-3) نتایج شبیه‌سازی سیستم سه ترازه‌ی لاندا برای ناحیه‌ی فعال لیزر در فرکانس 5/8 تراهرتز 56

3-4) طرح نهایی ناحیه‌ی فعال لیزر آبشار نقطه‌ی کوانتومی 60

3-4-1) شبیه‌سازی سیستم سه ترازه‌ی آبشاری برای ناحیه‌ی فعال لیزر در فرکانس 4/1 تراهرتز 60

3-4-2) بهره‌ی سیستم سه ترازه‌ی آبشاری با پروسه‌ی لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت 63

3-4-3- محاسبه‌ی جریان تونل‌زنی تشدیدی 69

فهرست شکل ها

شکل (1-1)- نمایشی از انتقال نوری و چگالی حالات و گین متناظر با آن برحسب تابعی از انرژی انتقال نوری (a) برای انتقالات نوری بین باندی (b) برای انتقالات درون باندی.....7

شکل(1-2)- ساختار باندی یک نوع لیزر آبشار کوانتومی با ناحیه‌ی فعال.....8

شکل(1-3)- ساختار باندی، تراز انرژی و توابع موج یک لیزر آبشار کوانتومی که در آن گذار لیزری بین تراز 3 و 2 انجام می‌شود.....9

شکل(1-4)- a) یک طرح نردبانی که در آن با نشر دو فونون تخلیه‌ی تراز پایه صورت می‌گیرد. b) مکانیزم خروج حامل‌ها از تراز پایه‌ی لیزر توسط مینی باند صورت می‌گیرد.....10

شکل(1-5)- یک تناوب از باند رسانش و توابع موج یک لیزر آبشاری چاه کوانتومی ناحیه‌ی تراهرتز با دو چاه کوانتومی.....11

شکل(1-6)- یک تناوب از باند رسانش و توابع موج یک لیزر آبشاری چاه کوانتومی ناحیه‌ی تراهرتز با سه چاه کوانتومی.....12

شکل (1-7)- سیر زمانی ماکزیمم عملکرد دمایی سیستم در مدپالسی (a) برای ناحیه‌ی تراهرتز (b) برای ناحیه‌ی مادون قرمز متوسط. مساحت هاشور خورده که از دمای 240 کلوین به بالا می‌باشد، نشان‌دهنده‌ی آن است که از این رنج به بالا از خنک‌کننده‌های ساده‌ی ترموالکتریکی استفاده شده است.....13

شکل(1-8)- a) موجبر پلاسمون- سطح نیمه عایق b) موجبر پلاسمونی فلز- فلز.....15

شکل (1-9)- به‌ترتیب از چپ به راست پراش ریلی، Stokes و پراش anti- stokes نمایش داده شده‌اند.....16

شکل (1-10)- ساده‌ترین سیستم‌های سه ترازه‌ای که لیزینگ بدون وارون‌سازی جمعیت و لیزینگ رامان را برای میدان E_s با حضور میدان همدوس و قوی E_d نشان می‌دهند (a) طرح لاندا (b) طرح وی (c) و (d) طرح آبشاری.....17

شکل (1-11)- (a) سیستم سه ترازه‌ی طرح لاندا که با دو میدان همدوس با فرکانس‌های رابی Ω_1 و Ω_2 و عدم تنظیم فرکانسی Δ_1 و Δ_2 اندرکنش می‌کند (b) سیستم سه ترازه‌ی لاندا تبدیل به یک سیستمی می‌شود که در آن دو تراز $|a>$ و $|A>$ با فرکانس رابی Ω' اندکنش می‌کنند و تراز $|N>$ همان حالت تاریک است که جمعیت الکترونی در آن حبس می‌شود.....18

شکل (1-12)- (a) سیستم سه ترازه‌ی طرح لاندا که یک میدان همدوس و قوی با فرکانس رابی Ω_d به آن اعمال می‌شود و میدان ضعیف با فرکانس رابی Ω_P با آن اندرکنش می‌کند (b) سیستم معادل طرح لاندا که براساس ترازهای پوشیده نشان داده شده است و گین بدون وارون‌سازی جمعیت برای طرح لاندا معادل گین حاصل از وارونگی جمعیت بین تراز پوشیده‌ی $|+>$ و تراز $|b>$ می‌باشد.....21

شکل (1-13)- a) طرح سه ترازه‌ی وی، d) طرح سه ترازهِ آبشاری، b) طرح پوشیده‌ی سه ترازه‌ی وی، e) طرح پوشیدهِ سه ترازه‌ی آبشاری، c) بهره‌ی سیستم سه ترازه‌ی وی برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر، f) بهره‌ی سیستم سه ترازه‌ی آبشاری برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر...24

شکل (1-14)- a) سیستم سه ترازه‌ی آبشاری که در آن میدان کنترل بین تراز 2 و 1 اندرکنش می‌کند b) سیستم سه ترازه‌ی آبشاری که در آن میدان کنترل بین تراز 3 و2 اندرکنش می‌کند.....26

شکل (1-15)- ساختار باند هدایت یک تناوب از لیزر رامان که در آن اختلاف انرژی بین لبه‌ی باند هدایت سد و چاه 0/52eV می‌باشد در ناحیه‌ی پمپ اختلاف تراز 6 و 5 با اختلاف تراز 3 و 1 از ناحیه‌ی Stokes تنظیم شده است تا میدان کنترل از decay حامل‌ها از تراز 6 به تراز 5 تقویت شود. تزریق به تراز 6 ناحه‌ی پمپ از طریق ناحیه‌ی تزریق‌کننده که یک مینی‌باند می‌باشد و میزان ناخالصی آن $n = 4\times10^{17}$ است، صورت می‌گیرد.....28

شکل (1-16)- طیف بهره‌ی رامان برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان سیگنال رسم شده است. حداکثر میزن بهره در $\Delta=\delta=15meV$ رخ داده است (Δ عدم تنظیم فرکانسی میدان کنترل).....30

شکل (1-17)- طیف بهره‌ی میدان سیگنال در حضور عدم تنظیم فرکانسی میدان کنترل در حدود 50meV.....30

شکل (1-18)- طرح آبشاری که منجر به گین بدون وارون‌سازی جمعیت برای میدان سیگنال و گین با وارون‌سازی جمعیت برای میدان کنترل می‌شود.....31

شکل (2-1)- گاف انرژی عناصر مختلف گروه III-V برحسب ثابت شبکه‌ی این عناصر مشخص شده‌اند و عناصری که در داخل نقطه‌چین‌ها قرار گرفته‌اند در ساخت لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی استفاده شده‌اند.....34

شکل (2-2)- شمای کلی از یک لیزر آبشاری نقطه کوانتومی.....35

شکل (2-3)- در سیستم سه ترازه‌ی لاندا، اختلاف انرژی ترازها E_{32}= 26 meV،E_{12}= 40 meV، دوقطبی الکتریکی گذارهای اتمی برابر است با Z_{13} = 2 nm ،Z_{23} = 2/1 nm ،Z_{12} = 0/9 nm.....36

شکل (2-4)- یک تناوب از ناحیه‌ی فعال در راستای z از پایینی‌ترین لایه به‌ترتیب به ضخامت 4، 1/5، 4، 3/5، 4 نانومتر.....36

شکل (2-5)- در سیستم سه ترازه‌ی آبشاری، اختلاف انرژی ترازها E_{32}=58meV،E_{12}=17 meV، و دوقطبی الکتریکی گذارهای اتمی برابر است با Z_{13} = 0/08 nm ،Z_{23} = 1/6 nm ،Z_{12} = 4/2 nm.....40

شکل (2-6)- یک تناوب از ناحیه‌ی فعال در راستای z از پایین‌ترین لایه به‌ترتیب به ضخامت 4، 1/5، 4، 2/5، 4 نانومتر.....41

شکل (2-7)- دو تناوب از ناحیه فعال لیزر.....43

شکل (3-1)- یک تناوب از لیزر آبشار چاه کوانتومی در فرکانس 3/9 تراهرتز در دمای 186 کلوین...49

شکل (3-2)- باند رسانش و توابع موج هر تراز انرژی قبل از کوپلینگ دو تراز میانی.....50

شکل (3-3)- باند رسانش و توابع موج هر تراز انرژی بعد از کوپلینگ دو تراز میانی و با انرژی کوپلینگ $2\hbar\Omega$.....50

شکل (3-4)- یک پریود از لیزر آبشاری چاه کوانتومی در ناحیه‌ی فروسرخ متوسط در فرکانس 9 میکرومتر و دمای 80 کلوین.....51

شکل (3-5)- باند رسانش و توابع موج هر تراز انرژی ناحیه‌ی فعال لیزر.....52

شکل (3-6)- باند رسانش و توابع موج هر تراز انرژی ناحیه‌ی تزریق کننده لیزر.....52

شکل (3-7)- منحنی بهره برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان در سیستم سه ترازه‌ی لاندا.....53

شکل (3-8)- بهره‌ی لیزر آبشاری چاه کوانتومی ناحیه‌ی فروسرخ متوسط برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان اصلی.....53

شکل (3-9)- منحنی بهره برحسب طول موج نشری.....54

شکل (3-10)- قسمت موهومی ضرب نفوذپذیری نوری برحسب طول موج نشری.....54

شکل (3-11)- منحنی بهره در شدت‌های بالای میدان کنترل برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان اصلی.....55

شکل (3-12)- قسمت موهومی ضریب نفوذپذیری نوری محیط برحسب طول موج نشری.....55

شکل (3-13)- ناحیه‌ی فعال لیزر شامل سه نقطه‌ی کوانتومی در راستای z از پایینی‌ترین لایه به‌ترتیب به ضخامت 4، 1/5، 4، 3/5، 4 (برحسب نانومتر) و لایه‌های wetting 1 نانومتر می‌باشند.....56

شکل (3-14)- احتمال حضور الکترون در a) تراز 1، b) تراز 3، c) تراز 2.....57

شکل (3-15)- باند رسانش و احتمال حضور الکترون در هر تراز انرژی برحسب مکان.....57

شکل (3-16)- بهره برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر با فرکانس گذار بین ترازهای 2 و 3 رسم شده است. در این‌جا عدم تنظیم فرکانسی میدان کنترل از گذار 1 و 3 تقریباً 2meV در نظر گرفته شده است.....58

شکل (3-17)- جمعیت ترازها برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر رسم شده است.....58

شکل (3-18)- طیف فرکانسی بهره‌ی لیزر.....59

شکل (3-19)- قسمت حقیقی ضریب نفوذپذیری نوری محیط برحسب فرکانس.....59

شکل (3-20)- قسمت موهومی ضریب نفوذپذیری نوری محیط برحسب فرکانس.....60

شکل (3-21)- ناحیه‌ی فعال لیزر شامل سه نقطی کوانتومی در راستای z از پایینی‌ترین لایه به‌ترتیب به ضخامت 4، 1/5، 4، 2/5، 4 (برحسب نانومتر) و لایه‌ها wetting 1 نانومتر می‌باشند.....60

شکل (3-22)- احتمال حضور الکترون در a) تراز 1، b) تراز 2، c) تراز 3.....61

شکل (3-23)- باند رسانش و احتمال حضور الکترون در هر تراز انرژی برحسب مکان.....62

شکل (3-24)- باند رسانش و احتمال حضور الکترون در هر تراز انرژی برای دو تناوب میانی با در نظر گرفتن اثرات کوپلینگ برحسب مکان رسم شده است.....62

شکل (3-25)- بهره‌ی سیستم برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان اصلی ($\delta=\omega_s-\omega_{21}$).....63

شکل (3-26)- جمعیت الکترونی a) تراز 1، b) تراز 2، c) تراز 3.....64

شکل (3-27)- جمعیت هر یک از ترازهای سیستم سه ترازه‌ی آبشاری برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر.....65

شکل (3-28)- طیف فرکانسی بهره ی لیزر.....65

شکل (3-29)- قسمت موهومی ضریب نفوذپذیری نوری محیط برحسب فرکانس.....66

شکل (3-30)- قسمت حقیقی ضریب نفوذپذیری نوری محیط برحسب فرکانس.....66

شکل (3-31)- بهره‌ی سیستم برحسب طول موج نشری.....67

شکل (3-32)- بهره‌ی سیستم برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیر به ازای مقادیر مختلف از عدم تنظیم فرکانسی میدان کنترل.....67

شکل (3-33)- بهره‌ی سیستم برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر در شدت‌های بالایی از میدان کنترل در عدم حضور جریان تزریقی.....68

شکل (3-34)- جمعیت ترازهای سیستم آبشاری برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر در شدت‌های بالایی از میدان کنترل در عدم حضور جریان تزریقی.....69

شکل (3-35)- جریان تزریقی لیزر برحسب Δ_{31}.....69

شکل (3-36)- بهره‌ی سیستم در آستانه‌ی لیزینگ برحسب عدم تنظیم فرکانسی میدان لیزر.....70

فهرست جدول ها

جدول (3-1)- مقادیر تلفات و ضریب محدود کنندگی.....70

فصل اول

بررسی منابع

1-1- مقدمه

میدان‌های تراهرتز امواجی با طیف میان 0/1 تراهرتز (3mm) تا 10 تراهرتز (30µm) می‌باشند که علی‌رغم کاربردهای وسیع برای تولید آن‌ها با معضلاتی مواجه هستیم. از جمله این مشکلات می‌توان به عدم وجود قطعات با ابعاد کوچک که قادر به تولید امواج پیوسته‌ی تراهرتز با توان خروجی بالا هستند، اشاره کرد.

گستره‌ی فرکانسی تراهرتز بسیار مورد توجه محققین و پژوهشگران بوده است، به این دلیل که این گستره از فرکانس‌ها در پدیده‌های فیزیکی بی‌نظیر با ویژگی‌های خاص تولید می‌شوند که از جمله این پدیده‌ها می‌توان به دو مورد اشاره کرد:

1. توزیع طیف انرژی قابل مشاهده در کهکشان نشان می‌دهد که 50 درصد از کل درخشانی و 98 درصد از فوتون‌های گسیل شده به دلیل انفجار بزرگ[1]در گستره‌ی فرکانسی تراهرتز قرار دارد [1].
2. بافت‌های زیست‌شناختی یا اجزای زیست‌شناختی دیگر، خصوصیات متمایزی در گستره‌ی تراهرتز دارند. برای مثال دست کاری DNA و تشخیص ژن به‌طور تجربی با استفاده از تکنیک‌های تراهرتز شرح داده شده‌اند[2].

کاربردهای دیگر امواج تراهرتز در پزشکی، صنعت، اخترشناسی و مطالعات اتمسفری، آشکارسازی تومور/ سرطان و درمان آن، طیف‌سنجی، آشکارسازی مواد شیمیایی/ سمی، سنسورهای گازی، پوشش امنیتی با تصاویر تراهرتزی و طیف‌سنجی (اسپکتروسکوپی) برای

1 Big-Bang

مشخص کردن انفجارها، سلاح‌های بیولوژیکی، مواد مخدر و ... است. که به عنوان مثال می‌توان به دو مورد زیر برای کاربرد آن در پزشکی اشاره کرد.

الف) تصویربرداری تراهرتز یک ابزار اضافی کنار پرتو X است. هر چند تابش تراهرتز به عمق داخلی بدن، به‌علت میزان آب در هر سلول، نفوذ نمی‌کند و فقط پوست، مو، دندان یا نمونه‌های زیست‌شناختی خشک می‌توانند بررسی شوند. با این حال باریکه‌های تراهرتز برای بافت زنده مضر نیستند در صورتی‌که پرتوهای X، که تابش یونیزه هستند، بیشتر از یک دز[1] مشخص خطرناک می‌شوند.

ب) یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در پزشکی و در درمان سرطان، هدف قرار دادن سلول‌های بدخیم و در عین حال به حال خود گذاشتن سلولهای سالم است. این امر دانشمندان را واداشته است که به دنبال خصوصیاتی در سلول‌های سرطانی باشند که آن‌ها را از سلول‌های طبیعی متمایز می‌کند. یکی از این خصوصیات این است که سلول‌های سرطانی نسبت به سلول‌های سالم محتوای آب بیشتری دارند، اکنون دانشمندان فکر می‌کنند که می‌توانند از این خصوصیت برای درمان سلول های سرطانی با پرتوهای تراهرتزی استفاده کنند، به‌طوری‌که پرتوهای تراهرتزی به‌وسیله‌ی آب جذب می‌شوند و سلول‌های سرطانی هم آب را در خود جمع می‌کنند. بنابراین پرتوهای تراهرتزی در این سلول‌ها جذب می‌شوند و آن‌ها را می‌کشند.

[1] Dose

1-2- منابع تراهرتز

توان‌های تولید شده در رنج فرکانسی تراهرتز توسط ادوات الکترونیکی نظیر نوسان‌ساز موج روبه عقب[1]، نوسان‌سازهای دیود تونلی تشدیدی و تفنگی[2]، دیود شاتکی چند لایه [3] زیر سطح میلی‌وات برای فرکانس‌های بالای1 THz[4] می‌باشند که این توان پایین به علت زمان انتقال الکترون و محدودیت‌های خازن و مقاومت است [3]. از طرف دیگر، ادوات فوتونیکی تولید کننده‌ی ناحیه‌ی تراهرتز در دمای اتاق به لیزرهای گازی پمپ نوری، لیزرهای الکترون آزاد (که تعداد کمی در دنیا وجود دارد) و سیستم‌های تبدیل فرکانس پایین[5] محدود می‌شوند که خود به منابع پمپ لیزر توان بالا احتیاج دارند و علاوه بر این حجیم هستند و توان خروجی پایین تولید می‌کنند و یا فقط می‌توانند در مدپالسی[6] عمل کنند[3].

یک لیزر نیمه هادی پمپ الکتریکی (نظیر لیزرهای دیودی که در رنج‌های طیفی مرئی وIR[7] کار می‌کنند) می‌تواند یک منبع ایده‌آل برای اغلب کاربردها در رنج فرکانسی THz باشد. اولین لیزر نیمه هادی پمپ الکتریکی ساخته شده لیزر الکترون داغ با تزریق ژرمانیوم[8] می‌باشد که این ادوات به هر حال نیازمند یک میدان مغناطیسی قوی و یک خنک‌کننده‌ی هلیم مایع برای عملکردشان می‌باشند [4]. تا این که در سال 2002 اولین لیزر آبشاری چاه کوانتومی[9] در ناحیه‌ی THz ساخته شد [5].

[1] Backward wave oscillators
[2] Gunn and resonant tunneling diode oscillators
[3] Schottky diode multipliers
[4] Terahertz
[5] Frequency down-conversion
[6] Pulse mode
[7] Infrared
[8] P- doped germanium hot electron laser
[9] Quantum Cascade Lasers (QCLs)

در حال حاضر این لیزرها در فرکانس‌های 1 تا 5 THz توان خروجی تا حد چند صد میلی‌وات درمد پیوسته[1] و آن هم در دماهای پایین می‌توانند تولید کنند.

1-3- تاریخچه‌ی لیزرهای آبشاری چاه کوانتومی

در سال 1960 قبل از به روی کار آمدن لیزرهای دیودی یک لیزر نیمه هادی براساس انتقالات درون باندی[2] توسط لاکس[3] پیشنهاد شد. این اولین پیشنهاد برای لیزرهای نیمه هادی بود که در آن انتقالات نوری بین ترازها در باند یکسان (ظرفیت یا هدایت) انجام می‌گرفت. نظریه‌ی لیزر تک قطبی برای سال‌های زیادی به فراموشی سپرده شد. تنها 2 سال پس از پیشنهاد لاکس (1962) اولین لیزر دیودی در آزمایشگاه Hall ساخته شد. این کار برجسته باعث شد که تمام توجه محققین به سمت لیزرهای باندگاف انرژی معطوف شود. به‌طوری که با پیشرفت‌های سریع، اولین لیزر دیودی مد پیوسته در دمای اتاق در سال 1970 ساخته شد. یک سال بعد (در سال 1971) دو دانشمند به نام‌های کازارینو[4] و سوریس[5] پیشنهاد کردند که می‌توان گین نوری را با استفاده از یک ساختار سوپرلتیس[6] که که تحت بایاس یک میدان الکتریکی خارجی قرار دارد بدست آورد. این ساختار مفهوم یک لیزر تک قطبی را معرفی می‌کرد که در آن انتقالات نوری با تنظیم ضخامت مواد چاه[7] و سد[8] صرفنظر از باندگاف انرژی آن‌ها، می‌تواند مدیریت شود. سال‌ها بعد، پس از ساخت اولین لیزر آبشار کوانتومی

[1] Continuous wave
[2] Intersubband
[3] Lax
[4] Kazarinov
[5] Suris
[6] Superlattice
[7] Well
[8] Darrier

کاپاسو اعلام کرد "لیزرهای چاه کوانتومی بالاخره ما را از بردگی گاف انرژی آزاد ساختند." بدین‌ترتیب اولین لیزر آبشار کوانتومی در سال 1994 در طول موج4/3 میکرومتر ساخته شد[6].

1-3-1- عملکرد لیزر آبشاری چاه کوانتومی

انتقالات نوری به دو دسته‌ی میان باندی[1] و درون باندی تقسیم می‌شوند. در انتقالات میان‌بندی تولید نور یک فرآیند دو حامله است، بدین‌صورت که از باز ترکیب یک الکترون در باند هدایت و یک حفره در باند ظرفیت، فوتون تولید می‌شود و فرکانس تشعشع توسط گاف انرژی ماده ی چاه کوانتومی تعیین می‌شود که تنها با تغییر اندازه‌ی چاه کوانتومی تنظیمات کوچکی[2] امکان‌پذیر است. چگالی حالات برای این انتقال نوری مطابق شکل (1-1(a)) ثابت است.لذا طیف گینی آن پهن می‌باشد. در انتقالات درون باندی تولید نور یک فرآیند تک حامله است که دو مزیت نسبت به انتقالات میان باندی دارد:

1. می‌توان فرکانس تشعشع را به کمک تابعی از پهنای چاه‌های کوانتومی تنظیم کرد و انرژی فرکانس تشعشع را به چند meV رسانید.
2. توزیع انرژی هر زیر باند[3] در فضای معکوس ممنتوم[4] به صورت یک تابع دلتا[5] است و مطابق مطابق شکل (1-1 (b)) چگالی حالات آن به صورت یک تابع دلتا خواهد بود (مشابه آنچه که در انتقالات اتمی رخ می‌دهد) که منجر به کاهش پهنای طیف گینی می‌شود.

[1] Interband
[2] Tuning
[3] Subband
[4] Momentum space
[5] Delta function