



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



تقویت طیف رامان سیکلوهگزان به روش طیف سنجی رامان تقویت یافته فیبری

محمد صادق توکلی وندیشی، سید حسن توسلی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، ولنجک، تهران، ایران

طیف‌سنجی رامان به عنوان یک قدرتمند حسگری، توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. از معایب این روش، سطح مقطع پایین پراکندگی رامان و ضعیف بودن سیگنال رامان است. برای تقویت سیگنال رامان روش‌های متعددی پیشنهاد شده که در این میان می‌توان به طیف‌سنجی رامان تقویت یافته فیبری اشاره کرد. در این روش با افزایش طول مسیر اپتیکی، برهمکنش نور لیزر با نمونه افزایش یافته و در نتیجه سیگنال رامان تقویت می‌شود. برای این کار اغلب از فیبرهای هسته تهی و لوله‌های موئین استفاده می‌شود. در استفاده از لوله‌های موئین، به منظور ایجاد بازتاب داخلی کلی، از مایعاتی با ضریب شکست بالاتر از ضریب شکست شیشه سازنده لوله موئین استفاده می‌شود. در این پژوهش از لوله‌های موئین حاوی سیکلوهگزان به عنوان نمونه هدف با ضریب شکستی کمتر از شیشه، در ابعادی مختلف، به عنوان موجبر استفاده شده است. همچنین تأثیرات قطر لوله موئین و طول آن در افزایش سیگنال رامان مورد بررسی قرار گرفت.

کلید واژه- بازتاب داخلی کلی، سیکلوهگزان، ضریب شکست، طیف سنجی رامان تقویت یافته فیبری، لوله موئین

Amplification of Cyclohexane Raman Spectra by Fiber-Enhanced Raman Spectroscopy (FERS)

Mohammad Sadegh Tavakkoli Vandishi, Seyyed Hassan Tavassoli

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Velenjak, Tehran, Iran

msadegh.tavakkoli@gmail.com, h-tavassoli@sbu.ac.ir

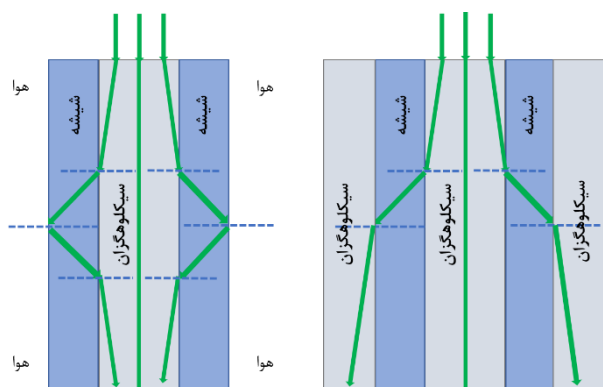
Raman spectroscopy as a powerful sensing method has attracted the attention of many researchers. Disadvantages of this method are low cross-section of Raman scattering and weak Raman signal. Several methods have been proposed to amplify the Raman signal, including fiber-enhanced Raman spectroscopy. In this method, by increasing the optical path length, the interaction of the laser light with the sample increases and the Raman signal is amplified. Hollow core fibers and capillary tubes are often used. In capillary tubes, in order to Total internal reflection, liquids with a refractive index higher than the refractive index glass of the capillary tube are used. In this research, capillary tubes containing cyclohexane have been used as a target sample with a refractive index lower than glass, in different dimensions, as a waveguide. The effects of capillary tube diameter and length on increasing Raman signal were also investigated.

Keywords: Capillary Tube, Cyclohexane, Fiber-Enhanced Raman Spectroscopy, Refractive Index, Total Internal Reflection

قطر و طول لوله‌های موئین در افزایش سیگنال رامان
خواهیم پرداخت.

ساز و کار موجبری در فیبرهای موئین

همانطور که اشاره شد نمونه مورد بررسی سیکلوهگزان است. این نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر دارای ضریب شکست ۱,۴۲۹۳ است [۳]. با توجه به اینکه شیشه در این طول موج دارای ضریب شکست ۱,۴۶۰۷ است [۴] و با در نظر گرفتن قانون اسنل، با ورود نور نزدیک به زاویه صفر درجه نسبت به خط عمود بر سطح مقطع لوله موئین، در سطح تماس سیکلوهگزان و شیشه، نور لیزر دچار شکست شده و به داخل شیشه نفوذ می‌کند. اما در سطح تماس شیشه با هوا تحت بازتاب داخلی کلی قرار گرفته و درون شیشه باقی می‌ماند (شکل ۱).



شکل ۱: شماتیک ساز و کار موجبری درون لوله موئین به همراه سیکلوهگزان.

چیدمان رامان

چیدمان حاصل برای دریافت بیشترین پراکندگی به صورت بازتابی بسته شده است به گونه‌ای است که نور لیزر پس از بازتاب از آینه دو رنگی وارد عدسی شده و بر روی سطح مقطع داخلی لوله موئین کانونی می‌شود. در نتیجه‌ی برهمکنش متعدد نور لیزر با نمونه، پراکندگی رامان تولید شده به سمت عقب در طول فیبر توسط عدسی جمع‌آوری شده و به سمت اسپکترومتر هدایت

مقدمه

توسعه حسگرهای شیمیایی مبتنی بر فیبرهای نوری در چندین دهه گذشته به سرعت در حال رشد است. فیبرهای نوری مزایای بسیاری دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به تضعیف کم سیگنال، امکان حسگری از راه دور، استفاده از حجم کم نمونه برای حسگری و انعطاف پذیری بالا اشاره کرد. با این حال، در حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری، برهمکنش بین نور لیزر و نمونه مورد بررسی که از طریق نفوذ موج فرار^۱ به دست می‌آید، ضعیف است [۱]. این برهمکنش را می‌توان با استفاده از بازتاب داخلی کلی در فیبرهای هسته تهی^۲ و لوله‌های موئین^۳ افزایش داد، در سال‌های اخیر طیف‌سنجی رامان به عنوان یک روش قدرتمند حسگری توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. طیف‌سنجی رامان بر اساس پراکندگی غیر الاستیک نور در فرکانس‌های پایین، جهت اندازه‌گیری مدهای ارتعاشی مولکول است. از معایب طیف‌سنجی رامان سطح مقطع پایین پراکندگی رامان و در نتیجه ضعیف بودن سیگنال رامان است. ترکیب لوله‌های موئین یا فیبرهای بلور فوتونی هسته تهی^۴ با طیف‌سنجی رامان دارای مزایای جذابی مانند تقویت سیگنال رامان است. این تکنیک از سال ۲۰۰۰ میلادی مورد توجه قرار گرفت و در سال‌های گذشته با عنوان رامان تقویت یافته فیبری^۵ نام‌گذاری شد [۲]. در این پژوهش به بررسی تقویت سیگنال رامان سیکلوهگزان به عنوان نمونه هدف و تاثیر

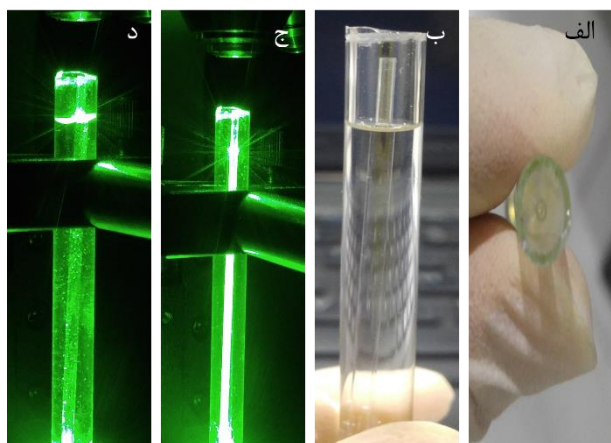
^۱ Evanescent wave

^۲ Hollow core fiber

^۳ Capillary tube

^۴ Hollow core photonic crystal fiber

^۵ Fiber Enhanced Raman Spectroscopy



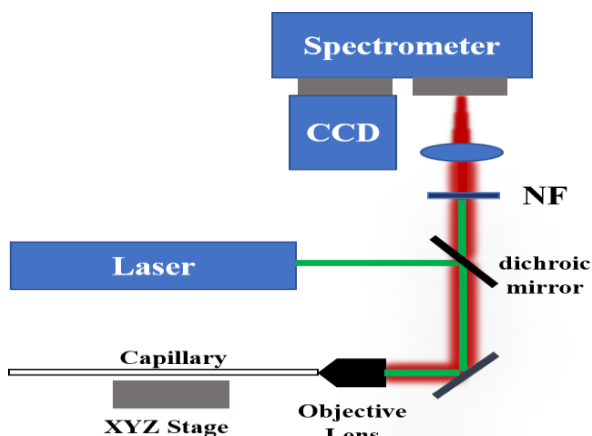
شکل ۳: الف) سطح مقطع دو لوله (ب) لوله درونی و بیرونی حاوی سیکلوهاگزان (ج) تابش نور لیزر درون لوله موئین درونی حاوی سیکلوهاگزان در محیط هوا (د) تابش نور لیزر در لوله موئین درونی حاوی سیکلوهاگزان در محیط سیکلوهاگزان.

ابتدا لوله‌ای شیشه‌ای با قطر داخلی ۳ میلی‌متر و قطر بیرونی ۵ میلی‌متر را به عنوان نماینده‌ای از این ظرف شیشه‌ای در نظر می‌گیریم. با کاهش قطر لوله در ابعاد، قطر داخلی ۱٫۲ میلی‌متر و قطر خارجی ۱٫۶ میلی‌متر و لوله‌ای دیگر در ابعاد قطر داخلی ۴۰۰ میکرون و قطر بیرونی ۶۰۰ میکرون، طیف رامان را در هر یک از این موارد ثبت می‌کنیم. طول لوله در موارد ذکر شده ۷۵ میلی‌متر است. سپس با استفاده از لوله موئین با قطر داخلی ۴۰۰ میکرون و قطر بیرونی ۶۰۰ میکرون، در طول‌های مختلف اثر افزایش طول لوله در تقویت سیگنال رامان را بررسی می‌کنیم. در تمامی مراحل آزمایش از Objective ۴X استفاده شده است.

نتایج

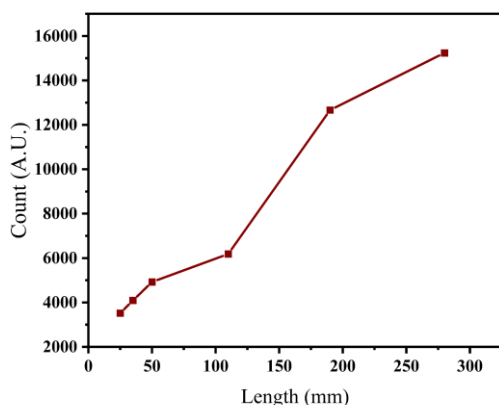
مطابق شکل ۳ قسمت ج و د، طیف رامان حاصل، در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود زمانی که درون لوله موئین به قطر ۱٫۲ میلی‌متر سیکلوهاگزان ریخته شود، در حالی که محیط اطراف آن را هوا در بر گرفته، نور لیزر درون لوله موئین هدایت شده و سیگنال رامان بیشتری را تولید می‌کند. بر خلاف آن

می‌شود. باید توجه داشت نور لیزر توسط فیلتر ناچ حذف می‌شود و اجازه ورود به اسپکترومتر را نخواهد داشت. بعد از آن با نرم افزار تانسو اطلاعات ورودی تحلیل می‌گردد. طول موج لیزر استفاده شده در این چیدمان ۵۳۲ نانومتر (همانند Nd:YAG) و توان لیزر ۱۰ میلی‌وات است.



شکل ۲: شماتیک چیدمان طیف سنجی رامان ۵۳۲ نانومتر.

برای اطمینان از موجبری لوله موئین حاوی سیکلوهاگزان در محیط هوا و عدم موجبری در محیط سیکلوهاگزان، لوله شیشه‌ای با قطر داخلی ۵ میلی‌متر و قطر بیرونی ۷ میلی‌متر انتخاب می‌کنیم. لوله موئین با قطر داخلی ۱٫۲ میلی‌متر و قطر بیرونی ۱٫۶ میلی‌متر را دقیقاً در مرکز لوله بزرگتر قرار می‌دهیم. طول لوله در هر دو مورد ۷۵ میلی‌متر است. سیکلوهاگزان را درون لوله مرکزی ریخته و طبق چیدمان شکل ۲ طیف رامان حاصل از آن را دریافت می‌کنیم. در ادامه با ریختن سیکلوهاگزان در لوله با قطر بزرگتر، مجدداً طیف رامان سیکلوهاگزان درون لوله کوچکتر را ثبت می‌کنیم. در تمامی مراحل آزمایش مدت زمان جمع‌آوری نور توسط CCD، ۱ ثانیه است. طیف‌گیری رامان برای موادی مانند سیکلوهاگزان به طور متداول به این صورت است که سیکلوهاگزان را درون ظرف شیشه‌ای ریخته و آن را مقابل نور لیزر قرار می‌دهند.



شکل ۶: تاثیر طول لوله موئین با قطر داخلی ۴۰۰ میکرون و قطر بیرونی ۶۰۰ میکرون بر افزایش سیگنال رامان سیکلوهگزان در طول موج ۶۲۷ نانومتر.

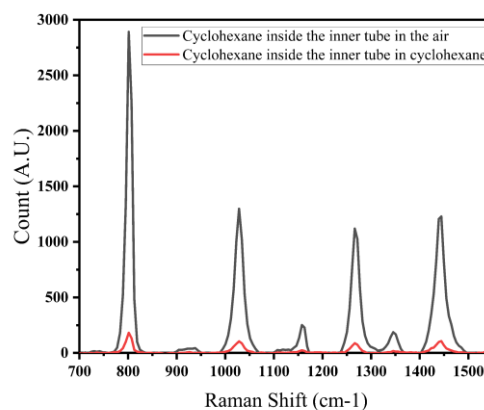
نتیجه گیری

استفاده از لوله های موئین در تقویت سیگنال رامان، روشی ساده و کم هزینه برای نمونه های مایع است. در بسیاری از آزمایشات طیف سنجی رامان تقویت یافته فیبری، برای ایجاد بازتاب داخلی درون لوله موئین از مایعاتی با ضریب شکست بالاتر از ضریب شکست شیشه استفاده می شود. اما در این پژوهش نشان داده شده حتی برای مایعاتی با ضریب شکست کمتر از ضریب شکست شیشه مانند سیکلوهگزان نیز این روش می تواند کارآمد باشد.

مرجع ها

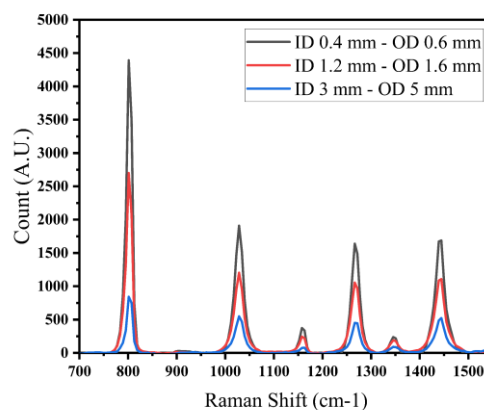
- [۱] Schmidt, H., Hawkins, A.R. Optofluidic waveguides: I. Concepts and implementations. *Microfluid Nanofluid* ۴, ۳-۱۶ (۲۰۰۸).
- [۲] Alexey V. Markin, Natalia E. Markina, Irina Yu. Goryacheva. Raman spectroscopy-based analysis inside photonic-crystal fibers. Elsevier. ۲۰۱۷.
- [۳] K. Kerl, H. Varchmin. "Refractive index dispersion (RID) of some liquids in the UV/VIS between ۲۰۰۰ ۰۰۰ ۶۰۰۰". ۰۰۰۰۰۰۰۰ ۰۰ ۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰, Volume ۳۴۹, ۱۹۹۵, Pages ۲۵۷-۲۶۰.
- [۴] I. H. Malison. "Interspecimen Comparison of the Refractive Index of Fused Silica". *Journal of the Optical Society of America* (۱۹۶۵)

زمانی که علاوه بر داخل لوله موئین، بیرون آن را نیز سیکلوهگزان در بر بگیرد، لوله موئین به عنوان موجبر عمل نکرده و سیگنال رامان بسیار ضعیف است.



شکل ۴: طیف رامان سیکلوهگزان درون لوله موئین در محیط هوا (مشکی) و محیط سیکلوهگزان (قرمز)

در شکل ۴ نشان داده شده با کاهش قطر لوله علاوه بر کاهش حجم نمونه، شاهد افزایش سیگنال خواهیم بود و اثر لوله موئین در بازتاب های متوالی، تاثیر بیشتری دارد.



شکل ۵: تاثیر قطر لوله های شیشه ای به طول ۷۵ میلی متر بر افزایش سیگنال رامان

نمودار شکل ۵ نشان می دهد با افزایش طول لوله موئین با قطر داخلی ۴۰۰ میکرون و قطر بیرونی ۶۰۰ میکرون شاهد افزایش سیگنال رامان بودیم.