DOI: 10.22122/jims.v37i517.11447 Published by Vesnu Publications

مجله دانشکده پزشکی اصفهان سال سی و هفتم/شماره‌ی ۵۱۷/هفته‌ی اول اردیبهشت ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۷ تاریخ چاپ: ۱۳۹۸/۲/۱

سنتز نانوفسفر دزیمتر ترمولومینسانس تری‌بورات لیتیم با ناخالصی آلومینیوم و بررسی پارامترهای سینتیک آن

پروین کاویانی[۱]، داریوش شهبازی گهرویی[۲]، اکبر عبدی‌سرای[۳]، جمشید خورسندی[۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: دزیمترهای ترمولومینسانس از پرکاربردترین دزیمترهای غیر فعال درون‌تنی محسوب می‌شوند. نانوفسفرها، در مقایسه با مواد استاندارد موجود، خواص دزیمتری مناسب‌تری دارند. هدف از انجام این مطالعه، سنتز و تعیین پارامترهای سینتیکی نانوفسفری معادل با بافت انسان برای کاربردهای پزشکی بود.

روش‌ها: پس از سنتز نانوفسفر Nanocrystalline lithium triborate (LiB_3O_5)، ساختار و ابعاد آن با استفاده از واکاوی الگوی پراش پرتوی ایکس (X-ray diffraction یا XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscope یا SEM) بررسی شد. ناخالصی‌هایی با درصد وزنی مختلف (۰/۵، ۱ و ۲) به نانوفسفر اضافه گردید تا مناسب‌ترین ترکیب به عنوان دزیمتر قابل استفاده در پزشکی انتخاب گردد. پارامترهای سینتیک قله‌ی منحنی درخشندگی به چهار روش محاسبه و نتایج حاصل از این روش‌ها با هم مقایسه شدند.

یافته‌ها: واکاوی SEM و XRD مشخص نمود که ابعاد ذرات LiB_3O_5:Al کمتر از ۱۰۰ نانومتر و با خلوص به نسبت بالایی است. با پرتودهی و خوانش نمونه‌ها، بهترین موقعیت و بیشترین شدت پیک منحنی درخشندگی با اضافه نمودن دو درصد وزنی ناخالصی آلومینیوم، در پیک دمایی ۱۸۳ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از روش‌های مختلف مورد مطالعه، هم‌خوانی خوبی نداشتند. مقدار میانگین انرژی فعال‌سازی محاسبه شده، ۱/۲۴۳۳ الکترون‌ولت بود که تراز انرژی مناسبی برای خوانشگر دزیمتر می‌باشد. با مقایسه‌ی مقادیر تجربی و محاسباتی، صحت روش‌های محاسباتی تأیید گردید.

واژگان کلیدی: فسفر، نانوپارتیکل‌ها، دوزیمتر ترمولومی نسانس، تری بورات لیتیم

ارجاع: کاویانی پروین، شهبازی گهرویی داریوش، عبدی‌سرای اکبر، خورسندی جمشید. **سنتز نانوفسفر دزیمتر ترمولومینسانس تری‌بورات لیتیم با ناخالصی آلومینیوم و بررسی پارامترهای سینتیک آن.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۸؛ ۳۷ (۵۱۷): ۱۶۰-۱۵۴

مقدمه

پیشرفت سریع تکنولوژی منجر به پیشرفت در تکنیک‌های پرتودهی و بهبودکیفیت درمان سرطان در آنکولوژی پرتوی شده است. در بیشتر این تکنیک‌های جدید، دزی بیشتر از دز استاندارد ۲ گری در هر جلسه‌ی درمان اعمال می‌شود. دزیمتری درون‌تنی، مستقیم‌ترین روش نظارت بر دز اعمال شده به بیماری است که پرتودرمانی انجام می‌دهد و منجر به افزایش دقت تحویل دز در طی انجام تکنیک‌های پیچیده و متداول درمان می‌گردد و از بروز عواقب شدید ناشی از خطاهای بزرگ پیش‌گیری می‌کند (۱). در حال حاضر، دزیمترهای ترمولومینسانس از پرکاربردترین دزیمترهای غیر فعال درون‌تنی محسوب می‌شوند. از ویژگی‌های مهم دزیمترهای ترمولومینسانس مورد استفاده در پزشکی، این است که عدد اتمی مؤثر آن، معادل بافت بیولوژیکی انسان و یا نزدیک به آن است (۲). از سوی دیگر، در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی گسترش فسفرهایی با ابعاد نانو انجام شده است؛ چرا که در طی تحقیقات، مشخص شده است که نانوفسفرها در مقایسه با مواد استاندارد موجود، دارای خواص ترمولومینسانس مناسب‌تری می‌باشند و برای کاربرد در دزیمتری از ویژگی‌های مطلوب‌تری برخوردارند (۳).

از آن جایی که ترکیبات بورات دارای عدد اتمی مؤثر معادل بافت انسان هستند، واکنش پرتوها با آن‌ها به طور دقیق مشابه با بافت

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- استادیار، پژوهشکده‌ی راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، اصفهان، ایران

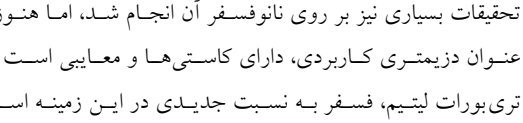
نویسنده‌ی مسؤول: داریوش شهبازی Email: shahbazi@med.mui.ac.ir

انسان است (۴). بنابراین، گزینه‌ی مناسبی برای کاربردهای بالینی و دزیمتری پرسنل هستند (۵). از دهه‌ی ۱۹۶۰ توجه بسیاری از دانشمندان به ویژگی‌های ترابورات لیتیم جلب گردید (۶) و تحقیقات بسیاری نیز بر روی نانوفسفر آن انجام شد، اما هنوز به عنوان دزیمتری کاربردی، دارای کاستی‌ها و معایبی است (۷). تری‌بورات لیتیم، فسفر به نسبت جدیدی در این زمینه است و مطالعه‌ی چندانی بر روی نانوفسفر آن انجام نشده است.

در این مطالعه، سعی بر آن شد تا با به کارگیری بهترین روش سنتز نانوفسفر تری‌بورات لیتیم و اضافه نمودن ناخالصی، مناسب‌ترین ترکیب، انتخاب و پارامترهای سینتیکی آن بررسی گردد.

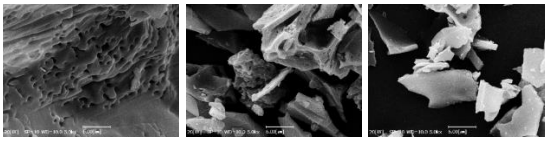
روش‌ها

سنتز نانوفسفر تری‌بورات لیتیم: در این تحقیق، نانوفسفر تری‌بورات لیتیم با روش هم‌رسوبی حالت جامد دمای بالا، بر اساس واکنش کربنات لیتیم و اسید بوریک سنتز گردید (۸). خلوص مواد اولیه ۹۹/۹ درصد و ساخت شرکت Merck بود.



$$Li_2CO_3 + 6H_3BO_3 \rightarrow 2Li\,B_3O_5 + CO_2 + 9H_2O$$

فسفر سنتز شده به مدت یک ساعت در دماهای ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰، ۷۰۰، ۷۵۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در داخل کوره گرمادهی و پس از آن، نمونه‌ها به آرامی تا دمای محیط سرد شدند. با استفاده از X-ray diffraction (XRD)، ابعاد و ساختار نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا خلوص و ابعاد ماده‌ی سنتز شده تعیین گردد (۹). اندازه، شکل و ساختار نانوذرات با استفاده از Scanning electron microscope (SEM) نیز بررسی شد (۱۰) و بهترین دمای گرمادهی مشخص گردید (شکل ۱).



(الف) (ب) (ج)

شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوفسفر تری‌بورات لیتیم گرمادهی شده به ترتیب در دمای ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

اضافه نمودن ماده‌ی ناخالص: بازدهی لومینسانس نانوفسفرها را می‌توان با اضافه نمودن مقدار کمی ناخالصی مناسب بهبود داد (۱۱). ترکیبات کربنات مس و کربنات آلومینیوم و ترکیب این دو ماده، تحت عنوان ناخالصی به نانوفسفر سنتز شده اضافه گردید تا ویژگی‌های دزیمتری آن بهبود یابد. به منظور تعیین بهترین ناخالصی با درصد وزنی مناسب، غلظت‌های متفاوتی از این ناخالصی‌ها (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) به نانوفسفر اضافه گردید. سپس، نمونه‌های حاصل به مدت یک ساعت در کوره‌ای با دمای ۷۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند و به آرامی تا دمای محیط سرد شدند. تأثیر غلظت و نوع ناخالصی بر شدت و موقعیت پیک منحنی درخشندگی مورد بررسی قرار گرفت (۱۲).

پرتودهی نمونه‌ها: پس از اضافه نمودن ناخالصی‌هایی با درصدهای وزنی مختلف و گرمادهی، تمامی نمونه‌ها به صورت قرص در آمد و در بیمارستان سیدالشهدای (ع) اصفهان تحت تابش پرتوی گامای ۶ مگاالکترون‌ولت با دز ۳ گری قرار گرفتند و توسط خوانشگر دزیمتر ترمولومینسانس (مدل Harshaw دانشگاه اصفهان) در بازه‌ی دمایی ۴۰۰-۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با آهنگ گرم کردن ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد/ثانیه خوانش شدند.

بررسی پارامترهای سینتیک: برای بررسی پارامترهای سینتیک نانوفسفر تری‌بورات لیتیم با ۲ درصد آلومینیوم، ابتدا قله‌هایی که با هم‌پوشانی خود، منحنی درخشندگی را تشکیل می‌دهند، جداسازی شدند (۱۳). پارامترهای سینتیک این قله‌ها به چهار روش متفاوت بررسی شدند و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید (۱۴).

روش افزایش اولیه: انرژی فعال‌سازی حاصل از این روش، مستقل از مرتبه‌ی سینتیک است. شیب نمودار تغییرات لگاریتم شدت ترمولومینسانس Ln(Tl) بر حسب 1/kT (ثابت Boltzmann و T دما بر حسب کلوین است)، انرژی فعال‌سازی می‌باشد. نقاطی در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند که شدتی کمتر از ۱۵-۱۰ درصد شدت بیشینه داشته باشند (۱۵).

روش Chen. روش Chen شامل سه روش مجزا (استفاده از مقدار τ یا δ و یا ω) برای اندازه‌گیری پارامترهای سینتیک است. بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، می‌توان سه دمای مورد نیاز برای معادله‌های شکل پیک Chen را تخمین زد؛ دماهای T_1، T_2 و T_M که به ترتیب دمای متناظر با نصف شدت بیشینه در قسمت صعودی منحنی، دمای متناظر با نصف شدت بیشینه در قسمت نزولی منحنی و دمای متناظر با شدت بیشینه می‌باشند (۱۶).

کمیت‌های τ، δ، ω و μ طبق روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$\tau = T_M - T_1 \quad (۱)$$

$$\delta = T_2 - T_M \quad (۲)$$

$$\omega = T_2 - T_1 \quad (۳)$$

$$\mu = \frac{\delta}{\omega} \quad (۴)$$

$$\begin{cases} \mu < 0.42 & \text{سینتیک مرتبه‌ی اول} \\ \mu < 0.52 & \text{سینتیک مرتبه‌ی دوم} \\ 0.42 < \mu < 0.52 & \text{سینتیک مرتبه‌ی عام} \end{cases} \quad (۵)$$

معادله‌های شکل پیک Chen برای اندازه‌گیری پارامترهای سینتیک مرتبه‌ی عام (۱۷) به صورت کلی زیر است:

$$E_\alpha = c_\alpha(\frac{kT_M^2}{\alpha}) - {}_\alpha b(2kT_M) \quad (۶)$$

در رابطه‌ی (۶)، مقدار α بیانگر δ، τ یا ω است و مقادیر c_α و b_α به صورت زیر خلاصه شده‌اند:

$$c_\tau = ۱/۵۱۰ + ۳/۰\ (\mu - ۰/۴۲) \quad (۷)$$
$$b_\tau = ۱/۵۸ + ۴/۲\ (\mu - ۰/۴۲)$$

$$c_\delta = ۰/۹۷۶ + ۷/۳\ (\mu - ۰/۴۲) \quad (۸)$$
$$b_\delta = ۰$$

$$c_\omega = ۲/۵۲ + ۱۰/۲\ (\mu - ۰/۴۲) \quad (۹)$$
$$b_\omega = ۱$$

روش کل پیک درخشندگی: در این روش، سطح زیر پیک درخشندگی n(T)، از دمای T تا بیشترین دمای موجود محاسبه می‌گردد. با جمع تمام نقاط داده‌ی واقع در این گستره‌ی دمایی، سطح زیر پیک درخشندگی محاسبه می‌شود. به ازای مقادیر مختلف مرتبه‌ی سینتیک b، مقدار $(Area)^b$ محاسبه و با استفاده از نتایج به دست آمده، تغییرات $Ln(TL/Area^b)$ بر حسب 1/kT رسم می‌شود. در صورت انتخاب مناسب‌ترین مقدار برای b، نمودار خطی برازش شده دارای بیشترین مقدار Regression (R^2) خواهد بود (۱۸).

با داشتن محل قطع منحنی و رابطه‌ی (۱۰)، عامل فرکانس محاسبه می‌گردد:

$$\acute{S} = \beta e^{(intercept)} \quad (۱۰)$$

در این رابطه، $\acute{S}$ عامل فرکانس، β آهنگ گرم کردن و Intercept محل قطع منحنی است.

روش برازش به منحنی درخشندگی: در این روش که از معادله‌ی Kitis و همکاران استفاده می‌شود، مقدار شدت محاسباتی I(T) که به صورت رابطه‌ی (۱۱) توسط Kitis و همکاران بیان شده است، با مقادیر تجربی مقایسه می‌گردد (۱۹).

$$I(T) = I_M.\exp\left[1 + \frac{E}{kT}.\frac{T-T_M}{T_M} - \frac{T^2}{T_M^2} \times \left(1 - \frac{2kT_M}{E}\right)\exp\left(\frac{E}{kT}.\frac{T-T_M}{T_M}\right) - \frac{2kT_M}{E}\right] \quad (۱۱)$$

بر اساس داده‌های مربوط به دمای قله‌ی T_M و تعیین انرژی فعال‌سازی E، محاسبه‌ی عامل فرکانس سینتیک مرتبه‌ی اول، طبق رابطه‌ی (۱۲) امکان‌پذیر است:

$$s = \frac{\beta E}{kT2M}\exp\left(\frac{E}{kTM}\right) \quad (۱۲)$$

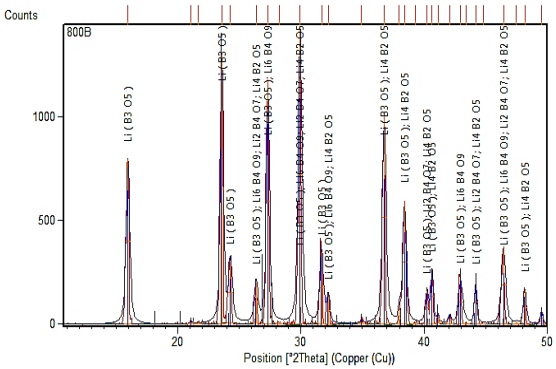
در ادامه، انرژی فعال‌سازی توسط دستگاه اسپکتروسکوپی مرئی-فرابنفش (Shimadzu-UV 160A) اندازه‌گیری و با مقادیر محاسباتی، مقایسه شد.

یافته‌ها

طبق رابطه‌ی Debye-Scherrer و الگوی پراش پرتوی ایکس، متوسط ابعاد ماده‌ی سنتز شده در دمای گرمادهی ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به ترتیب ۵۲، ۵۷ و ۹۳ نانومتر محاسبه و مشخص گردید که ابعاد تمامی ذرات تشکیل شده کمتر از ۱۰۰ نانومتر است.

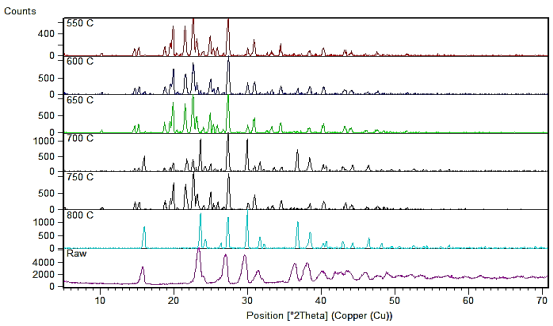
در شکل ۲، نتایج حاصل از الگوی پراش پرتوی ایکس در دمای ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد آمده است. در شکل ۳ نیز نتایج حاصل از الگوی پراش پرتوی ایکس در دمای ۸۰۰-۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با فواصل دمایی ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد آمده است.

طبق نتایج حاصل از الگوی پراش پرتوی ایکس، با افزایش دمای گرمادهی تا ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، میزان تری‌بورات لیتیم افزایش یافت و در بازه‌ی دمایی ۸۰۰-۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مقدار بیشینه رسید. با افزایش بیشتر دما، تری‌بورات به شکل‌های دیگر تبدیل می‌شود. بنابراین، گستره‌ی دمایی ۸۰۰-۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مناسب‌ترین دمای گرمادهی است.



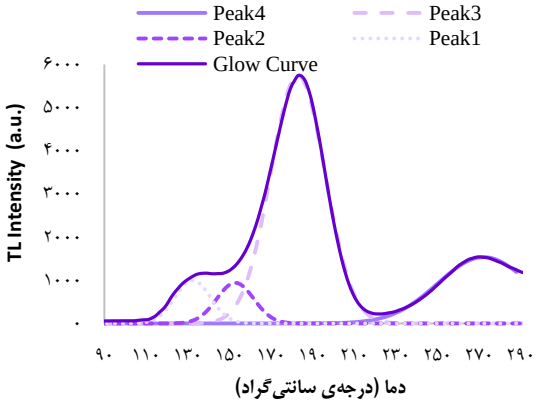
شکل ۲. نتایج حاصل از پراش پرتوی ایکس نانوفسفر گرمادهی شده در دمای ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

پس از پرتودهی و خوانش نمونه‌هایی با ناخالصی‌های مختلف، مشاهده شد که نانوفسفر تری‌بورات لیتیم با ۲ درصد وزنی ناخالصی آلومینیوم دارای مناسب‌ترین منحنی درخشندگی است (شکل ۴).



شکل ۳. نتایج حاصل از پراش پرتوی ایکس نانوفسفر بدون گرمادهی و گرمادهی شده در دماهای ۸۰۰-۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد (با فواصل دمایی ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) به مدت یک ساعت

بنابراین، پارامترهای سینتیک این نمونه مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل ۳، این منحنی از برهم‌نهی چهار قله که در دماهای ۱۳۲، ۱۵۳، ۱۸۳ و ۲۷۲ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داشتند، تشکیل شده بود. قله‌ی ۲ که در دمای ۱۸۳/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داشت، دارای بیشترین شدت بود. نصف شدت کمینه و بیشینه‌ی مربوط به این قله به ترتیب در دماهای ۱۶۶/۵ و ۱۹۳/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داشتند.



شکل ۴. منحنی درخشندگی حاصل از برهم‌نهی چهار منحنی گوسی

در روش افزایش اولیه، شش نقطه‌ی اول پیک در نظر گرفته شدند. شیب نمودار حاصل که همان انرژی فعال‌سازی است، مقدار ۰/۹۹۸۸ الکترون‌ولت به دست آمد. بر اساس داده‌های آزمایش، T_2 = ۴۶۶/۲ (K)، T_m = ۴۵۶/۵ (K) و T_1 = ۴۳۹/۵ (K) بود و بنابراین، در روش Chen طبق روابط (۴-۱)، مقادیر τ = ۱۷/۰، δ = ۱۳/۷، ω = ۳۰/۷ و μ = ۰/۴۴۶ محاسبه گردید. طبق رابطه‌ی (۵) و مقدار μ محاسبه شده، سینتیک مرتبه‌ی عام است و بر اساس روابط (۹-۶) خواهیم داشت:

c_τ = ۱/۶۱۹۸ و b_τ = ۱/۶۶۶ ⟶ E_τ = ۱/۳۳۷۳ + ۰/۱۴ eV

c_δ = ۰/۱۶۵۸ و b_δ = ۰ ⟶ E_δ = ۱/۳۵۴۳ + ۰/۱۴۹ eV

c_ω = ۲/۷۸۵۲ و b_ω = ۱ ⟶ E_ω = ۱/۳۶۵۴ + ۰/۱۵ eV

طبق روش کل پیک درخشندگی، مناسب‌ترین مقدار برای b بر اساس بیشترین مقدار Regression (R^2) انتخاب می‌شود. نتایج محاسبات در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. استفاده از روش کل سطح پیک درخشندگی به ازای پارامترهای سینتیک (b)

b	۰/۹۰	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۱۰	۱/۲۰
R^2	۰/۹۷۹	/۹۸۷	۰/۹۹۲	۰/۹۹۶	۰/۹۹۵	۰/۹۹۴

بهترین برازش مربوط به b = ۱/۰۵ بود و بیانگر این مطلب است که با تقریب خوبی می‌توان برای محاسبه‌ی سایر پارامترها، از سینتیک مرتبه‌ی اول (b = ۱) استفاده کرد.

با برازش خط به نمودار تغییرات $Ln(TL/Area^b)$ بر حسب 1/kT به ازای b = ۱/۰۵، شیب خط بیانگر انرژی فعال‌سازی بر حسب الکترون‌ولت است و برابر با ۱/۲۲۴ به دست آمد. با داشتن محل قطع منحنی و رابطه‌ی (۱۰)، عامل فرکانس محاسبه گردید:

$\acute{S}$ = ۱/۸۶ × ۱۰^۱۲ (s^{-1})

در روش برازش به منحنی درخشندگی، با داشتن مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی T_M = ۴۵۶ K و I_M = ۵۷۳۶/۹ و استفاده از رابطه‌ی (۱۱)، مقدار شدت I(T) محاسبه گردید. به ازای مقادیر مختلف انرژی E، داده‌های محاسباتی به داده‌های تجربی برازش گردید و انرژی فعال‌سازی مقداری انتخاب شد که کمترین اختلاف میان داده‌های تجربی و محاسباتی وجود داشته باشد. در جدول ۲، مقادیر مختلف انرژی فعال‌سازی و اختلاف میان داده‌های تجربی و محاسباتی متناظر با هر انرژی آمده است.

جدول ۲. استفاده از روش برازش منحنی درخشندگی به ازای انرژی‌های مختلف فعال‌سازی

E(eV)	۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۱۵	۱/۱۸	۱/۲۰	۱/۲۵	۱/۳۰
$FOM = \frac{\sum_p \lvert Y_{exp} - Y_{fit} \rvert}{\sum_p Y_{fit}}$	۰/۱۲۰	۰/۰۸۶	۰/۰۶۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۷۰	۰/۰۷۱

با محاسبه‌ی مقدار انرژی فعال‌سازی و رابطه‌ی (۱۲)، عامل فرکانس برابر با مقدار (S^{-1}) × ۱/۲۰۸ محاسبه گردید. با استفاده از واکاوی طیف بین مرئی- فرابنفش، انرژی فعال‌سازی برابر با مقدار ۱/۴۱ الکترون‌ولت اندازه‌گیری شد.

نتایج بررسی پارامترهای سینتیک منحنی درخشندگی این نانوفسفر به چهار روش (افزایش اولیه، روش Chen، کل پیک درخشندگی و برازش به منحنی درخشندگی) در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از روش‌های مختلف واکاوی منحنی درخشندگی

روش	انرژی (eV)	فرکانس (s^{-1})
افزایش اولیه	۰/۹۹۸ ± ۰/۱۰۶	
Chen با استفاده از τ	۱/۳۳۷ ± ۰/۱۴۳	
Chen با استفاده از δ	۱/۳۵۴ ± ۰/۱۴۵	
Chen با استفاده از ω	۱/۳۶۵ ± ۰/۱۴۶	
کل پیک درخشندگی	۱/۲۲۴ ± ۰/۱۳۱	۱/۸۶ × ۱۰^{۱۲}
برازش به منحنی درخشندگی	۱/۱۸ ± ۰/۱۲۶	۱/۲۰۸ × ۱۰^{۱۲}
میانگین	۱/۲۴۳ ± ۰/۱۴۰	۱/۵۳۴ × ۱۰^{۱۲}

بحث

تنها چند ماده‌ی ترمولومینسانس معادل بافت انسان برای کاربردهای بالینی و پرتودرمانی وجود دارد که یکی از آن‌ها $Li_2B_4O_7$ است و اولین ماده‌ی مورد استفاده در دزیمتری پرتوها می‌باشد، اما دارای معایبی نظیر شدت کم ترمولومینسانس، گستره‌ی محدوده‌ی پاسخ خطی دز، محوشدگی زیاد و وابستگی به انرژی است. Knezevic و همکاران، با جایگزین کردن ناخالصی Cu به جای Mn، حساسیت آن را بهبود بخشید و با اضافه نمودن ناخالصی‌های Cu، In و Ag، محدوده‌ی پاسخ خطی آن را افزایش داد. حساسیت $Li_2B_4O_7$:Cu,Ag,P حدود ۵ برابر دزیمتری ترمولومینسانس-۱۰۰ است، اما میزان محوشدگی بالایی دارد (۲۰).

استفاده از فسفر در اندازه‌های نانو، منجر به بهبود خصوصیات دزیمتری نظیر مقاومت پرتوی بالاتر، محدوده‌ی خطی گسترده‌تر، محوشدگی کمتر و آشکارسازی پرتوهای یونیزان با انرژی بالا را دارد. تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه بر روی $Li_2B_4O_7$ در حال انجام است. یکی دیگر از فسفرهای معادل بافت انسان، تری‌بورات لیتیم است. در این تحقیق، پس از سنتز نانوفسفر تری‌بورات لیتیم، ابعاد و ساختار آن توسط واکاوی الگوی پراش پرتوی ایکس مورد بررسی قرار گرفت و ابعاد ذرات آن کمتر از ۱۰۰ نانومتر تعیین شد.

در بررسی ما مشخص شد که میزان LiB_3O_5 تشکیل شده در دمای پایین‌تر از ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، کمتر از مقدار مطلوب است، اما با افزایش دما، افزایش می‌یابد. بنابراین، دمای ۷۵۰-۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، مناسب‌ترین دمای گرمادهی انتخاب شد. با مقایسه‌ی منحنی درخشندگی نمونه‌ها با ناخالصی‌های مختلف، مشاهده شد که نانوفسفر LiB_3O_5 با ناخالصی مس دارای بیشترین حساسیت است، اما پیک آن در دمای پایین قرار دارد و میزان محوشدگی در آن زیاد است. نانوفسفر LiB_3O_5 با ناخالصی آلومینیوم، حساسیت کمتری دارد، اما موقعیت پیک آن مناسب‌تر است.

بنابراین، ناخالصی آلومینیوم بهترین ناخالصی و مقدار بهینه‌ی آن ۲ درصد وزنی می‌باشد. پارامترهای سینتیک منحنی درخشندگی این نانوفسفر، به چهار روش (افزایش اولیه، روش Chen، کل پیک درخشندگی و برازش به منحنی درخشندگی) بررسی گردید و مشخص شد که انرژی فعال‌سازی محاسبه شده با این روش‌ها، هم‌خوانی خوبی با هم دارند. عامل فرکانس محاسبه شده با روش‌های سطح کل منحنی درخشندگی و برازش به منحنی درخشندگی در یک مرتبه‌ی بزرگی قرار دارند. اختلاف میان مقدار میانگین انرژی فعال‌سازی محاسباتی و تجربی کمتر از ۱۳ درصد است و در گستره‌ی خطای مقادیر محاسباتی قرار دارد.

نتیجه‌گیری نهایی این که یافته‌های حاصل از روش‌های مختلف بررسی شده، هم‌خوانی خوبی داشتند. میانگین انرژی فعال‌سازی برابر با ۱/۲۴۳ الکترون‌ولت بود که تراز انرژی مناسبی برای خوانشگر دزیمتر می‌باشد. با مقایسه‌ی مقادیر تجربی و محاسباتی، صحت روش‌های محاسباتی تأیید شد.

تشکر و قدردانی

از گروه فن‌آوری‌های نوین دانشگاه اصفهان به خصوص جناب آقای دکتر ایوبیان و سرکار خانم دکتر رضایی که مساعدت و راهنمایی‌های لازم برای خوانش نمونه‌ها توسط خوانشگر دزیمتری ترمولومینسانس را فراهم نمودند و نیز پرسنل محترم بخش پرتودرمانی بیمارستان سیدالشهدای (ع) اصفهان به خصوص جناب آقای مهندس منادی که شرایط لازم برای پرتودهی نمونه‌ها را فراهم نمودند، نهایت تشکر و امتنان را ابراز می‌دارد.

این مطالعه، برگرفته از پایان‌نامه‌ی دکتری تخصصی است که در معاونت پژوهشی دانشکده‌ی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به شماره‌ی ۳۹۷۱۵۲ به تصویب رسید.

References

1. Schreiner LJ, Holmes O, Salomons G. Analysis and evaluation of planned and delivered dose distributions: practical concerns with γ- and χ-Evaluations. 2013; 444: 012016.
2. Kortov V. Materials for thermoluminescent dosimetry: Current status and future trends. Radiat Meas 2007; 42(4): 576-81.
3. Khalilzadeh N, Saion E, Shaari AH, Hashim M, Ahmad M, Crouse K, et al. Synthesis and evaluation nanoparticles of lithium tetraboaret polycrystalline doped with transitional metals. Proceedings of the 5th Fundamental Science Congress 2013 (FSC 2013); 2013 Aug 20-21; Selangor, Malaysia.
4. Yazici AN, Chen R, Solak S, Yegingil Z. The analysis of thermoluminescent glow peaks of CaF2: Dy (TLD-200) after -á-irradiation. J Phys D Appl Phys 2002; 35(20): 2526-35.
5. Mayles P, Nahum AE, Rosenwald JC. Handbook of radiotherapy physics: Theory and practice. Boca Raton, FL: CRC Press; 2007.
6. Furetta C, Prokic M, Salamon R, Prokic V, Kitis G. Dosimetric characteristics of tissue equivalent thermoluminescent solid TL detectors based on lithium borate. Nucl Instrum Methods Phys Res A 2001; 456(3): 411-7.
7. Pekpak E, Yilmaz A, Ozbayoglu G. An overview on preparation and tl characterization of lithium borates for dosimetric use. The Open Mineral Processing Journal 2010; 3: 14-24.
8. Depci T. Synthesis and characterization of lithium triborate by different synthesis methods and theirthermoluminescentproperties [PhD Thesis]. Ankara, Turkey: Middle East Technical University; 2009.
9. Erfani Haghiri M, Saion E, Soltani N, wan Abdullah WS, Navasery M, Hashim M. Thermoluminescence characteristics of copper activated calcium borate nanocrystals (CaB4O7:Cu). J Lumin 2013; 141: 177-83.
10. Samariha B, Rezaee Ebrahim Saraee K. Effects of annealing on the thermoluminescence characteristics of Dy and Tb doped SrSO4 nanophosphor under gamma excitation. J Lumin 2018; 198: 389-99.
11. Pandey A, Bahl S, Sharma K, Ranjan R, Kumar P, Lochab SP, et al. Thermoluminescence properties of nanocrystalline K2Ca2(SO4)3:Eu irradiated with gamma rays and proton beam. Nucl Instrum Methods Phys Res B 2011; 269(3): 216-22.
12. Kananen BE, McClory JW, Giles NC, Halliburton LE. Copper-doped lithium triborate (LiB3O5) crystals: A photoluminescence, thermoluminescence, and electron paramagnetic resonance study. J Lumin 2018; 194: 700-5.
13. Yazici AN, Haciybrahymoolu MY. Determination of the trapping parameters of glow peaks of CAF2:DY(TLD-200) by using Computer Glov Curve Deconcolution Method. Turk J Phys 2001; 25(3): 249-56.
14. Zahedifar M, Almasifard F, Sadeghi E, Harooni S, Kashefi Biroon M. Thermoluminescence dosimetry properties and kinetic analysis of MgSO4:Dy microcrystalline prepared by solid state method. Radiat Meas 2017; 103: 26-32.
15. Karmakar M. On the initial rise method for kinetic analysis in thermally stimulated luminescence. Indian J Sci Technol 2012; 5(11): 3674-7.
16. Chen R, McKeever SWS. Theory of thermoluminescence and related phenomena. Singapore, Singapore: World Scientific; 1997.
17. Chen R. On the order of kinetics in the study of thermoluminescence. J Phys D Appl Phys 1983; 16(6): L107-L114.
18. Sang ND. Estimation of the activation energy values fromthe thermoluminescence glow curves to detect irradiated Chilli powder. Journal of Science: Natural Sciences and Technology 2017; 14(3): 140-8.
19. Kitis G, Furetta C, Prokic M, Prokic V. Kinetic parameters of some tissue equivalent thermoluminescence materials. J Phys D Appl Phys 2000; 33(11): 1252-62.
20. Knezevic Z, Ranogajec-Komor M, Miljanic S. Effect of dopants on TL characteristics of LiF:Mg,Cu,P detectors. Radiat Meas 2010; 45(3): 573-5.

DOI: *10.22122/jims.v37i517.11447* *Published by Vesnu Publications*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. 37, No. 517, 1st Week, May 2019**

Received: 05.03.2019 Accepted: 06.04.2019 Published: 21.04.2019

Synthesis and Study of Kinetic Parameters of Nanophosphor LiB_3O_5: Al

Parvin Kaviani[1], Daryoush Shahbazi-Gahrouei[2], Akbar Abdisaray[3], Jamshid Khorsandi[4]

Original Article

Abstract

Background: Thermoluminescence dosimeters are the most widely used inactive in vivo dosimeters. Nanoparticles have more suitable dosimetry properties than similar bulk materials. The purpose of this study was to synthesize and to determine the kinetic parameters of nanophosphor equivalent to human tissue for using in medical purposes.

Methods: After synthesis of LiB_3O_5 nanophosphor, structure and its dimensions were investigated using X-ray diffraction pattern (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). Different activators were added to each nanophosphor with 0.5, 1, and 2 percent of weight, to select the most suitable compound as a usable thermoluminescence dosimeter in medicine. The kinetic parameters of the glow peaks were calculated using four methods, and the results of these methods were compared.

Findings: SEM and XRD analysis showed that the dimensions of synthesized phosphorus were less than 100 nm, and had a relatively high purity. By irradiating and reading the samples, the best peak position and intensity of the glow curve were obtained by 2 percent of weight aluminum (Al) activator at the peak temperature of 183 °C.

Conclusion: The results of different methods were in good agreement. The calculated mean value of the activation energy was 1.243 eV, which had a good energy level for the thermoluminescent dosimeter (TLD) reader. By comparing the experimental and computational values, the validity of the computational methods was confirmed.

Keywords: Phosphorus, Nanoparticles, Thermoluminescent dosimetry, Lithium triborate

Citation: Kaviani P, Shahbazi-Gahrouei D, Abdisaray A, Khorsandi J. **Synthesis and Study of Kinetic Parameters of Nano-Phosphor LiB_3O_5: Al.** J Isfahan Med Sch 2019; 37(517): 154-60.

1- PhD Student, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Physics, School of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran
4- Assistant Professor, Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Daryoush Shahbazi-Gahrouei, Email: shahbazi@med.mui.ac.ir