

لیزر Nd:YAG

گزارش درس فیزیک لیزر
زمستان ۱۳۸۳

نام ارائه دهنده: محمد اولین چهارسوقی

نام استاد: دکتر ارشمید نهال

چکیده

هدف از این مقاله آشنایی کلی با لیزر Nd:YAG می‌باشد. لیزر Nd:YAG یکی از انواع لیزرهای حالت جامد است که امروزه کاربرد بسیار زیادی در صنعت و زندگی روزمره پیدا کرده است. در ابتدای این مقاله مفاهیم بنیادی لیزر و خواص کلی آن مطرح شده است. در این قسمت سعی شده است روی مفاهیمی که پایه‌ی لیزرهای حالت جامد، بخصوص Nd:YAG می‌باشند، بیشتر تاکید شود. بعد از این مرور، تاریخچه و مقدمه‌ای کوتاه از Nd:YAG مطرح شده است و پس از آن به سراغ ساختار داخلی و ترازهای انرژی آن می‌رویم. در نهایت مشخصه‌های YAG و بلور Nd:YAG در سطحی بالا مطرح شده است تا برای کسانی هم که در سطحی بالاتر با Nd:YAG کار می‌کنند مفید واقع شود. در انتها خلاصه‌ای از کاربردهای این لیزر آورده شده است.

اصول عملکرد لیزر

لیزر چگونه کار می‌کند؟

تولید نور لیزر به این بستگی دارد که چه میزان از اتم‌ها یا مولکول‌های تحریک شده به حالت پایه‌ی خود برگردند. در لیزر از سه پدیده‌ی اساسی که در هنگام برهمکنش نور با ماده می‌تواند رخ دهد استفاده می‌شود. این پدیده‌ها عبارتند از: جذب (absorption)، گسیل خودبه‌خودی (spontaneous emission)، و گسیل القایی (stimulated emission). این فرایندها با گذار فاز ترازهای انرژی همراه است. اینشتین مدلی را مطرح کرد که بوسیله‌ی آن دینامیک این گذارها را می‌توان بررسی کرد. ما از این مدل برای فهم چگونگی کارایی یک لیزر استفاده می‌کنیم.

سیستمی را با تعداد اتم‌های N_{total} که تنها دارای دو تراز الکترونی می‌باشد را در نظر بگیرید. یک تراز، تراز پایه‌ی الکترونی با انرژی E_1 می‌باشد و دیگری حالت برانگیخته‌ی الکترونی با انرژی E_2 می‌باشد. به طوری که در اینجا $E_2 > E_1$ می‌باشد. تعداد اتم‌ها در هر تراز به ترتیب عبارت است از N_1 و N_2 ، بنابراین $N_{total} = N_1 + N_2$.

جذب، گسیل خودبه‌خودی و گسیل القایی

اگر ما سیستم را در برابر فوتون‌هایی با فرکانس ν_{12} قرار دهیم، به طوری که $h\nu_{12} = E_2 - E_1$ ، در این صورت تعدادی از اتم‌ها نور را جذب می‌کنند و به حالت ۲ گذار انجام می‌دهند. اگر هیچ‌گونه مکانیزم برگشتن به تراز پایین‌تر وجود نداشته باشد، از آنجایی که $N_{total} = N_1 + N_2$ ، در این صورت نرخ رشد تراز برانگیخته منفی نرخ کاهش جمعیت تراز پایه است.

پس از مدت کوتاهی اتم‌های تراز برانگیخته از دو طریق می‌توانند به تراز پایه بروند؛ اتم‌ها می‌توانند به صورت خودبه‌خودی یک فوتون با انرژی $h\nu_{12}$ آزاد کنند و به تراز پایه بروند، که به این گسیل خودبه‌خودی می‌گوییم. میزان گسیل خودبه‌خودی به جمعیت تراز برانگیخته، $N_2(t)$ ، در زمان t بستگی دارد. هم‌چنین اینشتین پیشنهاد کرد که اگر اتم‌های برانگیخته را در معرض فوتون‌هایی با فرکانس ν_{12} قرار دهیم، باعث القای تابش اتم‌ها و رفتن به تراز پایه می‌شود. به این فرایند گسیل القایی می‌گویند. در این حالت فوتون برخوردی جذب نمی‌شود بلکه فوتون آزاد شده و منتشر می‌شود. در واقع بوسیله‌ی این فرایند نور را تقویت کرده‌ایم (تعداد فوتون‌ها از ۱ به ۲ رسیده است). در لیزر این فرایند بارها و بارها اتفاق می‌افتد و در نتیجه باعث تقویت بالایی در نور می‌شود.

میزان گسیل القایی به جمعیت تراز برانگیخته و شدت نور فرودی بستگی دارد. فوتون‌ساعت شده در گسیل القایی دارای انرژی و مسیر یکسان با فوتون ورودی است. زمانی که یک سیستم اتمی در معرض نور قرار می‌گیرد هر سه این فرایندها به طور همزمان اتفاق می‌افتد. نرخ کاهش و افزایش جمعیت تراز پایه و برانگیخته بوسیله‌ی جمع میزان تغییرات این سه فرایند به دست می‌آید.

وارونی جمعیت (population inversion)

در تعادل گرمایی جمعیت نسبی تراز برانگیخته و پایه بوسیله‌ی توزیع بولتزمن داده می‌شود.

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{\frac{E_2 - E_1}{K_B T}} = e^{\frac{h\nu_{12}}{K_B T}}$$

به طوری که K_B ثابت بولتزمن و T دما بر حسب کلین است. از آنجایی که $\frac{h\nu_{12}}{K_B T}$ یک کمیت مثبت است، در تعادل گرمایی می‌بایستی که N_2 از N_1 کمتر باشد. تحت این شرایط جسم به عنوان جذب کننده‌ی نور عمل می‌کند. اگر سیستم بخواهد که به عنوان یک لیزر عمل کند و نور را تقویت کند، فوتون‌های ورودی می‌بایستی که با احتمال بیشتری باعث گسیل القایی شوند تا اینکه بخواهند جذب شوند. در واقع نرخ گسیل القایی می‌بایستی که از نرخ جذب بیشتر باشد. برای اینکه یک لیزر عمل کند می‌بایستی که $N_2 > N_1$ باشد. این یک شرایط غیر تعادلی است که به آن وارونی جمعیت می‌گویند.

رسیدن به وارونی جمعیت

جمعیت حالت برانگیخته، $N_2(t)$ ، در $t \rightarrow \infty$ به یک حالت پایا می‌رسد. بیشترین مقدار اتم‌ها که می‌توانند در حالت برانگیخته باشند برابر است با $\frac{N_2}{N_{total}} < \frac{1}{2}$. بنابراین در یک سیستم دوتایی تعداد اتم‌ها در حالت برانگیخته هیچ‌گاه از حالت پایه تجاوز نمی‌کند. در یک سیستم سه ترازه جمعیت تراز دوم (N_2) بوسیله‌ی گسیل خودبه‌خودی از تراز ۳ به تراز ۲، گسیل خودبه‌خودی از تراز ۲ به تراز ۱، گسیل القایی از تراز ۳ به تراز ۲، و جذب از تراز ۲ به تراز ۳ مشخص می‌شود. در تعادل جمعیت هر تراز ثابت باقی می‌ماند و اگر میزان گسیل خودبه‌خودی از تراز ۲ به ۱ از گسیل خودبه‌خودی تراز ۳ به ۲ بیشتر باشد در این صورت N_2 می‌تواند از N_1 بزرگ‌تر باشد. بنابراین اگر اتم‌های تراز ۳ آرام‌تر به تراز ۲ بروند ولی اتم‌های تراز ۲ دو سریع‌تر به تراز ۱ بروند در این صورت امکان وقوع وارونی جمعیت بین ترازهای ۲ و ۳ امکان‌پذیر است.

ساختار دورن لیزر

یک لیزر از سه مولفه‌ی اساسی تشکیل شده است:

۱. محیط تقویت کننده که برای ایجاد وارونی جمعیت استفاده می‌شود.
۲. منبع پمپ که برای بردن محیط تقویت کننده به حالت برانگیخته استفاده می‌شود.
۳. کاواک برای نگه داشتن و ذخیره‌ی فوتون‌ها تا زمانی که وارونی جمعیت رخ دهد.

محیط تقویت کننده

محیط تقویت کننده می‌تواند جامد، مایع و گاز باشد. ضریبی که نور به واسطه‌ی محیط تقویت کننده تقویت می‌شود را بهره ($gain$) می‌گویند. مواد بسته به ساختار الکترونی‌شان در یک طول موج خاص و یا پهنای کوچکی از طول موج می‌توانند عمل تقویت را انجام

دهند. لیزرها عموماً از روی مشخصات محیط تقویت کننده‌ای که دارند طبقه‌بندی می‌شوند. بنابراین لیزرها را به طور کلی می‌توان به دسته‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

لیزرهای حالت جامد (*Solid – State lasers*): در این‌ها از کریستال که شامل ناخالصی است به عنوان محیط تقویت کننده استفاده می‌کنند. این ناخالصی‌ها می‌توانند از خانواده‌ی فلزات واسطه و یا عناصر خاکی باشند. *Nd:YAG* و *Semiconductor – Lasers* و *Titinum – Sapphire* از این دسته هستند.

لیزرهای مایع (*Liquid lasers*): در این مورد تیوب لیزر را با عناصر یا مولکول‌های مایع پر می‌کنند. معمول‌ترین محیط‌های مایع، محلول رنگدانه‌های آبی می‌باشند.

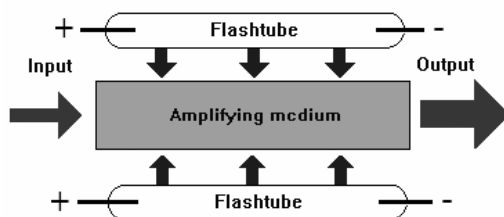
لیزرهای گازی (*Gas lasers*): محیط‌های تقویت کننده در لیزرهای گازی ممکن است اتم‌های گازی، یون‌های مثبت، اتم‌های فلزی و یا مولکول‌های خنثی باشند. لیزرهای *He:Ne* و *Argon – Ion – Laser* از این دسته هستند.

انواع روش‌های پمپ کردن

رسیدن به وارونی جمعیت مستلزم این است که انرژی به سیستم پمپ شود. این انرژی هم به صورت اپتیکی و هم به صورت الکتریکی می‌تواند تامین شود. برای یک حالت پایا باید به یک مقدار بحرانی از وارونی جمعیت برسیم. به این شرایط، شرایط *threshold* می‌گویند.

پمپ کردن با استفاده از روش اپتیکی

برای پمپ کردن می‌توان از منابع نوری شدید مانند لامپ زنون (*Xenon*) استفاده کرد. تخلیه‌ی الکتریکی ولتاژ بالا از طریق فلاش لامپ زنون باعث می‌شود که پالس شدید سفید رنگی را از خود ساعت کند. یک سری طول موج‌های این فلاش با مشخصه‌های جذبی محیط لیزر تطبیق دارند و در نتیجه جذب می‌شوند و رسیدن به وارونگی جمعیت را تسهیل می‌کنند. لامپ گرمای زیادی تولید می‌کند که می‌بایستی بوسیله‌ی آب خنک شود (شکل ۱). محیط‌های تقویت کننده‌ی حالت جامد مانند *Nd:YAG* تناسب خوبی با پمپ کردن به روش اپتیکی دارند و این روش برای آن‌ها مناسب است. منبع پمپ کننده ممکن است خود لیزر باشد (روشی که در لیزرهای *dye* استفاده می‌شود). لیزری که به روش اپتیکی پمپ شود بسته به طبیعت و ساختار منبع پمپ کننده می‌تواند امواج پیوسته و یا پالسی از خود ساعت کند.



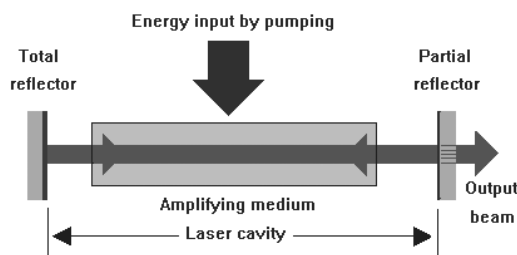
شکل ۱: پمپ به روش اپتیکی با استفاده از فلاش لامپ

پمپ کردن به روش الکتریکی

در این روش یک جریان ولتاژ بالا را مستقیماً از دورن گاز عبور می‌دهند. در حین تخلیه الکتریکی یون‌ها و الکترون‌های آزادی تولید می‌شوند که از میدان اعمال شده انرژی جنبشی کسب می‌کنند و از طریق برخورد می‌توانند باعث برانگیخته شدن ذرات خنثی شوند. از این روش در لیزرهای گازی استفاده می‌کنند.

کاواک لیزر

در لیزر محیط تقویت کننده بین دو آینه قرار دارد که کاواک را تشکیل می‌دهند. نوری که از محیط پمپ شده می‌آید به آینه می‌رسد و برمی‌گردد و باعث افزایش گسیل القایی در یک جهت می‌شود. فوتون‌ها چندین بار در کاواک رفت و برگشت دارند و در هر رفت و برگشت تقویت می‌شوند. یکی از آینه‌ها (*total – reflector*) تمامی نور تابیده شده را بر می‌گرداند در حالی که آینه‌ی دیگر (*partial – reflector*) که به آن *coupler* هم می‌گویند قسمتی را برمی‌گرداند و قسمتی را هم که خروجی لیزر است از خود عبور می‌دهد. محیط تقویت کننده، منبع پمپاژ و کاواک یک لیزر ساده را تشکیل می‌دهند (شکل ۲).



شکل ۲: شکل ساده شده‌ی یک لیزر

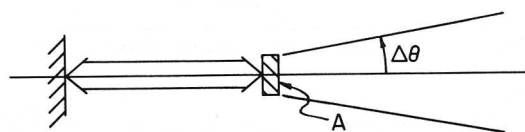
مشخصه‌های نور لیزر

جهت‌مندی (*Directionality*):

خروجی لیزر را می‌توان با تقریب خوبی جبهه موج‌های تخت در نظر گرفت. طول موج λ و مساحت روزنه‌ی لیزر، A ، برای ما اندازه‌ی زاویه‌ی فضایی، $\Delta\Omega$ ، و زاویه‌ی رأس واگرایی لیزر را از طریق رابطه‌ی زیر مشخص می‌سازند:

$$\Delta\Omega \approx \frac{\lambda^2}{A} \approx (\Delta\theta)^2$$

اگر طول موج λ در بازه‌ی اپتیکی باشد می‌بینید که زاویه‌ی واگرایی خیلی کوچکی را به ما خواهد داد.



شکل ۳: واگرایی زاویه‌ای $\Delta\theta$ در آینه‌ی خروجی [۴].

درخشندگی (Brightness):

لیزرها عموماً درخشندگی بسیار بالایی دارند. درخشندگی به صورت توان در واحد سطح در واحد زاویه‌ی فضایی تعریف می‌شود. علت عمده‌ی این مسئله جهت‌مندی نور لیزر می‌باشد. توان لیزر به منبع پمپاژ و اندازه‌ی فیزیکی تقویت کننده بستگی دارد. بالا بردن توان لیزر محدود به مسایل گرمایی است. اندازه‌ی فیزیکی سیستم محدود به اندازه‌ای است که ما بتوانیم کریستال لیزر را رشد دهیم.

دوره‌ی زمانی پالس:

یک سری از لیزرها امواج پیوسته ساطع می‌کنند و یک سری دیگر از لیزرها امواج پالسی و منقطع از خود ساطع می‌کنند. کمینه پهنای پالس، δt ، که قابل دسترس باشد، به دلیل اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، محدود به پهنای فرکانسی، $\delta \nu$ ، است.

$$\delta E \times \delta t \sim h / 2\pi \sim 10^{-34} Js$$

$$\delta \nu = \delta E / h \sim (1/2\pi) \delta t$$

در واقع پهنای باند فرکانسی در حدود عکس کمینه‌ی بازه‌ی پالس می‌باشد. به δt زمان همبستگی لیزر می‌گویند.

تک رنگی:

طول موج لیزر به فرکانس رزونانس کاواک بستگی دارد. ابعاد کاواک که اغلب در حدود چند ۱۰ سانتی‌متر است، خیلی بزرگ‌تر از طول موج لیزر می‌باشد (که در حدود ۱ میکرون است). بنابراین فوتونها با طول موج‌های متفاوتی می‌توانند در کاواک وجود داشته باشند و با هم تداخل انجام دهند. اغلب طول موج‌ها با چند بار رفت و برگشت در کاواک دچار تداخل ویران‌گر می‌شوند. کاواک تنها طول موج‌هایی را تقویت می‌کند که در رابطه‌ی زیر که شرایط رزونانس است صدق کند.

$$L = N\lambda/2$$

L طول کاواک، N عدد صحیح، و λ طول موج می‌باشد. به این طول موج‌ها مدهای رزونانس می‌گویند و تنها طول موج‌هایی هستند که تقویت می‌شوند و در خروجی لیزر وجود دارند.

همدوسی:

برای هر موج الکترومغناطیسی می‌توان دو مفهوم مستقل همدوسی، یعنی همدوسی فضایی و همدوسی زمانی تعریف کرد. برای تعریف همدوسی فضایی، دو نقطه‌ی P_1 و P_2 را که در لحظه‌ی $t=0$ روی جبهه‌ی موج یک موج الکترومغناطیسی قرار دارند در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که $E_1(t)$ و $E_2(t)$ میدان‌های الکتریکی متناظر در آن دو نقطه باشند. بنابر تعریف، اختلاف فاز دو میدان در لحظه‌ی $t=0$ ، صفر است. اگر این اختلاف در لحظه‌ی $t>0$ ، صفر باقی بماند می‌گوییم بین دو نقطه یک همدوسی کامل برقرار است. حال برای تعریف همدوسی زمانی میدان الکتریکی را در دو لحظه‌ی t و $t+\tau$ در نقطه‌ی P در نظر می‌گیریم. اگر در زمان تاخیر τ ، اختلاف فاز دو میدان در هر لحظه‌ی t یکسان باقی بماند، می‌گوییم در مدت زمان τ همدوسی زمانی وجود دارد.

مقدمه‌ای بر Nd:YAG

Yttrium Aluminum Garnet (YAG)، با فرمول شیمیایی $Y_3Al_5O_{12}$ بیشترین نوع لیزری است که ساخته و مورد استفاده قرار می‌گیرد و امروزه در اجزا و مواد اپتیکی نیز استفاده می‌شود. کریستال YAG یک بلور مرکب پایدار می‌باشد. این بلور از لحاظ مکانیکی محکم، از لحاظ فیزیکی سخت و از لحاظ اپتیکی همگن و همسانگرد می‌باشد. این بلور بین ۳۰۰ نانومتر تا ۴ میکرون شفاف می‌باشد. بلور YAG می‌تواند یون‌های سه ظرفیتی فلزات واسطه و یا عناصر خاکی را به عنوان ناخالصی بپذیرد.

رشد کریستال YAG در ابتدا در اواخر ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ در مناطق مختلفی از جمله *National Lead Company*، *Bell Telephone Laboratory*، *the Linde Company* آغاز شد. بودجه‌ی اولیه‌ی مورد نیاز برای ساخت و رشد این کریستال از طریق بودجه‌های تحقیقاتی داخلی این شرکت‌ها و همچنین از طریق وزارت دفاع تامین می‌شد. اولین گزارش از انجام عمل لیزینگ با این نوع بلور که در آن از عنصر خاکی *Neodymium* (Nd^{3+}) به عنوان ناخالصی استفاده کرده بودند از آزمایشگاه *Bell* در سال ۱۹۶۴ بود.

لیزرهای حالت جامد

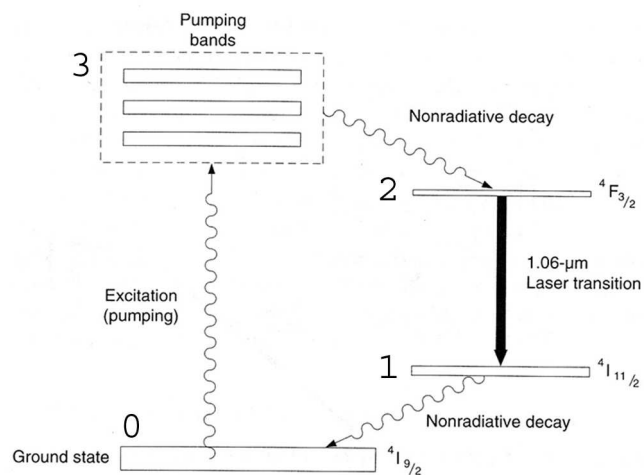
لیزرهای حالت جامد به آن لیزرهایی گفته می‌شود که محیط فعال آن‌ها شامل ناخالصی‌هایی است در محیط میزبان (بلور یا شیشه). در لیزرهای حالت جامد معمولاً ناخالصی‌های یونی را وارد یک بلور می‌کنند. ناخالصی‌های یونی که به عنوان محیط فعال عمل می‌کنند به خانواده‌ی فلزات واسطه (Ni^{2+} ، Co^{2+} یا Cr^{3+}) و یا خاکی (مثل Nd^{3+} یا Er^{3+}) در جدول عناصر تعلق دارند.

لیزر Nd:YAG

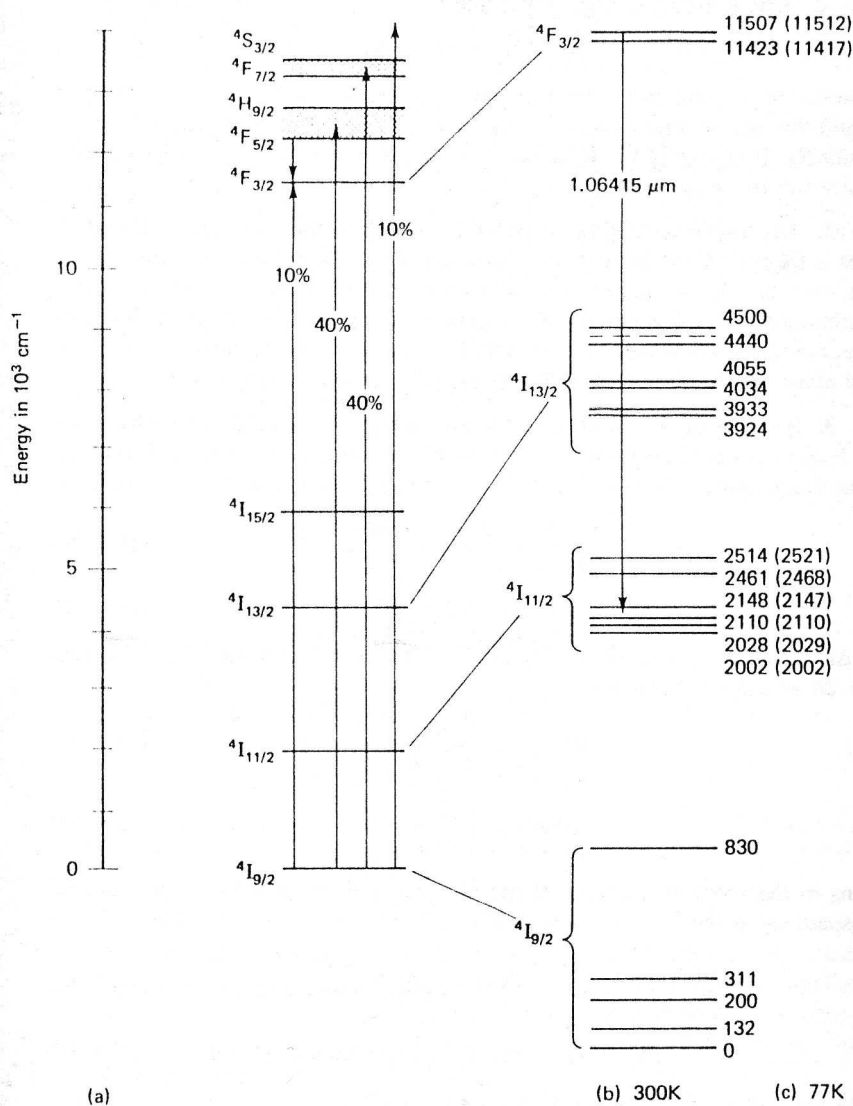
در لیزر $Nd:YAG$ از غلظت بسیار پایین Nd در $Y_3Al_5O_{12}$ استفاده می‌شود. رشد بلور بسیار کند انجام می‌گیرد (حدود ۰.۵ میلی‌متر در ساعت)، بدین سبب برای رشد بلورهای معمولی به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر چند هفته وقت صرف می‌شود. سیستم لیزرهای $Nd:YAG$ به صورت چهار تراز است که در شکل ۴ نشان داده شده است.

عمل لیزر بین تراز بالایی لیزر (۲) و تراز زیرین (۱) در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر صورت می‌گیرد. در این شکل تراز ۳، تراز پمپاژ فرض می‌شود و عمل پمپ کردن بوسیله‌ی لامپ‌های زنون انجام می‌گیرد. بازدهی این لیزر معمولاً ۲ درصد است.

عمل لیزر در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر در واقع به گذار $Nd^3 F_{7/2} \rightarrow {}^4 I_{11/2}$ در بلور YAG تعلق دارد. سطح مقطع این گذار به طور عمده نسبت به سایر گذارهایی که در شکل ۵ نشان داده شده است، بسیار بزرگ‌تر است. به این سبب است که در شرایط عادی عمل لیزر در گذار فوق صورت می‌گیرد.



شکل ۴: ترازهای انرژی برای بلور Nd:YAG [۲].



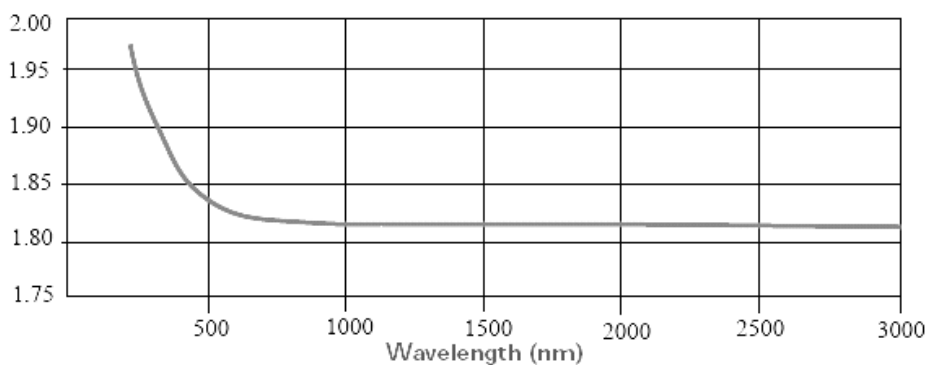
شکل ۵: ترازهای انرژی برای Nd در YAG. (a) ساختار YAG. درصدها بیانگر پمپاژ با پهنای طیف مربوطه در خروجی می‌باشد. (b) جزییات گذارها در ۳۰۰ درجهی کلوین که گذار غالب را نشان میدهد. (c) ترازهای انرژی در ۷۷ درجهی کلوین [۲].

خواص اپتیکی	
Refractive Index	۱.۸۱۶۹ at ۱۰۶۴ nm
Primary Diode Pump Band	۸۰۸.۶ nm
Fluorescence Lifetime	۲۳۰ μs @ ۱.۰% Nd

خواص گرمایی	
Thermal Conductivity (۲۰ °C)	۰.۱۲۹ W/cm.K
Specific heat	۰.۵۹ J/g.K
Linear Expansion Coefficient	$۸.۲ \times 10^{-6} / K <۱۰۰>$
	$۷.۷ \times 10^{-6} / K <۱۱۰>$
	$۷.۸ \times 10^{-6} / K <۱۱۱>$
Nonlinear Index	$۳ \times 10^{-۱۳} esu$
Dissipative Fracture Limit	۱۷۵-۲۰۰ W/cm
dn/dt	$+۸.۹ \times 10^{-6} K^{-۱}$

خواص فیزیکی	
No Doping Level	۰.۲ to ۱.۴% atomic
Chemical Formula	$Y_{۳-x}Nd_xAl_5O_{۱۲}$
Molecular Weight	۵۹۵.۳ g/mole
Crystal Structure	Cubic / garnet
Lattice Constant	۱۲.۰۱ Å
Melting Point	۱۹۷۰ C
Density	۴.۵۵ gm/cm ^۳
Knoop Hardness	۱۳۵۰ +/− ۳۵ Kg/mm ^۲

خواص مکانیکی	
Young's Modulus	۲۸۲ GPa ($۴۵ \times ۱۰^۶ psi$)
Tensile Strength	۲۸۰ MPa
Poisson's Ratio	۰.۲۸



شکل ۵: ضریب شکست Nd:YAG، n [۱].

مشخصه‌های بلور Nd:YAG [۱.۸]

Nd Concentrations Available ۰.۲ to ۱.۴%

ابعاد استاندارد میله

- Diameter ۰.۵ mm to ۱۵.۰ mm
- Length ۱.۰ mm to ۲۲۰.۰ mm
- Slabs Miniature to large configurations

مشخصات میله‌ی لیزر

Transmitted Wave front Standard Grade Premium Grade
(Per inch of rod length) $\lambda/8$ $\lambda/20$

- Extinction Ratio Greater than ۲۵ db
- Surface Quality ۱۰/۵
- Clear Aperture ۹۵%
- Parallelism <۱۰ arc seconds
- Perpendicularity <۵ minutes
- Surface Flatness $\lambda/10$ @ ۶۳۲.۸ nm
- Barrel Finish Ground or Polished
- Chamfer ۰.۱۳+/-۰.۰۸ mm@۴۵°
- Diameter Tolerance +۰.۰۰/-۰.۰۲۵ mm
- Length Tolerance +/- ۰.۵ mm

پیکربندی‌های مختلف

- Flat/Parallel
- Tilt Ends
- Radius Ends
- Brewster/Brewster Ends
- Slab Design
- Polished and Grooved Barrels
- Diode Pumped Mini-rods
- Custom Geometries

Thin Film Coatings

- AR/AR at ۱۰۶۴ nm, R < ۰.۱۵ %
Damage Threshold >۲۰ J/cm^۲, ۱۰ ns pulse
- Dichroics, HR ۱۰۶۴ nm >۹۹.۸%/R, HT ۸۰۸ nm >۹۵.۰%
Damage Threshold >۲۰ J/cm^۲, ۱۰ ns pulse
- Partially Reflecting
- Custom Designed Available

ضریب شکست و طول موج بازتاب برای YAG (nm)

	n	R
۲۶۶	۱.۹۲۷۸	۰.۱۰۰۴
۳۵۴	۱.۸۷۲۵	۰.۰۹۲۳
۵۳۲	۱.۸۳۶۸	۰.۰۸۷۰
۸۰۸	۱.۸۲۱۷	۰.۰۸۴۸
۹۶۴	۱.۸۱۷۳	۰.۰۸۴۳
۱۰۳۰	۱.۸۱۷۳	۰.۰۸۴۲
۱۰۶۴	۱.۸۱۶۹	۰.۰۸۴۱
۱۳۳۳	۱.۸۱۴۶	۰.۰۸۳۸
۱۴۴۴	۱.۸۱۴۰	۰.۰۸۳۷
۱۵۰۰	۱.۸۱۳۷	۰.۰۸۳۶
۱۶۴۰	۱.۸۱۳۲	۰.۰۸۳۶
۲۰۱۴	۱.۸۱۲۳	۰.۰۸۳۴
۲۰۹۷	۱.۸۱۲۱	۰.۰۸۳۴
۲۱۲۳	۱.۸۱۲۱	۰.۰۸۳۴
۲۹۴۰	۱.۸۱۱۳	۰.۰۸۳۳

طیف سنجی لیزر [۸]

$F_{r/2} \rightarrow I_{11/2}$ ترازهای گذار اشتراک
شدت خروجی یکه شده طول موج گذار (نانومتر)

۱۰۵۲.۱	۰.۳۰۰
۱۰۵۴.۹	۰.۰۱۸
۱۰۶۱.۵	۰.۶۲۷
۱۰۶۴.۱	۱.۰۰۰
۱۰۶۴.۶	۰.۴۱۸
۱۰۶۸.۲	۰.۲۶۷
۱۰۷۳.۷	۰.۵۱۵
۱۰۷۷.۹	۰.۳۶۳
۱۱۰۵.۵	۰.۱۱۴
۱۱۱۱.۹	۰.۲۳۳
۱۱۱۵.۸	۰.۲۷۹

$F_{r/2} \rightarrow I_{13/2}$ ترازهای گذار اشتراک

۱۳۱۸.۷	۰.۱۴۴
۱۳۲۰.۳	۰.۰۴۸
۱۳۳۳.۵	۰.۰۵۷
۱۳۳۸.۱	۰.۱۹۱
۱۳۴۱.۹	۰.۰۹۴
۱۳۵۳.۳	۰.۰۴۹
۱۳۵۷.۲	۰.۱۶۸
۱۴۱۵.۰	۰.۰۷۸
۱۴۲۷.۱	۰.۰۲۲
۱۴۳۲.۰	۰.۰۵۲

کاربردهای لیزر Nd: YAG

پردازش مواد: سوراخ کاری، جوش کاری، علامت گذاری بوسیله ی لیزر

کاربرد الکترونیکی: اصلاح کردن رثوستا و مقاومتها، تعمیر حافظهها، تولید و تعمیر مواد نیمه هادی

کاربرد در پزشکی: برش غشاء، عملهای مختلف مانند عمل کیسه صفرا و عمل آب مروارید، دستکاری سلولهای زیستی بوسیله ی

انبرک نوری و ...

کاربردهای نظامی: هدف یابی و تخمین برد و فاصله و ...

و دیگر کاربردها: این لیزر هم می تواند موج پالسی و هم می تواند موج پیوسته ایجاد کند، بنابراین در هر دو زمینه می توان از این

لیزر استفاده کرد. همچنین از مدل های پالسی توان بالای آن برای تولید اشعه ی X استفاده می کنند.

Abstract

The goal of this article is about one of the solid state lasers, Nd:YAG. We begin with explaining the principles on which lasers operate and what constitutes a practical laser source. In this part we focused on principles related to Nd:YAG lasers. After that, a short history of Nd:YAG are explained. Then structure and energy levels are investigated. We tried to cover Nd:YAG specifications and properties in a high level. At the end applications of these kind of lasers are explained.

