بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

استفاده از بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی به منظور شناسایی TNT با پوشش PMMA

نگین دریابی دوبلوطان[1]، محمد جواد رنجکش، ابوالحسن مبشری، سید محمدرضا دربانی

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

نویسنده مسئول **Negindaryabi@gmail.com[1]**

چکیده - بیناب‌نمایی رامان یکی از روش‌های متداول در آنالیز ترکیبات مولکولی به ویژه مواد منفجره می‌باشد. در روش‌های متداول رامان، معمولا نقطه تحریک ماده و محل جمع آوری بیناب یکسان است که این موضوع باعث همپوشانی بیناب پوشش سطحی و لایه‌ها عمقی ماده مورد نظر می‌شود. در این حالت شناسایی ماده پوشش‌دار به سختی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر این مشکل با استفاده از تکنیک بیناب‌نمایی رامان جابجایی فضایی مرتفع گردیده است. در این پژوهش با استفاده ازاین روش، بیناب رامان ماده منفجره TNT درون پوشش PMMA شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهد که جابجایی ۳ میلیمتر بین نقطه تابش و جمع‌آوری سیگنال باعث حذف برخی از قله‌های PMMA از بیناب رامان TNT دارای پوشش می‌شود.

کلید واژه-بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی، TNT، PMMA

Application of SORS for detection TNT with PMMA covering

Negin Daryabi Dobalotan, Mohammad Javad Ranjkesh, Abolhasan Mobashery and Seyyed Mohammad Reza Darbani

Abstract- Raman spectroscopy is the most common method for analysis of molecular component especially explosive materials. In traditional Raman spectroscopy method, usual the excitation and collection point are the same. This cause to overlap of cover layer and deep layer spectrum of inspection material. In this case, the covered material has been detected hardly. This problem has been solved by spatially offset Raman technique. In this research, the Raman spectrum of covered TNT by means of PMMA has been detected by this method. Our results show that a 3mm offset between excitation and collection points cause to detect some Raman peaks of PMMA from the Raman spectrum of the covered TNT.

Keywords: SORS, TNT, PMMA.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

بیناب نمایی رامان روشی قدرتمند و غیر مخرب برای بررسی ساختار و ترکیبات شیمیایی ماده بر پایه پراکندگی ناکشسان نور از مولکول‌های ماده است. در این روش اختلاف بین طول موج نور فرودی و نور پراکنده شده اطلاعات اثر انگشتی گذارهای چرخشی و ارتعاشی ماده را نتیجه می‌دهد[۱]. به دلیل امکان شناسایی دقیق ماده و همچنین ناخالصی‌های موجود در آن، از بیناب رامان به عنوان یک سنجه برای کنترل کیفیت، به ویژه در صنایع غذایی و دارویی، استفاده می‌شود. در برخی موارد مثل کنترل مواد دارویی، لازم است که بدون دستکاری بسته‌بندی محصول، نوع آن شناسایی شود. همچنین در طیف سنجی رامان از راه دور امکان خارج کردن ماده از پوشش وجود ندارد. در این حالت‌ها، به دلیل اینکه اکثر بسته‌بندی‌ها به صورت پوشش پلاستیکی یا پلیمری هستند، بیناب فلورسانس شدیدی دارند که باعث سرکوب شدن بیناب رامان ماده هدف می‌شود.

در روش متداول بیناب نمایی رامان، تابش لیزر به نمونه تابانده شده و فوتون‌های پراکنده شده دقیقا در همان نقطه تحریک ماده جمع آوری و آشکارسازی می‌شود. این روش دارای یک سری مشکلات و محدودیت‌ها است که در این میان می‌توان به تابش شدید فلورسانس اشاره کرد. همچنین اگر نمونه‌ی موردنظر دارای پوشش باشد، در روش رامان متداول بیناب رامان پوشش و ماده‌ی درون پوشش با یکدیگر همپوشانی می‌کنند. بنابراین برای شناسایی ترکیبات دارای پوشش نمی‌توان از روش متداول رامان استفاده کرد.

در سال ۲۰۰۵ آقای ماتوسک[1] و همکارانش برای شناسایی نمونه‌های پوشش‌دار توسط بیناب نمایی رامان، روش بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی (SORS[2]) را پیشنهاد دادند. در این روش می‌توان بیناب رامان و فلورسانس پوشش سطحی را حذف کرد یا اثر آن را کاهش داد[۲].

در این پژوهش از چیدمان SORS برای شناسایی ماده TNT در پوشش PMMA استفاده شده است.

تئوری و چیدمان تجربی

تکنیک SORS بر مبنای پراکندگی چندگانه فوتون‌های رامان در محیط (ماده هدف و پوشش) استوار است. انتشار فوتون در محیط باعث پراکندگی چندگانه شده و با توجه به خواص اپتیکی، ماده سه حالت برای فوتون پیش می‌آید[۳]:

۱-فوتون‌هایی که بدون انحراف از جهت اصلی منتشر می‌شود.

۲-فوتون‌ها کمی از جهت اصلی انتشار منحرف می‌شوند. جهت گیری حرکت این فوتون‌ها هنوز به سمت جلو است.

۳- فوتون‌هایی که درجه پراکندگی آنها بیشتر است و عمق بیشتری ازماده را طی می‌کنند. این فوتون‌ها نسبت به دو حالت قبل قادر به ارائه اطلاعاتی از عمق ماده هستند که ناشی از انتقال و عبور در عمق بیشتری از ماده است.

فوتون‌هایی که درجه پراکندگی بالایی دارند، جهت گیری‌های تصادفی داشته و مسیرهای متفاوتی را در محیط طی می‌کنند. بر اساس مسیر و همچنین جهت‌گیری تصادفی فوتون‌ها می‌توان توزیع‌های فضایی و زمانی مختلفی را به آن‌ها نسبت داد [۴]. آشکار سازی فوتون‌ها بر اساس نوع توزیع فضایی و زمانی باعث تفکیک بیناب رامان لایه‌های مختلف ماده می‌شود. بنابراین این روش امکان جداسازی بیناب پوشش سطحی و لایه‌های داخلی ماده را فراهم می‌کند. در این روش بین نقطه‌ای که لیزر تابیده می‌شود و نقطه‌ای که بیناب رامان آن از جمع آوری می‌شود، جدایی فضایی ایجاد می‌شود [۲].

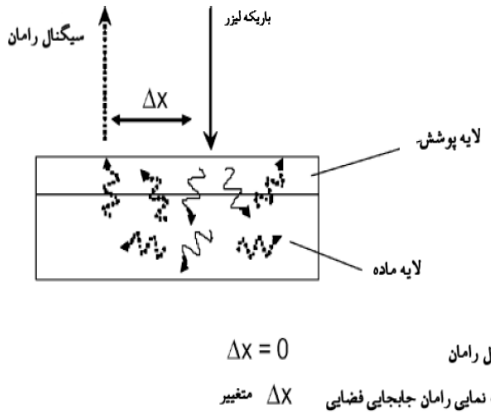
[1] Matousek
[2] Spatially Offset Raman Spectroscopy

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

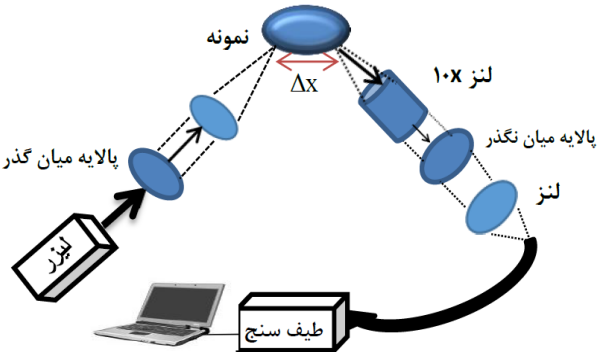
همانطور که در شکل(۱) نشان داده شده است، به هر میزان که نقطه جمع آوری از نقطه برانگیختگی لیزر دور شود، سهم بیناب لایه‌های سطحی به سرعت کاهش می‌یابد و نسبت شدت بیناب رامان لایه‌های عمقی به بیناب رامان و فلوئورسانس لایه‌های سطحی بیشتر می‌شود.

روش SORS شامل دو روش جمع آوری به روش نقطه‌ای و جمع آوری از چند دایره هم مرکز می‌باشد. در این پژوهش از روش جمع آوری نقطه‌ای استفاده شده است که در آن تابش لیزر به یک نقطه از نمونه تابانده شده و محل جمع آوری سیگنال رامان از نقطه برانگیختگی به اندازه Δx جابجا می‌شود. طرح واره عملکرد این روش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: طرحواره بیناب نمایی عملکرد بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی

در چیدمان تجربی استفاده شده طول موج لیزر دمشی ۵۳۲ نانومتر و توان آن ۳۰ میلی وات است. از یک عدسی با فاصله کانونی ۱۰ cm برای متمرکز کردن نور لیزر بر روی ماده و یک شیئی 10X میکروسکوپ برای جمع‌آوری نور پراکنده شده استفاده شده است. پس از عدسی شیئی، فیلتر میان نگذر برای حذف پراکندگی رایلی قرار گرفته است. در نهایت یک عدسی پرتوها را به داخل فیبر می‌فرستد. شکل (۲) طرحواره این چیدمان را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، مجزا بودن بخش ارسال پرتو لیزر و بخش جمع کننده نور، امکان ایجاد جابجایی فضایی را فراهم می‌کند. در این چیدمان مقدار جابجایی فضایی (Δx) برابر ۳ mm در نظر گرفته شده است. هر بیناب از میانگین‌گیری ده بیناب که هرکدام در مدت زمان ۲۰ ثانیه جمع آوری شده است به دست آمده است. طیف‌سنج استفاده شده محصول LR2 شرکت ASEQ با رزلوشن 0.5 nm است.



شکل 2: طرحواره چیدمان تجربی SORS

در این پژوهش ماده منفجره TNT پوشش‌دار به عنوان هدف مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور قرص TNT با قطر ۱ سانتی متر با استفاده از دستگاه پرس و تولید فشار ۶ تن بر واحد سطح تهیه شده است. پوششی از جنس PMMA (پلی متیل متاکریلات) با ضخامت ۱ میلیمتر تهیه و قرص‌ها درون این پوشش قرار داده شدند.

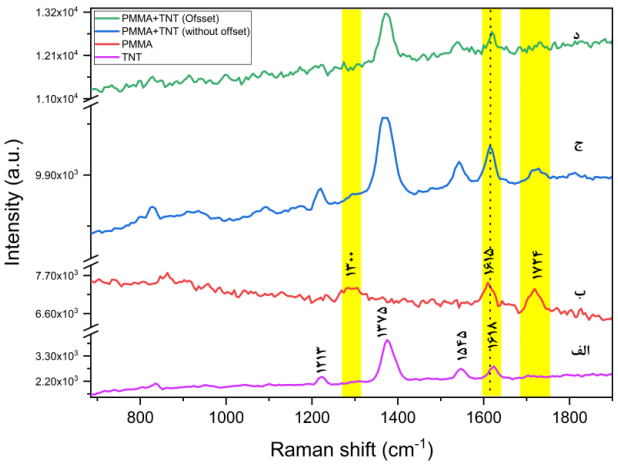
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

نتایج و تحلیل داده ها

در شکل ۳، منحنی (الف)، بیناب رامان TNT بدون پوشش نشان داده شده است. بیناب رامان TNT دارای ۴ قله شاخص، cm^{-1} ۱۲۱۳، cm^{-1} ۱۳۷۵، cm^{-1} ۱۵۴۵ و cm^{-1} ۱۶۱۸ که به ترتیب مربوط به ارتعاشات تنفس حلقوی، کششی متقارن NO2، کششی نامتقارن NO2 و کششی حلقوی است. در منحنی (ب) شکل ۳، بیناب رامان PMMA نمایش داده شده است که دارای ۳ قله شاخص cm^{-1} ۱۳۰۰، cm^{-1} ۱۶۱۵ و cm^{-1} ۱۷۲۴ است.

بیناب فلورسانی در مقایسه با بیناب رامان پهن‌تر است و در صورتی که ماده موردنظر دارای بیناب قوی و فلورسانسی باشد، بیناب نهایی به صورت تعدادی قله کوچک وتیز است که روی یک قله پهن با شدت زیاد قرارگرفته‌است. این موضوع در شکل۳ مشاهده نمی‌شود. منحنی (ج) شکل ۳ مربوط به بیناب TNT درون پوشش PMMA بدون جابجایی فضایی است. نوار زرد رنگ روی شکل ۳ نشان دهنده محل قله‌های PMMA در بیناب های ثبت شده‌است. همانطور که در منحنی (ج) مشخص شده است، در حالتی که $\Delta x = 0$ است، قله‌های پوشش PMMA و TNT به صورت هم زمان دیده می‌شوند. در این وضعیت قله cm^{-1} ۱۶۱۵ پوشش PMMA و cm^{-1} ۱۶۱۸ ماده TNT با یکدیگر همپوشانی دارند. همچنین قله‌های cm^{-1} ۱۷۲۴ و cm^{-1} ۱۳۰۰ PMMA به صورت قله‌های اضافی در بیناب مشاهده می‌شوند. با اعمال $\Delta x = 3mm$ اثر قله‌های رامان PMMA از طیف رامان ماده TNT تقریبا حذف می‌شود که این موضوع در منحنی (د) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در این منحنی، قله‌های cm^{-1} ۱۳۰۰ و cm^{-1} ۱۷۲۴ به صورت کامل حذف شده‌اند و با از بین رفتن اثر همپوشانی قله cm^{-1} ۱۶۱۵، شدت قله سوم ماده TNT (نوار زرد رنگ میانی در شکل (۳)) کاهش یافته‌است.



شکل 3: بیناب رامان الف- TNT، ب- PMMA، ج-TNT با پوشش PMMA بدون جابجایی فضایی، د-TNT با پوشش PMMA با جابجایی فضایی ۳میلیمتر

نتیجه‌گیری

با استفاده از تکنیک بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی به خوبی می‌توان اجسام دارای پوشش را شناسایی کرد. همانطور که نشان داده شده است، با اعمال جابجایی فضایی mm ۳ بین نقطه تابش لیزر و نقطه جمع آوری سیگنال، همپوشانی سیگنال‌های TNT و پوشش PMMA حذف شده است.

مرجع‌ها

1. M. Lopez-Lopez and C. Garcia-Ruiz, “Infrared and Raman spectroscopy techniques applied to identification of explosives”, Trends in Analytical Chemistry. 54, pp. 36-44, 2014.
2. P. Matousek, I. P. Clark, E. R. C. Draper, M. D. Morris, A. E. Goodship, N. Everall, M. Towrie, W. F. Finney, and A. W. Parker, “Subsurface probing in diffusely scattering media using spatially offset Raman spectroscopy”, Applied Spectroscopy, Vol. 59, No .4, pp. 393-400, 2005
3. Sh. Sundarajoo, “Deep Raman Spectroscopy In The Anlalyical Forenesic investigation Of Concealed Substances, Science & Engineering”, 2012
4. Zh Liao, F Sinjab, G Gibson, M Padgett, and Ioan Notingher, “DMD-based software-configurable spatially offset Raman spectroscopy for spectral depth profiling of optically turbid samples”, Opt .Express, Vol. 24, No. 12, 2016

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]