

طراحی و ساخت یک لیزر نیمه هادی کوک‌پذیر با پهناي خط کمتر از $0.003 \mu\text{m}$ آنگستروم

جمشید صباغزاده*، صدیقه دادرس و زهرا حقی

* گروه فیزیک، پژوهشکده علوم پایه، دانشگاه امام حسین (ع)
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه الزهرا (س)

(دریافت مقاله: ۷۸/۳/۱۸ دریافت نسخه نهایی: ۷۸/۱۱/۲۴)

چکیده

در این مقاله به شرح جزئیات و نحوه طراحی یک لیزر نیمه هادی بسیار دقیق، با نور بازتابی از توری پراش جفت شده، می‌پردازیم. با توجه به اینکه بسامدهای نور بازتابی در زاویه‌های مختلف پراشیده می‌شوند، تنها یکی از بسامدهای برگشتی قادر به تشدید در داخل کاواک خواهد بود. این عمل باعث تیز شدن بسامد نور خروجی لیزر و پایداری بسامد آن می‌شود. از آنجا که این دستگاه کاربردهای فراوانی در طیف نمایی، اندازه‌گیری چگالی گازها و آلودگی هوا، بررسی ساختار اتمی و مولکولی و... دارد، لذا سعی بر این بوده است تا طرح ارائه شده از سادگی و دقت بالا برخوردار باشد. این طرح برای اولین بار در ایران انجام شده است و کیفیت دستگاه با اندازه‌گیری ساختار ریز اتم رویدیدیم آزمایش شده است که نتایج آن در اینجا ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: لیزر، نیمه هادی، کوک‌پذیر

۱. مقدمه

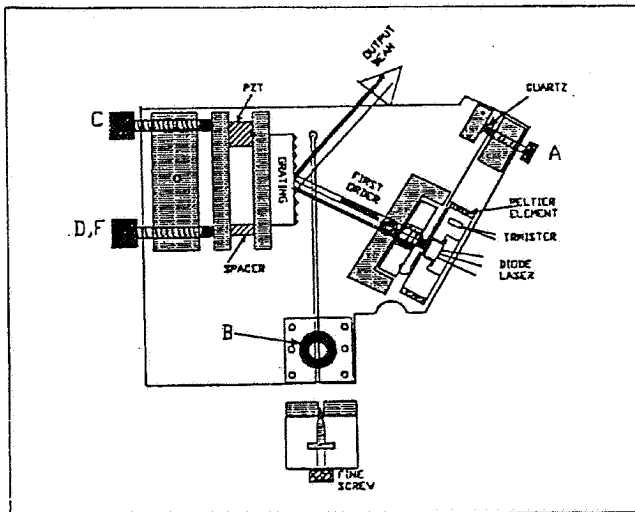
ایجاد نمود. اگر یک فیدبک الکترونیکی یا اپتیکی [۱] این دستگاه را به طور دایم کنترل نکند پایداری بسامدی ایجاد شده در حد مطلوبی تضمین نمی‌شود. لیزرهای نیمه هادی به طریق بسیار ساده‌ای می‌توانند پهناي باند بسامدی ظریف و پایداری بالا را تامین کنند [۲]. روشهای متعددی جهت طراحی و ساخت یک دستگاه لیزری پایدار و تک بسامد وجود دارد که می‌توان به جفت کردن لیزر با توری پراش [۳]، جفت کردن لیزر با کاواک فابری پرو [۴]، محیط پخش اتمی [۵] و... اشاره کرد. در این دستگاه، از روش جفت کردن لیزر با توری پراش استفاده شده است. این روش خود از دو نوع متفاوت، روش لیتمن^۱ و روش لیترو^۲ تشکیل شده است. این دو روش بسیار مرسومند و

با توجه به توسعه کاربرد لیزرهای کوک‌پذیر با پهناي خط تیز و پایداری بسامدی بالا در تحقیقات بنیادی، بخصوص طیف نمایی زیر دوپلری و آشکارسازی ترازهای بسیار ریز اتمی، نیاز به این منابع به صورت جمع و جورتر و با قابلیت اعتماد بالا و همچنین قیمت مناسب بیشتر می‌شود. به طور خاص ایجاد کوک‌پذیری با پایداری بسامدی بالا، با مهندسی پیچیده و هزینه بالا همراه است. لیزرهای رزینه‌ای به علت نیاز به دمش اپتیکی غالباً حجیم و گران تمام می‌شوند، بخصوص اگر قرار باشد که پایداری بسامد در این لیزرها تا حد مطلوبی تامین گردد، باید در داخل تشدیدکننده لیزر، محیط پخش بسامدی^۱

1. Littman

2. Litrow

۱- متشکل از تعدادی منشور و توری پراش



شکل ۱. نمای کلی دستگاه لیزر نیمه هادی کوک پذیر

در بررسیهایی که انجام دادیم، بر ما مسلم و معلوم گشت که لیزرهای ارزان قیمت، که به صورت تجارتي در بازار وجود دارند و لایه مناسب ضدانعکاس روی کاواک آن لایه گذاری نشده است، به خوبی با توری پراش جفت نمی شوند. لذا بسامد نور خروجی رفتار چندمدی از خود نشان خواهد داد. دیدود لیزر مورد استفاده از نوع ژاپنی بوده و در طول موج ۷۸۰ نانومتر بیشینه توان را داراست.

به دلیل جهت دوگانه ($\theta_{\perp} = 3^{\circ}$ و $\theta_{\parallel} = 1^{\circ}$) واگرایی نور لیزر از یک مجموعه عدسی جهت موازی کردن نور استفاده می شود. عدسیها جهت عبور بیشینه نور توسط لایه مخصوصی برای عبور طول موج ۸۰۰ نانومتر لایه نشانی شده اند. نور موازی شده به توری پراش برخورد می کند و در زوایای مختلف برحسب مرتبه های مختلف پراشیده می شود (توری پراش مورد استفاده دارای ۱۲۰۰ خط در میلی متر است). مرتبه صفرم که در راستای انعکاس آینه ای است، پراشیده نمی شود و به عنوان خروجی لیزر مورد استفاده قرار می گیرد. مرتبه یکم نور لیزر با توزیع فضایی خاصی، که تابعی از قدرت تفکیک نوری پراش است و برحسب بسامدهای مختلف پراشیده شده است، به داخل لیزر تزریق می گردد. این روش را اصطلاحاً روش لیترو می گویند. آرایش دیگری از مجموعه قطعات اپتیکی از جمله توری پراش و لیزر وجود دارد که به روش لیتمن معروف

هر کدام مزایا و معایبی دارند که در جای خود از آن صحبت خواهد شد.

۲. کم کردن پهنای خط لیزر

لیزرهای نیمه هادی علاوه بر عدم کیفیت پرتو اپتیکی مطلوب، از همدوسی زمانی پایینی نیز برخوردارند. علت همدوسی زمانی پایین این است که این دستگاهها دارای کاواک میکروسکوپی و ضریب کیفیت (Q کاواک) پایین هستند.

پهنای خط یک لیزر که توسط حد شالو - تونز^۱ مشخص می شود به صورت زیر بیان می شود [۶]،

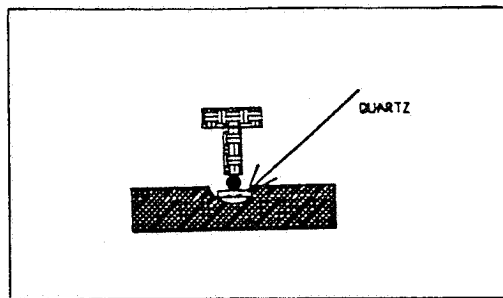
$$\Delta v_{\text{laser}} = \frac{\gamma \pi \hbar \nu \eta \left(\Delta v_{\frac{1}{2}} \right)^2}{P_e} \quad (1)$$

که در اینجا ν بسامد لیزر، η ضریب جمعیت معکوس، P_e توان خروجی لیزر و $\Delta v_{\frac{1}{2}}$ پهنای خط عبوری از تشدیدگر لیزر است. برای یک لیزر نیمه هادی در حدود گیگاهرتز و Δv_{laser} در حدود مگا هرتز است. این مقدار اگرچه کم است اما برای بسیاری از کاربردها، مانند مخابرات همدوس و یا به دام اندازی اتم خنثی در میدان الکترومغناطیسی لیزر، مناسب نیست. جفت شدگی دامنه و فاز میدان الکتریکی یک ضریب α معرفی می کند [۷]، که به ضریب هائری معروف است و پهنای خط را تا حدود ۲۵ تا ۳۰ برابر افزایش می دهد. به عبارت دیگر نشر خودبه خودی، که عامل اساسی در ایجاد تغییرات فاز در لیزر است و حد شالو - تونز را به وجود می آورد، در لیزرهای نیمه هادی باعث یک اثر اضافی می شود که این اثر ایجاد تغییرات در ضریب شکست و جفت شدگی قوی فاز - دامنه است [۸].

گذاشتن یک المان پاشنده نور مانند توری پراش، سلول محتوی گاز جاذب و یا کاواک فابری - پرو در داخل کاواک لیزری نیز می تواند پهنای نور را تقلیل دهد. شاید از نظر تبعیض، جداسازی بسامدها و تقلیل پهنای خط لیزر بتوان گفت که کاواک فابری - پرو تکنیک برتر است. اما کار کردن با این دستگاه به دلیل حساسیت این تکنیک به پایداری حرارتی و مکانیکی و مشکلات جنبی در تأمین این پایداری بسیار مشکل است.

۳. شرح کار دستگاه

شکل ۱ نمای کلی دستگاه را نشان می دهد. در این دستگاه یک دیدود ۳۰ میلی وات، که دارای لایه مناسب ضد انعکاس روی طرف خروجی تشدیدگر آن است مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۲. نمایی از پیچ میکرومتری

است در طراحی مکانیکی این دقت لحاظ گردد. بعضی از طراحان کاواک [۹] دقت و حساسیت در ارتفاع را مهمتر از فاصله بین موازی‌ساز و لیزر می‌دانند، در حالیکه برای رسیدن به جفت شدگی مطلوب، تجربه به ما نشان داده است که دو عامل بسیار مؤثر می‌باشند. عامل اول ایجاد یک فیدبک قوی و عامل دوم موقعیت مناسب موازی‌ساز که بتواند تصویر مناسبی از فاز و دامنه فیدبک در محیط فعال لیزر نیمه هادی ایجاد کند. پیچ میکرومتری B باعث چرخش ظریف توری پراش می‌شود که با این چرخش طول کاواک نیز به طور جبرانی تغییر کرده و کوک پذیری پیوسته را قابل حصول می‌کند. تغییرات ظریف‌تر طول موج با المان پیزوالکتریک امکان‌پذیر شده است، که به خوبی می‌تواند در عرض گذار اتمی طول موج نور جاروب شود.

پیچهای میکرومتری C، D و F برای تنظیم و هم محوری اولیه توری پراش با کاواک است و پس از یک بار تنظیم لازم است ثابت بمانند. در روی این نگهدارنده، این مواضع با جایگذاری پیچهای ظریف قابل ثبت می‌باشند.

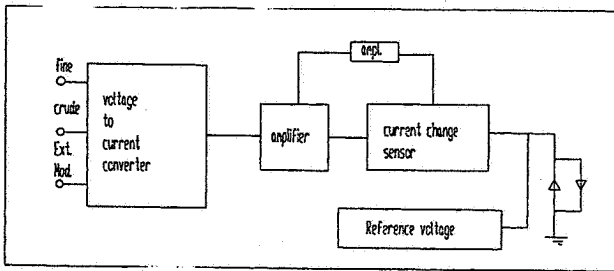
در پایان، برای اینکه هوا در داخل محفظه لیزر جابه‌جا نشود و در نتیجه ایجاد ناپایداری در کاواک لیزر نکند، تمام مجموعه را در یک محفظه بسته قرار می‌دهیم.

به منظور جاروب نمودن بسامد لیزر در عرض پهنای جذبی اتم رویدیم، لازم است تا توری پراش را به طریقی حول محور مناسبی بچرخانیم. در طراحی دستگاه این محور به گونه‌ای محاسبه می‌گردد که چرخش توری پراش طول کاواک را نیز اندکی تغییر داده، به گونه‌ای که بسامد داخل کاواک بتواند با زاویه پراش توری پراش منطبق شده و شرایط بهینه‌ای برای کوک پذیری پیوسته ایجاد کند. به عبارت دیگر لازم است طول موج نور در دو رابطه زیر به طور همزمان صدق کند:

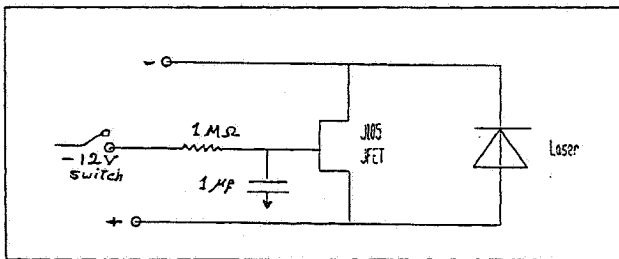
می‌باشد. در این روش مرتبه پراشیده شده اول از توری پراش به آینه‌ای برخورد می‌کند و به سمت توری پراش منعکس می‌شود و بالاخره پس از پراش به داخل لیزر تزریق می‌گردد. روش لیتمن به دو دلیل برتر از روش لیترو است: الف) نور لیزر دوبار به توری پراش برخورد می‌کند که نتیجه آن افزایش تبعیض بسامدی است. ب) توری پراش در زاویه بزرگتری از محور اپتیکی قرار می‌گیرد که خود باعث می‌شود تا نور لیزر تعداد خطوط بیشتری از توری پراش را در برگرفته، لذا منتج به پراشیدگی بیشتری می‌گردد. اما نقصان این روش این است که طول کاواک آن بزرگتر است و بنابراین راحت‌تر دچار پرش مد طولی^۱ می‌شود. در مجموع ما به هر دو روش دستگاه را مورد آزمایش قرار دادیم و جهت کاربردهای عمومی، روش لیترو را ترجیح می‌دهیم.

ارتعاشات ناخواسته و تغییرات درجه حرارت باعث ناپایداری در کاواک و در نتیجه مانع تک فرکانس بودن لیزر می‌شود. برای از بین بردن ارتعاشات ناخواسته، مجموعه را بر روی متکاهای لاستیکی مخصوص، که ضریب میرایی بسیار بالایی در ارتعاشات با فرکانس بالا دارند، قرار دادیم. بدین ترتیب ارتعاشات ناشی از فرکانسهای صوتی موجود در هوا توسط این لاستیکهای مخصوص حذف شد. با توجه به اینکه در اواسط صفحه زیرین، شکافی جهت توری پراش ایجاد شده است، لذا کاواک از یک پارچگی لازم برخوردار نیست که خود نقصی در طراحی به حساب می‌آید. برای رفع این نقیصه، یک قطعه لاستیک ضد ارتعاش مخصوص بطور یکپارچه زیر دو لبه شکاف قرار داده شد تا ارتعاشات ناخواسته را به نحو مطلوبی میرا نماید. برای بالا بردن ضریب اطمینان، در کف نگهدارنده لیزر و دیگر المانهای مؤثر شکافی ایجاد گردیده است، که از نظر مکانیکی بیشترین پایداری را دارا می‌باشد.

یک سنسور حرارتی با یک TE طوری جفت شده است که هرگونه تغییرات در سنسور حرارتی توسط مدار الکترونیک به TE فرمان دهد و در جهت معکوس درجه حرارت لیزر را تنظیم کند. این عمل بطور خودکار انجام شده و پایداری حرارتی لیزر را با دقت میلی کلوین تامین می‌کند. در این طراحی سعی بر این بوده است تا المان TE و لیزر نگهدارنده آن در تماس حرارتی خوبی باشند. به دلیل وجود NA بالا در موازی ساز نور لیزر فاصله بین لیزر و موازی‌ساز بسیار حساس است. پیچ میکرومتری A، اینها موقعیت را به دقت اصلاح می‌کند. ارتفاع لیزر و موازی‌ساز نیز از اهمیت خاصی برخوردار است که لازم



شکل ۳. نمای کلی مدار الکترونیک



شکل ۴. مدار کنترل کننده جریان برای محافظت لیزر

خارج وجود دارد. نقطه اول، جهت تغییرات شدید منبع جریان می باشد و قادر است با دقت میلی آمپر، شدت جریان را به سرعت کم و زیاد کند. نقطه دوم جهت تغییرات ظریف شدت جریان می باشد که با دقت میکرومتر، در محدوده کمی از شدت جریان می تواند تغییر کند. نقطه سوم برای مدوله کردن شدت جریان لیزر بین دو نقطه به کار می رود. موارد کاربرد این ورودی بسیار زیاد است. برای مثال در مواقعی که نیاز به جاروب با سرعت بالا برای یک خط جذبی است، با وصل نمودن این نقطه به موج سینوسی می توان شکل خط جذبی را با دقت خوبی اندازه گیری کرد.

مدار فیدبک و ولتاژ مرجع، دو قسمت مهم این مدار می باشند که ما با تغییرات جزئی در این دو قسمت به پایداری مناسبی از شدت جریان دست یافتیم. یکی از ملاحظات بسیار اساسی در طراحی منبع جریان لیزر، محافظت لیزر در برابر جریانهای سریع ناخواسته می باشد که این کار با یک یا چند دیود زنر می تواند به نحو مطلوبی تضمین گردد. برای اینکه لیزر در امنیت بالاتری قرار گیرد، یک ترازئیستور JFET به صورت زیر به آن اضافه می شود تا در هنگام روشن و خاموش نمودن مدار، تغییرات ناگهانی شدت جریان به لیزر صدمه نزد (شکل ۴).

(۲) شرایط توری پراش

$$2d \sin \theta = \lambda$$

(۳) شرایط تشدیدگر

$$\frac{2L}{m} = \lambda$$

که در اینجا θ زاویه توری پراش، d فاصله بین خطوط، L طول کاواک، m یک عدد می باشد. همان طور که در رابطه فوق دیده می شود اگر زاویه توری پراش به قدر $\Delta\theta$ تغییر داده شود طول موج نور به اندازه $\Delta\lambda$ تغییر خواهد کرد به شرط آنکه L به قدر ΔL تغییر نماید. در غیر این صورت m یک مرتبه تغییر خواهد کرد و لیزر دچار پراش مد خواهد شد.

در این دستگاه با توجه به زاویه توری پراش، طول موج نور و طول بهینه انتخاب شده برای کاواک، توری پراش حول محوری با فاصله ۵ سانتیمتر می چرخد که به خوبی می تواند کوک پذیری پیوسته را ایجاد کند [۳]. با جایگذاری یک پیچ میکرومتری دقیق در کنار این بازو، می توان توری پراش را به صورت مکانیکی به گونه ای چرخاند که بسامد نور با دقت گیگاهرتز در عرض باند بسامد مجاز تغییر کند. دقت حدود ده مگاهرتز رانیز می توان با اعمال ولتاژ به عنصر پیزوالکتریک جاگذاری شده در پشت نگهدارنده توری پراش به دست آورد.

چنانچه بخواهیم بسامد نور لیزر را به مقدار زیادی تغییر دهیم از پیچهای میکرومتر پشت نگهدارنده توری پراش استفاده می کنیم. با چرخاندن این پیچها، توری پراش حول محور عمودی می چرخد و با گزینش طول موج مورد دلخواه کاواک لیزر با یکی از مدهای طولی جفت می گردد.

ملاحظات دیگری در این طراحی در نظر گرفته شده است که دقت مدار را بالا برده است به عنوان مثال در نوک هر گونه پیچی که به نحوی می تواند بر روی کاواک اثر گذارد مانند پیچهای F و D، یک ساچمه مرغوب جاسازی شده است که می تواند فقط در یک نقطه تماس حاصل نماید. در صفحه مقابل که تکیه گاه یک ساچمه می باشد، یک قطعه شیشه کوآرتز جاسازی شده است که در اثر چرخیدن پیچ ساییده نمی شود و همچنین بندرت فشرده می شود.

۴. منبع جریان

برای تنظیم شدت جریان لیزر از یک مدار اصلاح شده [۱۰] استفاده کردیم که اهمیت این مدار پایداری، اختلالات کم و سالم بودن از نظر الکتریکی در تأمین شدت جریان لیزر است. سه ورودی در مدار وجود دارد که می تواند شدت جریان لیزر را به دلخواه استفاده کننده تغییر دهد.

مطابق با شکل ۳، سه نقطه جهت تنظیم شدت جریان از

۵. پایداری حرارتی و الکترونیکی

مسئله $e(t)$ هرگز به صفر نخواهد رسید، ولی کوچک شدن آن به بسامد مدارهای الکترونیکی وابسته است و حتی در حد بسیار اندکی نوسان خواهد کرد. چون عنصر خنک کننده نیاز به شدت جریان بالا دارد، لذا لازم است تا تب تولید شده $e(t)$ در یک طبقه تقویت گردد.

یک مدار مناسب جهت خنک کردن لیزر لازم است دارای سه خصوصیت زیر باشد:

الف) پایداری، بدین معنی که خروجی مدار نباید دچار نوسان و یا واگرایی گردد.

ب) عدم حساسیت، مدار نباید حساس به تغییرات شرایط خارجی باشد.

پ) دقت حالت پایدار، این بدین معناست که $e(t)$ در زمانهای بالا، لازم است به سمت مقدار کمینه و ثابتی میل نماید.

در این طراحی، دقت شده است که خروجی servo پایدار باشد و همچنین به خوبی بتواند تغییرات دما را پی گیری کرده و خنکی نماید. این بدین معناست که تابع عبور مدار باید برابر با واحد باشد، یعنی،

$$T(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{G_C(j\omega)G_L(j\omega)}{1 + G_C(j\omega)G_L(j\omega)}, \quad s = j\omega \quad (7)$$

که این مقدار در صورت بالا بردن بهره مدار برابر با واحد خواهد شد. حساسیت مدار نسبت به تغییرات الکتریکی و دیگر خواص عنصرها باید کم باشد. این حساسیت، که نسبت معکوس با بهره مدار دارد، به صورت زیر تعریف می شود،

$$S(s) = \frac{\left[\frac{\partial T(s)}{T(s)} \right]}{\left[\frac{\partial G_L(s)}{G_L(s)} \right]} = \frac{1}{1 + (\text{loopgain})} \quad (8)$$

بدین ترتیب بهره بالا می تواند پایداری و حساسیت مدار را تضمین نماید.

نکته مهم در طراحی دقیق مدار، خواندن درست دمای بلوک لیزر توسط المان خنک کننده و دماسنج می باشد. برای اینکه T_p' ، T_p'' و T_p''' دمای واقعی لیزر، T_p' دمایی است که المان خنک کننده به آن می رسد و T_p''' دمایی است که ترمیستور دارد) هر سه با دقت به سمت یک دمای واحد میل کنند، لازم است که تماس حرارتی بسیار مناسب بین این سه المان مورد نظر یعنی

بسامد لیزرهای نیمه هادی نسبت به تغییرات شدت جریان و دما بسیار حساس می باشد. مارپل [۱۱] نشان داده است که تغییرات ضریب شکست بر حسب دما تقریباً برابر است با،

$$\frac{dn}{dT} \approx 4 \times 10^{-4} K^{-1} \quad (4)$$

که این تغییرات باعث تغییر در بسامد می شود،

$$\frac{d\nu}{dT} \approx 4 \times 10^{-4} \frac{c}{n\lambda} K^{-1} \approx 40 \frac{GHZ}{K'} \quad (5)$$

ضریب پایداری بسامد برای شدت جریان و دما عبارتند از:

$$\alpha_{\text{current}} \approx 3/6 \frac{GHZ}{mA} \quad (6)$$

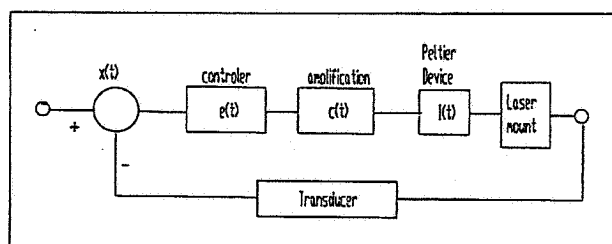
$$\alpha_{\text{temp}} \approx 30 \frac{MHZ}{mK}$$

بنابراین برای پایدار نگه داشتن بسامد یک لیزر نیمه هادی با دقت حدود ۳۰ مگاهرتز لازم است که شدت جریان آن را در محدوده ۸ میکروآمپر و دمای آن را در حدود ۱ میلی کلوین پایدار نگه داریم. البته با توجه به حضور کاواک خارجی این پایداری اهمیت خود را اندکی کمتر نشان می دهد، به هر حال برای طراحی یک دستگاه قابل اعتماد و مناسب لازم است که پایداری حرارتی و شدت جریان مطلوب حفظ گردد. در شکل ۵ مدار پایداری دما نشان داده شده است. که پارامترهای آن به صورت زیر تعریف می شوند:

$X(t)$ دمای مطلوب و مورد نظر استفاده کننده است.

$Y(t)$ دمای واقعی لیزر است.

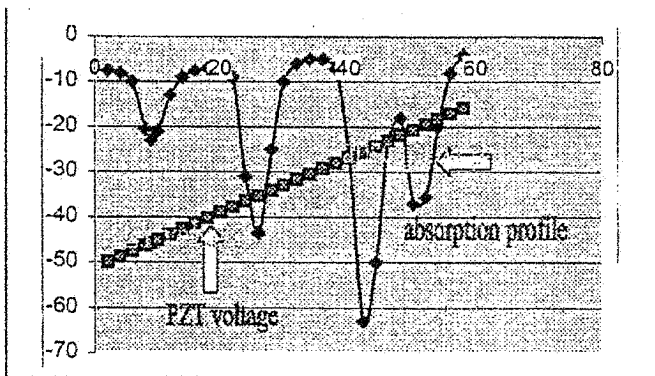
$e(t)$ یک تب است که در اثر تفاوت بین $X(t)$ و $Y(t)$ توسط مدار تولید می شود. مادامی که $X(t)$ برابر با $Y(t)$ باشد، $e(t)$ به سمت صفر میل خواهد نمود.



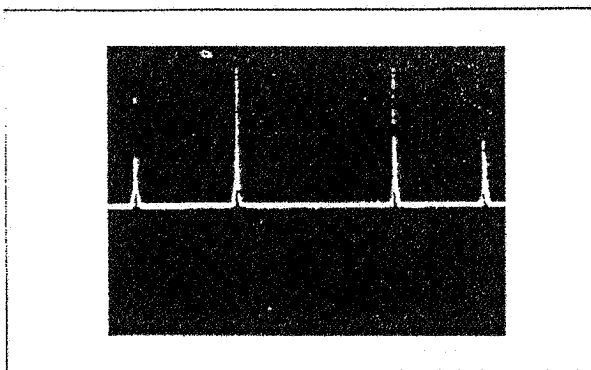
شکل ۵. نمای کلی از مدار خنک کننده لیزر

بسامد در عرض جذب اتمی توسط پیزوالکتریک به دست می‌آید. فلورسانس ناشی از گسیل توسط یک آشکارساز سیلیکونی (DET1-Si) با پاسخ Ions و مقدار NEP برابر $10^{-14} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ ، خریداری شده از شرکت آمریکایی Thorlab، اندازه‌گیری شد. این آشکارساز دارای حساسیت مناسب است که مستقیماً به یک اسیلوسکوپ معمولی متصل می‌شود و شدت نسبی را به خوبی اندازه‌گیری می‌کند. به همین ترتیب جذب به طور مستقیم نیز اندازه‌گیری شد و شدت نسبی آن مورد مطالعه قرار گرفت.

مطابق با شکل ۶، چهار قله جذبی در طیف مشاهده می‌شود که متعلق به گذارهای D_2 اتم روبیدیم در ساختار ریز می‌باشد. چنانچه موج مثلی به پیزوالکتریک وصل شود، این نمودار را به خوبی می‌توان بر روی صفحه اسیلوسکوپ دید. شکل شماره ۷ پهنای خط لیزر را نشان می‌دهد که توسط یک کاواک فابری پرو (ساخته شده در دانشگاه امام حسین (ع)) اندازه‌گیری شده است که این پهنای برابر ۱۳۵ مگاهرتز به نسبت آمده است.



شکل ۶. منحنی جذب اتمی روبیدیم و تغییرات ولتاژ پیزوالکتریک



شکل ۷. نمایش پهنای خط لیزر

بلوک لیزر، المانهای خنک‌کننده و دماسنج برقرار گردد. البته باید توجه داشت که بلوک نگه دارنده نیز یکی از عوامل بوجود آورنده خطا در تپ $e(t)$ است. برای ایجاد تماس بین همه عنصرها، در دستگاه طراحی شده از چسب هادی حرارتی استفاده کردیم که تا مقدار زیادی می‌تواند این خطا را به حداقل برساند.

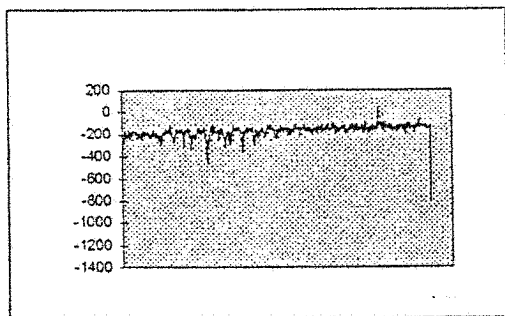
برای ایجاد تماسهای فیزیکی مناسب از تراشکاری دقیق و صیقل دادن سطح تا حد ممکن بهره گرفتیم و توانستیم این عنصرها را تا حد مطلوبی با یک دیگر در تماس قرار دهیم (با خنک کردن لیزر و گرم کردن بلوک می‌توان این دو را در داخل یکدیگر قرار داد، و به خوبی تماس فیزیکی ایجاد نمود).

عنصر مورد استفاده جهت آشکارسازی درجه حرارت لیزر یک ترمیستور AD590JF می‌باشد که با یک بایاس مناسب می‌تواند حدود یک میکروآمپر بر درجه کلون تولید کند. این بدین معناست که اگر نگه دارنده لیزر تغییرات درجه حرارتی برابر با یک میلی‌کلون را تحمل کند، معادل یک نانوآمپر تغییرات در شدت جریان تولید شده توسط ترمیستور خواهد بود. در این قسمت از طراحی حساسیت و دقت ویژه‌ای نیاز است. مهمترین نکته در طراحی این مدار کم کردن تغییرات شدت جریان در کلیه المانها، بخصوص در تقویت کننده، می‌باشد چرا که کوچکترین تغییرات به عنوان تغییرات دما تقلی شده و دمای لیزر به سمت نامناسبی بالا یا پایین خواهد رفت. از خصوصیات جالب AD590JF این است که شدت جریان جاری در یک مقاومت یک کیلو اهم، ولتاژی را ایجاد می‌کند که از لحاظ عددی مساوی با درجه حرارت لیزر است.

تپی که توسط کنترل کننده $C(t)$ تولید می‌شود، قادر به راه‌اندازی عنصر خنک‌کننده (TE) نخواهد بود. لذا لازم است که این سیگنال تا حدود یک یا دو آمپر توسط یک طبقه تقویت کننده، تقویت شود. مهمترین نکته در طراحی این طبقه تقویت کننده، کاستن نویز و پایداری شدت جریان آن است چون این عوامل سهم به‌سزایی در ایجاد خطاها خواهند داشت.

۶. آزمایش و نتیجه‌گیری

خروجی لیزر از یک سلول حاوی بخار اتم روبیدیم عبور داده شد و جذب مستقیم و فلورسانس حاصله مشاهده گردید. تنظیم بسامد لیزر با پیچ A تا حدودی امکان‌پذیر بوده، اما پیچ B در هنگام آزمایش، بخوبی قادر است تا بسامد لیزر را در عرض جذب اتمی جاروب کند. مسلماً دقت بیشتر، از جاروب کردن



شکل ۸. پایداری فرکانسی لیزر دیود اندازه گیری شده با سلول روبیدیم در ۵ میلی تور در مدت دو ساعت. عدد ۱۴۰۰- ماگزیمم جذب را نشان می دهد که جهت مقایسه آورده شده است.

ساخت مدارهای الکترونیکی و آقایان امیری و مؤمنی که در کارگاه و آزمایشگاه کمکهای فراوانی به ما کردند، بیان می داریم.

قدرشناسی

این کار با استفاده از امکانات گروه فیزیک دانشگاه امام حسین (ع) انجام گرفت که بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از مسئول محترم گروه، مسئول محترم آزمایشگاه و همچنین آقایان مهندس خدادادی و مهندس هدایتی که در طراحی و

مراجع

1. F J Duarte, Tunable Laser Handbook, Academic Press, New York (1995).
2. M de Labachellerie, et. al., *J. Phys. France.* (1992) pp 1557-1589.
3. O Nilsson and E Goobar, *J. QE.* **22**, (1986) pp. 795-796.
4. R W Drever, *Appl. Phys. B* **31**, (1983) pp. 97-105.
5. J Jannelli et. al., *IEEE, J. QE*, (1993).
6. A Yariv, Quantum Electronics, 3rd ed., John Wiley, New York, (1989), P. 591.
7. C H Henry, *IEEE J. QE.* **18**, 259, (1982).
8. J Iannelli et. al., *IEEE, J. QE.*, V. **29** No. 5 (1993).
9. W Buel, pcl library, university of Tx at Austin, (1993), (Dissertation).
10. K B McAdam, et. al., "A Narrow Band Tunable Diode Laser System with Grating Feedback, and ...", Thesis, Dept. of Physics and Astronomy, Univ. of Kentacy (1992).
11. D T Marple, *J. Appl. Phys.*, **35**, (1964) 1241.