بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

لیـــــــزر هـــای چـــــاه کـوانتمـی یـك بعـدی

(Quantum Well Lasers - One Dimentional)

علـــــی بهـــــــــاری

پـــایـــان نـــامـه کـارشنـاسـی ارشـد فیـزیـــك

استـــــــاد راهنمـــــا :

دکتـر محمـد کـاظـم مـروج

دانشکـــــده علـــــــوم پـــایـــــه

دانشـگـاه تـربیت مـــــــدرس

۲۲۸

تابستـان ۱۳۷۲

۱۹۷۴۷

تقـــــــدیـم

ایـــن رســالـــهٔ تحقیقـــی را بـــه بـــرادرم حســـن ،
همســـــــــرم و آقـــای اصغـــر رودبـــــــــاری
شهمیـــــــری تقـدیـم مـی نمـایـــم .

تقدیرنامه

با کمال تشکر و قدردانی از استاد گرامی راهنما ، آقای دکتر محمّدکاظم مروّج که در طی این رساله‌ٔ تحقیقی از کمك و راهنمائی بیدریغ ایشان برخوردار بوده ام . همچنین نهایت تشکر را از آقای دکتر عباسی به پاس راهنمائی متعهدانه و مدبّرانه‌ٔ ایشان در طی طریق علمی ام می نمایم .

چکیده :

در این رساله، تحقیقی معادله شرودینگر را در چاه کوانتمی یک بعدی حل کردیم . برای حل این معادله از روش آنالیز عددی استفاده می کنیم . سپس از داده های مفروض ، نمودار تابع موج حامل را بر حسب ضخامت چاه ترسیم نمودیم . تابع موج حامل در خارج چاه شکل نوسانی و میرائی را دارد . بنابراین عوامل موثر در میرا کردن را باید در نظر گرفت برای همین عوامل موثر موج را بر شمردیم .

در فصلهای اوّل رساله عوامل را بیان و بررسی کردیم تا تأثیر آنها را بر ψ بشناسیم هر چه بیشتر بتوان تابع موج را در خارج چاه سریعتر میرا کرد ، آنگاه حبس حامل بهتر صورت گرفته و در نتیجه راندمان و بهرهٔ لیزری افزایش می یابد .

تمام مجاهدت ها برای حبس هر چه بهتر الکترونها و فوتونها صورت می گیرد همانطور که از شکل ترسیم شده مشهود است عواملی باعث می شوند تا این حبس بطور کامل صورت نگیرد . فرآیندهائی نظیر فرآیند اوژه ، پراکندگی برخورد دینامیکی حامل ، تونل زنی ، و استتار ماکسیتون همه و همه عواملی هستند که باعث نشت حامل به خارج ناحیهٔ فعال می شوند

و در نتیجه راندمان و بهره لیزر کاهش می یابد . اگر بتوان بطریقی که در این رساله مطرح شده است جریان آستانه را پائین آورد ، ویا شکاف نوار را افزایش داد . آنگاه راندمان لیزر افزایش می یابد .

فهرست مطالب

****

صفحه

فصل اوّل :

مقدمه : ۱

۱ - ۱ لیزر ۷

۱ - ۲ فرآیند گسیل و جذب ۸

۱-۲-۱ گسیل خود بخودی ۸

۱ - ۲ - ۲ گسیل تحریکی ۱۲

۱ - ۲ - ۳ ضریب جذب ۱۳

۱ - ۲ - ٤ عبارت انیشتن در گذارهای القائی و خودبخودی ۱۴

۱ - ۲ - ٥ جذب ۱۶

۱ - ۳ راندمان ، بهره و جریان آستانه ۱۸

۱ - ٤ توان خروجی ۲٥

۱ - ٥ مدولاسیون ۲۴

۱ - ٦ نیمه هادی ها با شکاف نوار مستقیم و غیر مستقیم ۲۶

۱ - ۷ انواع دیود های لیزر ۲۹

۱ - ۷ - ۱ لیزر تک پیوندی ۳۲

۱ - ۷ - ۲	چند پیوندی واحد	۳۲
۱ - ۷ - ۳	چند پیوندی دوبل	۳۴
۱ - ۷ - ٤	لیزرهای با محفظهٔ نوری بزرگ	۳۵
۱ - ۸	چند ساختاری ها	۳۶
۱ - ۹	ساختار ALAS	۳۹
۱ - ۱۰	وابستگی دمایی	۴۱

فصل دوّم :

لیزر چاه کوانتمی ۴۵

۲ - ۱	بهره	۵۳
۲ - ۲	لیزر MQW	۵۶
۲ - ۳	جریان آستانه	۵۷
۲ - ٤	دینامیک طیف	۶۶
۲ - ۵	بهره دیفرانسیلی و عرض نوار مدوله شده	۶۸
۲ - ٦	پهنای خط طیفی	۷۱
۲ - ۷	بهره مد TE - TM	۷۲
۲ - ۸	تونل زنی به کمک فوتون	۷۶
۲ - ۹	وابستگی چاه به زیر حالت	۸۳

۲ - ۱۰ برخورد حامل در چاه کوانتمی نازك ۸۸

۲ - ۱۱ تأثیر حبس حامل بر پذیرنده و بخشنده های سطح ۸۸

۲ - ۱۱ - ۱ بخشنده ها ۸۹

۲ - ۱۱ - ۲ پذیرنده ها ۹۱

۲ - ۱۲ مشخصه گسیل خود بخودی در میدان مغناطیسی قوی ۹۳

فصل سوّم :

عوامل موثر بر QW ۹۸

۳ - ۱ گذار چند زیر نواری ۹۹

۳ - ۱ - ۱ آهنگ پراکندگی فوتون در QW و DH ۱۰۲

۳ - ۱ - ۲ معادلات موازنه برای گذار ۱۰۸

۳ - ۲ اکسیتون در QW ۱۱۳

۳ - ۳ طیف جذب ۱۱۶

۳ - ٤ دینامیك برخورد الکترون ـ حفره ۱۱۹

۳ - ٥ خواص نوری چاه های کوانتمی فلزی ۱۲۱

۳ - ٦ اثر استارك ۱۲۳

۳ - ٦ - ۱ استارك dc ۱۲۳

۳ - ٦ - ۲	استتـــــار ac	۱۲۴
۳ - ۷	فیلـــم هـای غیـــــر اهلدة آل فلزی	۱۲۸
۳ - ۷ - ۱	ساختار نیمه هادی ـ فلـز ـ نیمه هادی	۱۲۹
۳ - ۷ - ۱	نوار های الکترون غیـــر آزاد	۱۳۱
۳ - ۸	رانـــد مان کـوانتمـــــی	۱۳۱
۳ - ۹	فـــرویـاشـی حـامـل در چـاه	۱۳۴
۳ - ۱۰	اثـــر استـــــارك در ۳۴	۱۳۵
۳ - ۱۱	افـــزایش نـور غیـر خطـــی در ۳۴	۱۳۶
۳ - ۱۲	افـزایش کولـمبی الکترو استـاتیـك	۱۴۳
۳ - ۱۳	پـــراکنـــدگی اکسـیتـونهـــــا	۱۴۴

فصـــــــل چهـــــارم :

	استـــــریـــــــن	۱۴۷
٤ - ۲	چـگـالی جـریان آستانـــــه	۱۵۲
٤ - ۲	بهـــــره نـــــوری	۱۵۷
٤ - ۳	مقـایسـه بین جفت شبکه و استرین	۱۶۵

۱۶۸

۴-۴ فرآیند اوژه

۴-۵ استرین کششی و تراکمی ۱۷۳

۴-۶ تأثیر استرین بر α ، κ ، G و پلاریزاسیون ۱۷۵

۴-۷ اثر چند جسمی ۱۸۱

فصل پنجم :

حل معادلهٔ شرودینگر در چاه کوانتمی یک بعدی ۱۸۶

۵-۱ حل معادله شرودینگر ۱۸۷

۵-۲ تعیین جرم موثر و نمودار تغییرات ۱۹۳

۵-۳ محاسبه ترازهای انرژی در با نوار های غیر سهمی ۲۰۹

۵-۴ فاکتور محبوس کننده ۲۱۶

ضمائم :

ضمیمه الف ۲۲۸

ضمیمه ب ۲۴۴

ضمیمه ج ۲۴۸

ضمیمه د ۲۴۰

منابع ۲۴۵

فصـــل اول

مقدمـــــه :

انیشتن در سال ۱۹۱۷ یعنی حدود چهل سال قبل از کشف لیزر - پدیدهٔ گسیل برانگیخته را بیان داشت که بر اساس دو عامل تقویـــــت و نوسانهای مولکولی بود . ولی پیدایش لیزرها نتیجهٔ کوشش و مجاهدت های دانشمندان فیزیك پس از جنگ جهانی دوم می باشد .

نخستین بحث مستند در مورد امکان تقویت نور با استفاده از فرآیند - گسیل القائی در نیمه هادی ها را جان ون نیومن ، در یك مقاله دست نویس و در سال ۱۹۵۳ عرضه کرده است . در این مقاله نیومن بکارگیری حامل - های تزریقی را در یك پیوند $n - P$ بعنوان راهی جهت دستیابی بـــه گسیل القائی در نیمه هادیها مورد بحث قرار داد .

گرچه نیومن صراحتاً" از کلمهٔ پیوند $n - P$ استفاده نکرده است . اما

مشخص بوده که چنین چیزی را مدّ نظر داشته است . این واقعه یکسال قبل از ارائه گزارش نتیجه تلاشها در مورد میزر بوده است که اولین بار توسط جردن ، زیگر و توتر در جولای ۱۹۵۴ ارائه شد .

در همین سال یك گروه از محققین در آمریکا تحت مدیریت پاونز بر اساس تئوری انیشتن اولین تقویت‌کننده نور برانگیخته را با استفاده از مولکولهای آمونیاك مورد آزمایش قرار دادند . در اثر تلاشها اولین دستگاه میزر با فرکانس حدود $۲/۳ \times ۱۰^{۱۱}$ هرتز ساخته شد .

نخستین نظریه در یك مکان بین المللی ، در مورد امکان دستیابی به نور همدوس از نیمه هادی ها را پیرآگرین در ژوئن ۱۹۵۸ و در یك مقاله چاپ نشده ارائه داد . البته او در سال ۱۳۵۶ بطور خصوصی امکان ساخت لیزر نیمه هادی را با پنکوو (از آزمایشگاه RC A) مطرح کرده بود . در همین زمان در شوروی و در جولای ۱۹۵۸ ، بسو ، کروخین و پوپوو در انستیتو لبد و بطور مستقل ایده های مشابهی را عرضه کرده اند . در حالیکه این افراد از نظر تئوری نشان دادند که امکان ایجاد وارونگی جمعیت در یك نیمه هادی وجود دارد ، اما دقیقاً مشخص نکرده بودند که چه نوع نیمه هادی باید مورد استفاده قرار گیرد و چه نوع گزارهای الکترونیکی رخ دهد .

گیسی و پانیش در فصل اول کتاب خود درباره تاریخچه لیزر تزریقی بحث

گردنوار در سال ۱۹۶۱ منتشر شده است). این دو از ایده سطوح شبه فرمی استفاده کرده اند تا معادلات دقیقی را برای پیش‌بینی شروع گسیل القائی در نیمه هادی اقتباس نمایند. عقیده آنها این بود که انتظار گسیل القائی را باید در گذارهای مستقیم در InAs یا Insb یا گذارهائی بین نوار هدایت و حالت‌های پذیرنده Zn و In در نیمه هادی های با شکاف نوار غیر مستقیم مثل Ge و Si داشت.

گرچه فکر ایجاد وارونگی جمعیت در نیمه هادی با شکاف غیر مستقیم غلط است، برنارد و دورافوری نخستین کسانی بوده اند که اولین نظریه را ـ در مورد شرایط لازم برای ایجاد وارونگی جمعیت در یك پیوند p ـ n نیمه هادی منتشر کرده اند. ولی آنها درباره ایده فیدبك نوری در نتیجه یك عنصر مهم در رسیدن به لیزر بحثی نکرده اند.

البته در سال ۱۹۵۸ شاولو به اتفاق تاونز ضمن یك مطالعه تئوری امکان بکار بردن یك میزر با فرکانس زیاد حدود فرکانسهای نور مرئی راتحقق بخشیدند و آن را "لیزر" نامیدند.

مطالعات همچنان ادامه داشت، در آوریل ۱۹۶۲، نسدلو و همکارانش در انستیتو Tec.Ioffphy لنینگراد مقاله ای منتشر کرده اند که شرحی بوده در مورد باریك شدن جزئی تشعشع ناشی از ترکیب ذاتی در یك پیوند GaAs:Pn

بنجامین از آزمایشگاه لینکن در سال ۱۹۵۹ مقاله ای ارائه داده است که تفاوت زیادی با دیگر مقالات داشته و در مورد میزر نیمه هادی بوده است . در این مقاله او نتیجه میگیرد که راندمان ترکیب تشعشع ای در یک نیمه هادی با شکاف نوار مستقیم خیلی بیشتر از نیمه هادی با نوار شکاف غیر مستقیم است .

علاوه بر این مقالات مقالاتی بوده که بعنوان اختراع ثبت شده است . قدیمی ترین نمونه و مثالش ، مقالات (بعنوان اختراع) یا سوشی را تاناب و جون - ایچی نشیزاوا در ژاپن است که در تاریخ ۱۹۵۷ ثبت شده است. در این مقاله راجع به استفاده از پیوند $p - n$ برای افزایش راندمان تزریق حامل ها (که در اثر جذب نور از یک منبع پمپاژ نوری تولید می شوند) به حالت انرژی بالاتر در نیمه هادی بحث شده است .

از این مقالات ، مقاله ویلیام بویله و دیوید توماس است ، که در تاریخ ۱۹۶۰ ثبت شده است. که در مورد عملکرد لیزری Si و Ge ، GeP و CdS با استفاده از گسیل القائی از حالت های تخریک شده در دمای پائین بحث کرده است . همچنین آنها مفهوم تشکیل محفظه نوری در داخل نیمه هادی را بحث کرده اند .

خلاصه اینکه در مورد مقالاتی که تا سال ۱۹۶۲ و حتی تا اواخر این سال میتوان گفت این است که این مقالات در بحث تئوریک خود ، شرایط لازم برای