بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

ساخت طیف‌سنج جذبی تبدیل فوریه مادون‌قرمز

دانیال جاوری، مجید ناظری، امیرحسین فخار

دانشکده فیزیک،دانشگاه کاشان،کاشان

چکیده - در این مقاله طیف سنجی به روش تبدیل فوریه با استفاده از تداخل سنج مایکلسون-مورلی برای محدوده طیفی ۷۰۰-۱۸۰۰ nm و با میزان تفکیک‌پذیری طیفی ۰/۴ nm گزارش شده است. نسبت سیگنال به نوفه این طیف سنج بهتر از ۵۰۰۰ است. هم‌چنین یک طیف سنج جذبی برای محدوده طیفی ۱۵۰۰-۴۵۰۰ nm با دقت ۱ nm به‌منظور محاسبه‌ی طیف جذبی مواد ساخته شده است. سپس با استفاده از این طیف‌سنج جذبی، طیف جذب پلی‌استایرن اندازه‌گیری شده است. در این سیستم‌ها، سیگنالهای نوری پس از آشکارسازی و تقویت تا ۱۰۰۰۰۰ برابر، از طریق مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۴ بیتی به کامپیوتر ارسال می شود. این داده ها به صورت لحظه‌ای تجزیه و تحلیل می شوند. سپس منحنی طیفی با استفاده از تبدیل فوریه سریع سیگنال دریافتی در محیط نرم افزار لب‌ویو رسم می‌شود.

کلید واژه-تداخل‌سنج مایکلسون، طیف‌سنج نوری، طیف‌سنجی تبدیل فوریه، تفکیک‌پذیری طیفی، ناحیه مادون‌قرمز

Fabrication of Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan

Abstract: In this paper, spectroscopy with Fourier transform method has been reported by using the Michelson-Morley interferometer with a 0.4 nm spectral resolution and the spectral range from 700 nm to 1800 nm. The signal to noise ratio of this spectrometer is better than 5000. Also, in order to calculate the absorption spectrum of materials, the spectrophotometer has been fabricated with accuracy 1nm and the spectral range from 1500 nm to 4500 nm. Then absorption spectrum of Polystyrene has been measured by using this spectrophotometer. In these systems, the optical signal after the detection and amplification 10^5 times, is sent to computer by 14-bit analog to digital converter. These data are analyzed in real time. Then spectral curve is plotted by using the fast Fourier transform (FFT) in Labview software.

Keywords: Michelson interferometer, spectrophotometer, Fourier transform spectroscopy, Spectral resolution, Infrared region

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14]

۱- مقدمه

از طیف‌سنج به‌منظور تجزیه نور به تک تک مؤلفه های طول‌موجی استفاده می‌شود. از کاربردهای طیف‌سنجی می‌توان به تشخیص ترکیبات شیمیایی و درصد عناصر تشکیل‌دهنده مواد جامد، محلول و گازها با بررسی طیف گسیلی و جذبی اشاره کرد. طیف‌سنجی به روش شکست نور، طیف‌سنجی به‌وسیله عنصر پراشنده نور و طیف‌سنجی تبدیل فوریه روش‌های متداول طیف‌سنجی هستند.[۱]

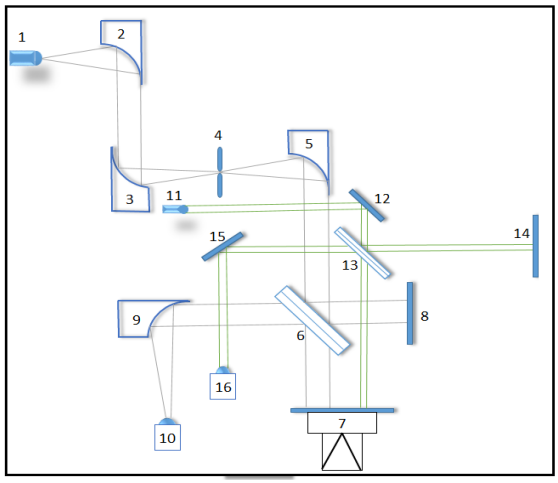
طیف‌سنج تبدیل فوریه توانایی کارکرد از ناحیه فرابنفش تا ناحیه مادون‌قرمز دور را دارد. برخلاف طیف‌سنج‌های منشوری و توری، در طیف‌سنج تبدیل فوریه از هیچ گونه عنصر محدودکننده نور استفاده نمی‌شود و تمامی نور به‌صورت همزمان وارد آشکارساز می‌شود. بنابراین در طیف سنج تبدیل فوریه، نسبت سیگنال‌به‌نوفه به‌اندازه قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند.[۲]

توان تفکیک طیفی بالا و محدوده آزاد طیفی وسیع در کنار نسبت سیگنال‌به نوفه بالا، طیف سنج تبدیل فوریه را به یکی از طیف‌سنج‌های مطرح تبدیل کرده است[۳]

در این پژوهش ابتدا یک طیف‌سنج جهت طیف‌سنجی در محدوده ۷۰۰-۱۸۰۰ nm ساخته شده است. سپس با تغییر شکافنده پرتو و آشکارساز و استفاده از آینه‌های مناسب، محدوده طیفی به ۱۵۰۰-۴۵۰۰ nm رسیده است. در نهایت با استفاده از لامپ تنگستن (۵۰۰-۵۰۰۰ nm) به‌عنوان منبع نور، طیف جذبی حاصل از پلی‌استایرن به‌دست آمده است.

۲- چیدمان‌اپتیکی

در شکل (۱)، چیدمان طیف‌سنج ساخته شده با محدوده طیفی ۷۰۰-۱۸۰۰ nm توضیح داده شده است. ابتدا نور منبع (قطعه۱)، با استفاده از دو آینه خارج محور سهموی (قطعه۲و۳) بر روی روزنه کنترل‌کننده شدت نور (قطعه۴) متمرکز شده است. سپس نور خروجی از روزنه به وسیله آینه خارج محور دیگری (قطعه۵) موازی و وارد تداخل‌سنج مایکلسون شده است. شکافنده تداخل سنج (قطعه۶) که از جنس سیلیس ذوب شده است، قسمتی از نور را عبور داده و قسمتی دیگر را بازتاب کرده است. پرتوهای عبوری و بازتابی پس از رفت و برگشت بین آینه متحرک (قطعه۷) و آینه ثابت (قطعه۸) با یکدیگر تداخل می‌کنند. (در این‌جا برای جابجایی آینه متحرک از یک جابجاگر مکانیکی با دقت بالا استفاده شده است.) پرتو تداخلی پس از خروج از تداخل‌سنج به کمک یک آینه خارج محور (قطعه۹) بر روی آشکارساز ژرمانیوم (قطعه۱۰) متمرکز شده است. بدین ترتیب سیگنال تداخلی حاصل از منبع نور تابیده شده، بر روی آشکارساز قابل مشاهده است. علاوه‌بر منبع نوری که به‌عنوان منبع نور اصلی استفاده شده است، از یک لیزر هلیوم نئون (قطعه۱۱) با طول‌موج ۶۳۲/۸ nm به‌عنوان منبع نور سیستم کالیبراسیون اپتیکی استفاده می‌شود. نور لیزر هلیوم نئون به وسیله یک آینه تخت (قطعه۱۲) وارد تداخل سنج مایکلسون دوم می‌شود. این تداخل‌سنج از یک شکافنده نور مرئی (قطعه۱۳)، یک آینه ثابت (قطعه۱۴) و یک آینه متحرک مشترک با تداخل سنج اصلی (قطعه۷) تشکیل شده است. پرتو این لیزر بعد از خروج از تداخل‌سنج و تشکیل الگوی تداخلی، به‌وسیله یک آینه تخت (قطعه۱۵) برای مشاهده وارد آشکارساز سیلیسیوم (قطعه۱۶) شده است. در نهایت، سیگنال تداخلی نور اصلی و لیزر هلیوم نئون پس از تقویت شدن، به کمک یک مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۴ بیتی وارد کامپیوتر می‌شود.



شکل۱: نمایی از چیدمان اپتیکی طیف‌سنج ساخته شده با محدوده طیفی (۷۰۰-۱۸۰۰ nm). قطعه۱: منبع نور اصلی، قطعه ۵،۳،۳ و۹: آینه‌های خارج محور سهموی، قطعه۴: روزنه، قطعه۶: شکافنده سیلیس ذوب‌شده، قطعه۱۳: شکافنده نور مرئی، قطعه۷: آینه متحرک، قطعه۸،۱۲،۱۴و ۱۵: آینه تخت، قطعه۱۰: آشکارساز ژرمانیوم، قطعه۱۶: آشکارساز سیلیسیوم.

در چیدمان مربوط به طیف سنج جذبی با محدوده طیفی ۱۵۰۰-۴۵۰۰ nm، تمامی المان‌ها مشابه با حالت قبلی قرار

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14]

گرفته اســـت. با این تفاوت که به‌جای شـــکافنده قبلی از شکافنده CaF_2 و به‌جای آ شکار ساز ژرمانیوم از آ شکار ساز PbSe، برای مشاهده سیگنال اصلی استفاده شده است. لامپ تنگستن در دو چیدمان فوق به عنوان منبع نور استفاده شده ا ست. محل قرار گرفتن ماده مجهول بعد از آینه موازی‌کننده (قطعه۵) و قبل از شکافنده (قطعه۶) است.

۳- محاسبات

شدت سیگنال تداخلی آ شکار شده شامل برهم‌نهی شدت تک‌تک بسامدهای مختلف نور منبع می‌شود. بنابراین می‌توان شدت برآیند را به کمک رابطه (۱) بیان کرد:

$$S(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} B(v)\cos(4\pi vx)\, dv \qquad (۱)$$

طبق رابطه (۱)، شدت برآیند (S(x)) تابعی از جابجایی آینه متحرک (x) ا ست. برای به‌د ست آوردن طیف حا صل از یک منبع نور B(v)، باید از سیگنال تداخلی به‌د ست آمده، تبدیل فوریه گرفت:

$$B(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(x)\cos(4\pi vx)\, dx \qquad (۲)$$

برای به‌دســـت آوردن طیف جذبی از یک نمونه، ابتدا طیف حاصـل از منبع نور به‌عنوان طیف زمینه محاسـبه می‌شـود. سـپس با قرار دادن نمونه داخل سـیسـتم، طیف جذبی ماده اندازه‌گیری می‌شود.

می‌توان نشـــان داد که تفکیک پذیری طیفی (Δv) در هر طول‌موج، تابعی از جابجایی آینه متحرک (x) یا اختلاف راه نوری است و به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود:[۴]

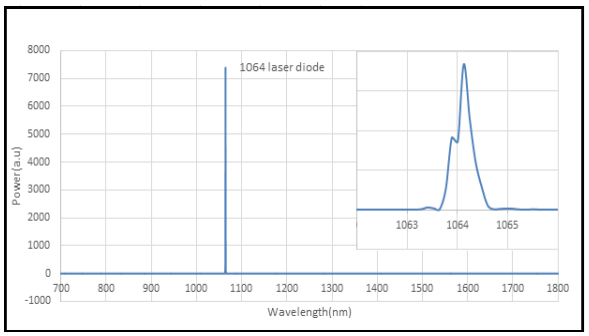
$$\Delta v = \frac{\lambda^2}{OPD} = \frac{\lambda^2}{2x} \qquad (۳)$$

۴- سیستم داده‌گیری

برای محاســبه طیف با اســتفاده از رابطه (۲)، باید ســیگنال تداخلی تابعی از جابجایی آینه باشـــد. اندازه‌گیری جابجایی آینه با کمک آشـــکارســـازی نوارهای تداخلی یک لیزر هلیوم نئون و با ا ستفاده از یک تداخل سنج دیگر که در آینه جابجا شونده با تداخل سنج ا صلی م شترک ا ست، انجام می شود. همان‌طورکه در شـــکل (۱) دیده می‌شـــود، پرتو لیزر هلیوم نئون (۶۳۲/۸ nm) وارد تداخل‌سنج دوم شده است. در این‌جا به‌ازای هر $\lambda/2$ جابجایی آینه یک نوار تداخلی روشن تشکیل می‌شود. بنابراین فاصله بین هر دو نوار تداخلی روشن (فاصله بین دو قله) برای لیزر هلیوم نئون برابر ۳۱۶/۴ nm اســـت. سیگنال تداخلی حا صل از لیزر هلیوم نئون پس از تقویت به عنوان یک تپ فرمان به سیستم الکترونیکی مبدل آنالوگ به دیجیتال فرمان داده‌گیری از سیگنال ا صلی را می‌دهد. لذا با هر ۳۱۶/۴ نانومتر جابجایی آینه یکبار از ســـیگنال خروجی تداخل‌سنج اصلی نمونه‌گیری می‌شود. هر چه میزان جابجایی آینه بیشتر باشد داده های بیشتری به گیرنده رسیده و طبق رابطه (۳) میزان تفکیک طیفی بهتر می شود.

۵- نتایج تجربی

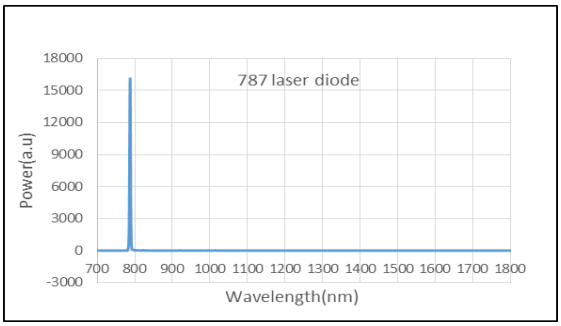
شـــکل (۲و۳) طیف اندازه‌گیری شـــده دو لیزر با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و ۷۸۷ نانومتر تو سط این طیف سنج را ن شان می‌دهد. با اندازه گیری این طیف ها مشخص شد که سیگنال به نوفه سـیسـتم بهتر از ۵۰۰۰ اسـت. برای مشـخص شـدن قدرت تفکیک این ســـیســـتم از یک لیزر مخابراتی چند مد ا ستفاده شده و طیف آن اندازه گیری شد. م شاهده می شود که این لیزر، یک لیزر چند مد اســت و با اندازه گیری پهنای طیفی قله‌ای می‌توان دریافت که قدرت تفکیک سیستم بهتر از ۰/۴ نانومتر اســت. در نهایت برای مشـــخص شـــدن دقت سیستم در حالت طیف‌سنجی جذبی از یک ماده مشخص به نام پلی ا ستایرن ا ستفاده شد و طیف نمونه اندازه گیری شد. این طیف، با طیف به‌دســت آمده با طیف‌ســـنج تبدیل فوریه مادون‌قرمز اســـتاندارد هم‌خوانی دارد. نتایج آن در شـــکل (۶) مشاهده می‌شود.



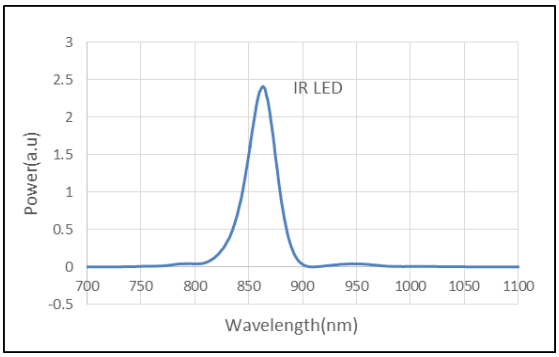
شکل۲: طیف لیزر ۱۰۶۴ نانومتر با تفکیک‌پذیری طیفی ۰/۴ nm

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

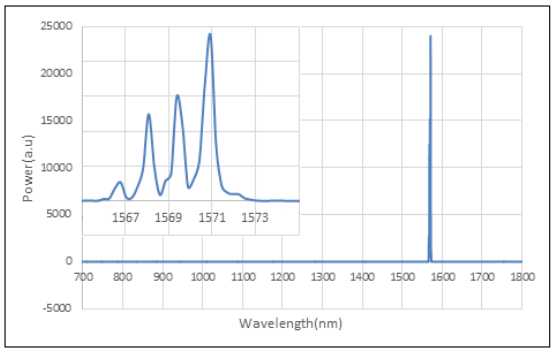
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14]



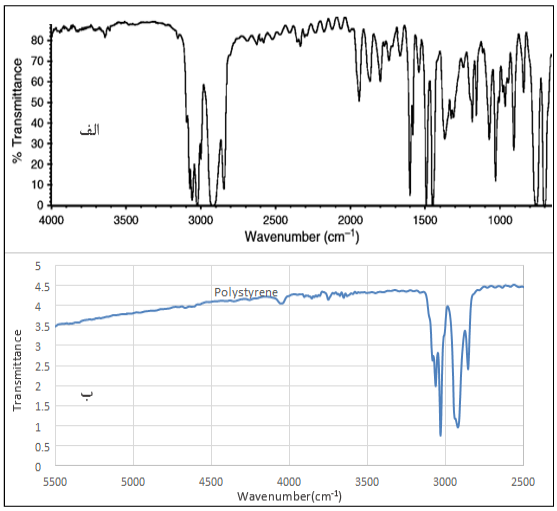
شکل۳: طیف لیزر ۷۸۷ نانومتر



شکل۴: طیف LED مادون‌قرمز با پهنای طیفی حدود ۱۰۰ نانومتر



شکل۵: طیف لیزر مخابراتی ۱۵۷۰ نانومتر با تفکیک طیفی ۰/۴ nm



شکل۶: طیف مربوط به پلی‌استایرن.الف: به‌دست آمده با طیف‌سنج استاندارد. ب: به‌دست آمده با طیف‌سنج ساخته شده.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ساخت طیف‌سنج تبدیل فوریه با محدوده طیفی ۱۸۰۰-۷۰۰ nm و طیف سنج جذبی تبدیل فوریه با محدوده طیفی ۴۵۰۰-۱۵۰۰ nm توضیح داده شده است. برای آزمایش صحت و درستی طیف‌سنج، طیف منابع نوری مختلف به‌دست آورده شده است. هم‌چنین با استفاده از طیف‌سنج جذبی، طیف جذب پلی‌استایرن به‌دست آمده است که این طیف کاملا با طیف استاندارد آن تطابق دارد.

مراجع

[1] Demtröder, Wolfgang. *Laser spectroscopy: basic concepts and instrumentation*. Springer Science & Business Media, 2013.
[2] Griffiths, Peter R., and James A. De Haseth. *Fourier transform infrared spectrometry*. Vol. 171. John Wiley & Sons, 2007.
[3] Bell, Robert John, and R. N. Bracewell. "Introductory Fourier transform spectroscopy." *American Journal of Physics* 41.1 (1973): 149-151.
[4]Saptari, Vidi. *Fourier transform spectroscopy instrumentation engineering*. SPIE Optical Engineering Press, 2004.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14]