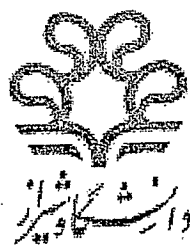


اشهد ان لا اله الا الله

١٣٨٧ / ٩ / ٢٠

١٠٧٥٤٨



دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (اپتیک و لیزر)

بررسی اثرات گرمایی در لیزرهای حالت جامد با دمش انتهایی  
سوپر گوسی

توسط:

راحله پورمند

استاد راهنما:

دکتر حمید نادگران

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۳

شهریور ۸۷

۱۰۷۵۴۸

به نام خدا

بررسی اثرات گرمایی در لیزر های حالت جامد با دمش انتهایی سوپرگوسی

به وسیله ی :

راحلہ پورمند

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی  
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی :

فیزیک (اپتیک و لیزر)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر حمید نادگران، دانشیار بخش فیزیک (رئیس کمیته)

دکتر عبدالناصر ذاکری، استاد بخش فیزیک

دکتر محمد مهدی گلشن ، استادیار بخش فیزیک

دکتر محمود حسینی فرزند، استادیار بخش فیزیک

شهریور ۱۳۸۷

**تقدیم بہ**

مادر عزیز و پدر بزرگوارم

## سپاسگزاری

اکنون که با یاری خداوند متعال این دوره به پایان رسیده است، مایلیم حق شناسی خود را نسبت به استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر حمید نادگران به خاطر تشویق ها و حمایت هایشان ابراز نموده و از زحمات و راهنمایی های ارزنده ایشان متواضعانه و در نهایت ارادت تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از اساتید گرانقدر بخش فیزیک دانشگاه شیراز بخصوص جناب آقای دکتر ذاکری، جناب آقای دکتر گلشن و جناب آقای دکتر حسینی فرزاد به خاطر دلسوزی ها و منش بزرگوارانه ایشان سپاسگزارم.

در نهایت از تمامی دوستان صمیمی و سروران عزیز که در این مرحله یاری دهنده این حقیر بوده اند تشکر می کنم.

## چکیده

### بررسی اثرات گرمایی در لیزر های حالت جامد با دمش انتهایی

#### سوپر گوسی

#### به وسیله ی:

#### راحله پورمند

بازده عملکرد لیزرها و کیفیت پرتو خروجی آنها تابع اثرات گرمایی به وجود آمده در ماده فعال است بنابراین بررسی این اثرات و پیامدهای ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار می باشد.

در این پژوهش اثرات گرمایی برای لیزرهای حالت جامد به طور کامل و به صورت تحلیلی بررسی شده است. به این منظور معادله دیفرانسیل انتقال حرارت در ماده فعال با استفاده از روش جداسازی متغیر ها و استفاده از شرایط مرزی مناسب حل شده و اثرات مختلف گرمایی مانند اثرات انتهایی، استرس القا شده در میله لیزر، دو شکستی، عدسی گرمایی و... به تفصیل بررسی شده است.

ابتدا در حالت ( $aspect\ ratio = 1$ ) نشان داده شده است که در محدوده تقریب پیرا محوری فرم ریاضی این اثرات برای دوپروفایل گوسی و سوپر گوسی مرتبه چهار یکسان است و عبارات تصحیحی برای فاصله کانونی کریستال لیزر محاسبه شده و برای لیزر  $Nd:YAG$  بررسی شده است.

در مرحله بعد برای حالت ( $aspect\ ratio < 1$ ) معادله دیفرانسیل انتقال حرارت در کریستال لیزر با در نظر گرفتن پرو فایل دمش سوپر گوسی مرتبه ( $m$ ) به صورت تحلیلی حل شده و اثرات گرمایی به صورت تابعی از شعاع میله، توان دمش، شعاع دمش، کمر پرتو دمش و پارامتر ( $m$ ) و پارامتر های فیزیکی ماده فعال محاسبه شده و نشان داده شده که هرچه توان بیشتر شود و یا شعاع دمش کمتر شود اثرات گرمایی قابل ملاحظه خواهد شد اگرچه با افزایش ( $m$ ) در هر حالت اثرات گرمایی در ماده فعال تعدیل می یابد بنابراین بهتر است در عملکرد لیزر های پر توان از پروفایل سوپر گوسی مرتبه های بالاتر و در عملکرد لیزر های باتوان کم از پروفایل سوپر گوسی مرتبه کمتر استفاده شود. در نهایت سازگاری نتایج تحلیلی با نتایج حاصل از روش حل عددی معادله انتقال حرارت برای لیزر  $Nd:YAG$  بررسی شده است.

## فهرست مطالب

| صفحه | عنوان   |
|------|---|
|      | فصل اول : مقدمه   |
| ۴    | ۱-۱- لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی (DPSSL)                                     |
| ۴    | ۱-۱-۱- خواص ماده فعال لیزرهای حالت جامد   |
| ۸    | ۱-۲- بررسی نوسان لیزری در لیزرهای حالت جامد با دمش طولی                         |
| ۱۰   | ۲-۱- روش های دمش دیودی  |
| ۱۲   | ۳-۱- اثرات گرمایی در لیزرهای موج پیوسته   |
| ۱۳   | ۴-۱- روش های تصحیح اعوجاج اپتیکی به وجود آمده در میله لیزر ناشی از اثرات گرمایی |
|      | فصل دوم : اثرات ترموآپتیکی در لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی                    |
| ۱۷   | ۱-۲- تابع توزیع دما در کریستال لیزر   |
| ۱۹   | ۲-۲- محاسبه تنش گرمایی القا شده در میله لیزر                                    |
| ۲۱   | ۳-۲- حد استرس شکستگی  |
| ۲۲   | ۴-۲- اثرات فتوالاستیک   |
| ۲۵   | ۵-۲- عدسی گرمایی  |
| ۳۱   | ۶-۲- اثرات دوشکستی در لیزرهای حالت جامد   |
|      | فصل سوم : بررسی اثرات حرارتی در لیزرهای حالت جامد با پروفایل دمش گوسی           |

|    |  |
|----|--|
| ۳۴ | ۱-۳- اثرات حرارتی در لیزرهای جامد با دمشی انتهایی گوسی :<br><i>Aspect Ratio &lt; 1</i> |
| ۳۴ | ۱-۱-۳- تابع توزیع دما  |
| ۳۶ | ۲-۱-۳- تغییرات ضریب شکست و فاز کلی پرتو  |
| ۳۶ | ۳-۱-۳- استفاده از تقریب پرتو پیرامحوری ( <i>PRA</i> )                                  |
| ۳۷ | ۴-۱-۳- اثرات انتهایی   |
| ۳۸ | ۲-۳- اثرات حرارتی در لیزرهای جامد با دمشی انتهایی گوسی<br><i>aspect ratio = 1</i>      |
| ۳۸ | ۱-۲-۳- تابع توزیع دما  |
| ۴۰ | ۲-۲-۳- اثرات انتهایی در میله لیزر  |
| ۴۰ | ۳-۲-۳- تقریب پرتو پیرامحوری  |
| ۴۱ | ۴-۲-۳- اثرات انتهایی   |

#### فصل چهارم : بررسی اثرات گرمایی و ترموپاتیکی در لیزرهای حالت جامد با پروفایل دمشی سوپر گوسی

|    |  |
|----|--|
| ۴۵ | ۱-۴- بررسی اثرات گرمایی در لیزرهای جامد با پروفایل<br>دمشی سوپرگوسی: <i>Aspect ratio = 1</i>                   |
| ۴۵ | ۱-۱-۴- تابع توزیع دما در میله لیزر   |
| ۴۹ | ۲-۱-۴- تغییرات ضریب شکست   |
| ۵۱ | ۳-۱-۴- استفاده از تقریب پرتو پیرامحوری ( <i>PRA</i> ) و محاسبه<br>فاصله کانونی عدسی گرمایی                     |
| ۵۲ | ۴-۱-۴- اثرات انتهایی القاء شده در میله لیزر  |
| ۵۴ | ۵-۱-۴- محاسبه استرس القا شده در کریستال لیزر و اثرات آن  |
| ۵۸ | ۲-۴- بررسی تحلیلی اثرات گرمایی در لیزرهای جامد با<br>پروفایل دمشی سوپرگوسی مرتبه $(n)$ و $(aspect\ ratio < 1)$ |
| ۵۸ | ۱-۲-۴- تابع توزیع دما در میله لیزر   |
| ۶۳ | ۲-۲-۴- استرس القا شده در میله لیزر و اثر دوشکستی   |
| ۶۷ | ۳-۲-۴- بررسی دما و استرس القا شده در میله Nd:YAG به روش عددی   |



فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۷۰

منابع

۷۸

پیوست A

۸۵

## فهرست جدول ها

| صفحه | عنوان   |
|------|---|
| ۶    | جدول (۱-۱): خواص اپتیکی و فیزیکی کریستال $Nd:YAG$             |
| ۸    | جدول (۲-۱): خواص گرمایی کریستال $Nd:YAG$                      |
| ۲۲   | جدول (۱-۲) مقادیر پارامتر شوک گرمایی مواد $[W/cm]$            |
| ۴۰   | جدول (۱-۳): ضرائب به ازای مقادیر مختلف $n$ برای میله $Nd:YAG$ |
| ۴۸   | جدول (۱-۴): مقادیر $A_n$ برای میله $Nd:YAG$                   |

## فهرست شکل ها

| صفحه | عنوان  |
|------|--|
| ۷    | شکل (۱-۱): نمودار سطوح انرژی لیزر <i>Nd:YAG</i>  |
| ۱۲   | شکل (۲-۱): تابع توزیع دما در میله لیزر با دمش طولی   |
| ۱۹   | شکل (۱-۲): تابع توزیع دما در کریستال <i>Nd:YAG</i>   |
| ۲۰   | شکل (۲-۲): مولفه های استرس القا شده در میله <i>Nd:YAG</i>  |
| ۲۳   | شکل (۳-۲): جهت گیری کریستال <i>Nd:YAG</i>  |
| ۲۳   | شکل (۴-۲): جهت گیری شاخصه استرس گرمایی میله <i>Nd:YAG</i> در صفحه عمود بر محور آن  |
| ۳۰   | شکل (۵-۲): پروفایل دما در کریستال <i>Nd:YAG</i> (a) با تزریق ناخالصی یکنواخت. (b) در حالت تزریق غیر یکنواخت ناخالصی  |
| ۳۰   | شکل (۶-۲): استرس القا شده در کریستال <i>Nd:YAG</i> هنگامی که تزریق ناخالصی یکنواخت یا غیر یکنواخت است.   |
| ۳۲   | شکل (۷-۲): اختلاف در طول مسیر نوری بر حسب شعاع بهنجار شده میله لیزر برای توان ورودی مختلف.   |
| ۴۹   | شکل (۱-۴): پروفایل توزیع دما در میله <i>Nd:YAG</i> با پروفایل دمش سوپر گوسی مرتبه چهار   |
| ۵۰   | شکل (۲-۴): تغییرات ضریب شکست در میله لیزر <i>Nd:YAG</i> با پروفایل دمش سوپر گوسی مرتبه چهار  |
| ۵۴   | شکل (۳-۴): سهم اثرات انتهایی در ایجاد عدسی گرمایی در میله <i>Nd:YAG</i> با پروفایل دمش سوپر گوسی مرتبه چهار برای پرتو بازتابیده شده ( $F_{reflective}$ ) و پرتو شکست ( $F_{refractive}$ ). |
| ۶۲   | شکل (۴-۴): توزیع دما در میله <i>Nd:YAG</i> بر حسب شعاع میله برای $P_{tot}=60 W$ و $m=1,2,3,5$ و $w_0=0.15 cm$ , $r=0.2 cm$   |

- ۶۲ شکل (۴-۵): توزیع دما در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله  
برای  $P_{tot}=180W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.15cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۵ شکل (۴-۶): مولفه شعاعی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=60W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.15cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۵ شکل (۴-۷): مولفه شعاعی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=180W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.15cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۶ شکل (۴-۸): مولفه مماسی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=60W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.15cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۶ شکل (۴-۹): مولفه مماسی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=180W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.15cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۷ شکل (۴-۱۰): توزیع دما در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  
 $P_{tot}=60W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.14cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۸ شکل (۴-۱۱): مولفه شعاعی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=60W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.14cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۶۸ شکل (۴-۱۲): مولفه مماسی استرس القا شده در میله  $Nd:YAG$  بر حسب شعاع میله برای  $P_{tot}=60W$  و  $m=1,2,3,5$  و  $w_0=0.14cm$ ,  $r=0.2cm$
- ۷۱ شکل (۵-۱): نمودار سهم اثرات انتهایی در ایجاد عدسی گرمایی برای پرتو باز تابیده شده و پرتو شکست در لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش گوسی
- ۷۲ شکل (۵-۲): مولفه های استرس القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش سوپر گوسی و شعاع=طول میله  $=0.5cm$
- شکل (۵-۳): اختلاف ضریب شکست در دو جهت شعاعی و مماسی شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش سوپر گوسی و شعاع=طول میله  $=0.5cm$
- ۷۳ شکل (۵-۴): تابع توزیع دما در میله لیزر با توان دممش  $60W$ , شعاع میله  $0.2cm$  و شعاع دممش  $0.11cm$
- شکل (۵-۵): استرس شعاعی القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش سوپر گوسی با توان دممش  $60W$ , شعاع میله  $0.2cm$  و شعاع دممش  $0.11cm$
- شکل (۵-۶): استرس مماسی القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش سوپر گوسی با توان دممش  $60W$ , شعاع میله  $0.2cm$  و شعاع دممش  $0.11cm$
- ۷۵ شکل (۵-۶): استرس مماسی القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دممش سوپر گوسی با توان دممش  $60W$ , شعاع میله  $0.2cm$  و شعاع دممش  $0.11cm$

- ۷۶ شکل (۷-۵): تابع توزیع دما در میله لیزر با توان دمش  $W$  ۶۰، شعاع میله  $cm$  ۰٫۲،  
و کمر پرتو دمش  $cm$  ۰٫۰۵
- ۷۶ شکل (۸-۵): استرس شعاعی القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دمش  
سوپر گوسی با توان دمش  $W$  60، شعاع میله  $0.2cm$  و کمر پرتو دمش  $0.05cm$
- ۷۷ شکل (۹-۵): استرس مماسی القا شده در میله لیزر  $Nd:YAG$  با پرو فایل دمش  
سوپر گوسی با توان دمش  $W$  ۶۰، شعاع میله  $cm$  ۰٫۲،  
و کمر پرتو دمش  $cm$  ۰٫۰۵

# فصل اول

مقدمه

## ۱- مقدمه

لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی محدوده وسیعی از کاربردها را پوشش داده و پیشرفت های به وجود آمده در صنعت طراحی و ساخت آنها زمینه را برای گسترش کاربردشان در شرایط دقیق آزمایشگاهی و پزشکی فراهم نموده است. همچنین تولید توانهای بالا در شرایط مورد نیاز با استفاده از این لیزرها به راحتی ممکن می شود علاوه بر آن کیفیت خوب پرتو خروجی در این نوع لیزرها کاربرد آنها را در موارد مختلف نسبت به انواع دیگر لیزر گسترده تر کرده است [1-3] اما فرایند دمش در لیزرهای حالت جامد باعث تولید گرما در ماده فعال شده و گرادیان دمایی و اثرات گرمایی ناشی از آن در این لیزرها بر کیفیت پرتو خروجی تأثیر گذاشته و باعث اعوجاج در پرتو خروجی می شود و همین امر اهمیت مطالعه اثرات حرارتی و روش های کاهش آن را در لیزرهای حالت جامد بیشتر می کند.

گرمای ایجاد شده در هنگام دمش در ماده فعال باعث ایجاد گرادیان دمایی در میله لیزر شده و تغییرات زیادی از قبیل تغییر در ضریب شکست ماده لیزر، ایجاد اثرات انتهایی و تنش حرارتی و ... را به دنبال خواهد داشت و در نهایت باعث تخریب کیفیت پرتو لیزر می شود. تحقیقات فراوانی برای یافتن اثرات مذکور و کاهش دادن آنها در انواع لیزرها انجام شده است. اما در اغلب موارد طول کریستال نسبت به شعاع آن بزرگتر در نظر گرفته شده و از اثرات ناشی از در نظر گرفتن طول میله لیزر صرف نظر شده است در این رساله به تحقیق درباره اثرات گرمایی در لیزرهای حالت جامد با در نظر گرفتن طول میله لیزر پرداخته و با توجه به اینکه پروفایل سوپر گوسی<sup>۱</sup> شکل واقعی تر از پروفایل دمش در لیزرهای مولتی مد<sup>۲</sup> با دمش دیودی را ارائه می دهد [4] پروفایل دمش را سوپر گوسی در نظر گرفته و اثرات مختلف گرمایی مانند اثرات انتهایی، افزایش طول میله، فاصله کانونی عدسی گرمایی و ... را در لیزرهای حالت جامد با دمش طولی بررسی کرده ایم. همچنین پروفایل های دمش یکنواخت و گوسی<sup>۳</sup> نیز به تفصیل بررسی شده و درباره اثرات مختلف حرارتی در هر حالت بحث شده است.

---

1) *super Gaussian*

2) *multi - mode*

3) *Gaussian*

در بخش دوم تابع توزیع دما با استفاده از پروفایل سوپر گوسی مرتبه  $(m)$  به صورت تحلیلی حل شده و تابع توزیع دما و اثرات مختلف حرارتی بر حسب شعاع میله ، توان دمش ، شعاع دمش و کمر پرتو دمش و پارامتر  $(m)$  و پارامترهای فیزیکی ماده فعال بدست آمده است و در مورد تغییرات تابع توزیع دما و استرس القا شده در میله بر حسب این پارامترها بحث شده است. در نهایت این نتایج با نتایج حاصل از روش های عددی مقایسه شده و سازگاری این روش ها و در نتیجه اعتبار و درستی روابط بدست آمده بررسی شده است.

دمش لیزرهای حالت جامد توسط دیود لیزرها دارای بازده بالا و تراکم مناسب و قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به فلش لامپ ها است بنابراین بسیاری از ترکیب های ممکن برای انتقال پرتو تابش به ماده فعال فراهم می شود [5-13]. طراحی سیستم مناسبی که همپوشانی حجم دمش را با حجم اشغال شده توسط کمترین مد در کاواک فراهم کند و بتواند واگرایی پرتو خروجی لیزر را کاهش دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. برای ماکزیمم کردن این همپوشانی تکنیک های متفاوتی را می توان به کار برد. اما در بسیاری از روشها جفت شدگی زیاد هنگامی بدست می آید که تطبیق خوبی بین طیف منتشر شده از پرتو دمش و طیف جذبی محیط لیزر وجود داشته باشد. در لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی انطباق خوبی بین طیف جذب شده و پرتو دمش وجود دارد که باعث ایجاد بازده بالا و کیفیت خوب پرتو خروجی آنها می شود. روش های دمش اپتیکی در لیزرهای حالت جامد باعث ایجاد گرما در ماده لیزری می شود. دلایل ایجاد گرما را می توان به صورت زیر نام برد. [14]

۱- اختلاف انرژی فوتونهای باند دمش و انرژی تراز بالای لیزر به صورت گرما به شبکه کریستال منتقل می شود و به آن نقص کوانتم گرمایی می گویند.

۲- اختلاف انرژی بین تراز پایین لیزر و حالت پایه

۳- بازده کوانتمی فرایند فلوئورسانسی کمتر از یک

۴- گذارهای غیر تابشی از یونهای تزیق شده در ماده میزبان که فوتون دمش را جذب کرده اند اما در عمل لیزر دخالت ندارند.

گرمای ایجاد شده در میله لیزر از یک سو و خنک سازی آن از سوی دیگر باعث ایجاد گرادیان دمایی در حجم بلور می شود و توزیع غیریکنواخت دما در ماده فعال منجر به تغییرات ضریب شکست ماده ، ایجاد تنش حرارتی در میله لیزر و اثرات انتهایی والقای دو شکستی در میله لیزر شده و در نهایت به صورت اعوجاج در پرتو خروجی لیزر نمایان می شود. به کارگیری روش های مناسب انتقال حرارت و کاهش اثرات ناشی از گرادیان دما در میله لیزر در طراحی و ساخت لیزرها نقش مهمی در بهبود کیفیت پرتو لیزری<sup>۱</sup> و افزایش توان خروجی و بدست آوردن بازده بالا در عملکرد لیزرها دارد.

1) beam quality



## ۱-۱- لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی

ایده استفاده از دیود لیزرها برای دمش لیزرهای جامد اولین بار توسط نیومن<sup>۱</sup> [15] مطرح شد و دریافت تابش در محدوده  $880\text{ nm}$  از فرایندهای ترکیبی در دیود  $GaAs$  می تواند ترازهای انرژی فلوئورسانس<sup>۲</sup> اتمی نزدیک  $1.06$  میکرون را در  $Nd:CaWO_4$  برانگیخته کند. *Keyes* و *Quist* [16] عملکرد اولین لیزرهای حالت جامد با دمش دیودی را بهبود بخشیدند. [17-20]

اولین لیزر  $Nd:YAG$  به وسیله *Ross* ساخته شد [21] این لیزر به وسیله یک دیود لیزر  $GaAs$  پمپ می شد. استفاده از این لیزرها در نزدیکی دمای اتاق [24 و 25] امکان پذیر بود. استفاده از دمش عرضی اگر چه در ابتدا در طراحی و ساخت لیزرها معمولتر بود اما تحقیقات درباره روش های دمش طولی که باعث جفت شدگی بین پرتو دمش و مدهای لیزر می شد گسترش یافته و به مرحله اجرا در آمد. در این روش ماده لیزر پرتو دمش را به صورت موثرتری جذب می کند. لیزرهای دیودی با عملکرد پیوسته و با قابلیت استفاده در دمای اتاق به تدریج طراحی و ساخته شد [26-32]. طول موج دیود لیزرها با باند جذب بلورهایی مانند  $Yb^{3+}, Nd^{3+}, Er^{3+}$  تطبیق خوبی دارند. قابلیت اطمینان و بازده بالا و ولتاژ کم مورد نیاز و کیفیت بهتر پرتو خروجی از مزایای دمش دیودی است در این بخش خواص اپتیکی - مکانیکی و خواص وابسته به گرادیان دمایی در ماده فعال لیزر  $Nd:YAG$  را مورد بررسی قرار می دهیم و اجمالاً روشهای دمش و مخصوصاً دمش طولی را بررسی خواهیم کرد و در ادامه نتایج تحلیلی بدست آمده را برای لیزر  $Nd:YAG$  به کار خواهیم برد.

### ۱-۱-۱- خواص ماده فعال لیزرهای حالت جامد

مواد مورد استفاده به عنوان ماده فعال لیزرهای حالت جامد باید دارای خواص گرمایی - اپتیکی خوبی بوده و خواص مکانیکی آنها تابع دما نباشد. خواص مطلوب شامل سختی، بی اثر بودن از نظر شیمیایی، عدم وجود تنش مکانیکی بر اثر تغییر دما و عدم تغییر ضریب شکست

1) Newman

2) Fluorescence

و نیز سادگی از نظر ساخت و تولید می باشد. همچنین این مواد به طور معمول دارای باند جذب قوی و خطوط فلوئور سانت باریک می باشند و بازده کوانتومی آنها زیاد است برای بدست آوردن بهره مناسب در عمل لیزر توجه به خواص زیر ضروری است.

۱- خواص ماکروسکوپی ( مکانیکی ، گرمایی و اپتیکی ) و خواص میکروسکوپی ( شبکه ) ماده میزبان در بدست آوردن بهره مناسب نقش مهمی ایفا می کند .

۲- روش ها و طراحی سیستم دمش نیز بر بازده عملکرد لیزر و بدست آوردن بهره مناسب تأثیر دارد .

۳- ترکیب و غلظت یونهای تزریق شده در بهره بدست آمده در عملکرد لیزر تأثیر دارند .  
مواد مورد استفاده برای ماده میزبان معمولاً جامدهای کریستالی و یا شیشه ها هستند . این مواد باید دارای خواص اپتیکی مطلوبی باشند تغییر در ضریب شکست ماده فعال که معمولاً ناشی از گرادیان دمایی در میله لیزر و تنش حرارتی القا شده است می تواند منجر به انتشار غیر همگن نور در ماده شود که این مسئله باعث تخریب کیفیت پرتو خروجی لیزر می شود . همچنین ماده میزبان باید قابلیت تزریق ماده ناخالصی را به آسانی داشته باشد . و یونهای تزریق شده نباید تقارن های کریستال و قدرت میدان های محلی در کریستال را تغییر دهند . در نظر گرفتن خواص مکانیکی و گرمایی مناسب برای ماده میزبان نیز ضروری است . بهترین مواد مورد استفاده برای ماده میزبان گارنت ها می باشند از جمله این مواد می توان به ایتیریم آلومینیم گارنت اشاره کرد گارنت ها از نظر اپتیکی همگن هستند رسانایی گرمایی خوبی دارند و این مسئله باعث می شود بتوان آنها را در لیزرهای پرتوان به کار گرفت و سختی آنها در هنگام استفاده در لیزرهای پرتوان باعث عدم شکستگی آنها می شود در حال حاضر بهترین میزبان *YAG* می باشد .

یونهای ناخالصی به کار برده شده در لیزرها شامل یونهای دو یا سه ظرفیتی از عناصر خاکی کمیاب و یون های فلزات واسطه می باشند اولین بار  $Nd^{3+}$  به عنوان ناخالصی در ماده لیزر به کار گرفته شد و در حال حاضر نیز مهمترین و بهترین عنصر برای به کار گرفتن در ساخت لیزر می باشد .

کریستال *Nd:YAG* سخت بوده و خواص اپتیکی مناسب و رسانش گرمایی زیاد و خطوط فلوئورسانت تیز باعث بدست آوردن بهره زیاد و آستانه پایین در عملکرد این لیزر شده و کاربرد این کریستال را در ساخت لیزرهای حالت جامد معمول کرده است. این ماده در ساخت لیزرهای پرتوان با سیستم دمش متنوع کاربرد فراوان دارد . در اینجا بعضی از خواص مهم کریستال *Nd:YAG* را به صورت خلاصه مرور خواهیم کرد .

الف) خواص فیزیکی *Nd:YAG* - گرم کردن کریستال *Nd:YAG* تا نزدیکی دمای ذوب آن تأثیری بر شرایط پایداری کریستال ندارد و این کریستال عضو گروه کریستال های مکعبی بوده و بنابراین بیشترین تقارن را از نظر ساختار دارد و به لحاظ اپتیکی همگن می باشد در

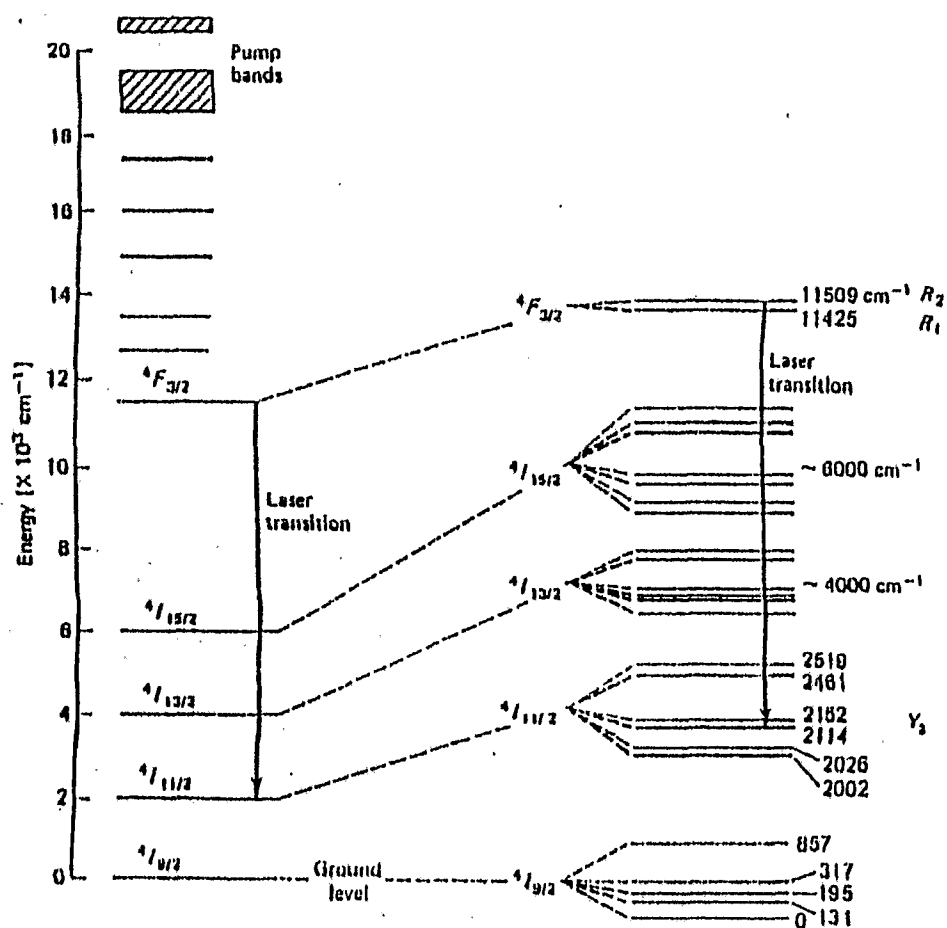
$Nd:YAG$  یک درصد  $Y^{3+}$  با  $Nd^{3+}$  جایگزین می شود خصوصیات اپتیکی این کریستال در جدول (۱-۱) آورده شده است .

جدول (۱-۱): خواص اپتیکی و فیزیکی کریستال  $[14] Nd:YAG$

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| <i>Chemical formula</i>   | $Nd: Y_3Al_5O_{12}$             |
| <i>Weight % Nd</i>  | 0.725                           |
| <i>Atomic % Nd</i>  | 1.0                             |
| <i>Melting point</i>  | $1973^{\circ}C$                 |
| <i>density</i>  | $4.56g/cm^3$                    |
| <i>Modulus of elasticity</i>  | $3 \times 10^6 kg/cm^2$         |
| <i>Thermal expansion coefficient</i><br>[100]   | orientation                     |
| $8.2 \times 10^{-6} C^{-1}$   |                                 |
| [110]   | orientation                     |
| $7.7 \times 10^{-6} C^{-1}$   |                                 |
| [111]   | orientation                     |
| $7.8 \times 10^{-6} C^{-1}$   |                                 |
| <i>Line width</i>   | $0.45 A^{\circ}$                |
| <i>Stimulated emission cross section</i><br>$4F_{3/2} - 4I_{11/2}$<br>$\sigma_{21} = 2.8 \times 10^{-9} cm^2$ |                                 |
| <i>Fluorescence lifetime</i>  | $230\mu s$                      |
| <i>Photon energy lifetime at <math>1.06\mu m</math></i>   | $h\nu = 1.86 \times 10^{-19} J$ |
| <i>Index of refraction</i>  | $1.82(at 1.06 \mu m)$           |

ب) خواص لیزرهای  $Nd:YAG - Nd:YAG$  لیزر چهار تراز است که نمودار ترازهای انرژی آن در شکل (۱-۱) نمایش داده شده است . گذاراز مولفه  $R_2$  مربوط به تراز  $4F_{3/2}$  به مولفه  $\gamma_3$  مربوط به تراز  $4I_{11/2}$  منجر به تابشی با طول موج  $1064A^{\circ}$  می شود . جمعیت تراز  $4F_{3/2}$  در  $R_2$  قرار گرفته و ۶۰٪ آن در  $R_1$  است حالت پایه  $Nd:YAG$  مربوط به تراز  $4I_{9/2}$  است تراز بالای لیزر  $4F_{3/2}$  است که دارای بازده فلوئورسانت بزرگ تراز

99.5% می باشد و طول عمر فلوئورسانس  $230\mu s$  است در دمای اتاق خط اصلی 1.06 میکرون پهن شدگی همگن دارد.



شکل (۱-۱): نمودار سطوح انرژی لیزر Nd:YAG [14]

خواص گرمایی لیزر Nd:YAG در جدول (۱-۲) طبقه بندی شده است. تمرکز نئودیم در کریستال Nd:YAG 1% تا 1.5% است اگر تزریق ناخالصی بیشتر از این مقدار باشد طول عمر فلوئورسانس کوتاه تر خواهد بود و این امر باعث اعوجاج در پرتو خروجی لیزر می شود.