

بررسی پهن شدگی در میکروسلول فیبری بخار اتمی روبیدیوم

مهناز اسداله سلمان پور، رضا غلامی، محمد مصلح، سیده مهری حمیدی*

آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر ویلاسم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده: در چند سال گذشته، تلاش برای ساخت سلول‌های اتمی کوچک افزایش یافته است و امکان ساخت مراجع فرکانسی کوچک و یکپارچه، ساعت‌های نوری مینیاتوری و حسگرهای میکرونی و نانومتری را فراهم کرده است. در این راستا و به منظور افزایش برهم‌کنش نور و بخارهای قلیایی حرارتی، برهمکنش‌های نوری میدان میرا با توان کم نوری را در یک میکروفیبر مخروطی جاسازی شده بررسی شده است. نتایج حاصل از طیف‌سنجی عبوری در این سل‌های نوظهور بیانگر افزایش پهن شدگی در مقایسه با سلول‌های استاندارد بخار اتمی روبیدیوم است. در این سیستم‌های میکرو متری، امکان برهم‌کنش‌های نوری غیرخطی با توان‌های سطح میلی وات، با وجود پهن شدگی زمان گذار بسیار بزرگ‌تر از پهن شدگی ذاتی اتم فراهم شده است.

واژگان کلیدی: فیبر باریک شده ی مخروطی، سلول بخار اتمی روبیدیوم، پهن شدگی زمان گذار، میدان میرا

M_hamidi@sbu.ac.ir

ویژگی‌ها باعث شده است که اتم‌هایی مانند روبیدیوم (Rb) و سزیم (Cs) کاربردهای فراوانی در فناوری کوانتومی، مگنتومتري، حسگری، تثبیت‌کنندگی فرکانس لیزر، ساعت اتمی، اتم چپ داشته باشند [۱].

به منظور پیاده‌سازی برهم‌کنش‌های نوری با تعداد کمی فوتون که در برخی از مطالعات پردازش اطلاعات کوانتومی و ارتباطات کوانتومی موردنظر است، تلاش بسیاری برای افزایش برهم‌کنش بین اتم‌ها و فوتون‌ها انجام شده است. اغلب سیستم‌های بخارات اتمی از پرتوهای نوری متمرکز در بخار قلیایی شکل گرفته‌اند که در چنین سیستم‌هایی به دلیل استفاده از توده و هندسه‌ی فضای آزاد، قدرت برهم‌کنش و طول برهم‌کنش محدود می‌شود. با استفاده از مدهای میدان-نزدیک که میدان الکترومغناطیسی را در حجم کوچکتري محدود می‌کنند، می‌توان قدرت برهم‌کنش اتم-نور را افزایش داد [۲]. این مدهای میدان نزدیک در نانوفوتونیک، که میدان‌های میرا^۲ نامیده می‌شوند، می‌توانند از طریق چندین روش مانند بازتاب داخلی کامل در منشورها، نانوساختارهای توری یا سوراخ‌دار، موجبرها و فیبرهای

۱- مقدمه

بخارات اتمی معمولاً برای استانداردهای فرکانسی، متروولوژی، فناوری‌های کوانتومی و برای آزمایش‌های با دقت بالا در فیزیک بنیادی استفاده می‌شوند. اتم‌های فلزات قلیایی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های منحصر بفرد، به طور گسترده در طول سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند: این اتم‌ها در دمای مناسب فشار بخار بالایی دارند بنابراین، دارای سیگنال قوی در اسپکتروسکوپی هستند. از آنجایی که در لایه‌ی ظرفیت خود تک الکترون دارند بنابراین اسپین اتمی غیرصفر دارند که منجر به شکافتگی فوق ریز^۱ در تراز پایه در محدوده‌ی گیگاهرتز می‌شود که یک باند فرکانسی مناسب برای الکترونیک ساعت اتمی روبیدیوم است. همچنین، ساختار الکترونی ساده‌ی این اتم‌ها امکان پمپ نوری موثر را فراهم می‌کند. در این اتم‌ها به دلیل بزرگ بودن سطح مقطع جذب، آشکارسازی ترازهای اتمی از طریق برهم‌کنش با میدان نوری قابل دستیابی می‌باشد. این

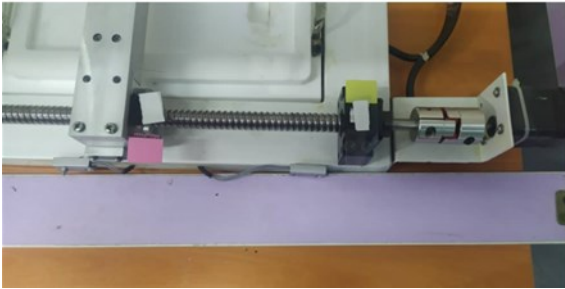
² Evanescent waves

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷

¹ Hyperfine

۱۲۶ میکرون و شعاع هسته ۱۰ میکرون) باریک شود. به این منظور از سیستم موتوری با محدوده‌ی سرعت ۱ mm/min تا ۱۳ mm/min و یک نگه دارنده‌ی فیبر استفاده شده است (شکل (۲)).



شکل (۲): سیستم موتوری به منظور باریک سازی فیبر نوری

با آزمایش‌های متعدد مشخص شد که بهترین سرعت برای ایجاد باریک شدگی یکنواخت سرعت ۱۳ mm/min است. همزمان با استفاده از مشعل با قطر شعله ۳ میلی‌متر محل مورد نظر فیبر گرم شد. با کشیده شدن فیبر، قطر آن به تدریج کاهش می‌یابد و به ۱۰ میکرون می‌رسد. طول کمر فیبر باریک شده ۵ میلی‌متر و شعاع کمر فیبر مخروطی شده ۱۰ میکرون اندازه‌گیری شد (شکل (۳)). با انتقال فیبر مخروطی باریک شده به محفظه‌ی شیشه‌ای، سلول بخار اتمی ساخته شد (شکل (۳الف)).

به منظور ایجاد چگالی مناسب بخار اتم رویدیوم، یک محفظه‌ی گرماساز متناسب با هندسه‌ی سلول فیبری طراحی شد. با استفاده از این گرماساز دمای سلول تا ۸۵ درجه گرم شد. در نهایت، با روش طیف سنجی مدولاسیون فرکانسی، سیگنال به نوبه افزایش یافته است. در این روش، برهم‌کنش بین نمونه و میدان تابشی مدوله شده‌ی طیفی منجر به تولید سیگنالی می‌شود که در فرکانس مدولاسیون تغییر می‌کند. بنابراین، سیگنال را می‌توان با استفاده از الکترونیک تشخیص حساس به فرکانس و فاز در دستگاه قفل کننده در فرکانس ویژه آشکارسازی کرد.

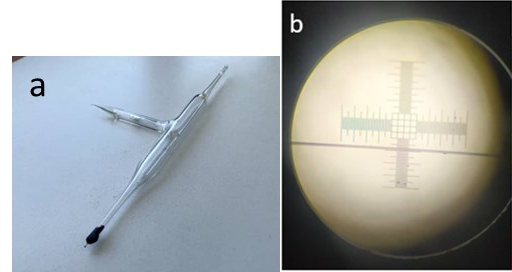
باریک شده‌ی مخروطی به دست آیند [۳]. همچنین در راستای تلاش برای کوچک سازی و یکپارچه سازی این سلول‌های اتمی تلاش‌های بسیار زیادی برای محدود کردن نور و بخار به منظور به دست آوردن برهم‌کنش‌های نور و بخار موثر، مینیاتوری و کم توان انجام شده است. کارهای اخیر کاهش قابل توجهی در حجم برهم‌کنش نور و اتم با استفاده از میکرو سلول‌های بخار اتمی [۴-۵] و نانوسلول‌های بخار اتمی [۶] نشان می‌دهد. چندین مطالعه برهم‌کنش بخارهای قلیایی حرارتی با نور را در پیکربندی مد هدایت شده نشان داده اند که شامل استفاده از فیبرهای کریستال فوتونی با هسته‌ی توخالی (HC-PCFs) [۷]، موجبرهای نوری ضد بازتابی با هسته‌ی توخالی (HC-ARROWS) [۸] است.

بنابراین، در راستای مینیاتوری کردن این سیستم‌های اتمی و همچنین، افزایش قدرت برهم‌کنش برهم‌کنش اتم-نور، برهم-کنش میدان میرا و اتم در ساختارهای نانوفیبرهای باریک شده‌ی مخروطی (TNFs) [۹]، نانو موجبرها [۱۰] و موجبر روکش اتمی (ACWG) متشکل از یک نانو موجبر با هسته‌ی SiN با روکش بخار بازی [۱۱] بررسی شده است. با توجه به ساختارهای موجود ما استفاده از فیبر باریک شده‌ی مخروطی به منظور ثبت برهم-کنش میدان میرا و بخار رویدیوم را پیشنهاد دادیم. مزیت فیبر باریک شده‌ی مخروطی نسبت به ساختارهای بیان شده این است که ساختار پیشنهادی ما به صورت معلق در سلول بخار اتمی قرار دارد. بنابراین، میدان میرا به صورت یکنواخت و متقارن با محیط پیرامون بخش باریک شده برهم‌کنش می‌کند و در نتیجه میزان برهم‌کنش میدان میرا و اتم رویدیوم افزایش می‌یابد. همچنین، ترکیب سیستم‌های اتمی با فناوری فیبر به طور قابل توجهی ساختار این سلول‌های بخار بازی را کوچک می‌کند. بنابراین، بررسی برهم‌کنش اتم و میدان میرا در چنین ساختاری گام مهمی به سمت کوچک‌سازی سیستم‌های اتمی محسوب می‌شود.

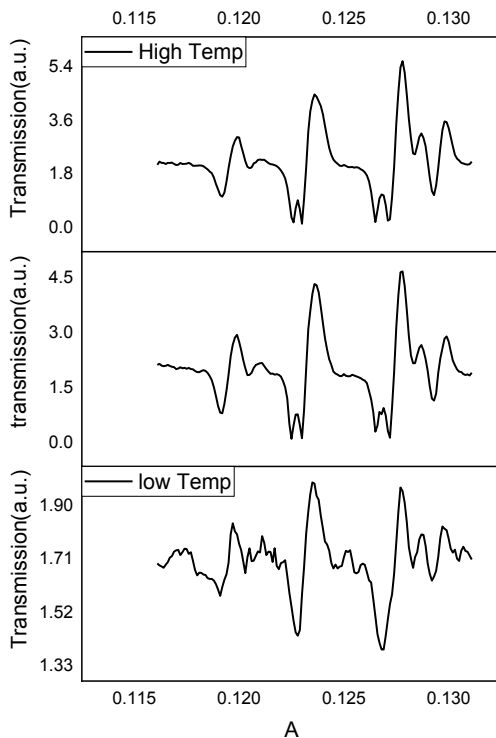
۲-چیدمان تجربی

همان طور که ذکر شد، به منظور بررسی برهم‌کنش میدان میرا و اتم‌های رویدیوم نیاز است که فیبر نوری تک مد (شعاع پوسته

طی آزمایش‌ها، با استفاده از گرمکن، دمای سلول اتمی-فیبری از دمای 70°C تا 90°C گرم شد و در هر دما طیف عبور آن اندازه گیری شد. در این آزمایش هیچ تلاشی برای جلوگیری از برخورد اتم‌ها با بخش باریک شده ی فیبر انجام نشد. همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، داده‌ها به وضوح کاهش عبور را نشان می‌دهند که نشان دهنده جذب بخار رویدیم است. همچنین، با افزایش دما، خطوط جذبی رویدیم با تفکیک پذیری بیشتر ثبت شده اند که به دلیل این است که با افزایش دما، چگالی بخار اتمی رویدیم در اطراف بخش باریک شده ی فیبر نوری بیشتر شده و در نتیجه سیگنال به نوبه افزایش می‌یابد.



شکل (۳): الف) سلول بخار اتمی رویدیم-فیبر. ب) تصویر میکروسکوپی کمر باریک شده ی فیبر نوری به شعاع ۱۰ میکرون

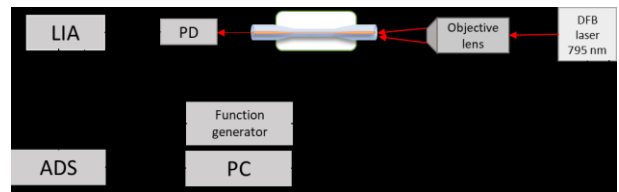


شکل (۵): طیف عبور از سلول بخار اتمی-فیبر در دما 70°C (نمودار پایین)، دمای 80°C (نمودار میانه)، دمای 90°C (نمودار بالا)

میدان موج میرا به طور قابل توجهی در سطح بیرونی روکش^۱ فیبرهای نوری استاندارد تحلیل می‌رود، در حالی که با طراحی فیبرهای بلند مخروطی کم تلفات، موج میرا^۲ می‌تواند با انرژی قابل توجهی در امتداد بخش کمر مخروطی بسیار نازک شده هدایت شود. فیبرهای بلند مخروطی معمولاً از دو قسمت تشکیل

هر گونه سهم نویز که در باند فرکانس آشکارسازی متمرکز در اطراف فرکانس مدولاسیون قرار نمی‌گیرد، حذف می‌شود. این روش پهنای خطوط طیفی را با ضریب $\frac{1}{\sqrt{3}}$ کاهش می‌دهد. خروجی طیف سنجی با استفاده از این روش به صورت مشتق خط جذب است و بنابراین، شکل خط جذب به صورت یک رفتار پراکندگی متقارن است که فرکانس جذب اتمی در نقطه ی عطف این شکل خط متقارن قرار دارد [۱۷].

همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، نور لیزر با استفاده از لنز میکروسکوپ شی با NA برابر 0.25 در سر فیبر منتقل شد. پس از عبور از قسمت باریک شده، سهمی از میدان میرا با اتم‌های رویدیم موجود در سلول برهم‌کنش داده و سپس نور خروجی از فیبر با استفاده از آشکارساز اندازه‌گیری و خروجی آشکارساز به قفل کننده‌ی فرکانس منتقل می‌شود.



شکل (۴): طرح‌واره چیدمان طیف سنجی مدولاسیون فرکانسی

۴- نتایج و بحث

به منظور ثبت برهم‌کنش میدان میرا و بخار اتم رویدیم در سلول اتمی-فیبری طراحی شده، نور لیزر با طول موج 795 nm و شدت 200 میلی وات که منطبق بر خط جذبی D_1 اتم رویدیم است از طریق فیبر باریک شده در سلول بخار اتمی منتشر شد. در

¹ clad

$$\chi(\vartheta) = \frac{e^2}{\pi \epsilon_0 m_e} \sum_{i=1,2} C_i \sum_{F,F'} \frac{N f_{F,F'}}{2(2l+1) \vartheta_{F_i,F_i}} \int_{-\infty}^{\infty} dv_z \times \int_0^{\infty} dv_t \frac{W(v_z, v_t)}{-2\pi \Delta \vartheta - k_z v_z - i(\gamma - ik_t v_t)} \quad (2)$$

که در آن N چگالی اتم ها، e بار الکتریکی الکترون، ϵ_0 گذردهی خلاء، m جرم الکترون، C_i نسبت اشغال ترازها، ϑ_{F_i,F_i} فرکانس گذار از تراز اتمی با تکانه زاویه‌ای کل F_i به یک تراز برانگیخته‌ی اتمی با تکانه زاویه‌ای کل F'_i ، V_z و V_t به ترتیب، سرعت های اتمی در جهت انتشار Z و جهت عرضی هستند. $W(v_z, v_t)$ توزیع گرمایی سرعت بولتزمن، k_z و k_t به ترتیب نشان دهنده ی تکانه میدان میرا در جهت انتشار و جهت عرضی می باشند که در رابطه ی $k_z^2 + k_t^2 = k^2$ صدق می کنند. γ پهنای طبیعی خط جذب و $\Delta \vartheta$ دیتیونینگ فرکانس از فرکانس گذار می باشد. قدرت نوسانگر f_{FF} با استفاده از اعداد کوانتومی گذارهای مختلف تعریف می‌شود. طبق معادله‌ی (۱) برای محاسبه ضریب شکست مؤثر، علاوه بر چگالی اتم ها (معادل دما)، باید تکانه را در جهت انتشار و تکانه را در جهت عمود بر انتشار پیدا کنیم تا بتوانیم دقیق آن را محاسبه کنیم. تکانه در جهت انتشار، میزان پهن شدگی داپلر و تکانه در جهت عمود بر انتشار میزان پهن شدگی زمان عبور را مشخص می کند. در اصطلاح موجبری، این تکانه ها به ترتیب عدد موج مؤثر β ، و معکوس طول واپاشی میدان میرا، η ، هستند. هرچه مد محدودتر شود، β بیشتر و η کوچکتر خواهد بود، که منجر به افزایش شکل خط داپلر و پهن شدگی زمان گذار می شود. در نتیجه ی پهن شدگی، انتظار می رود تفکیک پذیری شکل خط جذب کاهش یابد. همچنین کاهش بیشتر تفکیک پذیری نیز به دلیل کاهش برهم‌کنش میدان الکترومغناطیسی با بخار اتمی، که ناشی از محصور شدن درصد بالایی از مد در هسته ی جامد فیبر باریک شده به جای روکش آن است، انتظار می‌رود [۱۶].

در شکل (۶)، طیف عبور از سلول اتمی-فیبری و طیف عبور از سلول مرجع با طول مسیر نوری ۳ میلی‌متری مقایسه شده است. طیف عبور هر دو سل برهم منطبق است و با این حال، شکل شیب های عبور برای سیستم بخار اتمی-فیبر کمی متفاوت از شکل سلول مرجع است. خطوط جذبی در سلول اتمی-فیبری به

شده است: ناحیه کمر مخروطی و نواحی انتقال مخروطی. مخروطی بلند ابتدا در حال کاهش قطر است تا زمانی که به ناحیه کمر با قطر ثابت برسد.

ضریب محصور شدگی مد نوری، یعنی کسری از میدان الکتریکی که با R_b در تعامل است، با انتگرال گیری کسر شدت در ناحیه برهمکنش تقسیم بر توان ورودی واحد محاسبه می‌شود. به منظور محاسبه ضریب شکست مؤثر لایه روکش اتمی و روشن کردن دینامیک طیف عبور در این سیستم، روش توسعه‌یافته در زمینه بازتاب کلی داخلی تضعیف شده^۱ تطبیق داده می شود. انعکاس نور از مرز بین دی الکتریک و بخار به طور کامل، هم از نظر تئوری و هم تجربی، و به ویژه در مورد بازتاب کامل داخلی بررسی شده است [۱۳ و ۱۴]. با توجه به ماهیت غیرمحمولی پاسخ اتم ها به میدان اعمال شده، ناشی از پاسخ گذرا (ناپایدار) گروهی از اتم ها که از سطح سرچشمه می‌گیرند، نیاز به یافتن پذیرفتاری مؤثری وجود دارد که ماهیت دینامیکی برهم‌کنش نور و ماده در نتیجه برخورد اتم ها با دیواره می باشد. هنگام محاسبه پذیرفتاری مؤثر، باید زمان محدود برهم‌کنش را در نظر گرفت. به دلیل میرایی میدان در بخار، زمان برهم‌کنش بین اتم ها و موج الکترومغناطیسی محدود است و معمولاً کمتر از طول عمر تراز برانگیخته است. این اثر منجر به پهن شدگی در طیف می شود که به عنوان پهن شدگی زمان عبور^۲ شناخته می شود. افزون بر این، باید تأثیر تکانه ی کاذب حمل شده توسط مد در امتداد جهت انتشار را در نظر گرفت. این تکانه منجر به افزایش پهن شدگی داپلر در طیف جذب می‌شود که به منظور بررسی چگونگی ایجاد این پهن شدگی، می توان به صورت زیر توصیف نمود. به منظور یافتن حساسیت مؤثر اتم، معادلات بلاخ نوری با شرایط مرزی کل هنگامی که یک اتم به دی الکتریک برخورد می کند، حل می شود. پاسخ کلی شامل دو بخش است: یک پاسخ حالت پایدار، برای اتم هایی که به سمت دیواره ی فیبر حرکت می کنند (سرعت عرضی $v_t < 0$) و یک پاسخ گذرا برای اتم هایی که از دیواره ی فیبر حرکت می کنند (سرعت عرضی $v_t > 0$). با استفاده از این دو پاسخ و مفهوم قطبش ساختگی، می‌توان نشان داد که حساسیت مرتبه اول با عبارت زیر به دست می‌آید [۱۵]:

¹ attenuated total internal reflection (ATIR) Transit-time²

مراجع

[1] J. C. Camparo, "The rubidium atomic clock and basic research," AEROSPACE CORP EL SEGUNDO CA PHYSICAL SCIENCES LABS, 2007.

[2] S. Jahani, S. Kim, J. Atkinson, J. C. Wirth, F. Kalhor, A. A. Noman, W. D. Newman, P. Shekhar, K. Han, V. Van, RG. DeCorby, "Controlling evanescent waves using silicon photonic all-dielectric metamaterials for dense integration," Nature communications, May 14;9(1), 1-9, 2018.

[3] S. A. Aljunid, E. A. Chan, G. Adamo, M. Ducloy, D. Wilkowski and N. I. Zheludev, "Atomic response in the near-field of nanostructured plasmonic metamaterial," Nano letters, 16(5), pp.3137-3141, 2016.

[4] X. Wang, M. Ye, F. Lu, Y. Mao, H. Tian, & J. Li, "Recent Progress on Micro-Fabricated Alkali Metal Vapor Cells," Biosensors, 12(3), 165, 2022.

[5] R. Han, Z. You, F. Zhang, H. Xue, Y. Ruan, "Microfabricated vapor cells with reflective sidewalls for chip scale atomic sensors. Micromachines, "Apr 11;9(4):175, 2018.

[6] T. F. Cutler, W. J. Hamlyn, J. Renger, K. A. Whittaker, D. Pizzey, I. G. Hughes & C. S. Adams, "Nanostructured alkali-metal vapor cells," Physical Review Applied, 14(3), 034054, 2020.

[7] T. D. Bradley, J. J. McFerran, J. Jouin, E. Ilinova, P. Thomas, F. Benabid, "Progress towards atomic vapor photonic microcells: Coherence and polarization relaxation measurements in coated and uncoated HC-PCF," Advances in Slow and Fast Light VI, 8636, 77-85. SPIE, 2013.

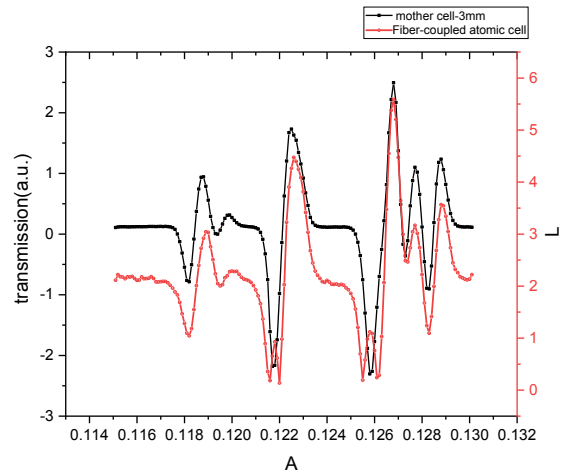
[8] B. Wu, J. F. Hulbert, E. J. Lunt, K., Hurd, A. R. Hawkins, H. Schmidt, "Slow light on a chip via atomic quantum state control," Nature Photonics, 4(11), 776-779, 2010.

[9] K. Salit, M. Salit, S. Krishnamurthy, Y. Wang, P. Kumar, M. S. Shahriar, "Ultra-low power, Zeno effect based optical modulation in a degenerate V-system with a tapered nano fiber in atomic vapor," Optics express, 19(23), 22874-22881, 2011.

[10] P. Londero, J. Levy, A. Slepko, A. Bhagwat, K. Saha, V. Venkataraman, A. L. Gaeta, "Chip-based optical interactions with Rubidium vapor," Quantum Electronics and Laser Science Conference. Optica Publishing Group, 2010.

[11] L. Stern, B. Desiatov, N. Mazurski, U. Levy, "Strong coupling and high-contrast all-optical

دلیل تفاوت در پهن شدگی داپلر و پهن شدگی زمان گذار در سلول اتمی-فیبری، دارای پهن شدگی بیشتری نسبت به خطوط جذبی سلول مرجع است.



شکل (۶): طیف عبور از سلول اتمی-فیبری (نمودار قرمز) و سلول مرجع با طول مسیر نوری ۳ mm (نمودار مشکی)

با این حال، این محدودیت به دلیل سرعت‌های اتمی بزرگ در بخار Rb با دمای بالا است که در اصل می‌توان آن را کاهش داد. به طور خاص، استفاده از اتم‌های سرد شده در تله مغناطیسی نوری [۱۸] امکان حذف پهن شدگی زمان گذار و پهن شدگی داپلر را فراهم می‌کند و در نتیجه طراحی سلول اتمی-فیبری گام موثری در ساخت سلول‌های بخار اتمی در ابعاد میکرون و تفکیک‌پذیری بالا است.

۵- نتیجه‌گیری

در نتیجه، با طراحی و ساخت سلول بخار اتم روبیدیوم-فیبری، طیف عبور از این سیستم در توان‌های پایین نوری اندازه‌گیری شد که با بهترین نتایج در هر سلول مرجع روبیدیوم قابل مقایسه است. کوچک بودن مساحت مد نوری در فیبر باریک شده به دلیل گذار کوتاه اتم‌ها در این میدان نوری منجر به پهن شدگی خط جذب اتمی می‌شود که همراه با پهن شدگی داپلر، منجر به پهن شدگی خطوط جذبی در سلول اتمی-فیبری نسبت به سلول مرجع می‌شود.

- modulation in atomic cladding waveguides,” Nature communications, 8(1), 1-7, 2017.
- [12] A. Riahi, M. Vahedi, J. Khalilzadeh, V. Dastjerdi, “Investigation of the effect of the taper geometry on the sensitivity of tapered-fiber gas sensors,” Journal of Modern Optics, 67(14), 1259-1266, 2020.
- [13] Y. Xu, P. Lu, L. Chen, X. Bao, “Recent developments in micro-structured fiber optic sensors,” Fibers, 5(1), 3, 2017.
- [14] M. Yasin, S. W. Harun, H. Arof, eds. Selected topics on optical fiber technology. BoD–Books on Demand, 2012.
- [15] G. Nienhuis, F. Schuller, M. Ducloy, “Nonlinear selective reflection from an atomic vapor at arbitrary incidence angle.” Physical Review A, 38(10), 5197, 1988.
- [16] R. Kondo, S. Tojo, T. Fujimoto, M. Hasuo, “Shift and broadening in attenuated total reflection spectra of the hyperfine-structure-resolved D 2 line of dense rubidium vapor,” Physical Review A, 73(6), 062504, 2006.
- [17] L. Stern, B. Desiatov, I. Goykhman, U. Levy, “Nanoscale light–matter interactions in atomic cladding waveguides,” Nature communications, 4(1), 1-7, 2013.
- [18] W. Demtröder, “Laser spectroscopy. Vol. 2. Berlin, Heidelberg: springer, 1982.
- [19] G. Sagué, E. Vetsch, W. Alt, D. Meschede, A. Rauschenbeutel, “Cold-atom physics using ultrathin optical fibers: Light-induced dipole forces and surface interactions,” Physical review letters, 99(16), 163602, 2007.



Rubidium atomic vapor-fiber cell spectroscopy

M.Asadollah Salmanpour, R.Gholami, M.Mosleh, S.M.Hamidi*

Photonics, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract: In the past few years, efforts to manufacture small atomic vapor cells have intensified, making it possible to build small, integrated frequency references, miniature optical clocks, and micron and nanometer sensors. In this direction and in order to increase the interaction of light and thermal alkali vapors, the optical interactions of the evanescent field with low optical power have been investigated in a micro-tapered fiber embedded in hot rubidium vapor. The results of transmission spectroscopy in these emerging cells show increased broadening compared to standard rubidium atomic vapor cells. In these micrometer systems, the possibility of nonlinear optical interactions with powers of milli watt-level is provided, despite the broadening of the transition-time much larger than the intrinsic broadening of the atom.

Keywords: Tapered fiber optic, Rubidium atomic vapor cell, Transition-time broadening, Evanescent field