بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده فیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک اتمی مولکولی

بررسی اثرهای گرمایی بر روی لیزر ND:YAG با دمش از پهلو

استاد راهنما : دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور : دکتر علیرضا کشاورز

پژوهش و نگارش : مسلم گودرزی

مهرماه 1388

تقدیم به پدر مهربان

و مادر دلسوزم

.

.

.

.

.

و

برداران و خواهران بزرگوارم.

قدردانی و تشکر

پس از حمد و سپاس پروردگار متعال که بدون عنایت او هیچ توفیقی دستیافتنی نیست بر خود لازم می-دانم بپاس راهنماییها و شکیباییهای بیدریغ استاد بزرگوار و مهربانم جناب آقای دکتر محسن حاتمی که طی طریق این تحقیق را مرهون زحمات دلسوزانه و بیشائبه‌ی ایشان می‌دانم کمال قدردانی و تشکر را داشته باشم. همچنین از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر علی رضا کشاورز که زحمت راهنمایی و مشاوره‌ی این پژوهش را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر کنم. در اینجا بر خود واجب می‌دانم که از جناب آقایان دکتر عباس بهجت و دکتر غضنفر میرجلیلی به خاطر قبول داوری این پایان‌نامه کمال تشکر را داشته باشم. همچنین از دوستان عزیزم فرزاد الماسی ، احسان حسین پور، محمد نریمانی و علی روشن به خاطر حضورشان بی‌نهایت سپاسگزاری می‌کنم. از همکلاسی‌های عزیزم سجاد روانخواه ، فرشید افتخاری ، علی پادرگانی ، علی هدایت الهی ، امید عباسی ، محمد رضا خلت ، علی امین ، رسول شریفی و بقیه‌ی دوستانی که اسمشان را به خاطر ندارم تقدیر و تشکر می‌کنم. لازم می‌دانم یادی کنم از دوستان دوران تحصیلم علی شیخ محسنی، محمد رضا نصیب، مازیار زارع‌پور، مرتضی کریم‌آبادی، حسین حیدری، مجتبی محمدی، محمد حیدری و همچنین برادران بزرگوارم جناب آقایان حجت الله حسنی ، اردشیر بازدار و قهرمان محمدی که زحمات روزهای آخر پایان نامه بر دوش این عزیزان بود بینهایت تشکر کنم.و در پایان از الطاف همیشگی خانواده‌ام که در این راه بسیاردشوار یارایم بودند سپاسگزاری می‌کنم. امیدوارم خداوند توفیق جبران قطره‌ای هر چند ناچیز از مهربانیهایشان را به من عطا کند. آمین.

چکیده

لیزرهای توان بالا با ویژگی‌های طیفی و مدی عالی برای تحقیقات در زمینه‌های اپتیک کوانتومی، اپتیک غیرخطی و تداخل سنجی و همچنین کاربردهایی در زمینه مسایل حساس و دقیق در پزشکی، نظامی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای آن‌که با افزایش توان لیزری کیفیت پرتو خروجی افت پیدا نکند باید به اختلالات ناشی از ناهنجاری‌های ترمو– اپتیکی و اپتیک غیرخطی توجه کرد. برای کاربردهایی که کیفیت پرتو خروجی مهم نیست می‌توان از پدیده‌های گرمایی صرف‌نظر کرد، ولی در کاربردهایی همچون مشاهده‌ی تداخل امواج گرانشی که کیفیت پرتو خروجی اهمیت دارد، بررسی این پدیده‌ها ضرروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش بررسی اثرهای گرمایی در لیزر Nd:YAG مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از نرم‌افزار مطلب، پروفایل‌های دمش گوسی و سوپرگوسی را شبیه‌سازی کرده و توزیع دمش را در لیزر بدست آورده‌ایم. سپس با روش تحلیلی با بدست آوردن توزیع دما، اثرهای گرمایی شامل گرادیان ضریب شکست، تنش گرمایی و اثر انتهایی را برای یک لیزر Nd:YAG که توسط چهار دیود لیزر به صورت همگن پمپ می‌شود بدست آورده‌ایم.

فهرست مندرجات

1 **لیزرهای حالت جامد** 1

1.1 مقدمه 2

2.1 تاریخچه‌ی لیزرهای حالت جامد 3

3.1 ماده‌ی فعال لیزرهای حات جامد 6

1.3.1 ماده‌ی میزبان لیزری 7

2.3.1 یون‌های فعال 9

3.3.1 کریستال لیزری Nd:YAG 9

4.1 پروفایل دمش 13

1.4.1 پروفایل دمش همگن 13

2.4.1 پروفایل دمش تاپ – هت 14

3.4.1 پروفایل دمش گوسی 15

1.4.1 پروفایل دمش سوپر گوسی 16

5.1 دمش لیزرهای حالت جامد 17

1.5.1 دمش اپتیکی 18

1.1.5.1 انواع دمش اپتیکی 18

2.1.5.1 دمش با لامپ درخش 19

2.1.5.1 دمش دیودی 19

2.1.5.1 دمش دیودی طولی 20

2.1.5.1 دمش دیودی عرضی 20

6.1 نتیجه‌گیری 21

2 **اثرهای گرمایی در لیزرهای حالت جامد** 22

1.2 مقدمه 23
2.2 دلایل ایجاد گرما درون ماده‌ی لیزری و عوامل موثر بر آنها 23
3.2 وابستگی دمایی تغییرات ضریب شکست و اثر $\frac{dn}{dT}$ 28
4.2 اثر انتهایی 29
5.2 استرس گرمایی القائی 30
6.2 نتیجه‌گیری 32
3 شبیه‌سازی توزیع شدت پرتو دمشی درون کریستال لیزری 34
1.3 مقدمه 35
2.3 توزیع شدت 35
3.3 شبیه‌سازی توزیع شدت برای ساختار چهارتایی 37
4.3 شبیه‌سازی توزیع شدت برای ساختار شش‌تایی 49
5.3 نتیجه‌گیری 59
4 توزیع دما و اثرهای گرمایی 60
1.4 مقدمه 61
2.4 تابع توزیع دما برای دمش همگن 61
1.2.4 پیدا کردن ثابتها از شرایط مرزی 67
1.1.2.4 پیوستگی دما بر روی مرز 67
2.1.2.4 پیوستگی گرادیان دما بر روی مرز 68
3.1.2.4 شرط سرمایش نیوتن 69
2.2.4 اثر $\frac{dn}{dT}$ 71
3.2.4 اثر انتهایی 72
4.2.4 اثر دوشکستی 73

3.4 اعمال نتایج برای Nd:YAG 74
6.4 نتیجه‌گیری 77
5 بحث و نتیجه‌گیری 78
1.5 نتیجه‌گیری 79
2.5 محاسن محاسبات 83
3.5 معایب محاسبات 83
1.4 پیشنهاد برای کارهای آینده 83
6 مراجع 85

فصل اول

لیزرهای حالت جامد

1.1 مقدمه

لیزرهای حالت جامد به لیزرهایی اطلاق می‌گردد که ماده‌ی فعال لیزری در آنها جامد باشد. لیزرهای نیمه هادی هرچند دارای ماده‌ی فعال جامد هستند، اما چون دارای دمشی متفاوت با لیزرهای حالت جامد هستند در یک کلاس جداگانه دسته‌بندی می‌شوند. ماده‌ی فعال لیزرهای حالت جامد شامل شیشه‌ها و کریستال‌های بلورین به عنوان ماده‌ی میزبان که ناخالصی‌هایی نظیر خاک‌های کمیاب، یون‌های فلزات واسطه و غیره به عنوان ناخالصی به آنها اضافه می‌شوند. خیلی از ناخالصی‌ها از یون‌های عناصر خاکی کمیاب هستند. به خاطر اینکه حالت برانگیخته‌ی اینچنین یون‌هایی به طور شدید با نوسانات گرمایی شبکه بلوری کریستال (فونون‌ها) جفت نشده‌اند، بنابراین آستانه‌ی لیزری به طور نسبی با انرژی کمتری حاصل می‌شود. در لیزرهای حالت جامد یون‌های ناخالصی تزریق شده به عنوان ماده‌ی فعال لیزری عمل می‌کنند. در بیشتر لیزرهای حالت جامد تعدادی از یون‌های ماده‌ی فعال جایگزین تعدادی از یون‌های میزبان می‌شوند. معمولا این یون‌ها شامل یون‌های عناصر خاکی کمیاب مثل Yb^{+3}، Er^{+3}، Nd^{+3} و ...و یون‌های فلزات واسطه نظیر Cr^{+3}، Nr^{3+} و ... و یون‌های اکتانیدها مثل U^{+3} هستند.

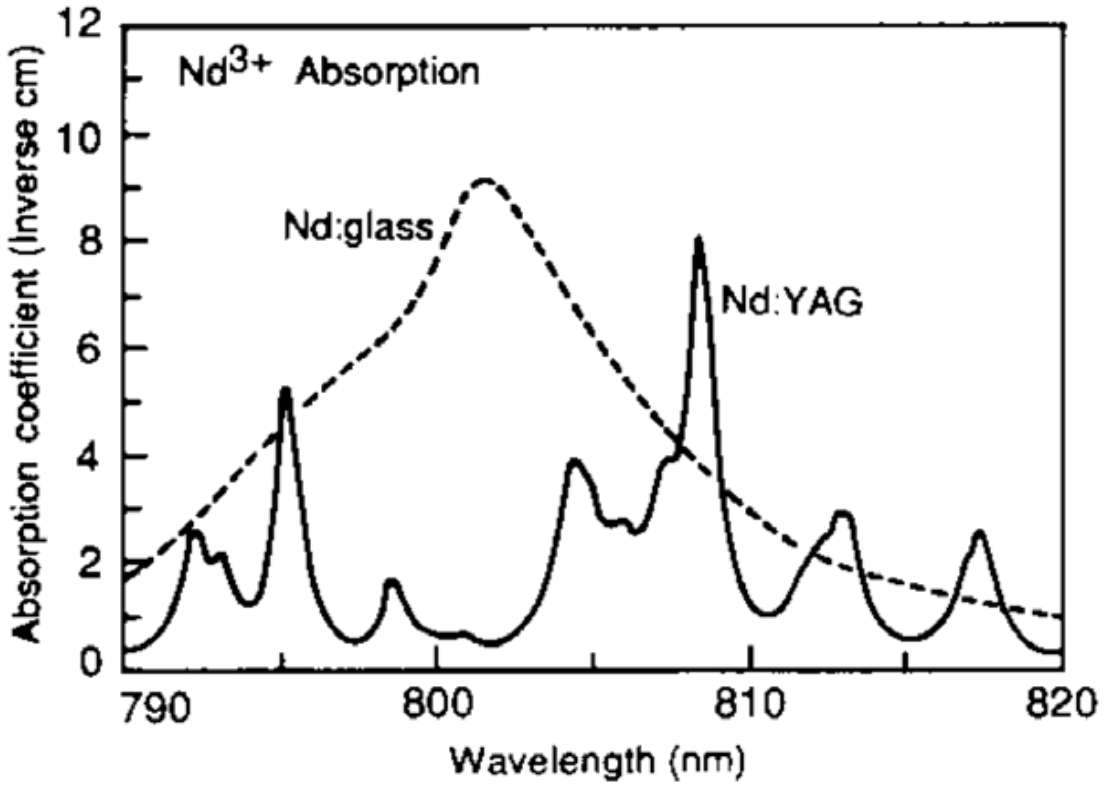
گذارهایی که در عمل لیزر شرکت می‌کنند متعلق به لایه‌های داخلی پر نشده‌اند. بنابراین تحت تاثیر میدان بلور واقع نمی‌شوند و کاملا تیزند. یعنی τ (زمان واهلش از تراز بالاتر به تراز پایین تر) بزرگ دارند، در نتیجه آهنگ دمش آستانه برای چنین لیزرهایی پایین است. ماده‌ی فعال در لیزرها باید دارای خواصی همچون سختی، بی اثر بودن از لحاظ شیمیایی، عدم وجود تنش درونی و تغییر در ضریب شکست و نیز به‌سادگی قابل تهیه باشند. کارایی،

پایداری و امکان دستیابی به توان‌های بالا باعث شده که لیزرهای حالت جامد از اهمیت بالاتری نسبت به سایر لیزرها برخوردار شوند. لیزرهای حالت جامد به صورت پیوسته (Cw) ، شبه پیوسته (QCW) و پالسی عمل می‌کنند. در دمش لیزرهای حالت جامد بیشتر از لیزرهای نیمرسانا استفاده می‌کنند. چرا که طیف گسیلی لیزرهای نیمرسانا با باند جذبی بلورهای لیزری همخوانی خوبی دارند. بنابراین پرتو دمش به طور موثرتری در عمل لیزر و ایجاد جمعیت معکوس شرکت می‌کنند. ولی لامپ‌های درخش به علت پهنای بسیار بزرگ طیفی آنها پرتو دمش به طور موثری نمی‌توانند در ایجادجمعیت معکوس شرکت کنند. یکی از محاسن استفاده از لیزرهای نیمرسانا برای دمش لیزرهای حالت جامد کاهش مقدار گرمایی است که در بلور ایجاد می‌شود. این ناشی از همخوانی خوب طیف گسیلی لیزرهای نیمه رسانا با باند جذبی بلورهای حالت جامد می‌باشد.

2.1 تاریخچه‌ی لیزرهای حالت جامد

در سال 1960 میلادی برای اولین بار Newman از لیزرهای نیمرسانا برای دمش لیزرهای حالت جامد استفاده کرد[۱]. او متوجه شد که تابشی نزدیک 808 نانومتر از نیمرسانای GaAs می‌تواند فلوئورسانی با طول موج 1/06 میکرون از ماده‌ی Nd:CaWO4 بدست آورد. مدت کوتاهی بعد از او Keyes و Quist اولین لیزر حالت جامد را توسط اولین دیود GaAS توصیف کردند[2]. بعد از این کارهای اولیه توجه طراحان لیرز به مواد لیزری نظیر یون

Nd^{+3} جلب شد. زیرا این یون جذب بسار بالایی در طول موج‌های گسیلی از نمیرساناها و لیزرهای نیمرسانی GaAs ، GaAlAs و GaAsP دارد .در شکل (1-1) طیف جذبی دو ماده‌ی مختلف که Nd^{+3} در آن تزریق شده است را مشاهده می‌کنیم.



شکل (1-1) : طیف جذبی دو ماده‌ی لیزری که Nd^{+3} در آنها تزریق شدن است [3]

Ross اولین دمش دیود لیزری Nd:YAG را که به وسیله‌ی دیود لیزر GaAs با دمش انتهایی شروع به کار می‌کرد را شرح داد [4]. تحقیقات زیادی در زمینه‌ی دمش دیودی لیزر Nd:YAG در دمای اتاق [5و6] و نزدیک به آن [7و8] انجام شده است. همچنین کار بر روی لیزر Nd:YAG با دمش انتهایی در کارهای Union Soviet انجام شده است [9-13]. برای حل معادله‌ی رسانش گرمایی برای دمش پیوسته و پالسی بر روی میله‌های لیزری استوانه‌ای

بـــا دمـــش انتهـــایی یـــک راه حـــل تحلیلـــی توســـط Farrukh ارائـــه شـــد [14]. در مقالـــه-ی ایشان شرایط مرزی همرفتی پایه و اساس کار بود.

در کارهـــــای پژوهشـــــی Tidewell [15] از مشـــــتقات z در معادلـــــه‌ی رســـــانش گرمـــایی صـــرف‌نظـــر شـــد و یـــک توزیـــع دمـــایی کـــاملا لگـــاریتمی بـــه دســـت آمـــد. بـــه دنبـــال آن در پـــژوهش Macdonald [16] بـــرای فواصـــل کـــانونی ایجـــاد شـــده درون کریســـتال لیـــزری بـــه ســـبب آثـــار گرمـــایی یـــک معادلـــه بدســـت آمـــد. در کارهـــای پژوهشـــی W.Koechner [17] اثـــرات ترمـــو – اپتیکـــی بـــه وجـــود آمـــده در لیزرهـــای Nd:YAG بررســـی شـــد و بـــه معـــادلات لازم بـــرای ایـــن آثـــار دســـت یافتـــه شـــد. کـــار مـــا در ایـــن پـــژوهش بـــر اســـاس همـــین معـــادلات اســـت. در دو کـــار تحقیقـــاتی دیگـــر David.C.Brown [18] آثـــار غیرخطـــی ناشـــی از گرمـــای تولیـــدی در لیـــزر Nd:YAG را محاسبه کرد.

در ســـال 1988 بـــالاترین بـــازده یـــک لیـــزر حالـــت جامـــد کـــه توســـط دیـــود لیزرهـــا دمیـــده مـــی‌شـــد 12% بـــازده الکتریکـــی بـــه اپتیکـــی گـــزارش شـــده اســـت [19]. ســـاختار دیگـــری در ســـال 1992 گـــزارش شـــد کـــه دارای بـــازده الکتریکـــی 10% و بـــازده اپتیکـــی 28% بـــود [20]. ســـاختار دیگـــری در ســـال 1997 ارائـــه شـــد کـــه دارای بـــازده‌ی الکتریکـــی 30/3% و بـــازده اپتیکـــی 52/2% بـــود [21]. در ســـال 2000 عدســـی گرمـــایی در یـــک لیـــزر ی کـــه از چهـــار طـــرف توســـط آرایـــه‌هـــای لیـــزری دمیـــده مـــی‌شـــد بررســـی شـــد [22]. در ســـال 2007 Massudi اثـــرات گرمـــایی را بـــر روی لیـــزر Nd:YAG بررســـی کـــرد و از روش عـــددی بـــرای حـــل معادلـــه‌ی رســـانش گرمایی استفاده کرد [23و24].

3.1 ماده‌ی فعال لیزرهای حالت جامد

مواد فعال برای عمل لیزر باید خطوط فلوئورسان تیزی داشته باشند. و دارای باندهای جذب قوی و به طور منطقی یک کارایی کوانتومی بالا برای گذارهای فلوئورسانی مفید داشته باشند. این خواص به طور کلی در جامدهای شیشه و کریستال‌های بلورین که با مقادیر کمی از عناصری دیگر آلوده شده باشد مشاهده شده است و گذارهای اپتیکی بین گذارهای داخلی و غیره‌کامل لایه‌های الکترونی‌شان اتفاق می‌افتد. فلزات واسطه، عناصرخاکی کمیاب و خانواده‌ی اکتانیدها برای این منظور مفید هستند. بیشتر پرتوهای گسیلی لیزرهای حالت جامد در ناحیه‌ی طیفی گذارهای خاک‌های کمیاب، فلزات واسطه و خانواده‌ی اکتانید ها قرار دارتد. یعنی پرتو خروجی این لیزرها به واسطه‌ی گذارهایی است که یون‌های فعال در بلور انجام می‌دهد. بیشتر لیزرهای حالت جامد پرتوهای گیسلی‌شان در ناحیه‌ی طیفی 400نانومتر تا 3 میکرومتر قرار دارندکه بر گذارهای 4f-4f عناصر خاکی و گذارهای 3d-3d فلزات واسطه بنا شده‌است. گذارهای لیزری به عمر تراز بالایی لیزر، سطح مقطع گسیل و پهنای باند بهره[1] بستگی دارد. خواص طیف‌نگاری گذارهای لیزری روش طراحی و عمل سیستم‌های لیزری را توضیح می‌دهد. قرار گرفتن تراز پایینی لیزر در دیاگرام انرژی نوع لیزر را از لحاظ سه‌ترازی، چهارترازی، شبه سه‌ترازی و شبه چهارترازی مشخص می‌کند. عوامل اصلی برای عملکرد مناسب لیزر حالت جامد سه مورد است. ماده‌ی میزبان، یون‌های فعال و فرایند دمش. بنابراین یک ماده‌ی فعال لیزر دارای دو مشخصه‌ی خاص است. ماده‌ی

[1] Gain

میزبان ویونهای حساس و فعال که در ادامه به تشریع آنها می‌پردازیم [25].

1.3.1 ماده‌ی میزبان

ماده‌ی میزبان لیزرهای حالت جامد به طور کلی به دو نوع جامد بلورین و شیشه‌ها تقسیم می‌شوند. ماده‌ی میزبان لیزری باید از خواص اپتیکی، مکانیکی و گرمایی برخوردار باشد تا در شرایط کاری شدید لیزرهای کاربردی مقاومت کنند. در انتخاب یک کریستال میزبان مناسب برای یون‌های فعال لیزری باید به نکات کلیدی زیر توجه کرد.

1. کریستال باید دارای خواص اپتیکی مطلوبی باشد چرا که تغییرات در ضریب شکست منجر به انتشار ناهمگن نور در کریستال می‌شود و کیفیت پرتو خروجی را کاهش می‌دهد.
2. کریستال باید دارای خواص مکانیکی و گرمایی خوبی باشد تا اجازه‌ی توان بالا را به لیزر بدهد. خواص مهمی چون رسانندگی گرمایی بالا، سختی و استحکام لازم از جهت شکستگی را داشته باشد.
3. امکان رشد در مقیاس بالا را داشته باشد. یعنی به سادگی امکان تهیه‌ی آن وجود داشته باشد.

به توجه به موارد فوق انواع ماده‌ی میزبان لیزری را معرفی خواهیم کرد.

1. شیشه‌ها: یک نوع بسیار مهم از مواد میزبان برای خاک‌های کمیاب و به

طـــور مشـــخص Nd^{+3} هســـتند. مزیـــت بـــزرگ آنهـــا در مقایســـه بـــا مـــواد شـــفاف طراحـــی در انـــدازه‌هـــای مختلـــف مـــی‌باشـــد . شیشـــه هـــدایت گرمـــایی خیلـــی کمـــی دارد کـــه همـــین عامـــل زمـــانی کـــه در یـــک تـــوان بـــالا کـــار مـــی‌کننـــد باعـــث ایجـــاد دوشکســـتی القـــائی و اعوجـــاج اپتیکـــی در میلـــه‌هـــای لیـــزری شیشـــه‌ای می‌شود.

2. اکســـیدها: تعـــداد زیـــادی از میزبـــان‌هـــای بلـــورین از زمـــانی کـــه لیـــزر یـــاقوت کشـــف شـــد مـــورد اســـتفاده قـــرار گرفتنـــد . میزبـــان‌هـــای بلـــورین بـــه طـــور کلـــی بـــه خـــاطر رســـانندگی گرمـــایی بـــالاتر، پهنـــای بانـــد فلوئورســـانی بـــاریکتر و مهـــم‌تـــر از آن سختی‌شان نسبت به شیشه‌ها برتری دارند.
3. یـــاقوت کبـــود: یـــاقوت کبـــود (Al_2O_3) اولـــین مـــاده‌ی میزبـــان لیـــزری بـــود کـــه بـــه کـــاربرده شـــد. یـــاقوت کبـــود یـــک میزبـــان ســـخت بـــا هـــدایت گرمـــایی بـــالا کـــه فلـــزات واســـطه بـــه ســـهولت مـــی‌تواننـــد جـــایگزین Al شـــوند . یـــاقوت کبـــود امـــروزه نیـــز مـــورد اســـتفاده قـــرار مـــی گیـــرد و بـــا وارد کـــردن ناخالصـــی تیتـــانیم از آن به عنوان یک لیزر تنظیم‌پذیر (Tunable) استفاده می‌شود.
4. گارانـــت‌هـــا: بیشـــتر میزبـــان‌هـــای مفیـــد لیـــزری از ترکیبـــات گارانـــت هســـتند . ماننـــد ایتـــریم – آلومینیـــوم – گارانـــت ،$Y_3Al_5O_{12}$ (YAG)،گـــادولینیم گـــالیوم گارانـــت ،$Gd_3Ga_5O_{12}$(GGG) و غیـــره. ایـــن گارانـــت‌هـــا بســـیاری از خـــواص لازم بـــرای مـــواد میزبـــان لیـــزری را دارنـــد. آنهـــا پایـــدار، ســـخت، از لحـــاظ اپتیکـــی همســـانگرد و رســـانندگی گرمـــایی خـــوبی دارنـــد. مـــاده‌ی میزبـــان YAG بـــرای یـــون‌هـــایی مثـــل Nd^{+3}، Tm^{+3}، Er^{+3} و غیـــره مـــاده‌ی میزبـــان خوبی به شمار می‌رود.

از دیگـــر مـــواد میزبـــان مـــی‌تـــوان بـــه 5) فســـفات‌هـــا و ســـلیکات‌هـــا، 6) اکســـید

سولفیدها، 7)فلورایدها، 8)سرامیک‌ها، 9) آلومینوتها، و غیره اشاره کرد.

2.3.1 یون‌های فعال

یون‌های فعال در لیزرهای حالت جامد نقش اساسی دارند. آنها به مواد میزبان اضافه می شوند و نقش ماده‌ی فعال را ایفا می‌کنند. در ادامه ما فقط به معرفی یون‌های فعال می‌پردازیم.

1. یون‌های خاک‌های کمیاب: در این گروه از یون‌ها به بعضی یون-های پرکاربرد بر می‌خوریم. مثل Nd^{+3}، Er^{+3}، Ho^{+3}، Tm^{+3} و غیره.
2. یون‌های اکتانیدها: بیشتر عناصر این گروه رادیواکتیو هستند و فقط اورانیوم در CaF_2 به طور موفقیت آمیزی در لیزر به کار می-رود.
3. یون‌های فلزات واسطه: مهمترین یون‌ها در این گروه یون‌های Cr^{+3} و Ti^{+3} هستند.

حال که به مطالعه‌ی ماده‌ی فعال لیزرهای حالت جامد، ماده‌ی میزبان لیزری و یون‌های فعال پرداختیم. سعی خواهیم کرد به معرفی یکی از مهمترین کریستال‌های لیزری یعنی کریستال لیزری Nd:YAG که این پژوهش بر اساس خواص همین کریستال انجام شده بپردازیم.

3.3.1 کریستال لیزری Nd:YAG

این کریستال در دهه‌ی 60 قرن گذشته کشف شد. نئودیمیم آلوده شده در ایتریم آلومینیوم گارانت (Nd:YAG) به طور گسترده به عنوان کریستال لیزرهای حالت جامد به کار می‌روند. YAG میزبان سختی است و دارای کیفیت اپتیکی خوب و رسانندگی گرمایی بالایی هستند. علاوه بر این، ساختار مربعی YAG یک پهنای باریک فلوئورسانی را مطرح می‌کند که این باعث بهره‌ی بالا و حالت آستانه‌ی پایین برای عمل لیزر می‌شود. در کریستال Nd:YAG نئودیمیم سه ظرفیتی جایگزین ایتریم سه ظرفیتی می‌شود.

کریستال Nd:YAG طیف مناسب و خواص لیزری خوبی را از خود نمایش داده است. ساختار YAG برای دماهای زیر نقطه‌ی ذوب پایدار است. سختی و استحکام آن از یاقوت کمتر است ولی فرایندهای ایجاد شده‌ی معمولی در لیزر هیچ مشکلی را از جهت شکستگی بوجود نمی‌آورد. در جدول (1-1) خواص گرمایی Nd:YAG را مشاهده می‌کنیم.

جدول (1-1) : خواص گرمایی کریستال لیزری Nd:YAG [۲۵]

Property	units	300 K	200K	100K
Thermal Conductivity	$W\ Cm^{-1}K^{-1}$	0.14	0.21	0.58
Specific heat	$Ws\ g^{-1}K^{-1}$	0.59	0.43	0.13
Thermal diffusivity	$Cm^{+2}S^{-1}$	0.046	0.10	0.92
Thermal expansion	$K^{-1}*10^{-6}$	7.5	5.8	4.25
$\partial n/\partial T$	K^{-1}	$7.3*10^{-6}$	_	_

همچنین در جدول (1-2) خواص فیزیکی و اپتیکی مربوط به کریستالNd:YAG آورده شده است.

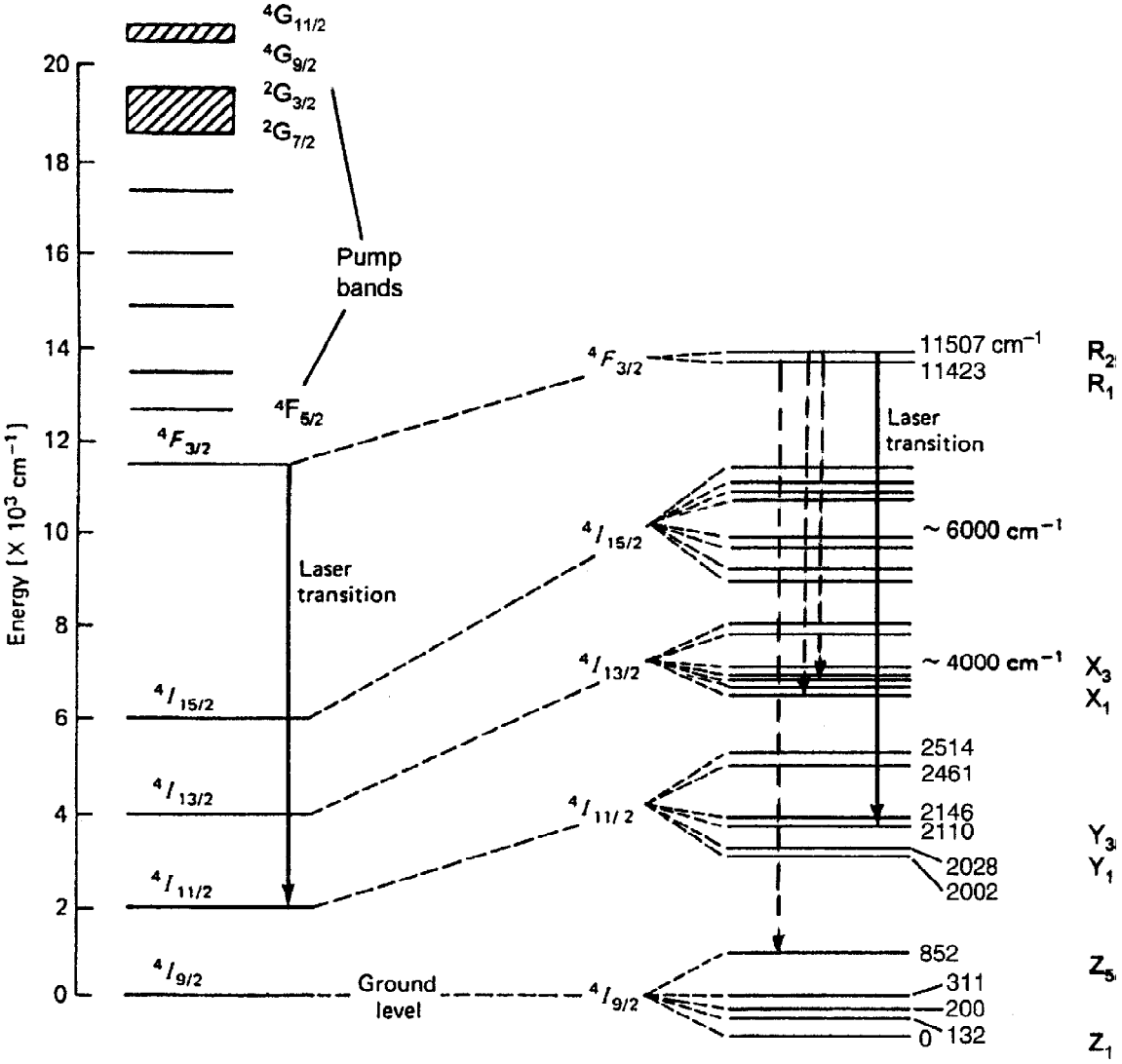
جدول (1-2) : خواص فیزیکی و اپتیکی کریستال Nd:YAG [۲۵]

Chemical formula	$Nd:Y_3Al_5O_{12}$
Weight % Nd	0.725
Atomic % Nd	1.0
Nd atoms/cm^3	1.38×10^{20}
Melting point	1970°C
Knoop hardness (kg/mm^2)	1320
Density	4.56 g/cm^3
Tensile strength	200 MPa
Modulus of elasticity	310 Gpa
Poisson ratio	0.30
Thermal expansion coefficient	
[100] orientation	8.2×10^{-6}/°C,
[110] orientation	7.7×10^{-6}/°C,
[111] orientation	7.8×10^{-6}/°C,
Linewidth	120 GHz
Stimulated emission cross section	
$R_2 - Y_3$	$\sigma = 6.5 \times 10^{-19}$ cm^2
$^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$	$\sigma = 2.8 \times 10^{-19}$ cm^2
Fluorescence lifetime	230 μs
Photon energy at 1.06 μm	$h\nu = 1.86 \times 10^{-19}$ J
Index of refraction	1.82 (at 1.0 μm)

YAG خالص بی رنگ است و از لحاظ اپتیکی همسانگرد است که این ویژگی به علت ساختار مربعی گارانت می‌باشد.

شکل (1-2) ترازهای انرژی Nd:YAG را نمایش می‌دهد. شکافت استارک در سمت راست شکل (1-2) مشخص است. در سمت چپ شکل گذارهای اصلی لیزر Nd:YAG نمایش داده شده است و مشخص است که

گذار اصلی در طول موج 1064 نانومتر اتفاق می‌افتد.



شکل (1-2) : دیاگرام انرژی مربوط به گذارهای لیزری کریستال Nd:YAG [۲۵]

خطوط تیره گذارهایی را نشان می‌دهد که به طول موج‌های 1/3 میکرومتر و 946 نانومتر منجر می‌شود.

گذار لیزری 1064 نانومتر بین تراز بالایی استارک $^4f_{3/2}$ (زیر تراز R_2) و تراز استارک $^4I_{11/2}$ (زیر تراز Y_3) رخ می‌دهد. دردمای اتاق فقط 40% از جمعیت