



دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ۹ تا ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۶ 14th Conference on Optics and Photonics Rafsanjan Vali-e-Asr University, 29-31 January 2008

چهاردهمین کنفرانس ایتیک و فوتونیک ایران

تحليل ليزر هم آلائيده Yb:Er:Glass

حسین ثقفیفر^ا، احمد مزنگی^ا، عباس ملکی^ا، حسن عبادیان^ا دانشگاه صنعتی مالک اشتر

چکیده – در این تحقیق به تحلیل ماده لیزری Yb:Er:Glass از دیدگاه معادلات آهنگ پرداخته می شود. در تحلیل اول از توزیع یکنواخت میدان مشدد استفاده می شود و معادلات آهنگ با روش رانگ-کوتای مرتبه چهار حل می شود. در تحلیل دیگری که با استفاده از نرم افزار GLAD صورت می گیرد تغییرات فضایی میدان مشدد به حساب آورده می شود و روشی برای تحلیل معادلات آهنگ مواد لیزری هم آلائیده ارائه می گردد، در هر دو تحلیل وابستگی زمانی توان خروجی لیزر و وارونی جمعیت بهنجار شده یونهای Yb و Er بدست آورده می شود. انرژی لیزر در هر دو تحلیل محاسبه شده وبا هم مقایسه می شود.

> کلید واژه- لامپ درخشی، لیزر Yb:Er:Glass، معادلات آهنگ ، همآلائیدگر کد ۱۴۰٫۰۱۴۰ – ۱۴۰٫۰۱۴۰

> > ۱– مقدمه

۲- زمینه نظری

در این بخش معادلات آهنـگ مربـوط بـه چگـالی جمعیـت ترازهای مختلف یونهای Er و Yb و تعـداد فوتونهـای داخـل مشدد بدست آورده میشود.

۲-۱- معادلات آهنگ چگالی یونها

تابش دمش توسط یونهای Vb که تنها دو تراز دارند، جـذب می شود (شکل ۱). انرژی جذب شده توسط یونهای Vb بـه می شود (شکل ۱). انرژی جذب شده توسط یونهای Sb بـه تراز $I_{11/2}$ یونهای Er منتقل می شود. انتقال انرژی به عقب از یونهای Er در Vb نیـز ممکـن است. یونهای Sc در تا از یونهای Vb نیـز ممکـن است. یونهای Sc در تا از $I_{15/2}$ می از یونهای $I_{13/2}$ می از یونهای $I_{13/2}$ می از یونهای Sc در نهایت گذار غیر تابشی به تراز $I_{13/2}$ ا

لیزر Yb:Er:Glass را میتوان با پارامترهای زیر توصیف کرد: Yb:Er:Glass – $N_{\gamma b}$, n_{er} (cm^{-3}) – e_2 چگالی کسل یونهای Er در تراز n_2 , n_1 (cm^{-3}) – E_2 چگالی یونهای Yb در تراز I_1 و I_2 , N_2 , N_1 (cm^{-3}) –

اهمیت لیزر Erbium:Glass بواسطه طول موج گسیلی آن (۱۵۴۰nm) است که در محدوده ایمن برای چشم قرار دارد و آشکارسازی آن نیز آسان است[۱]. لیزر Er:Glass لیزر سه ترازی است و به منظور افزایش بازده جذب آن از هم آلاینده Ytterbium استفاده می شود. یونهای ۲*b³⁺* در ۹۸۰nm نـوار جذبی قوی دارند و میتوانند انرژی جذب شده را به یونهای +*r*³⁺ انتقال دهند[۲]. الگوی ترازهای انرژی Yb:Er:Glass نسبتا پیچیده است و شامل فرایندهای تابشی، غیر تابشی و انتقال انرژی میباشد. در این تحقیق مدل ساده شدهای برای توصیف لیزر Yb:Er:Glass با دمش لامپ درخشی ارائه میگردد. این مدل بر اساس تحلیل معادلات آهنگ است. در تحلیل اول توزیع یکنواختی برای میدان مشدد در نظر گرفته می شود و معادلات آهنگ با استفاده از روش رانگ-کوتای مرتبه چهار ارزیابی می گردد. در تحلیل دیگری که با استفاده از نرم افزار GLAD صورت می گیرد تغییرات فضایی میدان مشدد به حساب آورده می شود و روشی برای تحلیل معادلات آهنگ مواد لیزری هم آلائیده ارائه می گردد.

لیزر و اپتیک لیزری

که c_0 سرعت نور در خلأ و n ضریب شکست ماده لیزر است. au_{cav} زمان ماندگاری فوتونها در داخل مشدد است بطوریکه: $au_{cav} = -rac{2l_{opt}}{Ln(R(1-p))c_0}$ (۶)

در این رابطه l_{opt} طول اپتیکی مشدد، R ضریب بازتابندگی آینه لیزر و p اتلافهای مشدد است. N_{noise} سهم گسیل خودبخودی را نشان میدهد و (\vec{r}) نیز تابع چگالی فضایی تک فوتون است. رابطه شار دمش Φ_{l} با N_{L} و (\vec{r}) بصورت زیر تعریف میشود:

$$\Phi_l(\vec{r},t) = \frac{c_0}{n} N_l(t) \varphi(\vec{r})$$
(Y)

و توان خروجی لیزر را میتوان از رابطه زیر بدست آورد:

$$P_{out}(t) = h v_e c_0 \frac{N_l(t)}{2l_{opt}} Ln(1/R)$$
^(A)

۳- بازده دمش

بازده دمش η_{pump} کسری از انرژی الکتریکی $E_{in}(J)$ تحویل داده شده به لامپ درخشی است که موجب دمش یونهای Yb می شود. با در نظر گرفتن بازده دمش، می توان رابطه ای برای آهنگ دمش یونهای Yb نوشت [۴] :

(۹)

$$\sigma_p \Phi_p(t) = \eta_{pump} \frac{E_{in}}{hv_p A (0.4t_p)^2} t Exp(-\frac{t}{0.4t_p})$$

که A مساحت سطح دیواره لامپ درخشی و t پهنای تپ
دمش است. تابع $(-\frac{t}{0.4t_p})$ تغییرات زمانی توان
نشر شده از لامپ درخشی را نشان میدهد.
۴ - **تحلیل عددی**

این بخش را به محاسبه انرژی خروجی لیزر اختصاص می-دهیم. برای این منظور دو نوع تحلیل صورت میگیرد. در تحلیل اول توزیع یکنواختی برای میدان نوری مشدد در نظر گرفته میشود و در تحلیل دوم که با نرمافزار GLAD صورت میگیرد از توزیع گاوسی میدان مشدد استفاده می-شود و روشی برای تحلیل چنین مواد لیزری هم آلائیده ارائه میگردد. در پایان نتایج این دو روش با هم مقایسه میشود.



با توجه به تموی ترامهای اکترزی سکل ۲ معادرت الفلک مربوط به چگالی جمعیت یونهای Vb و Er نوشته می شود [۳]: $\frac{dN_2}{dt} = \sigma_p \Phi_p (N_{Yb} - 2N_2) - K_f N_2 n_1 - \gamma_{Yb} N_2 \quad (1)$

$$\frac{dn_2}{dt} = K_f N_2 n_1 - \sigma_e \Phi_I (2n_2 - n_{er}) - \gamma_{21} n_2$$
 (7)

$$N_1 + N_2 = N_{Yb} \tag{(7)}$$

$$n_1 + n_2 = n_{er} \tag{(f)}$$

۲-۲ معادله آهنگ فوتونها

در یک مشدد لیزری تعداد فوتونهای داخل مـشدد (N₁) بواسطه فرایندهای گسیل برانگیخته، گـسیل خودبخـودی و اتلاف تغییر میکند. معادله حاکم بر تعداد فوتونهای لیزر بـه صورت زیر نوشته میشود:

$$\frac{dN_l}{dt} = \iiint_{V_a} \sigma_e (n_2 - n_1) \frac{c_0}{n} N_l \varphi(\vec{r}) dV + N_{noise} - N_l / \tau_{cav}$$
(δ)



۴-۱- توزیع یکنواخت میدان مشدد

اگر توزیع یکنواختی برای میدان مشدد در نظر بگیریم، تـابع چگالی فضایی تک فوتون را میتوان چنین نوشت:

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{n}{l_{opt}S} \tag{1.}$$

که S مساحت سطح مقطع پرتو است. با این فرض مختصه مکانی (\vec{r}) از معادلات آهنگ حذف می شود. با استفاده از روش رانگ-کوتای مرتبه چهار معادلات آهنگ ۱، ۲و ۵ تحلیل شدند. شکل ۲ توان خروجی لیزر را بر حسب زمان نشان می دهد. از این شکل می توان انرژی خروجی لیزر را بدست آورد. شکل ۳ وارونی جمعیت بهنجار شده برای یونهیای Strain ($n_2 - n_1$) و یونهای Strain یونهای ($n' = (n_2 - n_1)/n_{er}$) و یونهای Strain (N_{Yb})



($E_{in} = 25J R = 90\%$) شكل ۲: تغييرات زماني توان خروجي ليزر



Yb و Er شکل ۳: تغییرات زمانی وارونی جمعیت بهنجار شده یونهای Er و $(E_{in}=25J\ R=90\%)$

۲-۴ توزیع گاوسی میدان مشدد نرم افزار GLAD انتشار امواج الکترومغناطیسی را در عناصر

اپتیکی بصورت صحیحی مدلسازی میکند. در ایـن بخـش بـه تغییـر روش GLAD در تحلیـل لیزرهـای سـه تـرازی پرداخته میشود، بطوریکه بتواند محیط لیزری هـم آلائیـده Yb:Er:Glass را تحلیل کند.

تحلیل لیزر Yb:Er:Glass در سه مرحله زیر انجام میشود:

$$\frac{dN_2}{dt} = \sigma_p \Phi_p (N_{Yb} - 2N_2) - \gamma_{Yb} N_2 \tag{11}$$

که جواب آن بصورت زیر است:

$$N_{2}(t) = \frac{\beta}{\alpha} + [N_{2}(0) - \frac{\beta}{\alpha}] Exp(-\alpha t)$$

$$\beta = \sigma_{p} \Phi_{p} N_{Yb} , \ \alpha = 2\sigma_{p} \Phi_{p} + \gamma_{Yb}$$
(17)

$$\frac{dn_2}{dt} = -\frac{dN_2}{dt} = K_f N_2 n_1 \tag{17}$$

$$N_{2}(t) = \frac{c' \chi Exp(c'K_{f}t)}{1 + \chi Exp(c'K_{f}t)}$$
(14)

$$c' = N_2(0) - n_1(0)$$
, $\chi = -N_2(0)/n_1(0)$

- برهمکنش میدان مشدد با محیط بهره

$$\frac{dn_2}{dt} = -\sigma_e \Phi_l (2n_2 - n_{er})$$

$$\frac{dN_l}{dt} = \iiint_{V_a} \sigma_e (n_2 - n_1) \frac{c_0}{n} N_l \varphi(\vec{r}) dV$$
(1a)

نرمافزار Glad از روش Franz-Nodvik برای حل معادلات ۱۵ استفاده می کند. در هر بار انتشار امواج نوری از ماده لیزری، از سه مرحله بالا برای تحلیل بهره استفاده می شود. اتلافهای درون مشدد نیز بصورت جداگانهای به میدان مشدد اعمال می شود. نتیجه چنین تحلیلی در شکلهای ۴ تا ۶ آمده است. شکل ۴ توزیع گاوسی میدان مشدد را نشان می دهد. تغییرات زمانی توان خروجی لیز زیز در شکل آورده شده است. همچنین وابستگی زمانی وارونی جمعیت بهنجار شده یونهای Er ('n) و یونهای Yb ('N) در شکل

لیزر و اپتیک لیزری







تحلیل گاوسی بدست آمد، بیشتر است. مقادیر انرژی خروجی بدست آمده از این تحلیل، این موضوع را تائید می-کند (جدول ۱). لازم بذکر است که در مورد لیزرهای سه ترازی، برای داشتن بهره لازم است که بیش از نیمی از جمعیت تراز زمینه به تراز شبه پایدار دمش شود و از این رو شروع نوسانات لیزر با یک تاخیر زمانی نسبت به عمل دمش صورت می گیرد. هر دو تحلیل صورت گرفته این موضوع را نشان می دهد (شکلهای ۲ و ۵).

جدول ۱: انرژی خروجی لیزر Yb:Er:Glass

$E_{in}(J)$	۲.	۲۵	٣٠
$E_{_{out}}\left(J ight)$ (توزيع يكنواخت) (توزيع ا	۰,۲۰۲	۲۹۳,۰	۲۶۸, ۰
$E_{_{out}}\left(J ight)$ (توزیع گاوسی)	•,187	• ,٣٣٣	۰,۳۳۱

پارامترهایی که در تحلیل عددی از آنها استفاده شده است:

$$\begin{split} n_{er} &= 1 \times 10^{19} \ cm^{-3} \ , \ N_{Yb} = 1.6 \times 10^{21} \ cm^{-3} \\ \sigma_p &= 1.7 \times 10^{-20} \ cm^2 \ , \ \sigma_e = 7 \times 10^{-21} \ cm^2 \\ K_f &= 7 \times 10^{-15} \ cm^3 s^{-1} \ , \ \gamma_{21} = 125 \ s^{-1} \ , \ \gamma_{Yb} = 1000 \ s^{-1} \\ t_p &= 1ms \ , \ R = 90\% \ , \ p = 2\% \ , \ \eta_{pump} = 3\% \\ Laser \ Rod : Diameter = 3 \ mm \ Length = 5 \ cm \end{split}$$

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق لیزر Yb:Er:Glass با دمش لامپ درخشی از دیـدگاه معـادلات آهنـگ و با دو روش تحلیـل شـد. تـوان خروجی لیزر و وارونی جمعیـت یونهای Yb و Er در هـر دو تحلیل رفتار زمانی مشابهی دارند. با اینحال انـرژی خروجی لیزر در تحلیل توزیـع یکنواخت مقـدار بیـشتری را نتیجـه می دهد. همچنـین زمان آغـاز نوسانات در هـر دو تحلیـل مقـدار یکـسانی دارد. با استفاده از نتـایج چنـین تحلیلی می توان پارامترهای خروجی لیزر را بهینه کرد و بازده ایـن لیزر را در زمینههای مختلف بویژه زمینه نظامی افزایش داد.

مراجع

- P. Laporta, S. Taccheo, S. Longhi, O. Svelto, C. Svelto "Erbium-ytterbium micro lasers: optical properties and lasing characteristics" Optical Materials 11 (1999) 269-288
- [2] P. Laporta, S. Longhi, S. Taccheo ,O. Svelto ,"Analysis and modeling of the erbium-ytterbium glass laser " Optics Communications 100 (1993) 311-321
- [3] E. Tanguy, C. Larat, J.P. Pocholle, "Modeling of the erbium-ytterbium laser" Optics Communications 153 (1998) 172-183
- M.Lukac," Transient population dynamics in flash lamp pumped sensitized erbium glass lasers " APPLIED OPTICS 30(1991) 2489-2494









Yb و Er شکل ۶: تغییرات زمانی وارونی جمعیت بهنجار شده یونهای Er و $(E_{in}=25J\ R=90\%)$

۵- بحث و مقایسه دو روش

در نرم افزار GLAD از توزیع واقعی میدان مشدد (پرتو گاوسی) استفاده میشود و بنابراین میزان استخراج انرژی در لبه های میله لیزر کمتر از قسمت مرکزی آن است. در تحلیلی که بر اساس توزیع یکنواخت میدان مشدد صورت گرفت ، استخراج انرژی بصورت یکسانی انجام میشود و بنابراین مقدار انرژی بدست آمده نسبت به مقداری که از