دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی- لیزر

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان :

تحلیل عددی تنش حرارتی القا شده در یک بره لیزری Nd:YLF تحت دمش طولی توسط روش المان محدود

استاد راهنما

دکتر ابراهیم صفری

استاد مشاور

دکتر فرید وکیلی تهامی

پژوهشگر

نوید امیریعقوبی تبریز

شهریور ۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به

پدر و مادرم

و با سپاس بی پایان از استاد ارجمند اقای دکتر صفری

نام خانوادگی دانشجو: **امیر یعقوبی تبریز** *نام*: **نوید**

عنوان پایاننامه: ***تحلیل عددی تنش حرارتی القا شده در یک بره لیزری Nd:YLF تحت دمش طولی توسط روش المان محدود***

استاد راهنما: **دکتر ابراهیم صفری**

استاد مشاور: **دکتر فرید وکیلی تهامی**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** *رشته*: **فیزیک** *گرایش*: **اتمی و مولکولی (لیزر)**

دانشگاه: **تبریز** *دانشکده*: **فیزیک** *تاریخ فارغ التحصیلی*: **۹۰/۶/۱۵** *تعداد صفحات*: **۱۰۳**

کلید واژه ها: **بره، اثرات حرارتی، عدسی حرارتی، حالت فعال، حالت غیر فعال، دمش طولی، روش المان محدود**

چکیده:

برای دستیابی به یک لیزر پر توان و مشخصات اپتیکی مناسب، به بررسی برخی از اثرات نامطلوب حرارتی که در این لیزرها بوجود می اید نیازمند است.در لیزرهای حالت جامد در اثر دمش اپتیکی، گرادیان دمایی ایجاد می شود که این گرادیان دمایی باعث ایجاد اثرات حرارتی می شود که بطور مستقیم بر عملکرد لیزرها تأثیر گذار است.شناخت این عوامل و تلاش در جهت رفع انها ما را در رسیدن به لیزرهای با توان بالا و کیفیت باریکه خروجی بهتر رهنمون می سازد.

در این پایاننامه عدسی شدگی حرارتی و نیز تنش حاصل از حرارت بر روی بره Nd:YLF در حالت فعال و تحت دمش طولی گوسی مورد بررسی قرار گرفتند. در نتیجه تنش کششی در حالت غیر فعال، احتمال شکست در بلور پدیدار شد. و با استفاده از خاصیت دو شکستی بلور می توان این احتمال را به میزان زیادی کاهش داد.

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول : پایه های نظری و بیشینه پژوهش..... ۳

۱-۱ لیزر چیست؟..... ٤

۱-۱-۱ خواص نور لیزر..... ٥

۱-۱-۱-۱ جهت‌بندی..... ٥

۱-۱-۱-۲ تکفام بودن..... ٥

۱-۱-۱-۳ درخشایی..... ٦

۱-۱-۱-٤ همدوسی..... ٦

۱-۱-۲ انواع لیزر..... ٦

۱-۱-۲-۱ لیزر حالت جامد..... ٦

۱-۱-۲-۲ لیزر گازی..... ۷

۱-۱-۲-۳ لیزر مایع..... ۷

۱-۱-۲-٤ لیزر نیم رسانا..... ۷

۱-۱-۲-٥ لیزر شیمیایی..... ۸

۱-۱-۳ انواع لیزرهای جامد..... ۸

۱-۱-۳-۱ لیزر یاگ..... ۸

۱-۱-۳-۲ لیزر حالت جامد یون فلزی..... ۹

۱-۱-۳-۳ لیزر Nd:YAG..... ۹

۱-۱-۳-٤ لیزرهای Er ۱۰

۱-۱-۳-٥ لیزر نئودیمیم..... ۱۰

۱-۱-٤ خواص لیزرهای حالت جامد..... ۱۰

۱-۱-٤-۱ خواص مکانیکی..... ۱۰

۱-۱-٤-۲ خواص اپتیکی..... ۱۱

۱-۱-٤-۳ خواص اپتومکانیکی..... ۱۱

۱-۱-۵ عناصر اصلی تشکیل دهنده لیزرهای حالت جامد..... ۱۲

۱-۲ دمش..... ۱۲

۱-۲-۱ دمش لامپی..... ۱۳

۱-۲-۲ دمش لیزر دیودی..... ۱٤

۱-۳ نئودیمیوم..... ۱٤

۱-٤ پیشینه پژوهش بر روی بره لیزری Nd:YLF ۱۵

۱-۵ هندسه‌ی بلورهای لیزری ۲۲

۱-٦ هندسه دمش..... ۲۳

۱-٦-۲ دمش از انتها-طولی ۲۳

۱-٦-۱ دمش کناری-عرضی ۲۳

۱-۷ اثار حرارتی..... ۲٤

۱-۷-۱ تنش حرارتی..... ۲٤

۱-۷-۲ عدسی گرمایی..... ۲٤

۱-۷-۳ اثرات انتهایی..... ۲٤

۱-۷-٤ اثرات فوتو الاستیک..... ۲٤

۱-۸ روش های خنک سازی..... ۲٤

۱-۸-۱ خنک کنندگی سیالی..... ۲٤

۱-۸-۲ خنک کننده های گازی..... ۲۵

۱-۸-۳ خنک کننده های ترمو الکتریکی (TEC)..... ۲۵

۱-۹ علل ایجاد گرما..... ۲۵

۱-۹-۱ نقص کوانتومی..... ۲۵

۱-۹-۲ جذب تابشی..... ۲۵

۱-۹-۳ برانگیختگی از تراز بالا..... ۲۵

۱-۹-٤ جذب توسط مراکز رنگی..... ۲۵

۱-۹-۵ انتقال های غیر تابشی..... ۲۵

۱-۱۰ توابع توزیع دمش ۲٦

۱-۱۰-۱ مدل دمش یکنواخت ۲٦

۱-۱۰-۲ مدل دمش سر کلاهی ۲٦

۱-۱۰-۳ مدل دمش گوسی ۲۷

۱-۱۰-٤ مدل دمش سوپر گوسی ۲۷

فصل دوم: مبانی و روش ها..... ۲۸

۲-۱ مقدمه ۲۹

۲-۲ تنش ۳۱

۲-۳ کرنش ۳۲

۲-٤ رابطه‌ی بین تنش و کرنش ۳٦

۲-۵ نسبت پواسون ۳۹

۲-٦ مدول یانگ..... ۳۹

۲-۷ عدسی شدگی حرارتی..... ۳۹

۲–۸ روش المان محدود..... ٤١

۲–۸–۱ مقدمه..... ٤١

۲–۸–۱–۱ مسائل حالت پایدار..... ٤٢

۲–۸–۱–۲ مسائل با مقدار ویژه..... ٤٢

۲–۸–۱–۳ مسائل گذرا..... ٤٢

۲–۸–۲ تئوری عمومی..... ٤٣

۲–۸–۳ یک جزء ساده یک بعدی: میله با اتصال انگشتی..... ٤٤

مثال (۲–۱) تحلیل تنش یک میله پله‌دار..... ٤٩

۲–۹ جزء ساده دو بعدی..... ٥٢

مثال (۲–۲) : محاسبه توابع شکل..... ٥٣

۲–۱۰ جزء ساده سه بعدی..... ٥٥

مثال (۲–۳) رسانایی گرمایی از میان یک دیوار..... ٥٧

۲–۱۱ گسسته سازی مسئله..... ٥٩

۲–۱۲ ساده سازی از طریق تقارن..... ٥٩

۲–۱۲–۱ تقارن محوری..... ٦٠

۲–۱۲–۲ تقارن صفحه‌ای..... ٦١

۲–۱۲–۳ تقارن چرخه‌ای..... ٦١

۲–۱۳ شکل و رفتار اجزای اساسی..... ٦٢

۲–۱٤ اندازه و تعداد اجزاء..... ٦٢

۲–۱٥ توابع میانیابی و اجزای ساده..... ٦٤

۲–۱٥–۱ اجزای ساده، مرکب و چند تایی..... ٦٦

۲-۱۶ مختصات طبیعی یک بعدی ٦٧

مثال (۲-٤): فرمول های انتگرال گیری ٦٨

۲-۱۷ محاسبه ماتریس سختی با استفاده از فرمول های انتگرال گیری ٦٨

۲-۱۸ کمیات برداری ٦٩

۲-۱۷ مدل سازی ۷۱

۲-۱۷-۱ المان **solid 70** ۷۲

۲-۱۷-۲ المان solid 185 ..... ۷۳

فصل سوم: نتایج و بحث ۷۵

۳-۱ مقدمه ۷٦

۳-۲ مدل عددی ۷۸

۳-۳ نتایج عددی توزیع دما ۸۳

٤-۳ نتایج عددی توزیع تنش در بلور ۸۵

٤-۳ نتایج عددی عدسی شدگی حرارتی ۹۳

۵-۳ نتیجه گیری ۹۷

پیشنهادها ۹۹

منابع ۱۰۰

فهرست جدول ها

جدول (۳-۱) مشخصات فیزیکی بلور **Nd:YLF** ۸۱

جدول (۳-۲) مشخصات ضرایب a و c و f بر حسب توان های دمشی مختلف برای حالت فعال..۹۵

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱) لیزر یاقوتی ساده..... ۸

شکل (۱-۲) نمای شماتیک یک کاواک لیزری..... ۹

شکل (۱-۳) عناصر تشکیل دهنده‌ی لیزر..... ۱۲

شکل (۱-٤) ترازهای انرژی برای نئودیمیم..... ۱۵

شکل (۱-۵-الف)-هندسه دمش کناری-عرضی..... ۲۳

شکل (۱-۵-ب)-هندسه دمش طولی..... ۲۳

شکل (۲-۱) نمایش نیروی وارد بر سطح..... ۳۱

شکل (۲-۲) نمایش تنش در دو راستا..... ۳۲

شکل(۲-۳) تغییر شکل جسم..... ۳۳

شکل (۲-٤) طول تغییر یافته $\Delta x'$..... ۳۵

(شکل۲-۵)گسسته سازی یک ناحیه به تعدادی اجزای محدود..... ٤۳

شکل (۲-٦ الف) یک میله یک بعدی با اتصال انگشتی..... ٤۵

شکل (۲-٦ ب) جزء محدود معادل..... ٤۵

شکل ۲-۷ (الف) میله پله‌دار ساده برای تحلیل..... ٤۹

شکل ۲-۷ (ب) مدل اجزای محدود..... ٤۹

شکل (۲-۸) جزء ساده دو بعدی..... ۵۲

شکل (۲-۹) شماره گذاری اجزا..... ۵٤

شکل (۲-۱۰) جزء ساده سه بعدی..... ۵٦

شکل (۲-۱۱ الف) شکل یک بعدی مسئله ۵۷

شکل (۲-۱۱ ب) شکل معادل جزء محدود ان..... ۵۷

شکل (۲-۱۲) انواع تقارن..... ٦۰

شکل (۲-۱۳) مثالی از یک مسئله با تقارت صفحه ای..... ٦١

شکل (۲-۱٤) نمونه ای از مسایل تقارن چرخه ای..... ٦٢

شکل (۲-۱۵) شکل اجزای اساسی..... ٦٢

شکل (۲-۱٦) تحلیل اجزای محدود یک پره خنک کننده که اثر افزایش تعداد اجزا را نشان می دهد.

..... ٦٣

شکل (۲-۱۷) تقریب زنی چند جمله ای در یک بعد..... ٦٤

شکل (۲-۱۸) اجزای یک بعدی و توابع میانیابی انها..... ٦٥

شکل (۲-۱۹) اجزای دو بعدی و توابع میانیابی انها..... ٦٥

شکل (۲-۲۰) مثال هایی از اجزای ساده،مرکب و چند تایی..... ٦٧

شکل (۲-۲۱) درجات ازادی لازم برای تعریف یک جزء دو بعدی برای مسایل تحلیل تنش..... ۷۰

شکل(۲-۲۲)، تقریب زنی توزیع تنش با استفاده اجزای با اندازه های مختلف و چگالی شبکه های

متفاوت..... ۷۱

شکل (۲-۲۳) شکل هندسی المان solid 70..... ۷۲

شکل (۲-۲٤) شکل هندسی المان solid 185..... ۷٤

شکل (۳-۱) نمای شماتیک بره **Nd:YLF** تحت دمش طولی..... ۷۹

شکل (۳-۲) تابش پرتو دمش از میان بره..... ۷۹

شکل(۳-۳) توزیع دما در امتداد محور y برای حالت فعال..... ۸٤

شکل(۳-٤) توزیع دما در امتداد محور **y** برای حالت غیر فعال..... ۸۵

شکل(۳-۵) توزیع تنش در امتداد y در سمت z=0.8 mm برای حالت فعال..... ۸٦

شکل (۳-٦) توزیع تنش در امتداد y در سمت z=0.8 mm برای حالت غیر فعال..... ۸٦

شکل (۳-۷) توزیع تنش در امتداد محور z بر روی سطح خننک کننده بره در حالت

فعال (**c-cut**)، حالت (۱)..... ۸۷

شکل(۳-۸) توزیع تنش در امتداد محور z بر روی سطح خننک کننده بره در حالت

غیر فعال (**c-cut**)، حالت (۱).....۸۷

شکل (۳-۹) توزیع تنش در امتداد محور z بر روی سطح خننک کننده بره در حالت

فعال (α-cut)، حالت (۲).....۸۹

شکل (۳-۱۰) توزیع تنش در امتداد محور z بر روی سطح خننک کننده بره در حالت

غیر فعال (**α-cut**)، حالت (۲).....۸۹

شکل (۳-۱۱) نمای شماتیک پروفایل دمایی بره برای حالت فعال.....۹۱

شکل (۳-۱۲) نمای شماتیک پروفایل دمایی بره برای حالت غیر فعال.....۹۱

شکل (۳-۱۳) نمای شماتیک پروفایل تنشی بره برای حالت فعال، حالت (۱).....۹۲

شکل (۳-۱٤) نمای شماتیک پروفایل تنشی بره برای حالت غیر فعال، حالت (۱).....۹۲

شکل (۳-۱۵) فیت شدن نمودار $T = ax^2 + c$ بر روی نمودار اصلی.....۹٦

شکل (۳-۱٦) نمودار توزیع فاصله کانونی بر حسب توان دمشی.....۹٦

مقدمه

لیزر این نور شگفت از نظر ماهیت هیچ تفاوتی با نور عادی نـدارد و خـواص فیزیکـی لیـزر، آنـرا از نورهای ایجاد شده از سایر منابع متمایز می‌سازد. از نخستین روزهـای تکنولـوژی لیـزر، بـه خـواص مشخصه آن پی برده شد. و ما بصورتی گزینشی به این خواص از ماهیت فرآیند لیزر می‌پـردازیم کـه خود این خواص بستری عظیم برای کاربردهای وسیع این پدیده، در علوم مختلف بخصوص صـنعت و پزشکی و ... ایجاد کرده است. به جرأت می‌توان گفت پیشرفت علوم بدون تکنولوژی لیـزر امکـان پذیر نیست. اولین لیزر حالت جامد که در ژوئن ۱۹۶۰ با موفقیت عمل کرد لیـزر یـاقوت بـود.مبـانی نظری لیزر را ابتدا آلبرت انیشتن در سال ۱۹۱۷ میلادی مطرح کرد. وی نظریه‌ی گسیل القایی را بیـان داشت و روابط مشهور جذب و نشر را به جهان ارائه نمـود. برپایـه‌ی ایـن تئـوری چهـل سـال بعـد پیشنهاد استفاده از گسیل القایی از یک سیستم با جمعیت معکـوس بـرای تقویـت امـواج میکروویـو توسط وبر[۱]، جوردون[۲]، زیگر[۳] و تاونز[۴] داده شد. اولین استفاده عملـی از چنـین تقویـت کننـده هـایی توسط گروه تاونز انجام شد. این گروه نام میزر[۵] را برای آن برگزیدند.

اولین میزر با استفاده از گذار میکروویو در مولکول های آمونیاک ساخته شد. در سـال ۱۹۶۰ مـیلادی میلمن[۶] موفق به ساخت لیزر پالسی یاقوت قرمز (ترکیبی از اکسید آلومینیوم خالص به همراه ۵ درصد اکسید کروم III) شد [۱]. اولین لیزر پیوسته کار (CW) که لیـزر گـازی هلیـوم نئـون بـود. در سـال ۱۹۶۱ میلادی توسط علی جوان در آزمایشگاه شرکت بل[۷] در آمریکا ساخته شد. کلمه لیزر در واقع از حروف نخست کلمات :

---

1 . Weber
2 . Gordon
3 . Ziger
4 .Towens
5 . MASER
6 . Mailman
7 . Bell

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

که به معنی تقویت نور توسط گسیل القایی تابش است، گرفته شده است.

فصل اول این پایاننامه به برخی از مفاهیم پایه‌ای و پرکاربرد مانند انواع لیزرها، انواع دمش، میزبان‌ها و آلائیدگی‌های بکار رفته در لیزهای حالت جامد و تار نوری معطوف شده است. برای رسیدن بـه یـک لیزر با توان بالا و مشخصات اپتیکی مناسب احتیاج به بررسی برخی از اثرات نامطلوبی داریم کـه در این لیزرها بوجود می‌آید. در لیزرهای حالت جامد در اثر دمش اپتیکی که باعث تولید گرمـا در مـاده فعال لیزر می‌شود و همچنین خنک‌سازی سطحی، گرادیان دمایی ایجاد می‌شود. این گرادیـان دمـایی باعث ایجاد اثرات ترمو- اپتیکی و ترمو- مکانیکی مختلفی مانند تنش حرارتـی مـی‌شـود کـه بطـور مستقیم بر عملکرد لیزرها و کیفیت باریکه خروجی آنها تاثیر گذار است. شناخت این عوامل و تلاش در جهت رفع آنها ما را به رسیدن به لیزرهای با توان‌های بالا و کیفیت باریکه خروجی بهتر رهنمـون می‌سازد. در فصل دوم به حل تابع توزیع حرارت، توزیع تنش و حل به طریـق روش اجـزاء محـدود خواهیم پرداخت.

در فصل سوم این پایاننامه اثرات حرارتی ایجاد شده در لیزر Nd:YLF با دمش طولی در توان‌هـای دمشی بالا مورد بررسی قرار داده و به حـل معادلـه حـرارت توسـط نـرم افـزار ANSYS خـواهیم پرداخت.

فصل اول

پایه های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱- لیزر[1] چیست؟

فرآیندهایی که در برهم کنش میان موج الکترومغناطیس با اتم رخ می‌دهد عبارت است از:

۱- گسیل خودبخود

۲- جذب

۳- گسیل القایی

چنانچه اتم و یا مولکول در تراز بالاتر E_2 واقع باشد و فوتونی با فرکانس ν با اتم برانگیخته وارد برهم کنش شود بطوریکه $h\nu = E_2 - E_1$ باشد، در این صورت احتمال معینی وجود خواهد داشت که اتم به تراز پایین‌تر فرو افت کند.

در نتیجه دو فوتون خواهیم داشت، فوتون القا کننده و فوتون القا شونده، که هر دو هم فاز هستند. در عین حال اگر اتم هایی در تراز E_1 باشند، می‌توانند با جذب اتم‌های فوق، برانگیخته شده و به تراز انرژی E_2 برسند [۲]، [۳].

چنانچه هدف بدست آوردن تابش همدوس باشد باید سعی شود که $N_2 >> N_1$ گردد، به عبارت دیگر تجمع معکوس رخ دهد. فرآیندی که طی آن تجمع معکوس صورت می‌گیرد، دمش می‌نامند.

وقتی که یک سیستم دو ترازی با محیط اطراف خود در حال تعادل گرمایی باشد، جمعیت تراز انرژی بالاتر N_j کمتر از جمعیت تراز N_i خواهد بود. با استفاده از فرآیند اشباع شدن می‌توان N_i را با N_j مساوی گردانید، بطوری که مقدار جذب به صفر تنزل یابد. چنانچه بتوان مقدار N_j را بیشتر از N_i نمود، اکثر اتم‌های سیستم که به حالت برانگیخته می‌روند، تمایل خواهند داشت که به حالت انرژی کمتر برگردند. بدیهی است که این تمایل بوسیله کوانتای تابش فرودی تشدید می‌گردد، بدین معنی که سیستم نه تنها فوتون فرودی را جذب نمی‌کند بلکه فوتون فرودی باعث سقوط الکترون برانگیخته

[1] laser

به حالت پایین‌تر و تابش دو فوتون می‌شود (فوتون مربوط به اتم برانگیخته به همراه فوتون فرودی)، تمام این فرآیندها تابش لیزر را بوجود می‌آورند [٤].

قرار دادن محیط بهره در یک مشدد نوری با انتهای آینه‌ای که تابش را در محیط تولید لیزر به عقب و جلو می‌فرستد، سبب افزایش گسیل القایی می‌شود. سپس تابش لیزر از طریق آینه‌ای نیمه شفاف، از یک انتهای کاواک به بیرون گسیل می‌گردد.

در سال ۱۹٦۰ میلادی تئودر مایمن[1] در کالیفرنیا اولین لیزر کامل را ساخت. در ساخت اولین لیزر از فِلَش لَمپ حالت جامد(لامپ کوارتز) استفاده شد که محیط واسطه آن کریستال رابی[2] بود که باعث بروز رنگ قرمز در طول موج ۷۹٤ نانو متر می شد. این لیزر بطور پالسی کار می کرد و این به خاطر داشتن دمش در تراز انرژی بود[۷].

۱-۱-۱- خواص نور لیزر

۱-۱-۱-۱ جهت‌بندی: نور لیزر چنانچه در محیط جذب نشود می‌تواند فواصل زیادی را طی کند بدون آنکه در واگرایی آن تغییر زیادی حاصل شود.

۱-۱-۱-۲ تکفام بودن: بهترین لیزر آن است که تک فرکانس باشد، یعنی تکرنگ باشد. (ولی به علت وجود پهن شدگی‌ها این امر امکان‌پذیر نیست). مشخصه بارز نور لیزر و خاصیتی که بیشترین ارتباط را با کاربردهای شیمیایی دارد، تکفامی اساسی آن است. این خاصیت از این حقیقت منشأ می‌گیرند که تمام فوتونها در اثر گذار بین دو تراز انرژی اتمی یا مولکولی مشابه، نشر می‌شوند و بنابراین تقریبا فرکانسهای دقیقا یکسانی دارند.

[1] Theodor H. Maiman
[2] Ruby

۱-۱-۱-۳ درخشایی: توان گسیل شده در واحد سطح عمودی در واحد زاویه فضایی می‌باشد. درخشایی لیزر چندین مرتبه از درخشایی درخشانترین چشمه‌های معمولی بیشتر است.

۱-۱-۱-٤ همدوسی: فوتون‌های لیزر به صورت هماهنگ و منظم حرکت می‌کنند و اگر به هر کدام یک فاز نسبت دهیم، اختلاف فاز برای این فوتون‌ها نزدیک صفر است. که نتیجه ماهیت فرآیند نشر القایی است [۳].

مقیاس زمانی که طی آن همبستگی فاز برقرار می‌ماند، به عنوان زمان همدوسی شناخته می‌شود. بنابراین دو نقطه در طول باریکه لیزر به فاصله‌ای کمتر از طول همدوسی ، باید فاز مرتبطی داشته باشند. طول همدوسی برای انواع مختلف لیزر متفاوت است.

۱-۱-۲ انواع لیزر

۱-۱-۲-۱ لیزر حالت جامد

در این نوع لیزر ، ماده فعال ایجاد کننده لیزر، یک یون فلزی است که با غلظت کم در شبکه یک بلور یا درون شیشه، به صورت ناخالصی قرار داده شده است.

اخیرا تحقیق روی لیزر حالت جامد با اندازه کوچک انجام گرفته است که در آن یون Nd^{3+} نه به عنوان یک ناخالصی با غلظت پایین، بلکه به عنوان یک جز متشکله اصلی برای آهنگ بالای تکرار یک یا عملیات CW بکار می‌رود. اگرچه در اکثر لیزرها طول موج می‌تواند فقط در محدوده یک درصد تغییر یابد، ولی اخیرا لیزرهای حالت جامد قابل تنظیم روی یک گسترده خیلی پهنتر نیز ساخته شده‌اند. لیزرهای قابل تنظیم حالت جامد در طیف سنجی‌های فیزیکی و شیمیایی بکار گرفته شده‌اند و کاربرد آنها تحول شگرفی را در طیف سنجی اتمها و مولکولها ایجاد کرده است. طیف سنجی رامانه و طیف سنجی پیکووفمتر ثانیه‌ای بیش از همه از وجود لیزرهای قابل تنظیم بهره برده‌اند [۵].

۱-۱-۲-۲ لیزر گازی

ماده فعال در این سیستمها یک گاز است که به صورت خالص یا همراه با گازهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی از این مواد عبارتنداز: نئون به همراه هلیوم (لیزر هلیم_نئون) ، دی اکسید کربن به همراه نیتروژن و هلیوم ، آرگون ، کریپتون، هگزا فلورئید و ...

۱-۱-۲-۳ لیزر مایع

از مایعات بکار رفته در این نوع لیزرها اغلب به منظور تغییر طول موج یک لیزر دیگر استفاده می‌شود. (اثر رامان[1]) بعضی از این مواد عبارتند از: تولوئن، بنزن و نیتروبنزن. گاهی محیط فعال برخی از این لیزرها را محلولهای برخی ترکیبات آلی رنگین از قبیل مایعاتی نظیر اتانول، متانول یا آب تشکیل می‌دهد. این رنگها اغلب جز رنگهای پلی‌متین یا رنگهای اگزانتین و یا رنگهای کومارین هستند .

۱-۱-۲-٤ لیزر نیم رسانا

این نوع لیزرها به لیزر دیود و یا لیزر تزریقی نیز معروفند نیم رساناها از دو ماده که یکی کمبود الکترون داشته ، (نیم رسانای نوع p) و دیگری الکترون اضافی دارد، (نیم رسانای نوع n) تشکیل شده‌اند. وقتی این دو به یکدیگر متصل می‌شوند، در محل اتصال ناحیه‌ای به نام منطقه اتصال n-p بوجود می اید. آن منطقه جایی است که عمل لیزر در آن روی می دهد. الکترونهای آزاد از ناحیه n و از طریق این منطقه به ناحیه p مهاجرت می‌کنند[٦].

[1] Raman Effect