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

رده بندی و تشخیص سنگهای بلورین قیمتی با استفاده از روش فلوئورسانس القائی لیزری

پرویز پروین[۱]، مهدیه مسعودی راد[۲]، وجیهه دانش افروز[۱]، پروانه آقایی[۱] ، علی بوالی[۱] و محمدرضا سلیمانی[۳]

[۱]دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[۲]دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد تهران مرکز، تهران، ایران
[۳]جواهرفروشی سلیمانی، تهران، ایران

چکیده - در این پژوهش فلوئورسانس القایی لیزری به عنوان روشی ساده و سریع برای تشخیص و رده بندی بلورهای رنگی طبیعی مانند زمرد، یاقوت و آمیتیست معرفی شده است. برانگیزش با هماهنگ دوم لیزر *Nd:YAG* در طول موج ۵۳۲ نانومتر و لیزر دیودی آبی در طول موج ۴۰۵ نانومتر انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که شکل طیف فلوئورسانس سنگها با یکدیگر متفاوت بوده و فلوئورسانس سنگهای غیر طبیعی نیز با سنگهای طبیعی تفاوت قابل توجهی دارند.

کلید واژه- فلوئورسانس القائی لیزری، سنگهای بلورین قیمتی.

Identification of precious natural crystals using laser induced fluorescence technique

P. Parvin[1], M. Masoudirad[2], V. Daneshafrooz[1], P. Aghaei[1], A. Bavali[1] and M. Soleimani[3]

[1] Physics Department, Amirkabir university of technology: P.O. Box 15875-4413,Tehran, Iran
[2] Science Department, Islamic Azad University, Central Branch, Tehran, Iran
[3] Soleimani Jewelry, Tehran, Iran

Abstract- In this study, using laser induced fluorescence technique, the fluorescence spectrum of crystalline natural stones such as emeralds, rubies and Amethyst has been investigated. Third harmonic of Nd: YAG laser at the wavelength of 532 nm and 405 nm blue diode is used to excite the stones. Our results indicate that the fluorescence spectra of different crystals are distinguishable from each other as well as natural crystals from the artificial ones.

Keywords: Precious crystals, Laser Induced Fluorescene

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-29]

۱- مقدمه

مطالعه‌ی ساختاری بلورهای طبیعی قیمتی مانند یاقوت، زمرد، الماس، عقیق، آمیتیست و ... معمولاً با استفاده از روش پراش براگ پرتو ایکس انجام می شود[۱]. آنالیز پراش براگ روش ساده ای نیست و بیشتر اطلاعات ساختاری از بلورها در اختیار قرار می دهد. روشهایی مانند فروشکست القائی لیزری و روشهای شیمیایی نیز مخرب هستند و در مورد بسیاری از بلورهای گران قیمت روش مقرون به صرفه ای نمی باشند. در این میان روش فلوئورسانس القایی لیزری با وجود سادگی و هزینه کم، غیر مخرب بوده و اطلاعات با ارزشی را از ناخالصیها و مواد تشکیل دهنده ی آنها فراهم می کند[۲].

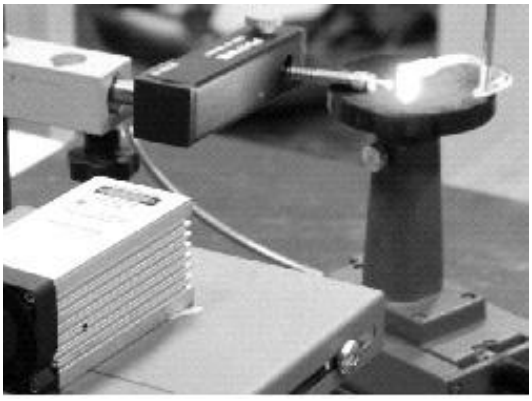
زمرد (بریل) با فرمول شیمیایی $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ جزو سیکلو سیلیکاتها (سیلیکاتهای حلقوی) بوده که نسبت Si:O در آنها ۱:۳ است و به دلیل یونهای Fe^{2+} و Fe^{3+} موجود در آن به رنگ سبز (ترکیبی از آبی Fe^{2+} و زرد Fe^{3+}) دیده می شود. در برخی انواع زمرد، Cr^{3+} و V^{3+} نیز دیده شده است که رنگ سبز زمرد نیز ناشی از اینها می شود[۲]. سختی بریل ۷/۵ تا ۸ و گرانی ویژه آن ۲/۶۵ تا ۲/۸ و جلایی شیشه ای دارد، لازم به ذکر است بریل بخاطر گرانی ویژه بالاترش از کوارتز، از کوارتز باز شناخته می شود.

آمیتیست نوعی کوارتز (در زیر رده تکتوسیلیکاتها یا سیلیکاتهای داربستی Tectosillcates) است که اغلب به صورت بلور است(در این بلورها نسبت Si:O برابر ۱:۲ است.) و سایه های بنفش در آن دیده می شود که بدلیل مقدار ناچیزی Fe^{3+} می باشد. از نظر شکل بلور : منشوری - بی پیرامیدال –سودوکوبیک و به رنگهای: سیاه - خاکستری - قهوه‌ای - بنفش - تیره - سبز- صورتی با شفافیت :شفاف - نیمه کدر دیده شده است[۳].

یاقوت سرخ یا کروندون یا کروندوم Al_2O_3 : جز دسته سنگهای آذرین غیرسیلیکاتی هستند که تحت فشار و حرارت تشکیل شده اند . ترکیبات شیمیایی یاقوت آلومین خالص است که ممکن است به مقدار کم با مواد دیگر از قبیل کروم و آهن آغشته شود. زمانی که Al با Fe^{3+} جایگزین شود رنگ سرخ یاقوت سرخ را سبب می شود. یاقوت اغلب در لایه‌های آتشفشانی قدیمی هند و تبت یافت می‌شود و دارای اقسام مختلف می‌باشد که مرغوب ترین و قیمتی تر از همه یاقوت آتشی است. معدن‌های یاقوت در آفریقا، آسیا، استرالیا و گرینلند یافت می‌شوند. یاقوت در رنگهای سرخ و آبی و زرد در دسترس می‌باشد.
در بازار نمونه های غیر طبیعی و دست ساز از این بلورها نیز موجود است که از دید افراد نا خبره تشخیص آنها از نمونه طبیعی تقریباً غیر ممکن می باشد. یکی از راههای تشخیص یاقوت سرخ طبیعی از انواع آزمایشگاهی آن حرارت می باشد. یاقوت سرخ طبیعی در اثر حرارت رفته رفته رنگ خود را از دست می دهد و پی از سرد شدن دوباره به رنگ اول خود باز می گردد و این در حالی است که یاقوت سرخ آزمایشگاهی در صورت مجاورت با حرارت می شکند. البته لازم به ذکر است چگالی سنگهای طبیعی بیشتر از چگالی نوع آزمایشگاهی آنها است.

۲- آزمایشها و نتایج

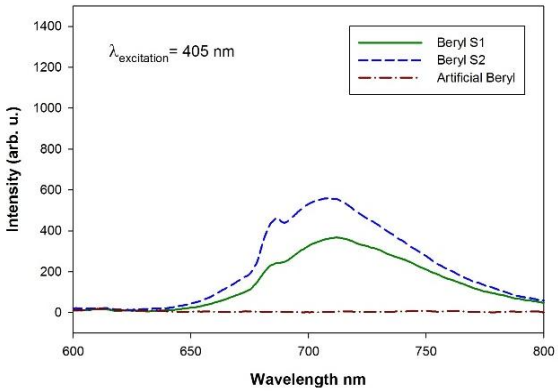
طیف گسیل فلوئورسانس بلورهای یاقوت، زمرد و آمیتیست بررسی شد. به منظور برانگیختگی بلورها از هماهنگ دوم لیزر پیوسته-کار Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان میانگین ۱۰۰ میلی وات و لیزر دیودی در خط ۴۰۵ نانومتر با توان ۱۵۰ میلی وات استفاده شده است. به منظور ثبت طیف فلوئورسانس، از طیف سنج Ava-spec 2048 مجهز به توری پراش با قدرت تفکیک ۰/۴ نانومتر استفاده شد. شکل (۱) طرحواره آزمایش را نشان می دهد.



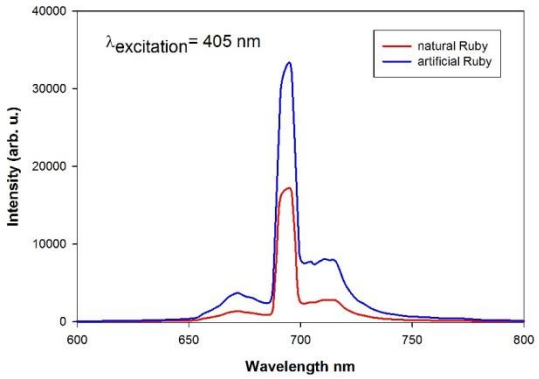
شکل ۱: آرایه آزمایش طیفسنجی فلوئورسانس القائی لیزری بلورها

شکلهای ۲ تا ۴ طیفهای فلوئورسانس القائی لیزری بلورهای یاقوت، زمرد و آمیتیست طبیعی و غیر طبیعی را نشان می دهد. خط برانگیزش ۴۰۵ نانومتر بوده است.

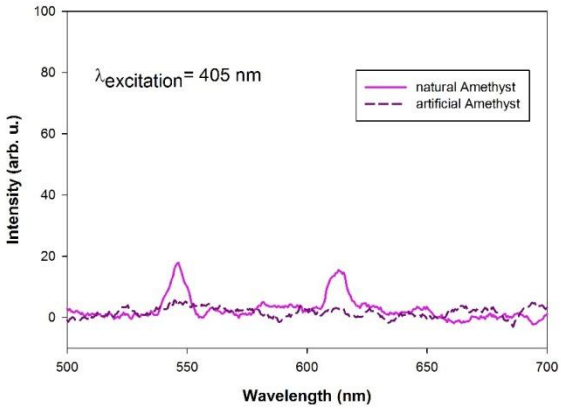
[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-29]



شکل ۲: طیف فلوئورسانس زمرد (نمونه های طبیعی و مصنوعی) که با طول موج ۴۰۵ نانومتر تابش دهی شدند

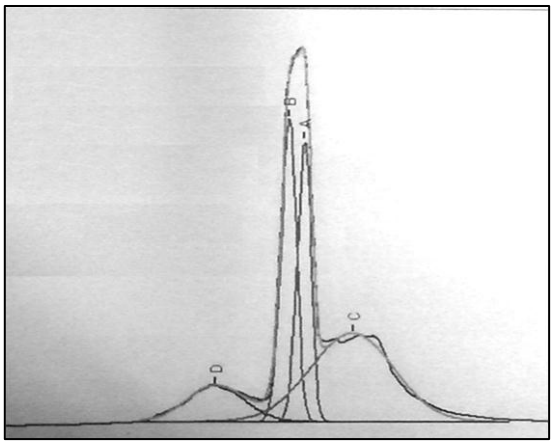


شکل ۳: طیف فلوئورسانس یاقوت (نمونه های طبیعی و مصنوعی) که با طول موج ۴۰۵ نانومتر تابش دهی شدند



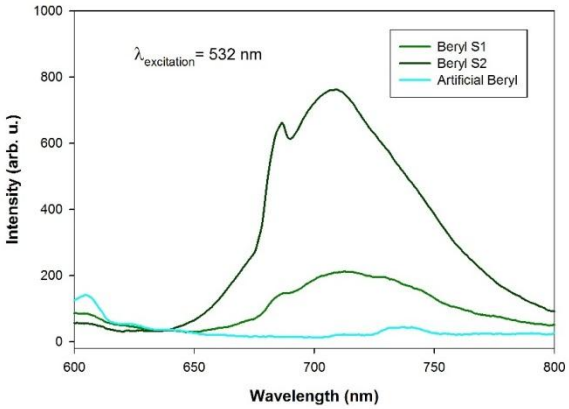
شکل ۴: طیف فلوئورسانس آمیتیست (طبیعی و غیرطبیعی). نمونه ها با طول موج ۴۰۵ نانومتر تابش دهی شدند

دکانولوشن طیف شکل ۳ یعنی فلوئورسانس یاقوت، که به دلیل شکل طیفی نامتعارف آن انجام شد، در شکل ۵ ارائه شده است.



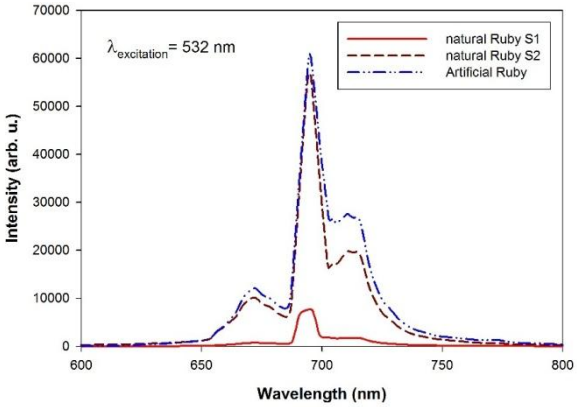
شکل ۵: دکانولوشن طیف فلوئورسانس یاقوت (نمونه طبیعی) که با طول موج ۴۰۵ نانومتر تابش دهی شدند. وحور افقی طول موج(نانومتر) و محور عمودی شدت نسبی با واحد دلخواه را نشان می دهد.

شکلهای ۶ و ۷ طیف فلوئورسانس القائی لیزری بلورهای یاقوت و زمرد طبیعی و غیر طبیعی وقتی با هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر برانگیخته شده اند را نشان می دهد(آمیتیست فلوئورسانس نداشت).



شکل ۶: طیف فلوئورسانس زمرد (نمونه های طبیعی و مصنوعی) که با طول موج ۵۳۲ نانومتر تابش دهی شدند

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-29]



شکل ۷: طیف فلوئورسانس یاقوت (نمونه های طبیعی و مصنوعی) که با طول موج ۵۳۲ نانومتر تابش دهی شدند

۳- تحلیل و نتیجه گیری

مقایسه طیف فلوئورسانس سه گونه بلور قیمتی یاقوت، زمرد و آمیتیست نشان می دهد که هر یک از این گونه ها شکل فلوئورسانس متفاوتی دارند. مقایسه دو نمونه مختلف از یک بلور (شکلهای ۲ و ۶ و ۷) نشان می دهد که نمونه های مختلف، شدتهای فلوئورسانس متفاوتی دارند. این تفاوتها در طیفهای فلوئورسانس به تفاوت نوع و مقدار ناخالصیهای موجود در بلورها بر می گردد. دکانولوشن طیف یاقوت دو پیک میانی در طول موجهای ۶۹۳ و ۶۹۴ نانومتر (A و B) را که فلوئورسانس یونهای کروم(Cr^{3+}) هستند را به خوبی نشان می دهد (شکل ۴). سایر پیکها در ناحیه سرخ و فروسرخ نزدیک نیز مربوط به یونهای آهن هستند. در مورد زمرد و آمیتیست، شدت فلوئورسانس نمونه مصنوعی در برابر نمونه طبیعی ناچیز است. بنابراین روش فلوئورسانس القائی لیزری به خوبی قادر است نمونه های طبیعی و مصنوعی را از هم تفکیک نماید. علاوه بر این، چنانکه شکل ۶ نشان می دهد، طیفهای دو نمونه متفاوت زمرد نیز شکل طیف متفاوتی دارند. بنابراین به نظر می رسد این روش قابلیت تفکیک گونه های مختلف طبیعی یک بلور را نیز دارد. با این وجود در مورد یاقوت شکل طیفهای طبیعی و مصنوعی کاملا شبیه به هم هستند و تنها می توان گفت که شدت فلوئورسانس نوع مصنوعی بیشتر از گونه طبیعیست.

مراجع

[1] Birch, J., Severin, M., Wahlström, U., Yamamoto, Y., Radnoczi, G., Riklund, R., Sundgren, J. E. Wallenberg, L. R., "Structural characterization of precious-mean quasiperiodic Mo/V single-crystal superlattices grown by dual-target magnetron sputtering", Physical Review B (Condensed Matter), Volume 41, Issue 15, May 15, 1990, pp.10398-10407.

[2] D. L. Wood, "Absorption, Fluorescence, and Zeeman Effect in Emerald" J. Chem. Phys. 42, 3404 (1965).

[3] Balitsky VS, Machina IB, Mar'in AA, Shigley JE, Rossman GR "Industrial growth, morphology and some properties of bi-colored amethyst-citrine quartz", Journal of Crystal Growth 212, 255-260 (2000).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-29]