بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

طراحی تشدیدگر میکروموج ابررسانا فابری-پرو برای محصور سازی مولکول ها

فاطمه سادات تحصیلداران[۱و۲و۳*]، امیر حسین فرهبد[۲]، رسول ملک فر[۱] ، تاکاماسا مومسه[۳]

[۱] گروه فیزیک اتمی و مولکولی، بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، ۵۱۱۱۳-۱۴۳۹۹، تهران، ایران

[۳] دانشکده فیزیک و نجوم، دانشگاه بریتیش کلمبیا، ونکور، بریتیش کلمبیا، کانادا

tfmahdieh@chem.ubc.ca*

چکیده – تشدیدگر میکروموج فابری-پرو ابر رسانا برای به دام انداختن مولکول ها طراحی، ساخته و مشخصه یابی شد. برای این منظور با لایه نشانی سطوح آینه ها با ماده ابر رسانا شدت میدان $۱/۰۶\ MVm^{-۱}$ با فاکتور کیفیت تا $۱/۱\times۱۰^{۶}$ در ۲۴/۰۸۷ GHz در دمای ۲/۴ K فراهم شد. در این گزارش تشدیدگر به کمک اندازه گیری فاکتور کیفیت در دماهای مختلف از ۲۹۸ تا ۳ کلوین معرفی می شود.

کلید واژه- ابر رسانایی، به دام اندازی میکروموج، فابری-پرو، فاکتور کیفیت.

Designing the Superconducting Fabry-Perot Cavity for Confinement Molecules

Fatemeh S. Tahsildaran[۱،۲،۳], Amir Hossein Farahbod[۲], Rasoul Malekfar[۱], Takamasa Momose[۳].

۱ Atomic and Molecular Physics Group, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. tfmahdieh@chem.ubc.ca*

۲ [illegible] Sciences and Technologies, AEOI, Tehran, Iran.

۳ [illegible] Canada.

Abstract- A superconducting Fabry-Perot microwave cavity for a molecular trap was designed, constructed, and characterized. By coating the mirror surfaces with a superconducting material, the field strength of ۱٫۰۶ $MVm^{-۱}$ obtained an unloaded quality factor of up to $۱٫۱\times۱۰^{۶}$ at ۲۴٫۰۸۷ GHz was achieved at a temperature of ۲٫۲۴ K. In this report, we characterize the cavity by measuring the quality factor at a various temperature from ۲۹۸ K to ۳ K.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

Keywords: Superconducting, Microwave trap, Fabry-Perot, Quality factor.

مقدمه

به دام اندازی میکروموج برای مهار مولکول های قطبی ابتدا توسط DeMille پیشنهاد شد [۱] . میدان میکروموج حضور خالص میدان بیشینه در فضای آزاد را که در میدان الکتریکی DC غیر ممکن است، فراهم می کند. کندسازی میکروموج مزیت بیشتری نسبت به کندسازی های DC دارد چرا که به دام انداختن توسط پتانسیل سه بعدی تلفات مولکول ها در جهت عرضی را کاهش می دهد و با توجه به انحراف فرکانس شان قادر است مولکول ها را در هر دو حالت HFS[۱] و LFS[۲] کنترل کند. پیش از این کنترل حرکت مولکول ها در یک حالت کوانتومی به کمک میدان میکروموج (MW) و فروسرخ (IR) مورد مطالعه قرار گرفته است [۲] و[۳].

تشدیدگر ابر رسانا میکروموج

تشدیدگر میکروموج فابری- پرو با دو آینه کروی از جنس مس است که لایه نشانی Pb-Sn درون آزمایشگاه، آن را به یک تشدیدگر ویژه با خاصیت ابر رسانایی فوق العاده، میدان الکتریکی قوی و با فاکتور کیفیت بالاتر از تمام مطالعاتی که تاکنون انجام شده، تبدیل کرده است. شعاع انحنای آینه ها R=۸۰ mm، قطر D= ۹۰ mm و دمای بحرانی تشدیدگر K ۷/۲ است، شکل ۱. اولین نمونه این تشدیدگر در آزمایشگاه UBC معرفی شده است. آنتن حاوی میدان میکروموج از طریق حفره کوچک درون یکی از آینه ها به تشدیدگر جفت شده است. عمق نفوذ آنتن با چرخاندن مهره فیدترو[۳] قابل تنظیم است. چرخاندن ساعتگرد مهره جفت شدگی آنتن با



شکل ۱: تشدیدگر فابری-پرو ابر رسانا از جنس مس و لایه نشانی Pb-Sn.

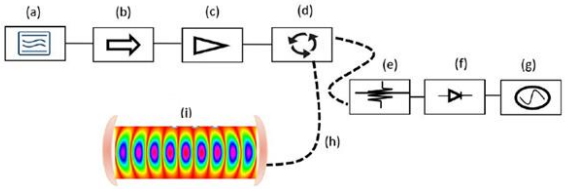
تشدیدگر را تا رسیدن به نقطه بهینه افزایش می دهد. بطوریکه فاکتور کیفیت تشدیدگر و پهنای خط میکروموج به ترتیب بیشینه و کمینه می شود. بعلاوه فاکتور کیفیت تشدیدگر با دمای آینه ها مرتبط است.

سیگنال میکروموج با ژنراتورAnritsu MG۳۶۹۳C تولید می شود. محدوده فرکانس و اندازه گام های اسکن این محدوده بعلاوه دامنه و مدولاسیون سیگنال موردنظر را بصورت دستی از طریق صفحه هوشمند ژنراتور وارد می شوند. ارسال نمونه ای از سیگنال پیوسته میکروموج به کامپیوتر امکان پایش سیگنال قبل از ورود به تشدیدگر را فراهم می کند. پس از اطمینان از ثبات و تکرار پذیری سیگنال

[۱] Low Field Seeking
[۲] High Field Seeking
[۳] Feedthrough

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

میکروموج، موقعیت آنتن به کمک اندازه گیری فاکتورکیفیت بهینه می شود. پس از تغییر مدولاسیون به حالت پالسی، سیگنال مورد نظر با توان هر پالس ۱۳ dBW (معادل ۲۰ mW) به تشدیدگر ارسال می شود. هر سیگنال بصورت پالسی توان هر پالس تقویت کننده توان MKU– A ۲۴۱۰ ، محدوده فرکانسی ۲۴۰۰۰MHz تا ۲۴۲۵۰ را با بهره ۲۰ dBm پوشش می دهد و توان ورودی ۲۰ mW را در خروجی ۱۰ W تحویل می دهد. چرخاننده SMC ۱۸۲۶ هرگونه بازتاب به منبع تغذیه را مسدود می کند. میکروموج تقویت شده با آنتن به تشدیدگر تزریق می شود و پس از نوسان از طریق همین آنتن به چرخاننده تک جهته برگشته و توسط آشکارساز دیود Agilent۸۴۷۳ (c) مجهز به کاهنده MDC۸۱۶۵-۳۰ ۵۲۳۳۵ Midisco، آشکار می شود. چیدمان تجربی شکل ۱ نمای کلی از قطعات الکترونیکی را نشان می دهد.



شکل ۲: نمای کلی الکترونیک میکروموج (a) ژنراتور سیگنال میکروموج، (b) یکسوساز، (c) تقویت کننده توان، (d) چرخاننده، (e) آنتن منطبق کننده، (f) آشکارساز دیود، (g) اسیلوسکوپ، (h) کابل SME کواکسیال، (i) شمایی از نوسانگر میکروموج با نقشه میدان الکتریکی مد در توان ۱۰ وات، [۴].

فاکتور کیفیت

فاکتور کیفیت مورد انتظار برای یک مد خاص به سازو کار تلفات توان درون تشدیدگر وابسته است و بطور کلی با رابطه ۱ تعریف می شود. فرکانس نوسان مد ν، انرژی ذخیره شده در تشدیدگر W و P_{loss} اتلاف توان در تشدیدگر است. فاکتور کیفیت را می توان از پهنای نیم بیشینه $\nu\Delta$ سیگنال باز تابی از تشدیدگر با فرکانس ν بدست آورد، رابطه ۲.

$$Q = \frac{2\pi\nu W}{P_{loss}} \qquad (۱)$$

$$Q_L = \frac{\nu}{\Delta\nu} \qquad (۲)$$

فاکتور کیفیت تشدیدگر که از پهنای نیم بیشینه بدست می آید، فاکتور کیفیت باردار، Q_{Loaded} ، نامیده می شود و با فاکتور کیفیت بدون بار، Q.، بصورت $Q_L^{-1} = Q_0^{-1} + Q_c^{-1}$ است که Q_c فاکتور کیفیت وابسته به جفت کننده ورودی است. پارامتر جفت کننده β با نسبت Q_0 / Q_c مشخص می شود. بنابراین:

$$Q_L = \frac{Q_0}{1+\beta} \qquad (۳)$$

پارامتر جفت کنندگی β را می توان بصورت تجربی از اندازه گیری ولتاژ ضریب بازتاب Γ، که نسبت دامنه سیگنال بازتابی به دامنه بیشینه دامنه بازتابی است، بدست آورد، رابطه ۴.

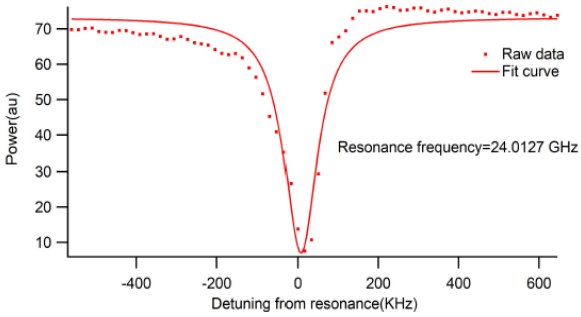
$$|\Gamma|^2 = \left(\frac{1-\beta}{1+\beta}\right)^2 \qquad (۴)$$

در حالت جفت شدگی بحرانی کل توان به داخل تشدیدگر منتقل می شود و هیچ سیگنال بازتابی وجود ندارد. در این حالت ضریب بازتابندگی سیگنال صفر است، $\Gamma=۰$، بنابراین $\beta=۱$ و $Q_L = Q_0 / 2$ است [۵].

نتایج

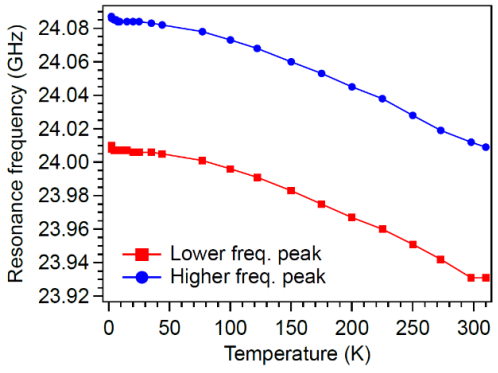
فاکتور کیفیت در دماهای مختلف از ۲۹۸ تا ۲ کلوین اندازه گیری شد. طیف توان تشدیدگر شکل ۳ نشان می دهد بهترین حالت بیشینه فاکتور کیفیت از پهنای نیم بیشینه سیگنال برگشتی در فرکانس نوسانی ۲۴/۰۱۲۷ GHz ، ۱۰۶ است. شکل۴ (الف) جابجایی قله فرکانسی مدهای بالاتر $TEM_{mn۹}$ را در دماهای مختلف نشان می دهد. فرکانس نوسانی از دمای اتاق تا ۲/۳ K، ۷۵ MHz تغییر می کند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

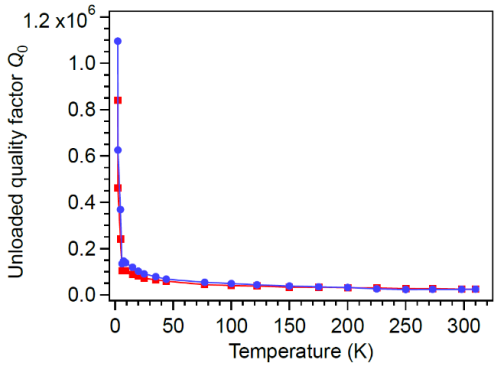


شکل ۳: طیف توان بازتابی اندازه گیری شده از کاواک MW.

این جابجایی نتیجه انقباض حرارتی مس است. دو آینه تشدیدگر بوسیله یک صفحه مسی در تماس با یخچال خنک کننده هستند. شکل ۴ (ب) فاکتور کیفیت را در دماهای مختلف نشان می دهد. همانطور که دمای تشدیدگر از دمای اتاق تا ۵ کلوین تغییر می کند فاکتور کیفیت به تدریج افزایش می یابد. به علت ورود به فاز ابررسانایی افزایش فاکتور کیفیت در دمای زیر ۵ کلوین چشمگیر است.



(الف)



(ب)

شکل ۴: الف) جابجایی فرکانس نوسانی TEM_{plq} در دماهای مختلف. آینه ها در دمای اتاق می باشند. ب) فاکتور کیفیت مد TEM_{plq} در دماهای مختلف قرمز: قله کمترین فرکانس و آبی: قله بیشترین فرکانس است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مشخصات تشدیدگر MW ابررسانا طراحی شده برای به دام انداختن مولکول های سرد گزارش شد. به کمک سردسازی تشدیدگر تا زیر ۲/۳ کلوین، فاکتور کیفیت مد $TEM_{pl۹}$ بالاتر از ۱۰۶ بدست آمد. توان MW ورودی ۱۰ وات میدان با قدرت MVm^{-1} ۱/۰۶ درون تشدیدگر تولید می شود که شرایط لازم برای به دام انداختن مولکول هایی مثل NH_3 در میدان الکتریکی AC را فراهم می کند.

مرجع‌ها

[۱] D. DeMille, D. R. Glenn, and J. Petricka, “Microwave traps for cold polar molecules,” *Eur. Phys. J. D-Atomic, Mol. Opt. Plasma Phys.*, vol. ۳۱, no. ۲, pp. ۳۷۵–۳۸٤, ۲۰۰٤.

[۲] S. Kuma and T. Momose, “Deceleration of molecules by dipole force potential: a numerical simulation,” *New J. Phys.*, vol. ۱۱, no. ٥, p. ٥٥۰۲۳, ۲۰۰۹.

[۳] K. Enomoto and T. Momose, “Microwave Stark decelerator for polar molecules,” *Phys. Rev. A*, vol. ۷۲, no. ٦, p. ٦۱٤۰۳, ۲۰۰٥.

[٤] F. S. Tahsildaran F *et al.*, “A superconducting Fabry-Perot cavity for trapping cold molecules,” *J. Phys. B At. Mol. Phys.*, vol. ٥٤, no. ۱, p. ۱٥۱۰۱, ۲۰۲۱.

[٥] S. Kuhr *et al.*, “Ultrahigh finesse Fabry-Pérot superconducting resonator,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. ۹۰, no. ۱٦, p. ۱٦٤۱۰۱, ۲۰۰۷.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]