بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

تاثیر جهت‌گیری قطبش نور لیزر نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج در طیف‌سنجی رامان

هانیه خوش رو، حسین خادم و سیدحسن توسلی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده – در این مقاله اثر قطبش نور فرودی به نمونه در طیف سنجی رامان بررسی شده است. دو قطبش متفاوت عمود و موازی نسبت به خطوط توری طیف‌سنج در دوآزمایش مجزا با توان های مساوی به نمونه سیکلو هگزان تابانده شد. طیف های حاصل از پراکندگی استوکس جمع آوری و با رسم نمودار سیگنال بر حسب توان فرودی دو حالت با هم مقایسه شدند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد اندازه‌گیری سیگنال‌های رامان توسط طیف‌سنج تا حد زیادی به جهت‌گیری قطبش نور لیزر نسبت به خطوط طیف‌سنج وابسته است.

کلیدواژه: طیف سنجی رامان قطبشی، نسبت واقطبیدگی

Effect of Laser Polarization Orientation Relative to Spectrometer Grating Rules on Raman Spectroscopy

Hanieh Khoshroo, Hossein Khadem and Seyed Hassan Tavassoli

Laser and Plasma Research Institute, University of Shahid Beheshti, Evin , Tehran.

Abstract-In this paper effect of incident light polarization on the sample has been studied. Two different polarizations with equal powers was radiated to cyclohexane sample. The spectra of Stokes scattering was acquired and the graph of signal versus power for both of them were compared. Upon our results, measured Stokes signals are highly dependent on the relative orientation of incident light polarization and spectrometer grating rules direction.

Keywords: Depolarization ratio, Polarized Raman Spectroscopy

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱- مقدمه

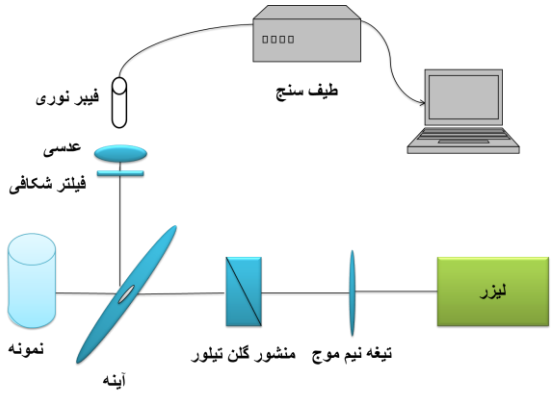
درطیف سنجی رامان قطبشی، قطبش نور لیزر و قطبش نور فرودی به طیف‌سنج را می‌توان با دو قطبنده‌ی خطی، موازی با هم یا عمود بر هم تعیین کرد و بنا بر آن اطلاعات مفیدی در مورد ساختار و جهت گیری مولکول های بزرگ در کریستال ها ، پلیمر ها و کریستال های مایع [۱]، تفکیک مولکول های ایزومر از هم [۲] بدست آورد. همچنین در این روش می‌توان نسبت واقطبیدگی[1] که به صورت زیر تعریف می شود را اندازه گیری کرد.

$$\rho = \frac{I_{\perp}}{I_{||}} \qquad (۱)$$

در معادله بالا $I_{\perp}$ نور پراکنده شده از نمونه با قطبش عمود نسبت به قطبش لیزر و $I_{||}$ نور پراکنده شده از نمونه با قطبش موازی نسبت به قطبش نور لیزر است[۳]. طبق تعریف پلاچک[2] اگر نسبت واقطبیدگی برابر ۰/۷۵ باشد، سیگنال رامان ناشی از یک ارتعاش متقارن است. برای دیگر ارتعاش‌ها نسبت واقطبیدگی مقادیری کمتر از این مقدار را دارد[۴]. در این آزمایش هدف، بررسی تاثیر جهت‌گیری قطبش نور لیزر نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج می‌باشد.

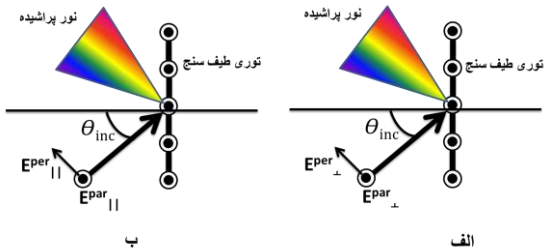
۲-روش تجربی

چیدمان آزمایش در شکل ۱ آورده شده است. در این چیدمان که یک چیدمان ۱۸۰ درجه برای آزمایش رامان است، از یک لیزر Nd:YAG پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر به عنوان منبع نور تک رنگ استفاده شده است. در مسیر لیزر از یک تیغه نیم موج و سپس یک منشور گلن تیلور برای جدا کردن کامل قطبش های خطی عمودی و موازی نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج استفاده شده است. نور پراکنده شده از نمونه پس از بازتاب از آینه از یک فیلتر شکافی[3] با ناحیه فیلتر ۶∓۵۳۲ نانومتر عبور می‌کند و توسط لنز بر روی فیبر کانونی می‌شود. برای تحلیل طیف از یک طیف سنج Ocean Optics HR2000 +ES با مدل توری HC-1 استفاده شد.



شکل ۱: چیدمان آزمایش

جهت‌گیری قطبش نور لیزر می‌تواند عمود (⊥) یا موازی (‖) نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج باشد. چه در حالت عمود و چه در حالت موازی، قطبش پراکندگی رامان فرودی روی توری متشکل از قطبش‌های موازی (parallel) و عمودی (perpendicular) است. پس، سیگنالی که پس از پراکندگی به طیف‌سنج می‌رسد به صورت $I^{per} + I^{par}$ است، که در آن I^{par} و I^{per} به ترتیب مربوط به قطبش موازی و عمود بر خطوط شیار-های توری می‌باشد. حال اگر قطبش نور لیزر نیز، عمود بر خطوط توری باشد، سیگنال اندازه‌گیری شده توسط طیف‌سنج را به صورت $I_{\perp}^{per} + I_{\perp}^{par}$ و اگر قطبش نور لیزر موازی خطوط توری باشد، سیگنال اندازه‌گیری شده را به صورت $I_{||}^{per} + I_{||}^{par}$ نشان می‌دهیم (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ برای حالت الف، نسبت واقطبیدگی به صورت $\rho = \frac{I^{par}{}_{\perp}}{I^{per}{}_{\perp}}$ و برای حالت ب، به صورت $\rho = \frac{I^{per}{}_{||}}{I^{par}{}_{||}}$ تعریف می‌شود.



شکل ۲: سیگنال رامان فرودی به توری طیف‌سنج. الف) سیگنال رامان وقتی قطبش نور لیزر عمود بر خطوط طیف‌سنج است. ب) سیگنال رامان وقتی قطبش نور لیزر موازی خطوط طیف‌سنج است.

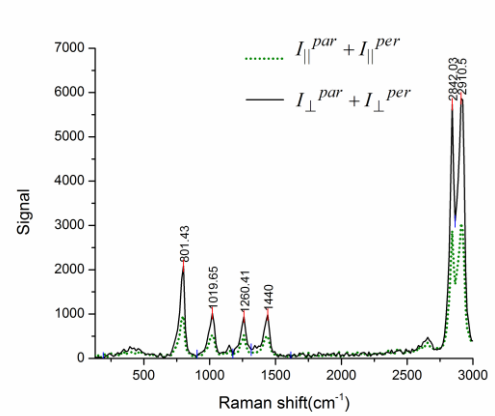
[1] Depolarization ratio
[2] Placzeck
[3] Notch filter

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

چیدمان آزمایش به گونه‌ای تنظیم شد که قطبش نور لیزر در حالت اول به صورت عمودی و در حالت دوم موازی نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج باشد. در هر دو آزمایش توان‌های یکسانی از نور لیزر به نمونه تابانده شد تا قطبش های مختلف با توان‌های یکسان مقایسه شوند. طیف رامان مربوط به هر دو آزمایش برای توان های ۲۲،۳۰،۴۰،۵۰،۶۰،۷۰ میلی‌وات گرفته شد.

۳- بحث و تحلیل

در زیر دو نمونه از طیف‌هایی که با استفاده از چینش آزمایش برای دو قطبش موازی و عمودی لیزر نسبت به خطوط شیارهای طیف‌سنج گرفته شد، نشان داده شده است که تفاوت شدت سیگنال برای این دو حالت کاملا نمایان است(شکل ۳).



شکل ۳: نمودار سیگنال رامان برای توان ۷۰میلی وات برای دو قطبش مختلف نور لیزر.

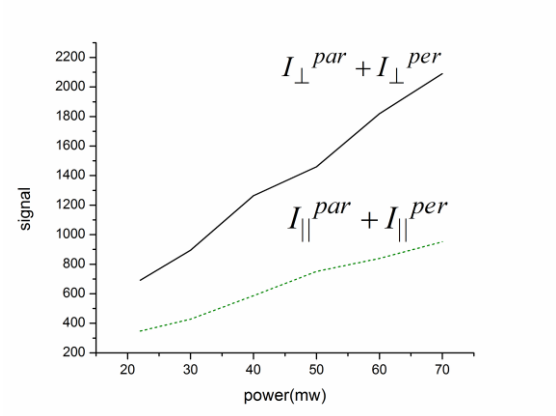
نمودار سیگنال رامان برحسب توان، برای قله $۸۰۱/۴۳\,cm^{-1}$ رسم گردید. علت انتخاب این قله ارتعاش متقارن و اهمیت آن در آزمایشات رامان است که نسبت واقطبیدگی آن برابر ۰/۷۵ است[۴]. چون سیکلوهگزان یک ماده همسانگرد است، انتظار داریم قطبش های مختلف نور لیزر تاثیری روی طیف رامان سیکلوهگزان نداشته باشد. از طرفی چون در این آزمایش از تحلیل‌گر، قبل از طیف سنج استفاده نشده است انتظار داریم نسبت زیر برای قله مورد نظر برابر ۱ باشد.

$$\frac{I_{\perp}^{par}+I_{\perp}^{per}}{I_{\|}^{par}+I_{\|}^{per}} \qquad (۲)$$

با توجه به تعریف نسبت واقطبیدگی، نسبت بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\frac{I_{\perp}^{par}+I_{\perp}^{per}}{I_{\|}^{par}+I_{\|}^{per}}=\frac{I_{\perp}^{per}(\rho+1)}{I_{\|}^{par}(\rho+1)}=\frac{I_{\perp}^{per}}{I_{\|}^{par}}. \qquad (۳)$$

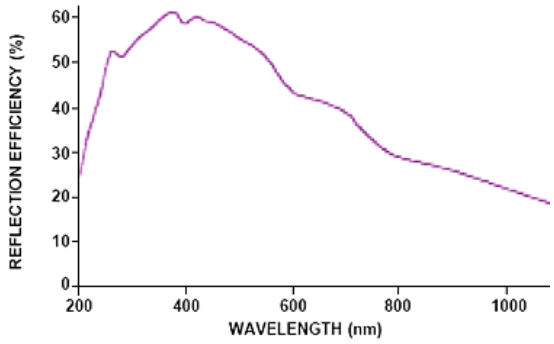
همچنین در این رابطه از دیگر قطبش‌های احتمالی رسیده به طیف سنج صرف نظر شده است. با رسم نمودار مقایسه‌ای حالت $I_{\perp}^{par}+I_{\perp}^{per}$ و حالت $I_{\|}^{par}+I_{\|}^{per}$ (شکل ۴) مشاهده می‌شود نسبت بدست آمده در معادله (۲) نسبتی بیشتر از ۱ اختیار کرده است. برای تمامی توان‌ها نسبت $\frac{I_{\perp}^{per}}{I_{\|}^{par}}$ برابر۲ بدست آمده است.



شکل ۴: نمودار سیگنال برحسب توان برای $۸۰۱/۴۳\,cm^{-1}$ برای دو قطبش مختلف نور لیزر.

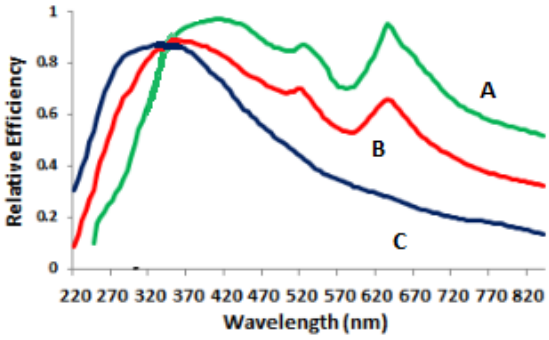
برای توضیح این پدیده، توجه خود را معطوف به ساختار طیف سنج می‌کنیم. در ساختار طیف سنج از یک توری پراش HC-1 استفاده شده است. طبق شکل ۵ که نشان دهنده بازدهی توری HC-1 برای طول موج های مختلف است[۵]، مشاهده می شود در طول موجی نزدیک به ۴۰۰ نانومتر توری بهترین عملکرد یا در واقع بیشترین بازتاب را دارد. برای طول موج‌های بزرگتر از ۴۰۰ نانومتر جذب توری با افزایش طول‌موج افزایش میابد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



شکل ۵: بازدهی توری HC-1 برحسب طول‌موج.

اما این نمودار بر حسب طول موج‌های مختلف (صرف نظر از قطبش نور فرودی) رسم شده است. از طرفی در شکل ۶ می بینیم که جذب توری برای قطبش های مختلفی که به توری برخورد می‌کند متفاوت است.



شکل ۶: بازدهی توری HC-1 برحسب طول موج، برای قطبش های مختلف.

در شکل ۶، نمودار A بازدهی توری برای نوری است که قطبش آن عمود بر شیار های توری باشد. نمودار B برای نوری است که قطبش آن با زاویه ۴۵ درجه به توری برخورد کند و در نهایت نمودار C نشان دهنده بازدهی توری برای نوری است که قطبش آن موازی با شیارهای توری است[۵].

همانطور که در شکل پیدا است برای طول موج‌های بزرگتر از ۴۰۰ نانومتر، پاسخ توری برای قطبش های مختلفی که به طیف سنج برخود می‌کند متفاوت است. طول موج نور لیزر، ۵۳۲ نانومتر است، به علاوه فوتون استوکس طول موجی بزرگتر از ۵۳۲ نانومتر خواهد داشت. برای شیفت طول موجی $۸۰۰cm^{-1}$، طول موج فوتون استوکس حدودا ۵۵۷ نانومتر خواهد بود. با توجه به نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود که بازدهی بازتاب توری در این طول موج برای قطبش عمودی تقریبا دو برابر قطبش موازی با خطوط شیارهای توری است. مطابق با شکل ۴ قطبش عمودی نور لیزر نسبت به خطوط شیار-های توری، سیگنال‌هایی با شدت دو برابر نسبت به قطبش موازی تولید می‌کند. از اینرو می‌توان نتیجه گرفت جهت‌گیری قطبش فوتون استوکس نسبت به خطوط توری طیف‌سنج، در اندازه‌گیری سیگنال‌های رامان بسیار تاثیرگذار است. فوتون‌های رامانی که قطبش عمودی نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج دارند، سیگنال‌های بهتری نسبت به حالت موازی تولید می‌کنند.

۳-نتیجه گیری

در این آزمایش دو قطبش عمودی و موازی نور لیزر را نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج به صورت جداگانه و با توان های یکسان به نمونه سیکلوهگزان تاباندیم. سپس شدت سیگنال رامان را برای این دو حالت مقایسه کردیم و مشاهده شد که قطبش عمودی نور لیزر نسبت به خطوط شیارهای توری طیف‌سنج، سیگنال بهتری را نسبت به حالت موازی، برای یک ماده همسانگرد می‌دهد. در نتیجه قطبش نور فرودی در سیگنال رامان تاثیرگذار است. بسته به مقدار نسبت واقطبیدگی برای یک قله خاص-که توزیع قطبش فوتون‌های استوکس را تعیین می‌کند- بهتر است قطبش نور لیزر به گونه‌ای تنظیم شود تا سهم بیشتری از شدت سیگنال رامان در قطبش عمود بر خطوط شیارهای توری واقع شود.

مراجع

[1] Khanna, R.K. (1957). Evidence of ion-pairing in the polarized Raman spectra of a Ba2+CrO doped KI single crystal. **John Wiley & Sons**. Ltd. doi : 10.1002/jrs.1250040104.

[2] Durig, J. R., Zheng, C., El Defrawy, A. M., Ward, R. M., Gounev, T. K., Ravindranath, K. and Rajeswara Rao, N. (2009), On the relative intensities of the Raman active fundamentals, r_0 structural parameters, and pathway of chair–boat interconversion of cyclohexane and cyclohexane-d_{12}. **J. Raman Spectrosc.**, 40: 197–204. doi: 10.1002/jrs.2107

[3] Allemand, Charly D. *Depolarization Ratio Measurements in Raman Spectrometry*. **Applied Spectroscopy** 24.3 (1970): 348-353.

[4] D. A. Long (Apr. 8, 1953). *Intensities in Raman Spectra. I. A Bond Polarizability Theory*. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 217** (1129): 203–221

[5] Ocean Optics, Catalog of Products, *www.**oceanoptics**.com/**catalog**/**Ocean_Optics_Catalog**_2012.pdf*

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]