نگاهی مختصری بر عملکرد، دستگاهوری و کاربردهای اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک

نویسنده **پوهنمل محمد شاکر دهزاد**
نشان برقی دیپارتمنت کیمیای پوهنځی تعلیم و تربیه، پوهنتون بدخشان، بدخشان، افغانستان
نشانه ارکاید @gmail.com25dehzashaker
7749-1107-0000-0009

چکیده

در این تحقیق، عملکرد، دستگاهوری و موارد استفاده‌ی اسپکتروسکوپی (طیف سنجی) فوتواکوستیک مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، بررسی عملکرد و مقایسه‌ی اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک با اسپکتروسکوپی‌های معمولی، سیستم دستگاهی و حوزه‌های کاربرد این اسپکتروسکوپی می‌باشد. روش به کار گرفته شده در این تحقیق، از نوع کتابخانه‌ای با رویکرد تحلیلی توصیفی می‌باشد. منابعی که در این تحقیق از آن‌ها استفاده شده است عبارت اند از کتاب‌ها، مقالات علمی و تیزیس‌های مقاطع ماستری و دکتورا می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک با اسپکتروسکوپی‌های معمولی مانند اسپکتروسکوپی اشعه‌ی ماورای بنفش (Uv)، مرئی (Vis) و ... از هم فرق دارد. برای مثال، در طیف‌سنجی‌های معمولی محلول بودن نمونه یک امر الزامی است؛ در حالیکه در اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک نیاز به محلول بودن نمونه نیست و نمونه در هر سه فاز (جامد، مایع و گاز) استفاده شده. می‌تواند. از سوی هم، در طیف سنجی‌های معمولی از منابع مختلف نوری با فریکونسی‌های مختلف استفاده به عمل می‌آید؛ یعنی، از منابع نوری با انرژی‌های بیشتر و یا کمتر در اسپکتروسکوپی معمولی استفاده شده می‌تواند. در حالی که در اسپکتروسکوپی نور- صوتی نیاز به منابع نوری با انرژی زیاد از جمله «نور لیزر» می‌باشد.

کلمات کلیدی: اسپکتروسکوپی، فوتواکوستیک، دستگاهوری، فریکونسی، انرژی.

A Brief Overview of the Functionality, Instrumentation, and Applications of Photoacoustic Spectroscopy

Author

Mohammad Shaker Dehzad
Chemistry department, Faculty of Education, Badakhshan university, Badakhshan, Afghanistan.

Email:

dehzashaker25@gmail.com

ORCID:

0009-0000-1107-7749

Abstract

This research focuses on the functionality, instrumentation, and applications of photoacoustic spectroscopy. The aim of the study is to examine the performance and compare photoacoustic spectroscopy with conventional spectroscopies, analyze its system instrumentation, and explore its fields of application. The research methodology is library-based, employing a descriptive-analytical approach. The sources used in this study include books, scientific articles, and theses from master's and doctoral programs.

The results of the study indicate that the performance of photoacoustic spectroscopy differs from that of conventional spectroscopies, such as ultraviolet (UV) and visible (Vis) spectroscopy. For instance, in conventional spectroscopies, the sample must be in solution form, whereas in photoacoustic spectroscopy, the sample does not need to be in solution and can be used in all three phases (solid, liquid, and gas). Furthermore, conventional spectroscopies utilize various light sources with different frequencies, meaning they can employ light sources with higher or lower energy. In contrast, photoacoustic spectroscopy requires high-energy light sources, such as laser light.

Keywords: spectroscopy, photoacoustic, instrumentation, frequency, energy.

.

مجله‌ی علمی-تحقیقی پامیر / - دپامیر علمی څېړنیزه مجله - Pamir Academic & Research Journal

مقدمه

اسپکتروسکوپی که در زبان فارسی به آن طیف سنجی گفته می‌شود یکی از روش‌های تحلیل و تجزیه مواد است که از برهم‌کنش نور با ماده بحث می‌کند. یعنی، علم برهم-کنش نور با ماده به نام اسپکتروسکوپی یاد می‌شود (فیلد و هم‌کاران، 2002: ص 6).

در حقیقت، این تعریف کلی اسپکتروسکوپی است. یعنی، وقت که نور با ماده برخورد می‌کند در اثر جذب انرژی الکترون های آن برانگیخته شده و در این وقت، ماده به حالت برانگیخته تبدیل می‌شود (نجاری و هم‌کاران، 1398: ص 98). از حالت پایدار یعنی، الکترون از نزدیک ترین مدار به هسته به مدارهای دورتر از آن انتقال می‌یابد. اما، ثانیه انرژی جذب 10^{08} تا 10^{-9}الکترون آنجا برای مدت طولانی باقی نمانده و در مدت نموده‌ی خود را از دست داده و دوباره به مدار اولیه خود باز می‌گردد. همین انرژی نشر شده وقتی به بخشی از دستگاه طیف سنج (اسپکتروفتومتر) به نام آشکار ساز، هدایت داده شود، دستگاه پس از تحلیل
و تجزیه انرژی، اطلاعاتی را در اختیار می‌گذارد که تحلیل و تجزیه این اطلاعات معلوماتی را در مورد نمونه ارائه می‌کند (Pavia et al, 2013 : p 526.)

اطلاعات ارائه شده می‌تواند از نوع توصیفی، مقداری و یا ساختاری باشد. توصیفی به این مفهوم که نوعیت اتوم‌ها و عناصر تشکیل دهنده‌ی نمونه را مشخص می‌کند، مقداری یعنی مقدار مواد تشکیل دهنده‌ی نمونه مورد مطالعه را تعیین می‌کند و ساختاری هندسه
و ساختار نمونه را مشخص می‌سازد. در طیف سنجی فوتواکوستیک وقتی نور به یک گاز تابانده می‌شود مقدار از انرژی آن توسط گاز جذب می‌گردد. متعاقباً، انرژی جذب شده فوراً تبدیل به حرارت شده و باعث بلند رفتن فشار گاز خواهد شد (میرزایی، 1401: ص 54).

در نتیجه امواج فشار که عبارت از همان «امواج صوتی» می‌باشند توسط یک آشکارساز اندازه‌گیری می‌شوند. در این مطالعه، عملکرد، دستگاهوری و موارد کاربرد اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک مورد بررسی قرار گرفته است.

تبیین مسأله

اسپکتروسکوپی یکی از تکنیک‌های اساسی تحلیل و تجزیه مواد است. به کمک این تکنیک، اجزای تشکیل دهنده‌ی یک ماده هم به شکل توصیفی (کیفی) و هم به شکل مقداری (کمی) تحلیل شده می‌تواند. به بیان دیگر، تکنیک اسپکتروسکوپی یکی از زیر شاخه‌های اساسی کیمیای تحلیلی می‌باشد. زیرا، کیمیای تحلیلی که در کتاب‌های فارسی چاپ ایران به آن «شیمی تجزیه» گفته می‌شود به‌عنوان علم شناسایی، تعیین و اندازه‌گیری مواد تعریف می‌شود. منظور از تحلیل توصیفی این است که تعیین کنیم نمونه مورد مطالعه از کدام اجزاء ساخته شده است و هدف از تحلیل مقداری این است که اجزای تشکیل دهنده‌ی نمونه به کدام مقدار در نمونه مورد نظر، وجود دارند. با فرض اینکه، اگر حضور عناصر سمی سرب و کدمیم در دریایی کوکچه موجب مرگ ماهیان گردیده باشد؛ تحلیل توصیفی عامل اصلی مرگ ماهیان را مشخص می‌کند که بخارات این دو عنصر (سرب و سیماب) سبب مرگ ماهیان شده است و تحلیل مقداری بیان می‌دارد که در هر مترمکعب آب دریای کوکچه چه مقدار از عنصرهای سرب و سیماب موجود بوده که موجب مرگ ماهیان شده است.

پرسش‌های تحقیق

سوال اصلی

چرا از نور لیزر به‌عنوان منبع نوری در اسپکتروسکوپی نور - صوتی استفاده می‌شود؟

سوالات فرعی

- دلیل عدم استفاده از نورهای معمولی را به‌عنوان منبع در اسپکتروسکوپی نور - صوتی چگونه توجیه می‌کنید؟
- تفاوت عمده بین طیف سنجی فوتواکوستیک با طیف سنجی‌های معمولی در چی مواردی مشاهده می‌شود؟
- حوزه‌های عمده‌ی کاربرد اسپکتروسکوپی نور- صوتی کدام بخش‌ها را احتوا می‌کند؟

اهداف تحقیق

اهدافی که در این تحقیق در نظر گرفته شده است در چند مورد ذیل خلاصه می‌شود:

1. واضح ساختن اهمیت اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک در تحلیل و تجزیه مواد؛
2. مقایسهٔ عملکرد اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک با اسپکتروسکوپی‌های معمولی؛
3. دانستن حوزه‌های مهم کاربرد طیف سنجی نور - صوتی.

مجله‌ی علمی-تحقیقی پامیر / - دپامیر علمی څېړنیزه مجله - Pamir Academic & Research Journal

روش تحقیق

تحقیق حاضر تحت عنوان « نگاهی مختصری بر عملکرد، دستگاهوری و کاربردهای اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک» انجام شده است که در اصل با نوع تحقیق تئوری/ توصیفی هم‌خوانی دارد. منابعی که در این مطالعه به آن استناد شده است عبارت اند از کتاب‌ها، مقالات علمی و سایر منبع‌های معتبر علمی می‌باشد. بنابراین، روش به کار گرفته شده در این تحقیق روش کتابخانه‌ای با رویکرد تحلیلی - توصیفی می‌باشد.

پیشینه‌ی تحقیق

اثر فتواکوستیک در جامدات برای اولین بار در سال ۱۸۸۰ توسط گراهام بل کشف شد. اما به دلیل نیاز شدید به منابع نوری قدرتمند از جمله لیزرها، استفاده از اثر فتواکوستیک به گونه‌ی برای تجزیه و تحلیل گازها به آهستگی ظاهر شد که بیش از ۵۰ سال طول کشید (Bell, 1880 : pp 306-309). اما تا سال ۱۹۶۰م، ظهور لیزر به‌عنوان یکی از منابع نوری قدرتمند، با خلوص طیفی زیاد و توان تابشی بالا، باعث سریع‌تر شدن توسعه روش‌های تجزیه

و تحلیل گازهای نادر با استفاده از اثر فتواکوستیک شد (Liu et al, 2023 : pp 1-2). به تعقیب آن کارهای محققان دانشگاه کامبریج به توسعه این تکنیک کمک شایانی نموده و امروزه به‌عنوان یک تکنیک قوی و قدرتمند برای تحلیل مواد اعم از جامدات، مایعات

و گازها مورد استفاده قرار می گیرد.

به خاطر ویژگی‌های که این تکنیک به همراه دارد امروزه تحقیقات زیادی در مورد آن انجام شده است. از جمله زیئولی لیو (Xiaoli Liu) و همکاران در سال (2023) طی تحقیقی بیان نموده اند که از طیف سنجی فوتواکوستیک به دلیل سادگی عملکرد، حجم کوچک

و حساسیت بالا به طور گسترده‌ای در زمینهٔ تشخیص و تعیین غلظت گازها استفاده به عمل می‌آید.

سیما اسلامی و کیوان معقولی (1394) در اثر تحقیقی بیان نمودند که تکنیک تصویربرداری فوتواکوستیک به‌عنوان یک روش تصویربرداری ترکیبی (هایبریدی)، حاصل روش‌های تصویربرداری نوری و فراصوتی است که به‌عنوان یک روش کاربردی مطرح

می‌باشد. بزرگترین نقطه قوت این روش، تونایی جمع آوری اطلاعات مالیکولی و عملی در زمان واقعی با قدرت تفکیک بالا و در غیاب شعات غیرآیونایز کننده است.
عطیه یعقوبی و پریسا زنگرز (1395) در یک تحقیقی ابراز داشتند که اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک یک روش تصویربرداری جدید است که اخیراً برای بسیاری از کارهای زیست طبی پیشنهاد شده است. این روش تصویربرداری می‌تواند اطلاعات اناتومیکی، بیولوژیکی و فزیولوژیکی در سطح مختلف از تحقیقات بیولوژیکی و کلینیکی را ارائه نماید. از جمله کابردهای عمده‌ی آن در بخش طبابت، می‌توان از تصویربرداری سرطان پوست، تعیین غلظت هموگلوبین و گلوکوز خون نامبرد.

اهمیت تحقیق

بدون انجام تحقیقات لایه‌های علوم در همه بخش‌ها همواره پنهان خواهد ماند. یک نهاد علمی و اکادمیک زمانی مفهوم واقعی خود را کسب می کند که در آن تحقیقات علمی انجام شود. از اینکه تکنیک طیف سنجی امروزه در اکثر بخش‌های زندگی به عنوان یک تکنیک موفق مورد استفاده قرار می گرد، باعث گردید تا در مورد بخش خاص از این تکنیک تحت عنوان «نگاه مختصر بر عملکرد، دستگاهوری و کاربردهای اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک» این مقاله را به رشته تحریر بیاورم.

نتایج و یافته‌ها

اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک

اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک ([1]PAS) یک روش تجزیه و تحلیل مواد است که از ترکیب دو تکنیک، یعنی فوتونیک (نور) و اکوستیک (صوت) برای بررسی ویژگی‌های مواد و نمونه‌ها استفاده می کند. در این روش، ابتدا با استفاده از نور لیزر یا منابع نوری دیگر، نمونه مورد بررسی، برانگیخته می‌شود. سپس، اثرات این تابش نوری بر روی نمونه، این .از جمله تغییرات درجه حرارت و فشار، باعث تولید امواج صوتی در نمونه می‌شود

[1] Photoacoustic Spectroscopy

امواج صوتی که به‌عنوان پاسخ به تابش نوری ایجاد شده‌اند، سپس با استفاده از حس-گرهای اکوستیک (مانند میکروفون‌ها) ثبت می‌شوند (نجاری و هم‌کاران، 1398: ص 96).

با تحلیل ویژگی‌های این امواج صوتی، اطلاعاتی دربارهٔ خواص فزیکی و کیمیاوی نمونه مورد بررسی به دست می‌آید. به عبارت دیگر، با مطالعه الگوی امواج صوتی که در پاسخ به تابش نوری ایجاد می‌شوند، می‌توان مشخصات مهمی از نمونه را مشاهده کرد، مانند جذب نوری، پراکندگی و ویژگی‌های سطحی. در حقیقت، این روش ترکیبی با استفاده از امواج نوری (فوتون) و امواج صوتی (صوت)، اطلاعات جامعی از خواص ماده‌ای مانند جذب نوری، هدایت حرارتی، و غیره را ارائه می‌دهد (اسلامی و کیوان، 1394: ص 135).

اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک به دلیل داشتن دقت بالا و قابلیت بررسی مواد در سطوح مختلف مواد اعم از مایعات تا جامدات، در بخش‌های مختلفی علوم از جمله کیمیای تحلیلی، بیولوژی، طب و انجنیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنان در بخش‌های نظارت بر اتموسفیر هوا، کنترول پروسه‌های صنعتی، امنیت و بخش‌های طبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس اثر فوتواکوستیک، شناسایی امواج صوتی تولید شده از گازهای که توسط نور مشتعل می‌شوند، اجازه می‌دهد تا اندازه‌گیری دقیقی از غلظت اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک را می‌توان از محدوده طیفی مرئی تا .گاز انجام شود). Gray et al, 1983 : p 797تراهرتز، با انواع منابع نوری استفاده کرد (

اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک انرژی نوری یا امواج صوتی را که برایش می‌رسد به سیگنال‌ها تبدیل می‌کند که تحلیل و تجزیه آن‌ها معلوماتی را در مورد ماده در اختیار می‌گذارد. مزیت اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک نسبت به اسپکتروسکوپی‌های معمولی مانند ماورای بنفش، ماورای بنفش – مرئی و مادون قرمز در این است که در اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک حالت فزیکی ماده مانند جامد، مایع و یا محلول مطرح

نبوده و مواد به

شکل‌های جامد و گاز در آن استفاده شده می‌تواند. در فوتواکوستیک نور به شکل مدیریت شده یا منقطع به ماده تابانده می‌شود. زیرا این کار فرصت گرم شدن و مجددا سرد شدن را به ماده می‌دهد. فریکونسی نوری که به ماده داده می‌شود باید در حدی باشد که با فریکونسی کمتر از سرد شدن ماده معادل باشد. زیرا، این کار موجب جذب بهتر نور توسط ماده مورد هدف، می‌گردد. یک طیف فتواکوستیک از یک نمونه می‌تواند با اندازه‌گیری صدا در طول موج‌های مختلف نور ضبط شود. این طیف می‌تواند برای شناسایی اجزای جذب‌کننده‌ی نمونه استفاده شود (Lujun Fu, 2022 : p 7).

همان طوری که قبلاً تذکر داده شد اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک یک تکنیک تحقیقاتی پیشرفته است که امکان تجزیه و تحلیل خواص ماده‌ی را با استفاده از ترکیب دو روش اصلی، یعنی «نور و صوت»، فراهم می‌کند. این روش ترکیبی با استفاده از امواج نوری (فوتون) و امواج صوتی (صوت)، اطلاعات جامعی از خواص ماده مانند جذب نوری، هدایت حرارتی، و غیره را ارائه می‌دهد.

به طور کلی، این روش از مراحل زیر تشکیل شده است:

1. تولید پالس‌های نوری: ابتدا با استفاده از یک لیزر یا منبع نوری قوی، پالس‌های نوری (امواج با انرژی بالا) با طول موج خاص تولید می‌شود. این پالس‌ها می‌توانند در محدوده‌ی نور مرئی یا حتی ماورای بنفش باشند (فلد و همکاران، 2002، ص 180).

2. تابش نور بر روی نمونه: این پالس‌های نوری بر روی نمونه مورد تحقیق تابانده می‌شوند. در این مرحله، نمونه به اندازه کافی نازک و شفاف باید باشد تا نور به طور کامل از آن عبور کند.

3. جذب نور توسط نمونه: نوری که بر روی نمونه تابیده می‌شود، توسط ماده جذب می‌شود. این جذب نور باعث ایجاد تغییرات درجه حرارت و فشار در نمونه می‌شود.

مجله‌ی علمی-تحقیقی پامیر / - دپامیر علمی څېړنیزه مجله - Pamir Academic & Research Journal

4. تولید امواج صوتی: جذب نور توسط نمونه باعث تولید امواج صوتی می‌شود. این امواج صوتی ناشی از تغییرات درجه و فشار در نمونه هستند.

5. تشدید امواج صوتی: امواج صوتی تولید شده توسط جذب نور توسط یک ترانسدیوسر (معمولاً یک میکروفن) تشدید می‌شوند.

6. تجزیه و تحلیل امواج صوتی: امواج صوتی تشدید شده برای بررسی و تجزیه و تحلیل توسط تجهیزات مربوطه، مانند اسپکترومترهای صوتی، اندازه‌گیری می‌شوند.

7. تجزیه و تحلیل دیتاها: دیتاهای حاصل از تجزیه و تحلیل امواج صوتی با استفاده از الگوریتم‌ها و روش‌های تحلیل دیتاهای پیچیده، مانند تحلیل فوریه، تحلیل شبکه‌های عصبی و غیره، تجزیه و تحلیل می‌شوند تا خواص مادهی مورد نظر مشخص شود (Thomas, 2006 : p 7). با این روش، امکان تحلیل دقیق‌تر و جزئی‌تری از خواص ماده فراهم می‌شود که با استفاده از روش‌های تکیه بر نور یا صوت به تنهایی امکان‌پذیر نیست.

دستگاهوری اسپکتروسکوپی نور - صوتی

1. لامپ‌های مورد استفاده در این تکنیک: در این اسپکتروسکوپی از لامپ‌های استفاده می‌شود که محدوده‌ی مورد نظر را تحت پوشش قرار دهد. این لامپ‌ها در داخل خود برخی از گازها از جمله زینون را دارند که برایش انرژی داده می‌شود و در محدوده‌های طول موج 200 تا 700 نانومتر نور پخش می‌کنند که طول موج آن پیوسته می‌باشد. زیرا، خود لامپ‌ها طول موج‌های پیوسته را نشر می‌کنند. علت تشکیل طول موج‌های پیوسته در این تکنیک، موجودیت تعداد سویه‌های انرژی مختلف که در یک اتوم وجود دارند، می‌باشد. این نوع طول موج‌ها برای اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک، مطلوب نیست. امروزه به جای لامپ‌های معمولی، از لیزرهای گازی که از شدت و انرژی بیشتری برخودارند، استفاده می‌شود. مزیت منابع لیزری در این است که طول موج شان کوک پذیر است؛ یعنی، هر لحظه قابلیت تنظیم شدن را دارند. اما قیمت بودن لیزرها، کاربرد منابع لیزری را محدود ساخته است. نورهای منتشر شده از لیزر هم‌فاز هستند، از همین

خاطر در یک مسیر حرکت می‌کنند. برعلاوه مشکلاتی که تذکر داده شده، خصوصیاتی مانند شدت و انرژی زیاد باعث شده است که امروزه از نورهای لیزری به پیمانه زیاد در طیف سنجی نور- صوتی استفاده صورت گیرد. استفاده از لیزر به‌عنوان منبع نور، دیگر نیازی به استفاده از مونوکروماتور (یک رنگ کننده) نیست؛ زیرا، نوری که خود لیزرها نشر می‌کنند، یک رنگ است. این وسیله برای نورهای چند رنگ مانند نور آفتاب که در حقیقت ترکیبی از امواج الکترومقناطیسی با طول موج‌های مختلف است، به کار برده می‌شود (Dumitras et al, 2007: pp 3656 - 3657).

2. سل (جای نمونه): به طور کلی، «سل» به معنی یک واحد کوچک یا بخشی از یک ساختار بزرگتر است که می‌تواند مواد یا اطلاعات را نگهداری، پردازش و یا انتقال دهد. در اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک، معمولاً سل به‌عنوان یک بخش از دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد که نور یا صوت را به دستگاه جهت تحلیل می‌فرستد. شرط استفاده سل در یک محدوده طیفی آن است که وقتی نور تابانده می‌شود در آن محدوده جذب به‌حیث سل از نمک‌ها IRنداشته باشد. برای مثال، در اسپکتروسکوپی مادون قرمز (استفاده می‌شود، زیرا در نمک‌ها روابط آیونی قوی وجود داشته و نور مادون قرمز انرژی جذب نداشته IRشکستن همچون روابط را تأمین کرده نمی‌تواند. از این رو، نمک‌ها در) Uvو به حیث سل استفاده می‌شوند. از سوی دیگر، نمک‌ها در ناحیه ماورای بنفش (جذب دارند و از همین خاطر در اینجا به عنوان سل استفاده شده نمی‌توانند. اکثراً در سل‌ها از گازات بی اثر مانند زینون

و رادون استفاده می‌شود، ولی بعض وقت‌ها از هوا نیز در آنها استفاده می‌گردد. به شرطی که اجزای تشکیل دهندهٔ هوا (نایتروجن، اکسیجن، ...) در آن محدوده جذب نداشته باشند (Yehya, 2012: p 2056).

3. آشکار سازها در این روش: هر چیزی که صوت را به سیگنال‌های برقی (الکتریکی) تبدیل کند، آشکارساز (دیتکتور) نامیده می‌شود. انواع میکروفون‌های خازنی، بلوری و زغالی در جمع آشکارسازها به شمار می‌روند. در اسپکتروسکوپی نور- صوتی،

مجله‌ی علمی-تحقیقی پامیر / - دپامیر علمی څېړنیزه مجله - Pamir Academic & Research Journal

آشکارسازها برای تشخیص و ثبت امواج صوتی که در پاسخ به تابش نوری تولید می‌شوند، استفاده می‌شوند. این امواج صوتی حاصل از تغییرات فشار و درجه‌ی حرارت در نمونه‌های مورد مطالعه به خاطر تابش نوری هستند. برخی از آشکارسازهای استفاده شده در این روش قرار ذیل هستند:

میکروفون‌ها: برای ثبت امواج صوتی از میکروفون‌ها استفاده می‌شود. این میکروفون‌ها به عنوان آشکارسازهای صوتی عمل می‌کنند و امواج صوتی را به سیگنال‌های برقی تبدیل می‌کنند.

مواد پیزوالکتریک: برخی از آشکارسازهای پیزوالکتریک می‌توانند تغییرات فشاری را که در نتیجه تابش نوری اتفاق می‌افتد، تشخیص دهند و این تغییرات را به سیگنال‌های برقی تبدیل کنند.

آشکارسازهای نوری: این آشکارسازها می‌توانند تغییرات نوری را که در نتیجه اثرات صوتی ایجاد شده‌اند، تشخیص دهند. این اثرات ممکن است شامل تغییرات در شدت، فاز، یا پراکندگی نور باشد (Christoph Haisch, 2012 : p 17).

این آشکارسازها به‌طور معمول در تجهیزات اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک استفاده می‌شوند تا الگوی امواج صوتی را که در پاسخ به تابش نوری ایجاد می‌شود، ثبت و تحلیل کنند.

کاربردهای اسپکتروسکوپی نور-صوتی

به‌حیث یک تکنالوژی سبز و مؤثر در راستای کاهش زباله- طیف سنجی فتواکوستیک های کیمیاوی، روش غیر مخرب و عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه تعریف می‌شود که در بخش‌های مختلف علمی اعم از تجزیه و تحلیل جامدات، مایعات، گازات و تصویربرداری انساج بیولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه به برخی از کاربردهای این اسپکتروسکوپی اشاره داده می‌شود:

1. تحقیقات بیولوژیکی و طبی: در این حوزه، اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک برای تصویربرداری با رزولیوشن (قدرت تفکیک) بالا و تشخیص بیماری‌های بیولوژیکی مانند .سرطان، اختلالات عروقی، و بیماری‌های قلبی عروقی مورد استفاده قرار می‌گیرد

2. تحقیقات نانوتکنالوژی: اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک برای تصویربرداری و تحلیل نانوذرات، نانومواد، و نانوساختارها به کار می‌رود، که می‌تواند به طور مؤثر در توسعه مواد .نانو پیشرفته و دستگاه‌های بر قی با اندازه نانو کمک کند

3. کاربردهای صنعتی: از اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک در کاربردهای صنعتی مانند کنترول کیفیت، تصویربرداری، و ارزیابی خواص مکانیکی و حرارتی مواد در صنایع .مختلف از جمله صنایع مواد، برق و موترسازی استفاده می‌شود

4. تحقیقات محیطی: اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک می‌تواند در بررسی آلودکننده‌ها، ارزیابی کیفیت آب، اندازه‌گیری تغییرات در ایکوسیستم‌های محیطی، و پایش تغییرات زمینه های کاربرد داشته باشد.

5. تحقیقات مواد: این روش می‌تواند در تحلیل خواص فزیکی و کیمیاوی مواد، مطالعه رفتار حرکتی و ساختاری مالیکول‌ها، کریستل‌ها، ارزیابی خواص نوری و صوتی مواد مورد برای مثال، از این نوع طیف سنجی به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری .استفاده قرار گیرد مقدار موادی چون اکسیجن، اوزن، بخارات آب و کاربن دای اکساید در هوا استفاده می‌شود. همچنان، برای تعیین مقدار ایزومیری برخی از مرکبات از اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک به طور گسترده استفاده به‌عمل می‌آید. پس، بر اساس مواردی که تذکر داده شده می‌توان گفت که اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک به‌عنوان یک روش تحلیلی قدرتمند، در تحقیقات پیشرفته در بخش‌های مختلف علمی و صنعتی کاربرد داشته و در Singsong Li 245 - 442راستای توسعه تکنالوژی نوین کمک زیاد نموده است (2011 : pp .)

مجله‌ی علمی-تحقیقی پامیر / - دپامیر علمی څېړنیزه مجله - Pamir Academic & Research Journal

با وجود استفاده در بخش‌های گوناگون، اما به علت قیمت بودن دستگاه‌ها و خاص بودن عملکرد شان، این اسپکتروسکوپی آنچنان عمومیت پیدا ننموده است.

نتیجه‌گیری

در طی 60 تا 80 سال اخیر، همزمان با افزایش نیازمندی‌های انسان و توسعه صنعت، نیاز بیشتر به تحلیل و تجزیه انواع مواد کیمیاوی به وجود آمده است. زیرا، با درنظرداشت نوعیت فاز

و ساختار کیمیاوی مواد، خواص شان نیز از هم متفاوت می‌باشد. در لابلای مطالعه حاضر به این نتیجه می‌رسیم که علم اسپکتروسکوپی نقش اساسی را در تحلیل و تجزیه مواد بر اساس طیف‌های به دست آمده از آن‌ها دارد. زیرا، در اثر عمل متقابل نور با ماده و نشر انرژی از مواد با ساختارهای مختلف کیمیاوی اطلاعات طیفی مختلفی در مورد ماده حاصل می‌شود که تحلیلی و بررسی آن اطلاعاتی را در مورد ماده در اختیار می‌گذارد. در اسپکتروسکوپی فوتواکوستیک که عبارت از یک تکنیک «ترکیبی» می‌باشد با تابانده نور پرقدرت «لیزر» به یک نمونه کیمیاوی باعث ایجاد حرارت و در نتیجه فشار می‌شود که این فشار تولید شده توسط بخشی خاص از دستگاه به امواج صوتی تبدیل می‌گردد و تحلیل و تجزیه این امواج اطلاعاتی را در مورد اندازه، شکل، سطوح، فیصدی عناصر و ساختار کریستلی نمونه ارائه می‌کند. این تکنیک به منابع نوری قوی ضرورت دارد؛ از همین خاطر از «لیزر» به‌حیث منبع نور استفاده می‌شود. از طرف دیگر به‌علت اینکه نورهای معمولی دارای انرژی کمتر هستند در اسپکتروسکوپی نور- صوتی به‌عنوان منابع نور استفاده شده نمی‌توانند. اسپکتروسکوپی نور- صوتی حوزه‌های کاربرد زیاد دارد. از جمله‌کابرد آن در بخش‌های طبابت، تحلیل مواد، نانوتکنالوژی، تحقیقات بیولوژیکی و محیط زیست به‌طور وسیعی رو به افزایش است. بنابر گفته‌های فوق، اسپکتروسکوپی نور - صوتی امروزه به‌عنوان یکی از تکنیک‌های قدرت‌مند برای تشخیص، تفکیک و اندازه-گیری مواد، اعم از جامد، مایع و گاز به شمار می‌رود.

منابع

ال. دی. فیلد و هم‌کاران. (2002). کاربردهای طیف سنجی در شیمی آلی؛ ترجمه عیسی یاوری، نشر علوم دانشگاهی، 1393.

اسلامی، سیما و معقولی، کیوان. (1394). مروری بر تصویربرداری فوتواکوستیک و کاربردهای بیومدیکال آن. دومین کنفرانس بین المللی و سومین همایش ملی کابرد فناوری های نوین در علوم منهدسی- ایران.

میرزایی، مجید. (1401). بررسی روش‌های ارزیابی پوشش سد حرارتی با استفاده از روش‌های غیر مخرب. فصلنامه سرامیک ایران، دوره 18 شماره 2.

با Ar- NO_2 و N_2- NO_2نجاری، حمید و همکاران. (1398). طیف نگاری نورصوتی استفاده از دو منبع لیزری. فصلنامه فیزیک علمی کاربردی ایران.

یعقوبی، عطیه و زنگرز، پریسا. (1395). مروری بر اصول و کاربرد سیستم تصویربرداری فوتواکوستیک و معرفی نرم افزار K-WAVE-یافته . دومین کنفرانس بین المللی های نوین پژوهشی در مهندسی برق و علوم کمپیوتری.

A.G. Bell. (1880). On the Production and Reproduction of Sound by Light.

Christoph Haisch. (2012). Photoacoustic spectroscopy for analytical measurements. Journal; Measurement Science and Technology.

D, C. Dumitru's. et al. (2007). Laser photoacoustic spectroscopy: principles, instrumentation, and characterization. Journal; OF Optoelectronics and advanced materials.

F, Yehya and A K Chaudhary. (2012). Pulsed Photoacoustic Spectroscopy of I2 and NO_2. Advanced Centre of Research in High Energy Materials, University of Hyderabad.

Gray et al. (1983). Photoacoustic Spectroscopy.

JINGSONG LI. (2011). Recent Progress on Infrared Photoacoustic Spectroscopy Techniques. Journal; Infrared Photoacoustic Spectroscopy Techniques.

L. Pavia et al. (2013). Introduction to spectroscopy.

L. Xiaoli et al. (2023). Methodology and applications of acoustic-electric analogy in photoacoustic cell design for trace gas analysis. Journal; Homepage.
Lujan et al. (2022). Small-volume highly-sensitive all-optical gas sensor using non-resonant photoacoustic spectroscopy with dual silicon cantilever optical microphones. Journal; Photoacoustic.
Thomas Schmid. (2006). Photoacoustic spectroscopy for process analysis. Journal; Analytical and Bioanalytical Chemistry.
Y, Shen et al. (2001). Time Resolved Aspects of Pulsed Photoacoustic Spectroscopy. Journal; Analytical Science.