

## لیزرهای غیرروبی<sup>۱</sup>

نوشته: دکتر حسین پازنده دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران

### چکیده

آقایان Arthur L. Schawlow و Charles H. Townes [۱] و [۲] در سال ۱۹۵۸ با انتشار یک مقاله علمی اصول کار لیزر را شرح دادند سیستمی که آنها بکار بردند لوله بسته ای بود که از گاز پتاسیم پر شده بود. این محققین کاملاً دانسته و آگاهانه گاز را به عنوان ماده فعال انتخاب کردند مولکولهای گاز کاملاً جدا و دور از یکدیگر میباشند و بهمین جهت مطالعه تشدید نوری در گازها خیلی ساده تر است. هر ملکول گاز را میتوان به عنوان جزء تنهائی در نظر گرفت و نگرانی از نظر تاثیر ملکولها بر روی هم وجود ندارد، در حقیقت در مورد بخار پتاسیم که مولکول آن یک اتم تنهاست مطالعه فشار گاز ساده تر میباشد زیرا همیشه بررسی مولکولهای که مرکب از چند اتم هستند پیچیده تر است. بهمین دلیل در مسابقه ساختن اولین لیزر سعی بیشتر محققین بر این بود که از گازهای تک اتمی به عنوان ماده فعال استفاده کنند. بدین ترتیب در اواخر سال ۱۹۶۰ آقای علی جوان، از شرکت بل امریکا، به اتفاق دو نفر از همکارانش توانستند اولین لیزر از این نوع را فقط چند ماه پس از ساختن لیزر روبی ارائه دهند.

از سال ۱۹۶۰ تاکنون انواع مختلفی از لیزر ساخته شده است [۳] که مواد فعال آنها عبارت بوده است از مایعات، گازهای یک اتمی و چند اتمی و مواد جامدی غیر از روبی. بعلاوه روشهای مختلفی برای پمپاژ انرژی و تهیه لیزر با طول موج های مختلف ابداع شده است. از نقطه نظر مصرف کننده هر لیزری بر حسب مورد استعمال آن، دارای مزایا و معایبی می باشد.

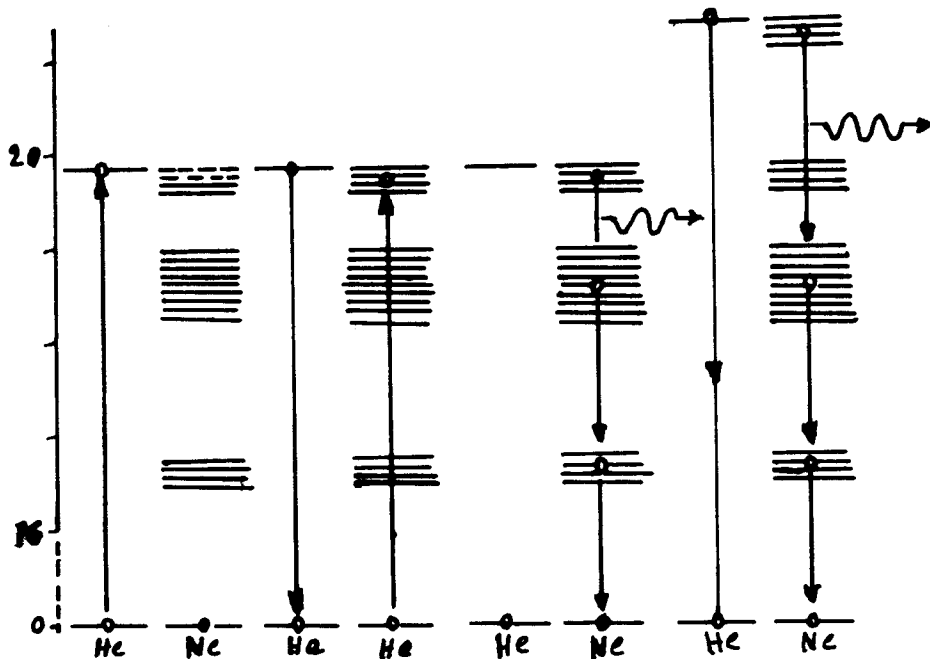
### ۱- لیزر گازی هلیوم - نئون

لیزرهای گازی از نظر فیزیکی با لیزر روبی تقریباً فرق دارند. گاز یا مخلوط گازها که ماده فعال را تشکیل میدهند، در لوله ای از شیشه یا کوارتز قرار دارند و آینه های شفاف در دو انتهای آن واقع شده اند. لیزری که لابر اتوارهای بل در امریکا، در اواخر سال ۱۹۶۰، ساخت محتوی ۹۰ درصد گاز هلیوم و ۱۰ درصد گاز نئون بود [۴].

دسته های امواج<sup>۳</sup> که اشعه لیزر را در این اسباب تشکیل میدهند از اتمهای نئون صادر میشوند. بزرگترین اشکالی که ابتداء در ساختن لیزرهای نئون وجود داشت پیدا کردن راهی برای پمپاژ اتمهای نئون بود تا بتوان آنها را به ترازهای بالاتر صعود داد. این اشکال بوسیله تیم تحقیقاتی شرکت بل با افزودن گاز هلیوم به گاز نئون و تحریک (برانگیختن) آن بتوسط یک Radio transmitter کوچک برطرف شد. میدان های الکتریکی و مغناطیسی حاصل به توسط این اسباب، موجب می شوند که اتم های هلیوم انرژی لازم برای صعود به تراز بالاتر را سریعتر بدست آورند. خوشبختانه، این حالت برانگیخته دقیقاً منطبق میشود با یک حالت برانگیخته از اتم های نئون و به همین علت هرگاه یک اتم هلیوم در حالت برانگیخته با یک اتم نئون در تراز بنیادی (برانگیخته نشده) تصادم نماید میتواند تمام انرژی خود را بر طبق دیگرام شکل<sup>۱</sup> به اتمهای نئون منتقل کند. این برخوردها، در مخلوط یک گاز با فشار نسبتاً کافی، به دفعات صورت می گیرند و موجب

۱- تاریخ دریافت مقاله ۱۳۵۸/۹/۶.

۲- اصول کار لیزرهای روبی یا یاقوتی را در نشریه شماره ۳۹ دانشکده فنی مطالعه کنید.



شکل ۱- دیاگرام انرژی در لیزر هلیوم - نئون

Stimulate Emission نور را تشدید کنند (شکل ۱) و در اینجا وظیفه آینه‌های شفاف انتهایی انعکاس نور به جلو و عقب و گذراندن مکرر آن از داخل گاز میباشد. بدین ترتیب نظیر آنچه در لیزر روبی اتفاق می‌افتد، اشعه لیزر تولید شده و شدت آن افزایش می‌یابد و بازاء شدت معینی اشعه از طریق آن یک‌بار دو آینه که شفافیت سطحش کمتر است خارج میشود.

برخلاف لیزرهای اولیه که ضربه‌های نوری<sup>۲</sup> تولید میکردند لیزرهای گازی با موج پیوسته<sup>۳</sup> کار میکنند.

## ۲- لیزرهای گازی ملکولی

در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار خبر مربوط به ساختن لیزرهای گازی ملکولی اعلام شد، نوع جدیدی که بنظر میرسد که به‌عنوان اسباب پر قدرتی در صنعت، ارتش و زمینه‌های تحقیقاتی زیاد مورد استفاده قرار گیرد. لیزر ملکولی [۲] و [۵] قدرت بیشتری تولید میکند و نیز از سایر لیزرهای گازی موثرتر میباشد به‌عنوان مثال، یک نوع آن میتواند گرانتیت را خرد کند و الیاف را از فاصله قابل ملاحظه‌ای آتش بزند. لیزرهای گازی اولیه بعلت طرز رجعت مخصوص اتم‌ها از حالت برانگیخته به تراز بنیادی مبدل‌های غیر موثری در تبدیل انرژی پمپاژ به انرژی لیزری بودند به‌عنوان مثال در مورد لیزر هلیوم - نئون که دیاگرام آن در شکل ۱ نشان داده شده است دیده میشود که اتم‌های نئون، طی چند مرحله از حالت برانگیخته به تراز بنیادی مراجعت میکنند و در هر مرحله مقداری از انرژی خود را از دست میدهند و فقط یکی از این مراحل است که سهمی در انتشار پرتوهای لیزر را دارد و مقادیر انرژی که در سایر مراحل آزاد میشوند به‌دور رفته و به صورت نور غیر لیزری و حرارت و غیره در می‌آید.

در سال ۱۹۶۵ محققان از لابراتوارهای تحقیقاتی بل به نام C.K.N.Patel پیدا کرد که با استفاده از

۱- برای دریافت معنی دقیق این واژه به مقاله مکانیزم لیزر روبی در نشریه شماره ۳۹ دانشکده فنی مراجعه شود.

2- Pulses of light

3- Continuous wave

ملکولهای گاز چند اتمی، به جای گازهای یک اتمی، می توان لیزرهای با قدرت خیلی زیاد ایجاد کرد. در اینجا یک نوع ساختمان جدیدی از لیزر مورد احتیاج بود زیرا در لیزرهای گازی قبلی روش پمپاژ طوری بود که ضمناً ملکول را به اتمهای مشکله می شکست. Patel روشی اختراع کرد به نام سیستم با گاز جاری که در آن گاز بطور پیوسته در ناحیه بین دوآینه جریان پیدا کرده و در آنجا با گاز ازت که قبلاً به وسیله تخلیه الکتریکی و یا تخلیه اشعه الکترونی تحریک شده است برخورد می کند. وقتی دو گاز مزبور با هم برخورد نمایند انرژی از ازت به ملکولهای سنگین گاز به عنوان گاز فعال منتقل میشود.

Patel با استفاده از روش گاز جاری توانست طرز کار لیزرهای منواکسید کربن پی دی اکسید کربن، اکسید نیترو و دی سولفور کربن را توجیه نماید. بهترین بازده ای که بدست آمد مربوط به لیزر انیدرید کربنیک بود و کارهای بعدی نشان داد که این گاز از لحاظ شیمیائی دارای پایداری متمایزی میباشد بطوریکه میتوان آنرا برای تحریک به ترازهای بالاتر مستقیماً پمپاژ کرد.

Patel همچنین پیدا کرد که بازده لیزرهای CO<sub>2</sub> در حدود ۱۵ درصد است در صورتیکه بازده در سایر لیزرهای گازی کمتر از ۱/۵ درصد میباشد.

در مورد ملکولهای انیدرید کربنیک، انرژی که بصورت اشعه لیزر در می آید کسر قابل ملاحظه ای از تمام انرژی میباشد که ملکولهای برانگیخته برای رجعت به حالت بنیادی از دست میدهند. تحقیقات بعدی توسط Patel و سایرین نیز نشان داد که افزودن مقدار جزئی از گازهای دیگر نظیر هلیموم بازده را باز هم افزایش میدهد.

چگالی انرژی تابشی این لیزر که به طور پیوسته کار میکند به مراتب بیشتر از خورشید میباشد. برای بدست آوردن قدرت بیشتر، تا آنجا که ممکن است باید فاصله بین دو آینه را زیادتر انتخاب کرد. اگر یک چنین لیزر طولی به عنوان یک اسباب قابل انتقال در زمین و یا در فضا مورد نظر باشد می توان طبق روش کمپانی Raytheon از یک لوله طویل یا از یک لوله با چند خم استفاده کرد. براین اساس میتوان با کوچک کردن اسباب و استفاده از فضای کم قدرت های زیادی ایجاد کرد. در اواسط ۱۹۶۷ شرکتی در Palo Alto ی کالیفرنیا توانست با قرار دادن سه یا چهار لوله به طور موازی لیزر انیدرید کربنیک با قدرت ۵۰۰ وات را بسازد.

یک لیزر انیدرید کربنیک با قدرت ۱۲۰۰ وات در آزمایشگاه مهندسی ساختمان دانشگاه ماساچوست به منظور خرد کردن سنگ و گرانیت بکار میرود. ممکن است از لیزر انیدرید کربنیک روزی برای حفر تونل های زیر زمینی استفاده کرد.

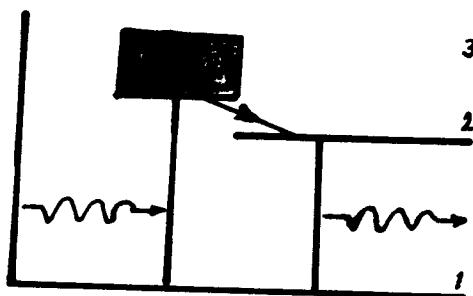
لیزرهای انیدرید کربنیک اشعه با طول موج ۱۰۶۰۰۰ آنگسترم تولید میکنند که بخوبی در داخل ناحیه مادون قرمز قرار میگیرد. گرچه این اشعه در منطقه مرئی واقع نمی شوند ولی به علت نفوذ زیاد در آتمسفر مورد استعمال زیادی در ارتباطات پیدا کرده اند.

### ۳- لیزرهای جامد<sup>۱</sup>

وقتی در اولین لیزر ماده فعال بکار رفته جسم جامدی انتخاب شده بود خیلی تعجب آور بود زیرا نحوه عمل برخورد نور با ذرات متراکم جسم آنقدر که در برخورد با ملکول های گاز که کاملاً جدا از یکدیگر میباشد روشن نبود. این مثال خوبی است و نشان می دهد که در علوم همیشه لازم نیست کسی که یک دستگاه علمی را میسازد صد درصد به مکانیزم فرایندی که در آن اتفاق می افتد آگاهی داشته باشد.

در سال ۱۹۶۰ هیچکس کاملاً نمی فهمید چه فرایندی در لیزر رومی اتفاق می افتد و شاید هنوز هم کسی نتواند حتی با اتکاء به مشاهدات عینی، مجسم کند که رومی دارای چنان خاصیتی است که اجازه میدهد عمل Lasing در داخل آن صورت گیرد [۲]. رومی از اکسید آلومینیومی که مقدار کمی کرم در آن حل شده تشکیل شده است. کرم به شکل

ایونهای با بار مثبت در کریستال روبی وجود دارد و به صورت  $Cr^{+++}$  می باشد. یعنی اتم کرم سه الکترون خارجی ترین مدار خود را از دست داده است. شکل ۲ ترازهای انرژی مربوط به ایون کرم و فرآیند Lasing در آنرا نشان میدهد.



شکل ۲- دیاگرام انرژی در لیزر روبی

روبی مصنوعی را به این طریق تهیه میکنند که اکسید آلومینیوم با کرم را در یک بوتله ذوب میکنند و در ابتدا برای شروع تبلور یک بلور کوچک از روبی را بعنوان Seed Crystal داخل مذاب می اندازند بعد از این بلورهای بزرگ در اطراف بلور کوچک تشکیل میشوند و معمولا با یک حرکت مارپیچی آهسته این بلورها را از داخل مذاب درخشنده سفید خارج میکنند.

خیلی بعید بنظر میرسد که جسم جامدی بتواند در حرارت معمولی به نحو بالا نور را جذب و مجددا منتشر کند ولی قرنهایست پیدا کرده اند که بعضی از اجسام میتوانند چنین کاری را انجام دهند. اکنون می دانیم که این اجسام شامل مقدار خیلی جزئی از اتم های فعال کننده هستند [۳] که در یک کریستال میزبان متشکل از اتمهای کاملا متفاوتی حل شده اند.

در مورد روبی، بلور میزبان اکسید آلومینیوم است و میزان کرمی که در آن حل شده است یک درصد است. کار بلور میزبان به وجود آوردن محیطی است که ایونهای کرم ناشر نور در آن به صورت تعلیق درآیند. غلظت ایونهای کرم در داخل اتمهای میزبان باید به اندازه ای کم باشد که عملا فاصله بین هر دو اتم کرم همان قدری باشد که دو اتم گاز باهم دارند بعلاوه اتمهای کرم دارای این ویژگی خاص هستند که ارتعاشات خود را از تاثیر اتمهای مجاور مصون نگاه میدارند و اصطلاحاً "آن را Screening effect نامند. محققین با تشریح خواص روبی به عنوان ماده فعال نوری در لیزر درصد جستجوی مواد فعال دیگری برآمدند. همانطوری که گفته شد ماده حل شونده یا فعال کننده باید خاصیت Screening effect را که اتم های کرم واجد آن هستند دارا باشند.

کرم Cr یکی از عناصر واسطه ای<sup>۲</sup> میباشد و ممکن است تصور کرد که سایر عناصر این دسته بتوانند فعال کننده های خوبی را تشکیل دهند.

#### ۴- لیزرهای شیشه ای<sup>۳</sup>

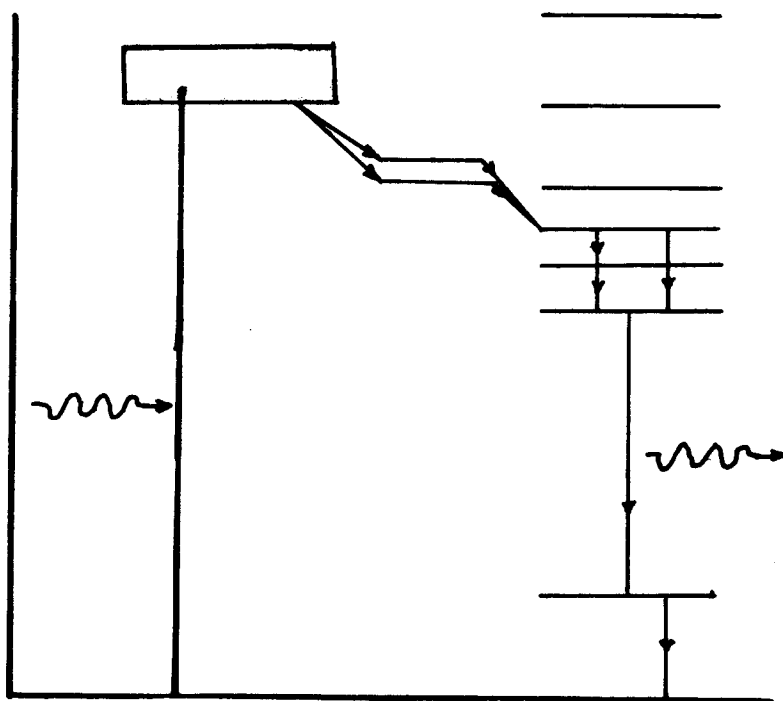
روبی، ماده لیزری قابل توجهی است که دازای سختی مکانیکی زیاد و هدایت حرارتی قابل ملاحظه میباشد. خاصیت اخیر اجازه می دهد که حرارت حاصل به هنگام عمل Lasing با سرعت با محیط خارج مبادله شود امروزه به استثنای لیزرهای بسیار عظیم این ماده هنوز به عنوان مهمترین ماده لیزری در ساختن لیزرهای با قدرت زیاد بکار میرود ولی در این مورد لیزرهای شیشه ای [۱] و [۳] رقابت تازه و مهمی را آغاز کرده اند شیشه، در مقایسه با مواد میزبان دیگر که فعلا

1- Activator

2- Transition Elements

3- Glass Lasers

دیده ایم، به علت این که یک جسم غیر متبلور است تفاوت دارد. این ماده مخصوصاً از لحاظ ارزانی قیمت و اینکه میتوان از آن هر ابعادی استفاده کرد ماده میزبان خوبی در تهیه لیزرهای با قدرت زیاد شناخته شده است. با پیشرفتی که تاکنون در صنعت شیشه سازی بدست آمده است لازم به تذکر نیست که شیشه از لحاظ نوری نیز دارای خواص متمایزی میباشد.



شکل ۳- روش حساس کردن به منظور استفاده از ترکیب خواص مفید اتم های مختلف

بهر حال باید اذعان کرد که شیشه دارای هدایت حرارتی تقریباً ضعیفی بوده و همین امر موجب محدودیتی در ساختن لیزرهای با توان زیاد از نوع پیوسته C.W. و یا لیزرهای ضربانی با سرعت زیاد میگردد. پرتوهای صادره از یک لیزر شیشه دارای نواری<sup>۱</sup> به مراتب پهن تر از لیزر روبی بوده و نیز در لیزرهای شیشه بازده قدری بیشتر از لیزر روبی می باشد. در لیزرهایی که ضربان عظیم با زمان خیلی کوتاه تولید می کنند شیشه از بعضی جهات نسبت به روبی برتری دارد. در برخی از موارد شیشه و مواد میزبان متبلور مکمل یکدیگر میباشند.

از بین عناصر نادر اتم نئودیمیوم Nd و یا ترجیحاً ایون آن یعنی  $Nd^{+3}$  مهمترین ماده فعال کننده بوده که با میزبان شیشه ای بکار برده میشود. لیزر نئودیمیوم با میزبان شیشه ای موثرترین لیزری است که میتواند در درجه حرارت معمولی (حرارت اتاق) کار کند. اصولاً "روش جالب حساس کردن<sup>۲</sup> که دیاگرام آن در شکل ۳ نشان داده شده است، مخصوصاً بالیزر از نوع میزبان شیشه ای موثر بوده است. شیشه نه تنها دارای نئودیمیوم بوده بلکه دارای تعدادی کرم هم میباشد. کرم نور را جذب میکند و سپس به نئودیمیوم انتقال میدهد. و تنها اتم های اخیر هستند که میتوانند انرژی را به صورت اشعه لیزر انتشار دهند مهمترین مزیت فرایند حساس کردن این است که کرم نور را در نوار با طول موج وسیع تری از نئودیمیوم جذب میکند. بنابراین لیزر می تواند از انرژی بیشتری که منبع پمپاژ در اختیار میگذارد استفاده کند.

گرچه موفقیت های اولیه و پیدایش لیزر را باید مرهون لیزرهای جامد و گازی دانست ولی بنظر میرسد که بعضی از مایعات به عنوان ماده لیزری نیز دارای امکانات جالبی باشند [۳] و [۴].

در لیزرهای مایعی انتخاب نمونه به اندازه مناسب براحتی قابل کنترل بوده و می توان اشکالاتی را که در سرد کردن مایعات دیر خنک شونده وجود دارند با جریان انداختن مداوم مایع لیزری در یک مبادله کننده حرارتی<sup>۲</sup> بر طرف نمود. گرچه چسبندگی مایعاتی که تاکنون در لیزرها بکار رفته اند خیلی زیاد میباشد ولی امید زیادی هست که در آتیبه نزدیک بتوان از مایعات روان تری استفاده نمود. لیزرهای رنگی آلی<sup>۳</sup> اخیراً " به میزان وسیعی به عنوان مهمترین منبع لیزری در کارهای شیمیایی بکار گرفته شده اند [۵]. این لیزرها در ناحیه نزدیک مرئی، نزدیک ماوراء بنفش و مادون قرمز قابل استفاده بوده و در تجارت به شکل ضربانی و پیوسته نیز عرضه میشوند [۶].

۶- لیزرهای نیم هادی<sup>۴</sup>

این لیزرها دارای بازده ای در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد بوده که دو تاسه برابر بیشتر از لیزرهای انیدرید کربنیک میباشد و احتمال دارد در آینده نیز بتوان به بازده ای نزدیک ۱۰۰ درصد دست یافت [۱] و [۳] و [۴]. مثلاً " یکی از مواد نیم هادی، فسفور گالیوم است که سالها قبل از اینکه لیزرهای نیم هادی ساخته شوند نظر فیزیکدانان و مهندسان را به خاصیت برق زنی و صدور نور قرمز روشن، هنگام عبور جریان الکتریکی از داخل آن جلب کرده بود وقتی جریان الکتریکی از داخل یکی از این مواد نیم هادی عبور می کند پرتوهای مادون قرمز از خود صادر میکنند و با شروع سال ۱۹۶۰ واضح شد که اگر جریان الکتریکی با شدت خیلی زیاد انتخاب شود احتمال دارد در این مواد عمل Lasing اتفاق بیفتد.

اولین دیاگرام شکل ۴ ترازهای انرژی و یا نوارهای انرژی مواد نیم هادی را که حقیقتاً وجود دارند نشان میدهد. نوار پائینی نوار ظرفیت نامیده می شود و بدینوسیله منطقه غیر مجازی که قرار گرفتن الکترون در آن ممکن نیست از نوار بالایی که نوار هدایت نامیده می شود جدا شده است.

در حالت بنیادی تمام الکترونها در نوار ظرفیت جامی گیرند و هیچ الکترونی در نوار هدایت قرار نمی گیرد. این وضعیتی است که در دیاگرام نشان داده شده است و تجمع الکترونها در هر ناحیه با سایه زدن مشخص شده است. این وضعیت در حقیقت در حدود صفر مطلق اتفاق می افتد و در درجه حرارت معمولی بعضی از الکترونها به نوار هدایت صعود کرده و در نتیجه حفره هائی پشت سر خود در نوار ظرفیت به جای میگذارند. ظاهراً تعداد این حفره ها مساوی تعداد الکترون ها در نوار هدایت میباشد.

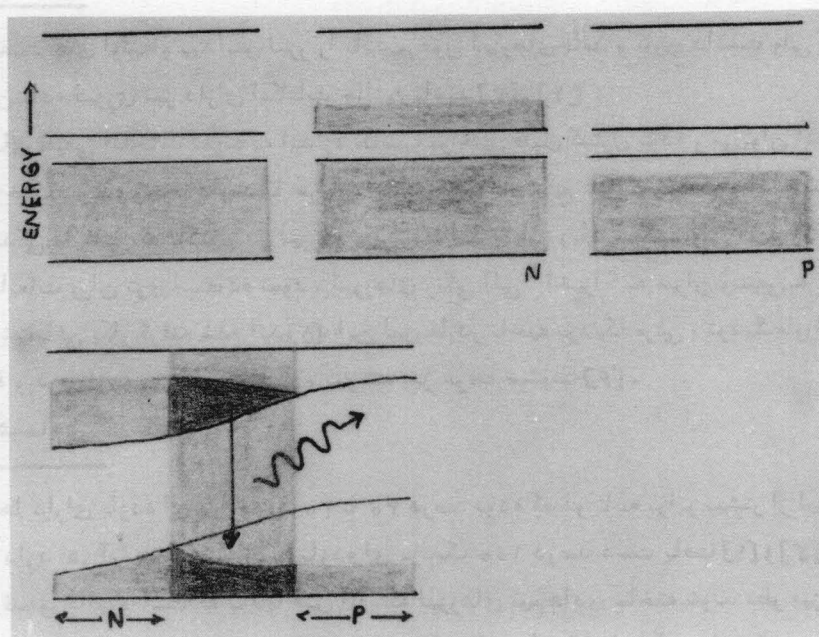
با افزایش مقدار بسیار کمی از یک ناخالصی مناسب میتوان به وضعیتی رسید که در آن الکترونهای بیشتری بتوانند در نوار هدایت قرار گیرند و حفره های کمتری در نوار ظرفیت ایجاد شوند. یک چنین ترکیبی از نیم هادی را نوع N مینامند. این وضعیت در دیاگرام دوم شکل ۴ نشان داده شده است. اگر ناخالصی دیگری به جای ناخالصی اول به ماده نیم هادی اضافه گردد ممکن است به وضعیتی رسید که حفره های بیشتری در نوار ظرفیت ایجاد شود. نظیر دیاگرام سوم شکل ۴ و این نوع نیم هادی را از نوع P می نامند.

حالت جالب توجه دیاگرام بزرگتر در شکل چهارم است که نوارهای انرژی را در مرز بین یک ناحیه از نوع N و ناحیه ای از نوع P نشان میدهد. در اینجا یک ناحیه عبور که ناحیه الحاقی نام دارد تشکیل میشود با قطری در حدود چند صدم آنگسترم تشکیل می شود. در این محل که وارونه تجمع<sup>۵</sup> از الکترونها در آن بوجود می آید الکترونهای می توانند

- 1- Fluid state Lasers
- 3- Organic Dye Lasers
- 5- Population Inversion

- 2- Heat Exchangers
- 4- Semiconductor Lasers

از نوار هدایت سقوط کرده و حفره های موجود در نوار ظرفیت را اشغال کنند و بدین ترتیب موجب صدور فوتون با تشعشع الکترومغناطیک شوند .



شکل ۴ - ترازهای انرژی در نیم هادی ها

ماده نیم هادی یا همان ناحیه الحاقی را به منبع جریان الکتریکی وصل می کنند . جهت عمل این منبع در ماده نیم هادی چنان است که الکترونها را از ناحیه نوع N به ناحیه الحاقی حرکت می دهد . و هنگام عبور جریان عده کثیری از الکترونها ناحیه الحاقی را طی خواهند کرد .

لیزرهای مجهز به این نوع نیم هادی را لیزرهای الحاقی<sup>۱</sup> یا لیزرهای تزریقی<sup>۲</sup> مینامند زیرا الکترونها در ناحیه الحاقی تزریق می شوند و عمل Lasing در قسمت باریک ناحیه الحاقی صورت گرفته و اشعه حاصل بین دو سطح انتهایی شفاف آن که نقش آینه را دارند منعکس میشود . علت این که این لیزرها دارای بازده زیادند این است که تقریباً تزریق هر الکترون منجر به ایجاد یک فوتون مفید می گردد .

#### نتیجه

لیزر پر قدرت ترین و مفیدترین منبع نوری میباشد که براساس کوانتم الکترونی و یا بطور اخص تقویت و تشدید نوری کار میکند . لیزر برحسب مصارف مختلف به انواع گوناگونی عرضه شده است . لیزر در ارتباطات ، در ساخت کامپیوترهای با سرعت زیاد ، در هواشناسی ، در اندازه گیری فواصل با دقت زیاد ، در شیمی در افزایش سرعت واکنش ها ، در عکاسی در گرفتن تصاویر سه بعدی ، در کشتی رانی در ابداع جهت یابهای لیزری بجای جهت یابهای معمولی ، در ردیابی قمرهای مصنوعی ، و در تکمیل اسبابهای فضائی و نیز در پزشکی تحولات اعجاب انگیزی بوجود آورده است .

1- Junction Lasers

2- Injection Lasers

فہرست منابع

- [1] Brown, R., "Lasers," A survey of Their Performance and Applications," Business Books Limited, London 1969.
- [2] Sobolev, N., "Lasers and Their Prospects," Mir Publishers, Moscow 1974.
- [3] Brown, R., "Lasers, Tools of Modern Technology," Aldus Books, London 1968.
- [4] Longyel, B.A., "Introduction to Laser Physics," John Wiley and Sons, Inc., New York 1966.
- [5] Moor, C.B., "Chemical and Biochemical Applications of Lasers," Academic Press, New York 1974.
- [6] Melia, T.P., "An Introduction to Masers and Lasers," Chapman and Hall Ltd., London 1967.