بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی اثر سفیدشدگی جاذب اشباع پذیر بر پارامترهای خروجی میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی

زهرا محمدظاهری، مریم جندقی، سمیرا علیپور و سید علاالدین هاشمی گلپایگانی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران ، ایران ۵۷۶-۱۴۶۶۵

چکیده – در این تحقیق به بررسی اثر سفید شدگی محیط جاذب بوسیلهٔ نور دمیده در میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG و تاثیر آن بر روی پارامترهای خروجی لیزر شامل انرژی و پهنای تپ پرداخته شده است. با نزدیک شدن مکان متمرکز سازی پرتو دمیده به بلور جاذب پدیده ی سفیدشدگی افزایش می یابد. با بهینه سازی مکان متمرکز سازی نور دمیده در محدوده ای که حجم دمش در بلور بهره تقریباً ثابت بماند، می توان اثر سفیدشدگی بلور جاذب را به حداقل رساند. ما در این آزمایش کاهش پهنای تپ لیزر به اندازه ی 150ps و افزایش انرژی تپ به اندازه ی 9µj گزارش نموده ایم.

کلید واژه- سفیدشدگی القایی جاذب اشباع پذیر، میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی، پهنای تپ، انرژی تپ

Investigation of saturable absorber bleaching on output parameters of passively Q-switched microchip laser

Zahra Mohammad Zahery, Maryam Jandaghi, Samira Alipour and S. A. Hashemi Golpayegani

Iranian National Center for Laser Science and Technology, P.O. Box 14665-576, Tehran, Iran

Abstract- In this paper we have investigated the effect of pump induced bleaching of the saturable absorber in a passively Q-switched microchip laser on the laser parameters such as pulse width and pulse energy. The induced bleaching will be increased by moving the focusing position away from the surface of absorber crystal. The minimum effect of bleaching will be achieved by optimizing the focus position while the pumping volume is nearly fixed in the gain crystal. We report decreasing of pulse width by 150ps and increasing of pulse energy by 9µj in this experiment.

Keywords: Induced bleaching of saturable absorber, Passively Q-switched microchip laser, Pulse width, Pulse energy.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

۱-مقدمه

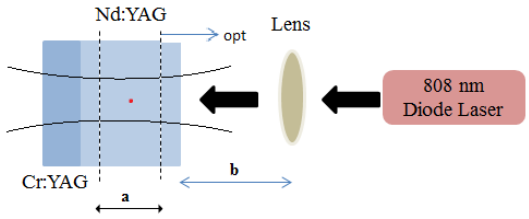
میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی با دمش از انتها که متشکل از محیط بهره‌ی Nd:YAG و جاذب Cr^{4+}:YAG می باشد، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مشخصه‌های این لیزر تولید تپهای لیزری با پهنای تپ زیر نانوثانیه و توان قله‌ی بالا می‌باشد [۲-۱]. مطالعات تئوری در ارتباط با میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی عموماً پهنای تپ حدود 500 ps را گزارش می‌کند، در حالیکه آزمایشات تجربی به واسطه‌ی اثر سفید شدگی جاذب اشباع پذیر، توسط تابش دمیده جذب نشده در محیط بهره، تپ های بلندتر با انرژی کمتر را نشان می‌دهد[۳].

اکثر جاذب‌های اشباع پذیر حالت جامد، دارای مشخصه-های جذب پهنی هستند که غالباً با طول موج دمش لیزر هم‌پوشانی دارد [۴]. این مسئله خصوصاً در لیزرهای سوئیچ Q انفعالی با دمش از انتها مشکل ساز می‌شود. یکی از علل افزایش میزان تابش دمش جذب نشده در محیط بهره، پهنای باند طیفی حدود 3nm در لیزرهای دمش دیودی Nd:YAG می‌باشد. علت دیگر این مشکل مربوط به زمانی است که نور دمیده در نزدیکی Cr^{4+}:YAG متمرکز می شود و یا شدت دمش زیاد بوده در نتیجه تمام نور دمیده توسط محیط بهره جذب نمی گردد.

ما در این مقاله تأثیر مکان تمرکز نور لیزر دمش در بلور بهره، و پدیده‌ی سفیدشدگی محیط جاذب را بر روی تغییرات انرژی و پهنای تپ لیزر به شکل تجربی مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ابتدا مختصری از تئوری اثر سفیدشدگی را بیان می‌کنیم.

۲-تئوری

در این تحقیق یک میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی متشکل از یک محیط بهره Nd:YAG و یک محیط جاذب اشباع پذیر Cr^{4+}:YAG که به وسیلهٔ روش اتصال نفوذی[۱] به هم متصل شده‌اند ، مورد بررسی قرار می گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- طرحواره‌ی از میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی، b فاصله ی لنز از سطح کریستال بهره و a بازه‌ی تغییرات مکانی تمرکز باریکه‌ی لیزر به منظور بررسی اثر سفیدشدگی در آزمایش می باشد.

در ابتدا جاذب اشباع پذیر، اتلاف داخل کاواکی بزرگی را برای فوتون های لیزر ایجاد می‌کند. که به محض رسیدن تعداد فوتون‌های داخل کاواک لیزر به آستانه مورد نیاز برای غلبه بر اتلاف جاذب، تپ لیزر آغاز می‌شود. قبل از آغاز لیز در لیزر سوئیچ Q انفعالی، سیستم در یک حالت شبه پایا قرار داشته که جمعیت تراز پایه‌ی جاذب اشباع پذیر با در نظر گرفتن اثر سفیدشدگی القایی توسط دمش برابر است با [۲]:

$$N_{s,g,0} = \int \frac{\rho_s}{1 + I_p / I_{p,sat}} dV \qquad (1)$$

$$I_{p,sat} = \hbar \upsilon_p / \sigma_{s,g,p} \tau_s \qquad (2)$$

که در این روابط ρ_s چگالی یونهای جاذب اشباع پذیر، I_p شدت دمش در جاذب اشباع پذیر، υ_p فرکانس نوردمش و $\sigma_{s,g,p}$ سطح مقطع جذب حالت پایه جاذب در طول موج دمش و $I_{p,sat}$ شدت اشباع جاذب در طول موج دمیده می باشد. انتگرال‌گیری روی حجم مد نوسانی در جاذب اشباع پذیر انجام می‌شود.

در میکرولیزرهای سوئیچ Q انفعالی با دمش از انتها، شدت دمش در جاذب اشباع پذیر، می‌تواند به شدت اشباع $I_{p,sat}$ نزدیک شود که این امر مطابق رابطه‌ی (۲)، منجر به کاهش تعداد یونهای جاذب در فرآیند سوئیچ Q انفعالی و کاهش اتلاف در جاذب شده و به تبع آن عبور اولیه ی جاذب را در شروع فرآیند سوئیچ زنی افزایش می دهد. در نتیجه انباشتگی انرژی کم شده و متعاقباً انرژی

[۱] Diffusion bonding

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

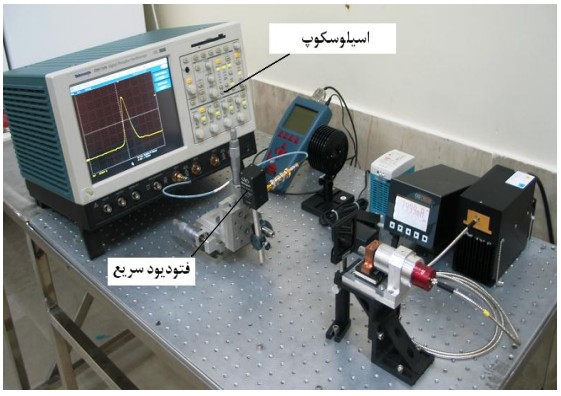
تپ خروجی کاهش پیدا می‌کند. انرژی ذخیره شده‌ی کمتر، بهره ی کوچکتر و زمان خیزش[۲] بزرگتر، تپ آهسته‌تری را نتیجه داده و منجر به افزایش پهنای زمانی تپ لیزر می‌شود.

به منظور کاهش سفید شدگی القایی جاذب توسط پرتو دمیده در میکرولیزرهای تپ کوتاه بایستی تعداد فوتون-های دمیده که به جاذب می‌رسند را کاهش داد. به این منظور می توان هریک از شرایط زیر را فراهم کرد:

- استفاده از Nd:YAG با غلظت بالا
- تنظیم دقیق طول موج دمش در قله‌ی جذب محیط بهره (Nd:YAG)
- قرار دادن یک سطح بازتابنده ی نور دمیده بین محیط فعال و جاذب
- متمرکز نمودن باریکه‌ی نور دمیده تا حد ممکن دور از جاذب اشباع پذیر

۳-آزمایشات تجربی

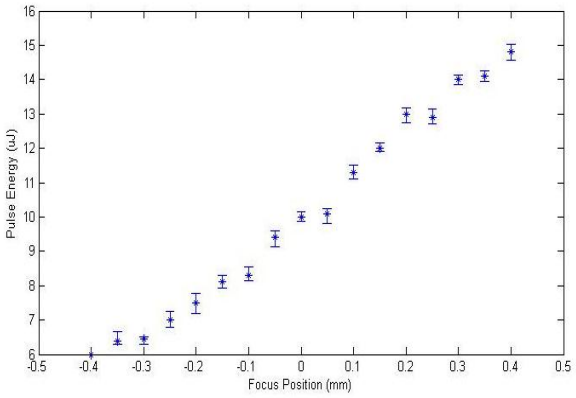
به منظور بررسی اثر سفید شدگی القایی جاذب توسط پمپ، آزمایشی به شکل زیر طراحی گردیده است.



شکل ۲- چیدمان میکرولیزر سوئیچ Q انفعالی به منظور بررسی اثر سفیدشدگی جاذب

شکل ۲ نمایی از چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد. در این چیدمان از یک لیزردیودی پیوسته با طول موج 808nm و ماکزیمم توان 7W به عنوان منبع دمش استفاده می‌شود. طول کاواک برابر است با 2mm که متشکل از یک محیط فعال Nd:YAG با چگالی یونی 1% و طول 1.5mm و یک محیط جاذب Cr^{4+}:YAG با طول 0.5mm و ضریب عبور اولیه ی 85% می باشد که این دو محیط کریستالی به صورت اتصال نفوذی کنار هم قرار داده شده‌اند. کاواک مذکور بر روی پایه‌ای مجهز به میکرومتر سوار شده که از این میکرومتر به منظور تغییر موقعیت نقطه‌ی تمرکز دمش در طول کریستال استفاده می‌شود.

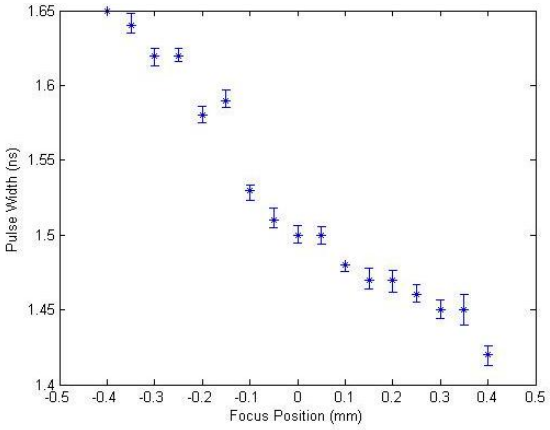
در این آزمایش دور یا نزدیک شدن نقطه‌ی تمرکز پرتو، علاوه بر پدیده‌ی سفیدشدگی جاذب، روی حجم دمش در بلور بهره نیز تاثیر گذار خواهد بود. بنابراین انرژی تپ لیزر را تغییر می‌دهد. در اینجا، به منظور حذف اثر تغییر حجم دمش بر روی پارامترهای خروجی لیزر، تغییرات محل تمرکز پرتو حول نقطه‌ی مرکزی بلور بهره در نظر گرفته شده است تا حجم دمش تقریباً یکسانی در شرایط مختلف متمرکز سازی داشته باشیم. شکل های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار تغییرات انرژی و پهنای تپ لیزر را نسبت به فاصلهٔ نقطه‌ی تمرکز باریکه‌ی دمش از بلور Cr^{4+}:YAG نشان می دهد.



شکل ۳- نمودار تغییرات انرژی خروجی تپ لیزر Nd:YAG بر حسب مکان متمرکز سازی پرتوی دمیده داخل محیط بهره

[۲] Rise time

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]



شکل ۴- نمودار تغییرات پهنای تپ لیزر Nd:YAG بر حسب مکان متمرکز سازی پرتوی دمیده داخل محیط بهره

در شکل های بالا نقطه‌ی صفر موقعیتی است که نور لیزر در وسط کریستال Nd:YAG متمرکز شده است (شکل۱). همانطور که در شکل ۳و۴ دیده می‌شود با تغییر مکان تمرکز پرتو به سمت Cr^{4+}:YAG (اعداد منفی نمودار) شدت دمش در جاذب اشباع پذیر افزایش یافته و باعث کاهش تعداد اتمهای حالت پایه آن می‌شود. بنابراین پهنای تپ لیزر افزایش و انرژی آن کاهش می‌یابد. در مقابل هرچه نقطه‌ی تمرکز از بلور جاذب دور شود (اعداد مثبت نمودار)، پهنای تپ کم و انرژی آن زیاد می‌شود. اما دور کردن نقطه تمرکز نور لیزر از سطح جاذب تا جایی امکان پذیر است (تا نقطه .opt در شکل ۱) که حجم دمش داخل بلور بهره، و به تبع آن، انرژی پالس کم نشود. با توجه به اینکه تاثیر سفیدشدگی جاذب اشباع پذیر، برروی پارامترهای خروجی لیزرهای سوییچ Q انفعالی قابل ملاحظه است باید در طراحی و ساخت چنین لیزرهایی این اثر را به حداقل رساند. در این آزمایش نقطه بهینه تمرکز باریکه لیزری (نقطه opt) 0.35mm از لبه بیرونی بلور بهره بدست آمد که در این حالت، پهنای پالس 1.4ns و انرژی پالس 14.8μJ قابل دستیابی است.

۴-نتیجه‌گیری

سفیدشدگی جاذب به وسیلهٔ پرتو دمیده باعث افزایش پهنا و کاهش انرژی تپ در میکرو لیزر سوئیچ Q انفعالی Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG می شود. این پدیده هنگامی رخ می دهد که نور دمیده در نزدیکی جاذب متمرکز شده و موجب سفید شدگی آن گردد. به طور معمول برای حذف این اثر یک سطح بازتاب دهنده ی طول موج نور دمش بر روی سطح ورودی جاذب لایه نشانی می شود [۵]. در این صورت دو کریستال به صورت جدا از هم و بدون استفاده از تکنیک اتصال نفوذی، در تشدیدگر قرار می‌گیرند که این باعث افزایش طول تشدیدگر و به تبع آن افزایش پهنای تپ خروجی لیزر می‌شود. در این مقاله ما به منظور حذف اثر سفید شدگی به جای استفاده از سطح بازتاب دهنده و دو کریستال جدا از هم، ضمن استفاده از روش اتصال نفوذی با بهینه سازی مکان تمرکز نور دمش، اثر سفیدشدگی بلورجاذب را به حداقل رسانده ایم.

مراجع

[1] Zayhowski, John, J. Diode-pumped passively Q-switched picosecond microchip lasers, Opt. Lett., 19, 1427-1429, 1994
[2] Zayhowski, John J, *Solid-State Lasers and Applications*, First Chapter, Taylor & Francis Group, LLC, 2007
[3] Zayhowski, John J, Pump Induced Bleaching of the saturable absorber in short pulse Nd:YAG/Cr:YAG passively Q-switched microchip laser, IEEE Journal of quantum electronics, 39 ,1588-1593, 2003
[4] Welford, D., Passively Q-switched lasers: short pulse duration, single frequency sources, in Proceedings of Lasers and Electro-optics Society Annual Meeting, 121-122, 2001
[5] Jaspan M. A., Welford D., and Russell J. A., Passively Q-switched microlaser performance in the presence of pump induced bleaching of saturable absorber, Applied Optics 43, 2556-2560, 2004

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]