بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۲-۲۵۲۳-۱۰-A

برپایی چیدمان بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی تفکیک زمانی دوربرد به منظور شناسایی ترکیبات پوشش‌دار

مرضیه همتی فارسانی، سیدحسین امیری، ابوالحسن مبشری و سید محمدرضا دربانی

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

ایمیل نویسنده مسئول: **m.hemati@mut.ac.ir**

چکیده - آشکارسازی مواد منفجره از راه دور یک مساله چالشی در صنایع دفاعی می‌باشد. این چالش زمانی که این مواد در پوشش دیگری بسته‌بندی شده باشد، پیچیده‌تر خواهد شد. در این پژوهش بیناب راه دور رامان نمونه انفجاری آمونیوم نیترات پنهان شده در پوشش پلی اتیلن چگالی بالا در دو رنگ سفید و کرمی در فاصله ۵ متری آشکارسازی شد. نتایج نشان می‌دهد که پنجره تاخیر زمانی استانداردی برای اعمال به کل نمونه‌ها وجود ندارد.

کلید واژه- بیناب نمایی رامان جابجایی فضایی تفکیک زمانی، بیناب نمایی رامان راه دور، آمونیوم نیترات، پلی‌اتیلن چگالی بالا.

Setting up Time Resolved Spatial Offset Stand-off Raman Spectroscopy to detection of concealed compounds

Marziyeh Hemati Farsani, Seyyed Hossein Amiri, Abolhasan Mobashery and Seyyed Mohammad Reza Darbani

Optics and Laser Science and Technology Research Center, Malek-Ashtar University of Technology, Shahin-shahr

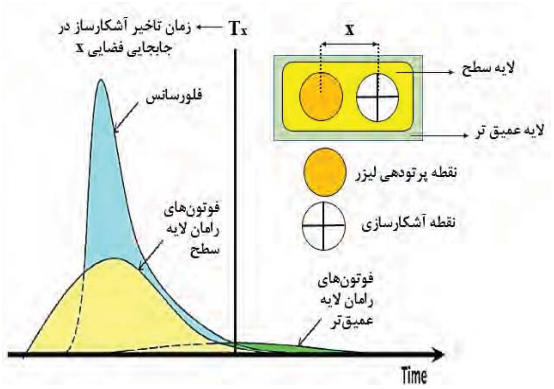
Abstract- Stand-off detection of explosives is a challenging issue in the defence industry. This challenge becomes more complicated when these materials packaged in another cover. In this work, explosive sample of ammonium nitrate that hidden in two various colours of HDPE covering (white and cream) was detected by stand-off Raman at 5 meters distance. The results show that there is no standard time delay gate to apply to all samples.

Keywords: TR-SORS, Stand-off Raman Spectroscopy, AN, HDPE.

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

مقدمه

ماهیت استفاده از مواد انفجاری معمولا به این شکل است که آن‌ها اغلب از دید افراد معمول پنهان هستند. با توجه به خطرات و آسیب‌های ناشی از این مواد، یکی از مهمترین پارامترهای مورد بررسی در این حوزه برد سامانه آشکارسازی است. اگرچه آشکارسازی مواد منفجره دوربرد با پیچیدگی همراه است، اضافه شدن پوشش نیز این سختی و پیچیدگی را افزایش می‌دهد. در بین روش‌های آنالیز مولکولی، بیناب‌نمایی رامان با توجه به پیشینه موفق خود دارای عملکرد بالایی است[۱]. باوجود ویژگی‌های برجسته این روش یکی از ضعف‌های ذاتی آن ضعیف بودن سیگنال است و 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. یکی از روش‌های معرفی شده برای رفع این مشکل، استفاده از تکنیک بیناب‌نمایی رامان جابجایی فضایی تفکیک زمانی[1] است[۲]. در روش رامان جابجایی فضایی[2]، با استفاده از چیدمان اپتیکی بین نقطه‌ای که لیزر تابیده می‌شود و نقطه‌ای که بیناب رامان جمع‌آوری می‌شود، جدایی فضایی ایجاد می‌شود. با دور شدن از نقطه برانگیختگی لیزر، سهم بیناب لایه‌های سطحی به سرعت کاهش و شدت بیناب لایه‌های عمق تا رسیدن به نقطه بهینه افزایش پیدا می‌کند. در تفکیک زمانی[3] با انتخاب پنجره تاخیر زمانی مناسب، می‌توانیم پس‌زمینه فلورسانس را کاهش دهیم. با ترکیب جابجایی فضایی به‌همراه تفکیک زمانی گزینش‌پذیری در شناسایی مواد پوشش‌دار چندین برابر می‌شود. همان‌طورکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود، در روش TR-SORS در بخش تفکیک زمانی با تنظیم پنجره زمانی تاخیری در زمان T_x می‌توان فلورسانس و بیناب رامان سطح را تضعیف و بیناب لایه‌های عمیق‌تر را ثبت کرد[۳]. علاوه‌بر پنجره تاخیر زمانی، در فاصله X نیز جابجایی فضایی برای حذف فوتون‌های رامان سطح اعمال شده است. این روش بدلیل بالا بردن نسبت سیگنال به نوفه در چیدمان‌های راه دور کاربری زیادی دارد.



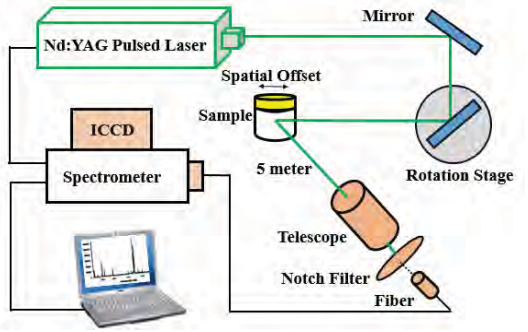
شکل۱: مقایسه نمایه زمانی فوتون‌های رامان سطح، لایه‌های عمیق‌تر و فلورسانس همزمان با اعمال جابجایی فضایی در روش (TR-SORS)

مواد و چیدمان تجربی

طرحواره چیدمان تجربی راه دور TR-SORS در فاصله ۵ متری در شکل (۲) شان داده شده است. در این چیدمان فاصله نمونه تا سیستم جمع آوری نور پراکنده شده ۵ متر است. برای هدایت پرتو لیزی به سمت نمونه از آینه استفاده شد. یکی از این آینه‌ها برای ایجاد جابجایی فضایی بر روی نمونه، روی یک صفحه انتقالی چرخان با دقت میکرومتر قرار دارد. از مشکلات چیدمان‌های راه دور کاهش شدت سیگنال دریافتی با افزایش فاصله است، بنابراین از تلسکوپ برای جمع آوری نور استفاده شد. نور جمع آوری شده از تلسکوپ توسط یک اپتیک جمع‌کننده روی دهانه فیبر جمع‌آوری شده و توسط دوربین ICCD ثبت و توسط سامانه نرم افزاری SOLIS شناسایی شد. برای تضعیف فوتون‌های ناشی از پراکندگی رایلی از یک فیلتر میان‌نگذر در مسیر نور برگشتی استفاده شده است.

[1] Time Resolved Spatial Offset Raman Spectroscopy (TR-SORS)
[2] Spatial Offset Raman (SORS)
[3] Time Resolved(TR)

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

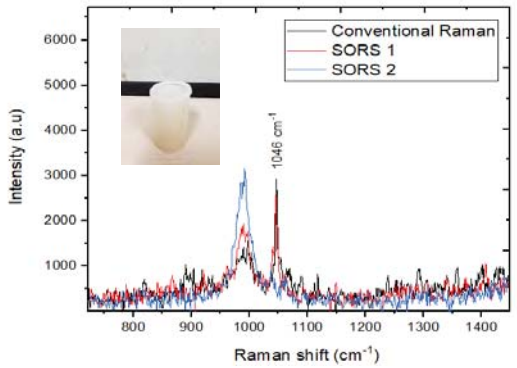


شکل۲: طرحواره چیدمان راه دور روش بیناب‌نمایی (TR-SORS)

ماده انفجاری انتخاب شده در این پژوهش آمونیوم نیترات[۴] (AN) پودری با فرمول شیمیایی NH_4NO_3 و با مد ارتعاشی شاخص در طول‌موج $1046 cm^{-1}$ می‌باشد. با توجه به رایج بودن بسته‌بندی با پوشش‌های پلیمری از پوشش پلی اتیلن چگالی بالا (HDPE) در دو رنگ سفید و کرمی با ضخامت ۲ میلی‌متر استفاده شده است.

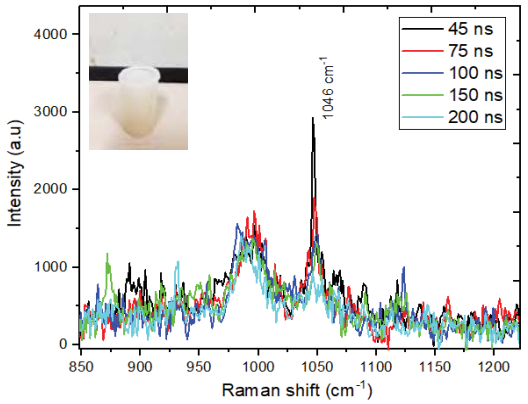
نتایج و تحلیل

در تمامی تست‌ها، اندازه‌گیری در مدت زمان ۲ثانیه، و به تعداد ۱۰ بار انجام و حاصل‌جمع سیگنال‌ها ثبت شد. ماده آمونیوم نیترات در پوشش HDPE سفید رنگ به ضخامت 2mm قرار داده شد. با توجه به کاهش شدید شدت سیگنال در چیدمان راه دور، ابتدا بدون جابجایی فضایی سیستم جمع کننده نور و اعمال تفکیک زمانی، بیناب رامان معمولی ماده در دو انرژی ۱۵ و ۳۰ میلی ژول در فاصله ۵ متری ثبت شد. دلیل اعمال تفکیک زمانی، فاصله بین منبع لیزری و ماده هدف است که منجر به تاخیر زمانی در اثر رفت و برگشت نور می شود. در انرژی بالاتر شدت سیگنال به دلیل افزایش فوتون‌های پراکنده شده بیشتر است، اما محدودیتی که وجود دارد، سوختگی پوشش پلیمری بر اثر افزایش انرژی است. بنابراین برای بررسی بیناب جابجایی فضایی آمونیوم نیترات با پوشش HDPE سفید رنگ در فاصله ۵ متری، در انرژی ۱۵ میلی ژول فوتون‌های پراکنده شده در دو جابجایی مختلف ثبت شد.



شکل۳: :بیناب رامان آمونیوم نیترات با پوشش (HDPE) سفید رنگ در چیدمان SORS

نتایج نشان داد که در جابجایی اول در فاصله ۲ میلی‌متری از نقطه برانگیختگی لیزر، سیگنال ماده منفجره شدتی تقریبا برابر با سیگنال رامان معمولی دارد و در اندازه‌گیری دیگر در جابجایی ۴ میلی‌متر به دلیل جابجایی زیاد و فقدان فوتون‌های پراکنده شده، سیگنال ماده AN از بین رفت. شکل (۳) بیناب SORS این پوشش را نشان می‌دهد.



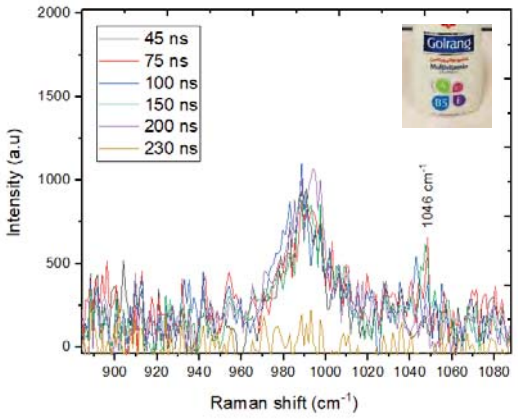
شکل ۴: بیناب TR-SORS آمونیوم نیترات با پوشش (HDPE) سفید رنگ در پنجره تاخیر زمانی‌های مختلف

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود برای گرفتن بیناب در روش TR-SORS در جابجایی ۲ میلیمتری با اعمال پنجره تاخیر زمانی‌های مختلف بین ۴۵ تا ۲۰۰ نانوثانیه، بیناب آمونیوم نیترات پوشش‌دار آشکارسازی شد.

[4] Ammonium nitrate

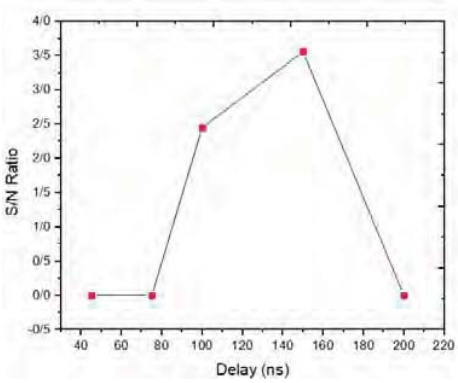
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

در این جابجایی فضایی، بهترین زمان تاخیر برای آشکارسازی سیگنال با شدت بالاتر ۴۵ نانوثانیه بود. آشکارسازی آمونیوم نیترات در پوشش HDPE کرمی رنگ نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به رنگی بودن این پوشش و تشدید فلورسانس ناشی از آن، برای تضعیف فلورسانس زمان تاخیرهای متفاوتی به سیستم آشکارسازی اعمال شد. در این پوشش نیز بهترین جابجایی فضایی در ۲ میلیمتری از نقطه تابشی لیزر بدست آمد. همان‌طور که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود، سیگنال قابل قبولی می‌توان در محدوده ۱۰۰ و ۱۵۰ نانوثانیه بدست آورد.



شکل ۵: بیناب TR-SORS آمونیوم نیترات با پوشش پلی اتیلن چگالی بالا کرمی رنگ در زمان تاخیرهای مختلف

با محاسبه نسبت سیگنال به نوفه در زمان تاخیرهای اعمال شده در آمونیوم نیترات پنهان شده در پوشش HDPE کرمی رنگ در زمان تاخیر ۱۵۰ نانوثانیه می‌توان به سیگنالی با شدت قابل ملاحظه‌ای دست پیدا کرد که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که از نتایج این دو پوشش استنتاج می‌شود، هیچ پنجره تاخیر زمانی استانداردی برای اعمال به کل نمونه‌ها وجود ندارد. از پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب پنجره تاخیر زمانی می‌توان فاصله تا نمونه، توان لیزر فرودی و ویژگی‌های نوری ماده بسته‌بندی را نام برد.



شکل ۶: نسبت سیگنال به نوفه خط مشخصه آمونیوم نیترات در بیناب TR-SORS با پوشش پلی اتیلن چگالی بالا کرمی رنگ در زمان تاخیرهای مختلف

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیناب راه دور رامان نمونه انفجاری آمونیوم نیترات پنهان شده در پوشش پلی اتیلن چگالی بالا در دو رنگ سفید و کرمی در فاصله ۵ متری آشکارسازی شد. نتایج نشان می‌دهد که هیچ پنجره تاخیر زمانی استانداردی برای اعمال به کل نمونه‌ها وجود ندارد. عواملی مانند مسافت تا نمونه، توان لیزر فرودی و ویژگی‌های نوری ماده بسته‌بندی از پارامترهای تاثیر گذار در این فاکتور هستند.

مرجع‌ها

[1] B. Zachhuber, G. Ramer, A. Hobro, E. T. H. Chrysostom, and B. Lendl, “Stand-off Raman spectroscopy: a powerful technique for qualitative and quantitative analysis of inorganic and organic compounds including explosives”, Anal Bioanal Chem, Vol. 400, No. 8, pp. 2439–2447, 2011.

[2] E. L. Izake, N, S. Sundarajoo, W. Olds, B. Cletus, E. Jaatinen, P. M. Fredericks, “Standoff Raman spectrometry for the non-invasive detection of explosives precursors in highly fluorescing packaging”, Talanta, Vol. 103, pp: 20–27, 2013.

[3] Sh. Sundarajoo, E. L. Izake, W. Olds, B. Cletus, E. Jaatinenb and P. M. Fredericks, “Non-invasive depth profiling by space and time-resolved Raman spectroscopy”, Journal of Raman Spectroscopy, Vol. 44, No. 7, pp. 949-956, 2013.

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