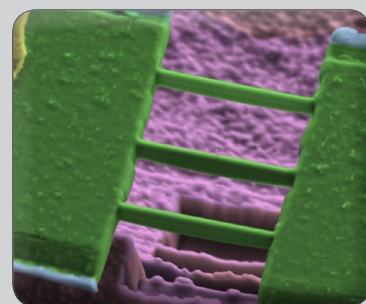




معرفی برخی از کاربردهای روش پرتو یونی متمرکز میکروسکوپ الکترونی روبشی در علوم زیستی و پلیمرها



تداخلات طیفی در طیفسنج نشری پلاسمای جفت شده القایی



معرفی کمومتریکس (بخش دوم)

طیفسنجی جذب اتمی لیزر دیودی

کارگاه بین المللی چالش‌های عملی موجود در تست کرونا و تجربیات ایران

واژه‌نامه جامع فناوری نانو، اصطلاحات و تعاریف ۱۵ استاندارد ملی

نویسندگان

مسعود کازرانی نژاد^{۴۱*}محمد نوروزی^{۴۲}مینو برزکار^{۴۳}

*m_kazerani@znu.ac.ir

طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی

چکیده

در این بررسی، مقالات ۱۱ سال گذشته در خصوص کاربرد لیزرهای دیودی در طیف‌سنجی جذب اتمی با کوره گرافیتی، پلاسماها و شعله‌ها به‌عنوان اتم‌ساز مرور می‌شود. روش‌های تجربی برای اندازه‌گیری‌های جذبی قوی به خوبی، پیش زمینه تئوری را پوشش می‌دهد. امکانات تجربی طیف‌سنجی با قدرت تفکیک بالا، شامل روش‌های عاری از داپلر برای اندازه‌گیری‌های انتخابی ایزوتوپ و آنالیزهای رقیق‌سازی ایزوتوپ مورد بحث قرار گرفته است و کاربردهای مختلف شناسایی انتخابی عنصر با جذب اتمی لیزر دیودی با استفاده از روش‌های جداسازی مانند کروماتوگرافی مایع، کروماتوگرافی گازی و با برش لیزری نمونه‌های جامد، ارائه شده‌است.

واژه‌های کلیدی

طیف‌سنجی جذب اتمی، لیزر دیودی، طیف‌سنجی عاری از داپلر، شناساگر انتخابی عنصری.

در حدود ۲۵ سال پیش، اولین لیزر دیودی گالیم - آرسنیک ارزان و قابل اعتماد برای طیف‌سنجی اتمی به‌طور تجاری در دسترس قرار گرفت. محدوده طول موج مورد استفاده خیلی محدود (حدود ۸۰۰ - ۷۷۵ نانومتر) و قدرت موج پیوسته پایین^۵ (حدود ۳ میلی‌وات) بود. اما این محدوده طول موج با انتقالات جذبی ضعیفی از حالت پایه اتمی و در عناصر خاک‌های کمیاب و با دو خط d خیلی قوی در روبیدیم در طول موج‌های ۷۸۰/۰۳ و ۷۹۴/۷۶ نانومتر تطبیق داشت. اولین کاربرد طیف‌سنجی لیزر دیودی در سال ۱۹۸۷ نشان داده شد [۱]. این مقاله رزونانس انتقالات دو پروتونی بدون داپلر (عاری از داپلر) در ایزوتوپ‌های مختلف باریم را در حالی که یک لیزر قابل تنظیم، لیزر دیودی و یک لیزر رنگی تک حالت بود را گزارش کرد. انتقالات جذب بعد از یونیزاسیون، با استفاده از یک دیود حرارتی که شناساگر یون گزین مخصوص است، شناسایی شد. اولین مقاله در مورد طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی یک سال بعد منتشر شد [۲]. در اینجا اندازه‌گیری‌ها در یک اتم‌ساز لوله گرافیتی تجاری همانند کاربرد با منبع لامپ هالو کاتد انجام شد که آنالیت روبیدیم بود. در سال‌های بعد، با افزایش دسترسی به لیزرهای دیودی تجاری، به‌خصوص با طول موج‌های کمتر از ۷۸۰ نانومتر که اجازه اندازه‌گیری جذب عناصری غیر از روبیدیم را می‌داد، تعداد مقالات افزایش یافت. ظهور لیزرهای دیودی قرمز در بازار، قدمی بزرگ بود. این‌گونه لیزرهای دیودی که تولید شدند، دارای طول موج‌هایی از حدود ۶۹۰ نانومتر به پایین تا حدود ۶۲۵ نانومتر بودند. همچنین تولید لیزرهای دیودی تک حالت با قدرت‌های موج پیوسته بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی‌وات بر طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی تأثیر گذاشت؛ زیرا آن‌ها با روشی ساده به تولید تابش آبی و ماوراءبنفش با قدرت کافی برای اندازه‌گیری‌های جذب با دو برابر کردن فرکانس در بلورهای غیر خطی نوری کمک می‌کردند. وضعیت طیف‌سنجی اتمی با لیزرهای دیودی در ابتدای دهه ۱۹۹۰ در یک مقاله مروری قبلاً منتشر شده‌است [۳]. خواص نوری و فنی لیزرهای دیودی نیز برای اولین بار در این سال‌ها بازنگری شده‌است [۴ و ۵]. از آن زمان به بعد، هیچ مقاله مروری با ارزشی در مورد طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی چاپ نشده‌است در حالی که با استفاده از طول موج و طرح تنظیم جذب، قدرت تشخیص به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. روش طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان یک آشکارساز انتخابی عنصر برای کروماتوگرافی مایع و کروماتوگرافی گازی استفاده شده‌است و با نمونه‌برداری جامد با استفاده از تخریب لیزری جفت شده‌است. علاوه بر این، لیزرهای دیودی آبی مورد استفاده در محدوده ۴۰۰ نانومتر وارد بازار شده‌است. فقط یک مقاله مروری کوتاه در خصوص آنالیز عنصری به وسیله طیف‌سنجی لیزر دیودی [۶] و دو مقاله تئوری درباره طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی [۷] و لیزر دیودی آبی [۸] وجود دارد. بنابراین، زمان مناسبی است که موضوع طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی بدون تکرار مفهومی مقالات قبلی با تمامی جزئیات به روزرسانی شود.

این مقاله به کاربردهای تجزیه‌ای جذب اتمی با استفاده از لیزرهای دیودی محدود شده‌است. بنابراین، فلئوئورسانس القایی لیزری^۶، نور صوتی^۷، نور حرارتی^۸ یا طیف‌سنجی یونیزاسیون با لیزرهای دیودی را پوشش نخواهد داد. علاوه بر این، طیف‌سنجی جذب درون حفره‌ای و روش سودمند طیف‌سنجی حلقه‌زنی حفره برای تشخیص حساس انتقالات ضعیف نوری نیز بحث نخواهد شد.

□ لیزر دیودی به‌عنوان یک ابزار طیفی برای جذب اتمی

به‌طور معمول، لیزرهای قابل تنظیم، مانند لیزرهای رنگی یا نوسان‌گرهای پارامتری نوری^۹ به‌عنوان وسایلی قدرتمند شهرت دارند. اما منابع نوری، ناپایدار و گران هستند؛ بنابراین، برای اندازه‌گیری‌های جذب اتمی خیلی مناسب نیستند. در حالی که قدرت و پایداری منبع خطی طیفی مؤلفه‌های بحرانی هستند. در مقابل، پایداری استثنایی لیزرهای دیودی در طول موج و قدرت ثابت شده‌است و آنها وسایل ارزان قیمتی هستند که به تولید انبوه رسیده‌اند. اگر یک زمان ادغام چند ثانیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد، پهنای خط معمول از یک لیزر دیودی تک حالت تجاری آزاد گرد (ناپایدار) که با منبع نویز کم مجهز شده‌است، ۲۵-۲۰ مگاهرتز است. پهنای خط می‌تواند به آسانی تا مقادیر زیر ۱ مگاهرتز با

یک بازخورد پراکنده کاهش داده شود؛ به‌عنوان مثال یک شبکه، توسط شرکت‌های مختلف تولیدکننده دستگاه لیزر دیودی برای طیف‌سنجی پیشنهاد می‌شود. به هر حال پهنای خط لیزرهای دیودی آزاد گرد در حدود ۳۰ مرتبه کوچک‌تر از پهنای خط اتمی اندازه‌گیری شده در مخازن اتمی در دمای نزدیک به دمای اتاق است. برای مثال، پلاسما با فشار کم، ۲ مرتبه کمتر از پهنای خط در شعله‌های گرم یا کوره گرافیتی در فشار اتمسفری یافت شد [۵] و [۳]. در مقایسه با هالوکاتد لامپ‌ها^{۱۰}، یک لیزر دیودی به‌طور معمول، یک خط باریک منفرد در شرایط عملکرد عادی نشر می‌کند که می‌تواند به‌طور پیوسته روی یک محدوده طیفی کوچک با استفاده از دما و جریان تنظیم شود [۵، ۴ و ۹]. محدوده تنظیم با استفاده از حالت جهش انجام می‌شود که سبب ایجاد شکاف‌های طول موج طیفی می‌شود. بیشتر جهش‌های تکرار شونده و شکاف‌های طول

جذب اتمی را بهبود می‌بخشد. اگر بهترین شرایط تجربی مشخص شده و محدوده نويز بدست آید، جذب حداقل (پهنای نوری: KL با ضریب جذب K و طول جذب L) که می‌تواند با لیزرهای دیودی در یک قدرت میلی‌وات پایین اندازه‌گیری شود، خیلی کوچک است (10^{-6} تا 10^{-8}). این مطلب در یک پلاسما می‌تواند نشان داده شود [۱۴]، در حالی که نوسان طول موج با تنظیم جذبی دیگری ترکیب شده‌است (خاموش و روشن کردن پلاسما) و فاز از جذب در فرکانس مختلف یا فرکانس مجموع طول موج و فرکانس‌های تنظیم جذب گرینشی تشخیص داده می‌شود. در یک آرایش دو پرتویی برای نرمال کردن فرایندهای لگاریتمی از جذب نسبت سیگنال مرجع، یک حد جذب اتمی 2×10^{-7} (مطابق با یک جذب $8/7 \times 10^{-8}$) با استفاده از لیزری که قدرت آن ۲ میلی‌وات بود، اندازه‌گیری شد. انسجام فضایی لیزرهای دیودی باعث می‌شود که یک پرتو نوری باریک در فاصله‌ای طولانی بدون واگرایی قابل توجهی به وجود آید و به آسانی روش فضایی را دستخوش تغییر می‌کند. بنابراین، محفظه‌های اتمی بلند با یک قطر درونی کوچک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که زمان بیشتری را برای برهم‌کنش تابش با بخار آنالیت ممکن می‌سازد. لوله موئینه کوارتزی با قطر درونی حدود ۱ میلی‌متر شامل یک پلاسمای فشار کم، مثالی از چنین واحد جذبی است. علاوه بر این، قطر کوچک تابش لیزر دیودی جداسازی فضایی سیگنال آنالیت را آسان می‌کند. کاربر می‌تواند به سادگی نور منحرف شده و تابش گرمایی حاصل از اتم‌ساز را با ترکیب ساده از لنزها و دیافراگم‌ها در جلوی آشکارساز نوری حذف کند بدون اینکه نور لیزر عبوری هیچ کاهشی داشته باشد. در بعضی حالت‌های ساده (مانند شعله‌ها)، یک روش اندازه‌گیری چند عبوری می‌تواند به کار برده شود.

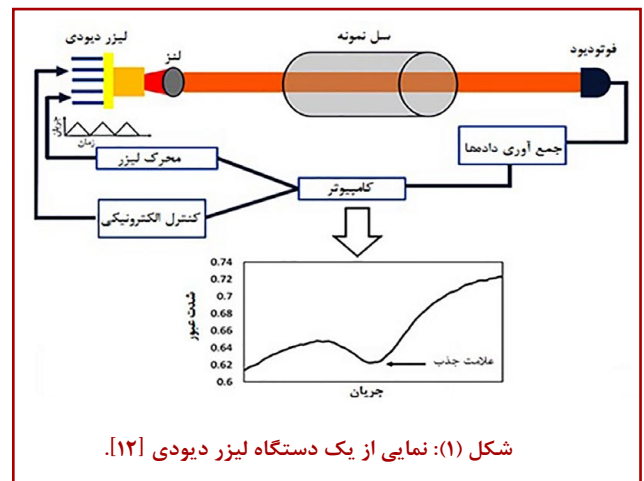
طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی با تنظیم طول موج

به دلیل سطح زمینه پایین ذاتی این روش شناسایی، اگر تنظیم طول موج برای طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی استفاده شود، هارمونی دوم به‌طور معمول بکار گرفته می‌شود.

یک بررسی روی شناسایی تنظیم طول موج $2f$ اتم‌ها با اعمال شرایط باریکه نوری همانند شرایط جذبی پهن توسط گروه اکسیر^{۱۳} انجام شده‌است [۱۵]. محققان الگوریتمی را توسعه دادند که قادر به شبیه‌سازی فرایندهای مجزای تنظیم نور لیزر جذب اتمی و تنظیم مجدد سیگنال است. علاوه بر این، وابستگی دمایی سیگنال‌های $2f$ نوسان طول موج از نظر تئوری هم برای اتم‌های انتقالی منفرد (شامل اتم‌های تک ایزوتوپی فاقد ساختارهای خیلی خوب) و هم انتقال 780 نانومتر در روبیدیم بررسی شده‌است [۱۶]. تفسیر روش طیف‌سنجی نوسان طول موج براساس آنالیز فوریه در مرجع [۱۷] آورده شده‌است. اصلاحات واضح برای سیگنال‌های $2f$ و $4f$ با در نظر گرفتن دامنه تنظیم فرکانس بزرگ در دسترس است.

موج ویژگی لیزرهای دیودی آزاد گرد هستند. حالت‌های جهش می‌تواند به‌عنوان مثال با یک انعکاس نوری از یک منشور [۴] یا یک صفحه شیشه‌ای ساده [۱۰] در جلوی لیزر دیودی کاهش داده شود. یک محدوده قابل تنظیم گسترده به دنبال محدوده دینامیکی خطی برای غلظت‌های بالا در طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی با اندازه‌گیری جذب باریک نوری در جهت دور از خط طیفی نوری مورد نیاز است [۱۱].

خلوص طیفی بالا از یک لیزر دیودی تک حالت به‌طور چشم‌گیری جداسازی طیفی سیگنال‌های جذب را ساده می‌کند. برای جداسازی خط تجزیه‌ای از دیگر خطوط طیفی هالو کاتد لامپ، مانند خطوط گاز بافر یا خطوط عناصر دیگر ایجاد شده از کاتد، به مونوکروماتور نیازی نیست. همان‌طور که مورد بررسی قرار گرفت، خطوط طیفی باریک لیزر دیودی، آنالیز انتخابی ایزوتوپ را برای عناصری مانند لیتیم، سرب یا اورانیوم به ترتیب ممکن می‌سازد که خط ایزوتوپ به نسبت بزرگی نشان می‌دهند. پهنای کم لیزرهای دیودی گرینش‌پذیری ایزوتوپ قابل قبولی راحتی با فرایند تحریک یک مرحله‌ای ایجاد می‌کند. برای عناصر نیمه سنگین مانند استرانسیم، کلسیم، برانگیختگی با استفاده از تابش لیزر دیودی با پهنای باریک می‌تواند به آسانی گرینش‌پذیری ایزوتوپی تا $10^6 - 10^4$ را ایجاد کند. در شکل (۱) نمایی از یک دستگاه جذب لیزر دیودی مشاهده می‌شود.



بازده لیزرهای دیودی تک حالت موجود تجاری حداقل یک مرتبه بزرگ‌تر از آن است که با استفاده از بهترین هالو کاتد لامپ‌های تجاری به‌دست می‌آید. طول موج لیزرهای دیودی به آسانی تا فرکانس‌های گیگا هرتز با استفاده از تنظیم جریان دیود می‌تواند تنظیم شود. نوسان طول موج^{۱۱} از لیزر دیودی با تشخیص جذب در هارمونیک بالاتر از فرکانس تنظیم f ، مانند $2f$ به مقدار زیادی نويز فرکانس‌های پایین در خط زمینه را کاهش می‌دهد (نويز لرزشی^{۱۲}) و محدوده پیشرفته‌ای از تشخیص را ایجاد می‌کند [۱۳]. به علاوه، نوسان طول موج از منبع تابش برای جذب نامشخص را بطور ایده‌آل تصحیح می‌کند و به میزان قابل توجهی گرینش‌پذیری طیف‌سنجی

به‌عنوان مثال، برای ۸، ۶، ۴، ۲ $n = 2$ به ترتیب ۲/۲۰، ۴/۱۲، ۶/۰۸ و ۸/۰۶ هستند.

□ کاربردهای طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی

- طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی در لوله گرافیتی و اتم‌ساز شعله‌ای؛
- طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی شعله‌ای به‌عنوان یک آشکارساز عنصر گزین در کروماتوگرافی مایع؛
- طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی - پلاسما؛
- طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی پلاسما به‌عنوان یک آشکارساز عنصر گزین در کروماتوگرافی گازی؛
- طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی با نمونه‌برداری لیزری؛
- آنالیز انتخابی ایزوتوپ و آنالیزهای رقیق‌سازی ایزوتوپ با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی.

نتیجه‌گیری

روش‌های جذب اتمی با استفاده از منابع لیزر دیودی به‌طور کامل توسعه یافته است. اگر از خطوط جذبی قوی از حالت پایه اتمی استفاده شود، به‌طور تقریبی، اندازه‌گیری‌های محدودکننده نویزهای شلیکی با قدرت‌های لیزر به نسبت بالا ممکن است که حدود تشخیص (حدود ۱ ppt) عنصری خیلی کم را ایجاد کند. اگر چه با ورود لیزرهای دیودی نوع گالیوم نیتريد جديد محدوده طیفی طول موج به آبی و فرابنفش نزدیک گسترش یافته است، اندازه‌گیری‌های خطوط جذبی زیر ۲۰۰ نانومتر هنوز نیاز به دو برابر کردن فرکانس تابش لیزری در محیط غیرخطی نوری دارد. اما دو برابر کردن فرکانس تابش لیزری در قدرت تابش کم نتیجه می‌دهد و بنابراین حدود تشخیص بزرگ‌تر از مقدارهای ممکن تئوری هستند. پیشرفت‌های بیشتر در توسعه لیزرهای دیودی با طول موج کوتاه لازم است. اندازه کوچک و قدرت بالا پیش شرایط دستگاه‌های تجزیه‌ای کوچک هستند که می‌توانند بیرون از آزمایشگاه‌ها بکار برده شوند [۲۲].

طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی به‌طور قطع یک آشکارساز قوی و جذاب در ترکیب با روش‌های جداسازی [۲۳] است. این روش می‌تواند مشکلات تجزیه‌ای مخصوص را با یک آرایش ساده، کوچک و موثر اما قدرتمند حل کند. پهنای باریک خط لیزرهای دیودی با بکار بردن طیف‌سنج لیزری با قدرت تفکیک بالا، این فرصت را می‌دهد تا اندازه‌گیری ایزوتوپ‌ها و نسبت‌های ایزوتوپی فراهم شود. این فرصت به کار بردن رقیق‌سازی ایزوتوپی برای بهبود صحت آنالیزهای عنصری مانند آنچه از طیف‌سنجی جرمی شناخته شده است، مهیا می‌کند.

همچنین نشان داده شده است که روش ۴f وقتی با اثرات سنجش طول موج نور^{۱۴} ناشی از حفره کوچک غالب می‌شود معمولاً منجر به سیگنال‌های زمینه کوچک‌تر در مقایسه با روش ۲f می‌شود. این شکل‌گرایی همچنین قادر است روشن کند که یک تنظیم شدت خطی برای سیگنال‌های تنظیم کننده دامنه باقیمانده زمینه ۲f کافی نیست در حالی که تنظیم شدت غیرخطی از تابش لیزر یا عبور وابسته به طول موج به‌طور معمول زمینه نوسان دامنه باقی‌مانده^{۱۵} را ایجاد می‌کند. شناسایی جزئی از سیگنال‌های زمینه نوسان طول موج ناشی از انعکاس‌های چندگانه استاندارد با استفاده از این شکل‌گرایی در مرجع [۱۸] آورده شده است. سازش بین سیگنال‌های زمینه ناشی از یک صفحه شیشه ای نازک و آنچه پیش‌بینی شده خوب است، بنابراین از کاربرد این روش بر اساس فوریه پشتیبانی می‌کند.

با در نظر گرفتن کاربرد تابش فرکانس تبدیل شده مانند فرکانس دو برابر شده، ترکیب جمع یا تفریق فرکانس انواع منابع اضافی نویز می‌تواند در شدت نویز کلی مداخله کند. توصیف هارمونی‌های مختلف سیگنال‌های زمینه در مرجع [۱۹] با به کار بردن همان شکل‌گرایی که در بالا اشاره شد، آورده شده است. این آنالیزها مشخص می‌کند که به‌عنوان مثال، اگر تابش فرکانس دو برابر شده استفاده شود، شناسایی ۲F می‌تواند با سیگنال‌های مهم زمینه تداخل کند. همچنین مشخص می‌کند که شناسایی ۴F و ۶F مربوط به سیگنال‌های زمینه است اما به اندازه ۲F نیست. این آنالیزها روشن می‌سازد که چگونه هارمونی‌های مختلف از سیگنال‌های زمینه، بستگی به عواملی نظیر دامنه تنظیم، تنظیم شدت همراه، پخش مواد دو برابر کننده فرکانس، قدرت لیزر و تنظیم مجدد دارد. سیگنال‌های زمینه می‌تواند مقادیر مثبت یا منفی داشته باشد بسته به این که ارتباط بین این موارد چگونه باشد راه‌کارهایی برای چگونگی کم کردن این سیگنال‌های زمینه داده شده است. فراتر از این، روشی که امکان افزایش دامنه دینامیکی را فراهم می‌کند روش نوسان طول موج - طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی است، براساس این واقعیت که ضخامت نوری نمونه تابعی چند متغیره از سیگنال نوسان طول موج - طیف‌سنجی جذب اتمی لیزر دیودی است، توسعه داده شده است. این روش‌شناسی براساس شناسایی نوسان طول موج ۲F بنا شده است که در حساس‌ترین حالت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مانند بهینه کردن برای تشخیص مقادیر کم نمونه، نیاز به هیچ آگاهی قبلی در مورد مقدار تجزیه‌ای نمونه نیست و حساسیت بالای روش به‌منظور استفاده از توانایی محدوده دینامیکی گسترش یافته از بین نمی‌رود [۲۰]. یک توصیف عمومی برای n امین جزء فوریه یعنی هارمونی‌ها، از یک تابع حالت خط لورنتزی^{۱۶} طول موج نوسان گر براساس تنظیم دوباره نرمالیزه شده و دامنه‌های تنظیم در مرجع [۲۱] آورده شده است. به‌طور ویژه، اصطلاح تجزیه‌ای برای ۹ مؤلفه اول فوریه (۸ تا $n =$ همراه با وابستگی آن‌ها به تنظیمات نرمال شده و دامنه‌های نوسان گر آورده شده است. دامنه‌های نوسان گر نرمال شده، بیشینه چهار هارمونی پایین‌تر از مؤلفه‌های فوریه را به حداکثر می‌رساند.

پی‌نوشت

۱. دکتری شیمی تجزیه، شرکت تولیدی و تحقیقاتی صنعتی آبسار کویر
۲. دکتری شیمی معدنی، پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز پژوهش و توسعه فناوری‌های نفت کرمانشاه
۳. کارشناس ارشد شیمی دریا، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
۴. عضو کارگروه تخصصی آنالیز عنصری

5. Continuous wave
6. Laser induced fluorescence
7. Optoacoustic
8. Optothermal
9. Optical parametric oscillators
10. Hollow cathode lamps
11. Wavelength modulation
12. Flicker noise
13. Axner
14. Etalon effects
15. Residual amplitude modulation
16. Lorentzian

مراجع

- [1] J. Lawrenz, A. Obrebski, K. Niemax, Measurement of isotope ratios by Doppler-free laser spectroscopy applying semiconductor diode lasers and thermionic detection, *Anal. Chem.* 59 (1987) 1232–1238.
- [2] R. Hergenröder, K. Niemax, Laser atomic absorption spectroscopy applying semiconductor diode lasers, *Spectrochim. Acta Part B* 43 (1988) 1443–1449.
- [3] K. Niemax, H. Groll, C. Schnrger-Patschan, Element analysis by diode laser spectroscopy, *Spectrochim. Acta Rev.* 15 (1993) 349–377.
- [4] C.E. Wieman, L. Hollberg, Using diode lasers for atomic physics, *Rev. Sci. Instrum.* 62 (1991) 1 – 20.
- [5] J. Franzke, A. Schnell, K. Niemax, Spectroscopic properties of commercial laser diodes, *Spectrochim. Acta Rev.* 15 (1993) 379–395.
- [6] A. Zybin, C. Schnrger-Patschan, M.A. Bolshov, K. Niemax, Elemental analysis by diode laser spectroscopy, *Trends Anal. Chem.* 17 (1998) 513–520.
- [7] K. Niemax, C. Schnrger-Patschan, A. Zybin, H. Groll, Application of semiconductor diode lasers in atomic spectrometry, *Anal. Chem.* 68 (1996) 351A–356A.
- [8] K. Niemax, A. Zybin, D. Eger, Tunable deep blue light for laser spectrometry, *Anal. Chem.* 73 (2001) 134A–139A.
- [9] J. Lawrenz, K. Niemax, A semiconductor diode laser spectrometer for laser spectrochemistry, *Spectrochim. Acta Part B* 44 (1989) 155–164.
- [10] A. Zybin, K. Niemax, Improvement of the wavelength tunability of etalon-type laser diodes and mode recognition and stabilization in diode laser spectrometers, *Spectrochim. Acta Part B* 52 (1997) 1215–1221.
- [11] H. Groll, K. Niemax, Multielement diode laser atomic absorption spectrometry in graphite tube furnaces and analytical flames, *Spectrochim. Acta Part B* 48 (1993) 633–641.

- [12] J. Hodgkinson and R. P. Tatam, Optical gas sensing: a review, *Measurement Science and Technology*, vol 24, No. 1 (2013) 012004.
- [13] J.A. Silver, Frequency modulation spectroscopy for trace species detection: theory and comparison among experimental methods, *Appl. Opt.* 31 (1992) 707–717.
- [14] V. Liger, A. Zybin, Yu. Kuritsyn, K. Niemax, Diode laser atomic absorption spectrometry by double beam, double modulation technique, *Spectrochim. Acta Part B* 52 (1997) 1125– 1138.
- [15] D. Rojas, P. Ljung, O. Axner, An investigation of the 2f-wavelength modulation technique for detection of atoms under optically thin as well as thick conditions, *Spectrochim. Acta Part B* 52 (1997) 1663– 1686.
- [16] J. Gustafsson, O. Axner, Theoretical investigation of the temperature dependence of the 2f-wavelength modulated diode-laser absorption signal, *Spectrochim. Acta Part B* 53 (1998) 1827– 1846.
- [17] P. Kluczynski, O. Axner, Theoretical description based on Fourier analysis of wavelength-modulation spectrometry in terms of analytical and background signals, *Appl. Opt.* 38 (1999) 5803– 5815.
- [18] P. Kluczynski, A.M. Lindberg, O. Axner, Characterization of background signals in wavelength-modulation spectrometry in terms of a Fourier based theoretical formalism, *Appl. Opt.* 40 (2001) 770– 782.
- [19] P. Kluczynski, A.M. Lindberg, O. Axner, Background signals in wavelength-modulation spectrometry with frequency-doubled diodelaser light: I. Theory, *Appl. Opt.* 40 (2001) 783– 793.
- [20] J. Gustafsson, N. Chekalin, D. Rojas, O. Axner, Extension of the dynamic range of the wavelength-modulated diode laser absorption spectrometry technique, *Spectrochim. Acta Part B* 55 (2000) 237– 262.
- [21] O. Axner, P. Kluczynski, A.M. Lindberg, A general non-complex analytical expression for the nth Fourier component of a wavelengthmodulated Lorentzian line shape function, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 68 (2001) 299– 317.
- [22] V. Krivan, P. Barth, C. Schnqrer-Patschan, An electrothermal atomic absorption spectrometer using semiconductor diode lasers and a tungsten coil atomizer: design and first applications, *Anal. Chem.* 70 (1998) 3525– 3532.
- [23] A. Zybin, J. Koch, D.J. Butcher, K. Niemax, Element selective detection in liquid and gas chromatography by diode laser absorption spectrometry, *J. Chromatogr., A* 1050 (2004) 35– 44.

Author

Masoud Kazeraninejad^{1,4*}**Mohammad Noroozi^{2,4}****Minoo Barzkar^{3,4}***** m_kazerani@znu.ac.ir**

1. Ph.D in Analytical Chemistry. Absar-Kavir Industrial Production and Research Company

2. Ph.D in Inorganic Chemistry, Center for Research and Development of Petroleum Technologies at Kermanshah, Research Institute of Petroleum Industry

3. Master of Marine Chemistry. Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz

4. Members of Elemental Analysis Expert Workgroup

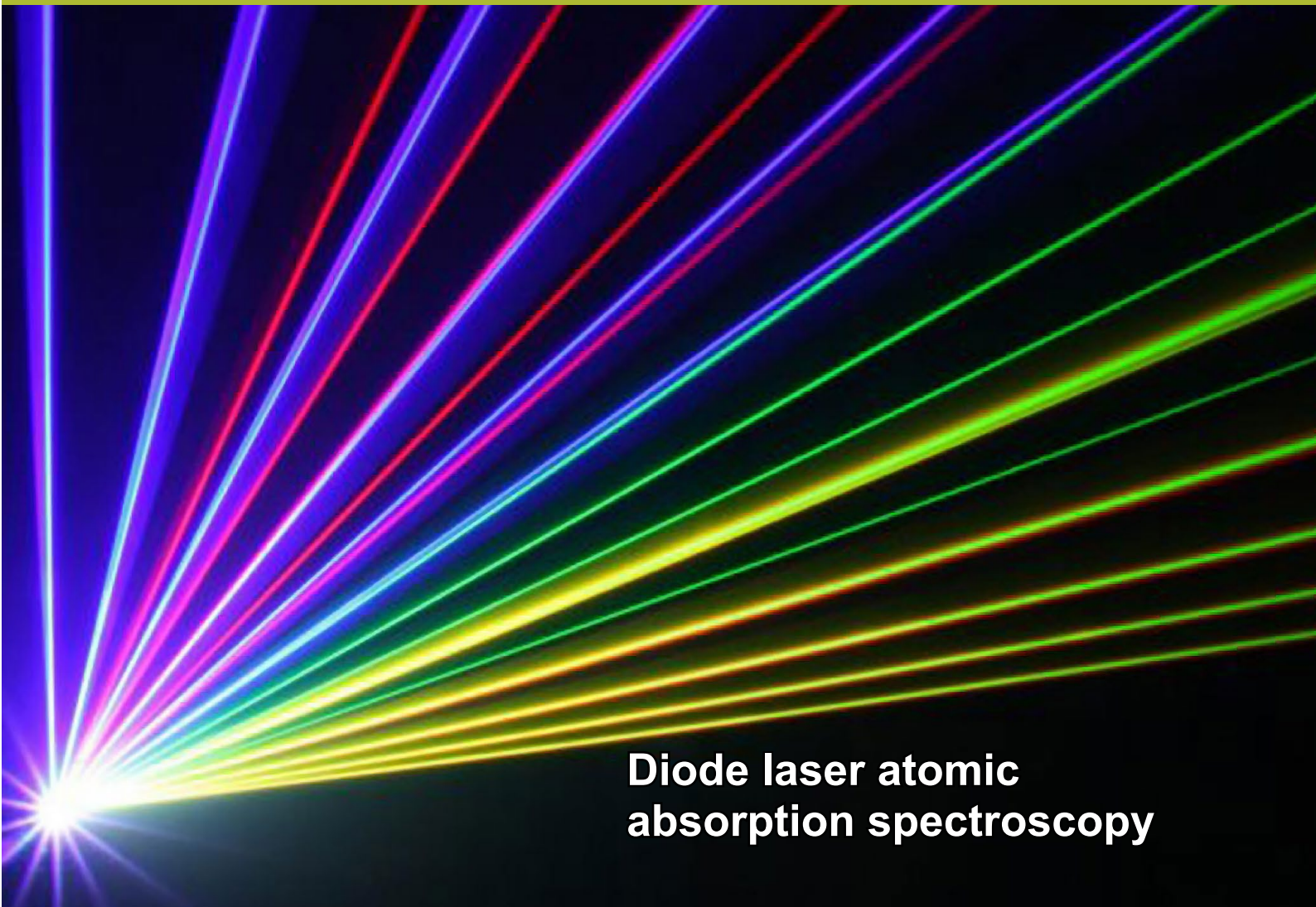
Diode laser atomic absorption spectroscopy

Abstract

The paper reviews the past 11 years of literature on the application of diode lasers in atomic absorption spectrometry with graphite furnaces (GF), plasmas and flames as atomizers. Experimental arrangements and techniques for powerful absorption measurements as well as the theoretical background are covered. The analytical possibilities of high-resolution spectroscopy, including Doppler-free techniques for isotope selective measurements and isotope dilution analysis are discussed and various applications of element-selective detection by diode laser atomic absorption in combination with separation techniques, such as liquid (LC) and gas chromatography (GC), and with laser ablation of solid samples, are presented.

Keywords

Atomic absorption spectrometry; Diode laser; Doppler-free spectroscopy; Element-selective detector.



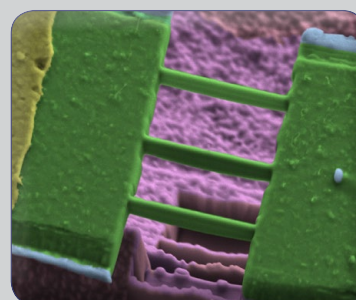
Diode laser atomic absorption spectroscopy



**Introduction to Chemometrics
(Part B)**



**Spectral interactions in inductively
coupled plasma emission
spectrometry**



**An introduce of Some Applications
of Focused Ion Beam-Scanning
Electron Microscopy(FIB-SEM) in
Life Sciences and Polymers**