

بررسی خواص دزیمتر ترمولومینسانس $CaSO_4:Dy$ تحت پرتو دهی گاما

علی‌رضا معینی^۱، مهدی غلام‌پور^{۱*}، جعفر قیصری^۱، غضنفر میر جلیلی^۱، لیلا شکاری^۳، محمد علی شفاقی^۱

^۱ دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک (یزد)

^۲ دانشگاه افسری امام‌علی (ع) دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، (تهران)

^۳ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم، گروه فیزیک (تهران)

چکیده

امروزه $CaSO_4:Dy$ بطور گسترده‌ای در دزیمتری محیط و دزیمتری شخصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق خواص $CaSO_4:Dy$ ساخته شده بروش شیمیایی با غلظتهای مختلف ناخالصی دیسپروسیم ($0.1\% mol$)، ($0.2\% mol$)، ($0.1\% mol$)، تحت پرتو دهی گاما و همچنین تأثیر برنامه گرمادهی در هنگام قرائت TLD بر روی منحنی درخشندگی آن مورد بررسی قرار گرفته است. منحنی درخشندگی دارای ۲ قله در دماهای $100^\circ C$ و $17^\circ C$ می‌باشد. قرصهای ساخته شده دارای حساسیت بالایی هستند و در مورد نمونه $0.2\% mol$ ، حساسیت نسبی ۱۲ مشاهده می‌شود. پاسخ دز تا دز $37 Gy$ خطی است و محوشدگی در ۱۰ رور برابر با ۳۶٪ است. کلمات کلیدی: $CaSO_4:Dy$ ، دزیمتر ترمولومینسانس، دیسپروسیم، منحنی درخشندگی، محوشدگی.

مقدمه

$CaSO_4:Dy$ (TLD-900) یک ماده بسیار مناسب برای دزیمتری محیط و دز زیاد می‌باشد. کاربرد روز افزون این دزیمتر در تحقیقات هسته‌ای لزوم ساخت و بررسی خواص آن را در کشور دو چندان می‌کند. استفاده گسترده از این TLD در دزیمتری محیط و کاربرد ویژه این ماده برای تعیین عمر در تحقیقات زمین شناسی و باستانشناسی [1]، آن را به یک ماده استراتژیک تبدیل کرده است. افزایش استفاده از TLD-900 در تحقیقات هسته‌ای، در درجه اول بدلیل حساسیت بالای (حساسیت ۳۰ تا ۵۰ برابر TLD-100 [2]). این ماده است که آنرا به مناسبترین دزیمتر برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم دز پرتو تبدیل می‌کند و حتی اندازه‌گیری دز پرتو گاما با این دزیمتر تا $2 \mu Sv$ نیز گزارش شده است [3]. وابستگی خطی دز، در یک بازه گسترده‌ای از دزیمتر پرتو مورد نظر در نمایش محیط^۲ و البته ارزان بودن مواد اولیه این دزیمتر، از دیگر عوامل افزایش بیش از پیش کاربرد TLD-900 می‌باشد. این دزیمتر برای اولین بار توسط یاماشیتا [4] تهیه شد. در این تحقیق ساخت $CaSO_4:Dy$ به روش شیمیایی بیان می‌شود، همچنین منحنی درخشندگی و برخی خواص این ماده مورد بررسی قرار می‌گیرد. تأثیر میزان ناخالصی Dy در خواص این ماده، نیز از اهداف این تحقیق می‌باشد.

*mahdi.gholampoor@gmail.com

روش کار

برای ساخت قرص $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ابتدا CaSO_4 همراه Dy_2O_3 در اسید سولفوریک در دمای 300°C حل شد. سپس محلول تا تبخیر کامل اسید گرمادهی شد. حاصل پودر قهوه ای رنگ $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ بود با دانه هایی در اندازه های مختلف که ما بدون انتخاب اندازه ای خاص از دانه ها اقدام به ساخت قرص کردیم. پودر تحت نیروی $0/5$ تن ، بوسیله پرس دستی به قرص هایی به قطر 6mm تبدیل شد. برای آلائیده کردن شبکه بلور CaSO_4 با Dy قرص های حاصل بمدت یک ساعت در دمای 700°C گرما داده شد(پخت اولیه). در این مرحله تقریباً 20% از ماده تبخیر شد و اندازه قطر قرص ها به 5mm ، ضخامت آن ها به $0/7\text{mm}$ و وزن آن ها به 54mg کاهش یافت که کاهش وزن بدلیل تبخیر اکسیژن می باشد. چشمه گاما مورد استفاده در این تحقیق، ^{60}Co مدل PikerV9 با آهنگ دز $0/37 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}$ می باشد و قرصها بوسیله قرائت گر TLD مجارستانی (۱۹۸۶) قرائت شده اند. پس از هربار پرتو دهی و قرائت، قرص ها مطابق با دستورالعمل های رایج بمدت یک ساعت در دمای 400°C بازپخت شده است.

نتایج

الف)ساخت

پخت اولیه(یک ساعت در دمای 700°C) باعث کاهش 20% در وزن قرص ها شد . بررسی انجام شده (جدول ۱)، نشان داد که میزان این کاهش وزن از دمای 300°C تا 1000°C مستقل از دمای گرمادهی است . مقایسه درصدهای وزنی عناصر در ماده میزبان قبل و بعد از گرمادهی(جدول ۲) به همراه داده های جدول ۱، تبخیر اکسیژن را اصلی ترین عامل کاهش وزن نشان می دهد.

جدول ۲- درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده CaSO_4 قبل و بعد از اولین گرمادهی در دمای 700°C .

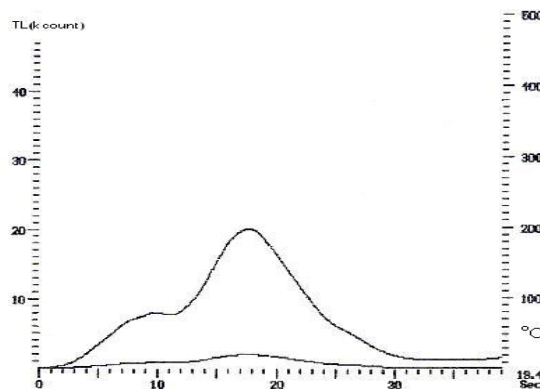
O	S	Ca	عناصر تشکیل دهنده CaSO_4
۴۷	۲۳٫۵	۲۹٫۵	در صد وزنی قبل از گرمادهی(%)
۴۳	۲۶	۳۱	در صد وزنی بعد از گرمادهی(%)

جدول ۱- میزان کاهش وزن $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ بعد از اولین گرمادهی

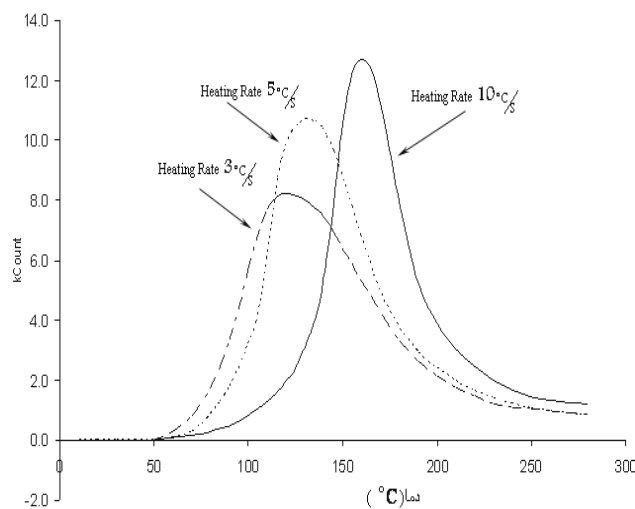
در صد کاهش وزن	زمان گرمادهی	دمای گرمادهی
%	h	$^\circ\text{C}$
۱۸٫۸	۱	۳۰۰
۱۹٫۶	۳	۳۰۰
۱۹	۱	۴۰۰
۱۹٫۶	۳	۴۰۰
۳۰	۳	۶۰۰
۱۹٫۵	۱	۷۰۰
۱۹٫۵	۱	۸۰۰
۳۰	۱	۱۰۰۰

ب) منحنی های درخشندگی

منحنی های درخشندگی برای همه نمونه ها مشابه و دارای ۲ قله در دماهای 100°C و 167°C می باشد (شکل ۱). شکل ۲ تأثیر برنامه گرمادهی در هنگام قرائت TLD را بر دما و شکل قله های درخشندگی نشان میدهد هرچند آهنگ گرمادهی در سطح زیر منحنی درخشندگی (TL) تأثیری ندارد.



شکل ۱: منحنی درخشندگی $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ساخته شده با ناخالصی به میزان ۰/۱۱% mol

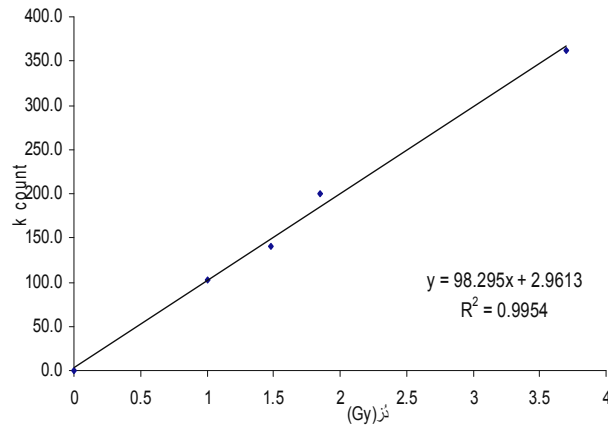


شکل ۲: منحنی درخشندگی $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ساخته شده که پس از پرتودهی گاما با آهنگ های مختلف گرمادهی، خوانده شده اند.

ج) پاسخ دز

منحنی پاسخ به دز $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (شکل ۳) در این بازه دز، با حداکثر خطای ۷/۶% در دز $1/85\text{Gy}$ (فرمول ۱)، تقریباً خطی است.

$$\Delta = \frac{(200.0 - 184.8)}{200} \times 100 = 7.6\% \quad (1)$$



شکل ۳: منحنی پاسخ به دز $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ تا دز ۴ Gy پرتو گاما از چشمه ^{60}Co .

د) حساسیت

حساسیت بصورت سطح زیر منحنی درخشندگی تقسیم بر دز واقعی تعریف می‌شود. براساس این تعریف مقدار بدست آمده برای حساسیت به سیستم قرائت گر TLD بستگی دارد. برای در دست داشتن معیاری تقریباً مستقل از سیستم قرائت TLD، از حساسیت نسبی که به صورت نسبت حساسیت TLD مورد نظر به حساسیت TLD-100 تعریف می‌شود، استفاده می‌شود. حساسیت نمونه خالص CaSO_4 و نمونه های $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ با میزان های مختلف ناخالصی ۰/۱۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد مول برای پرتو دهی با دز ۱ Gy در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: حساسیت و حساسیت نسبی CaSO_4 با و بدون ناخالصی. TLD-100 مورد استفاده ساخت شرکت Harshaw است.

۰/۲mol%	۰/۱۵mol%	۰/۱۱mol%	۰% (خالص)	TLD-100 (Harshaw)	میزان ناخالصی Dy
۲۰۳۷۸۷	۱۲۶۹۱۰	۵۳۱۶۳	۸۹	۱۷۰۰۰	حساسیت
۱۲	۷/۴۶	۳/۱۳	$۵/۲ \times ۱۰^{-۳}$	۱	حساسیت نسبی

ه) محو شدگی

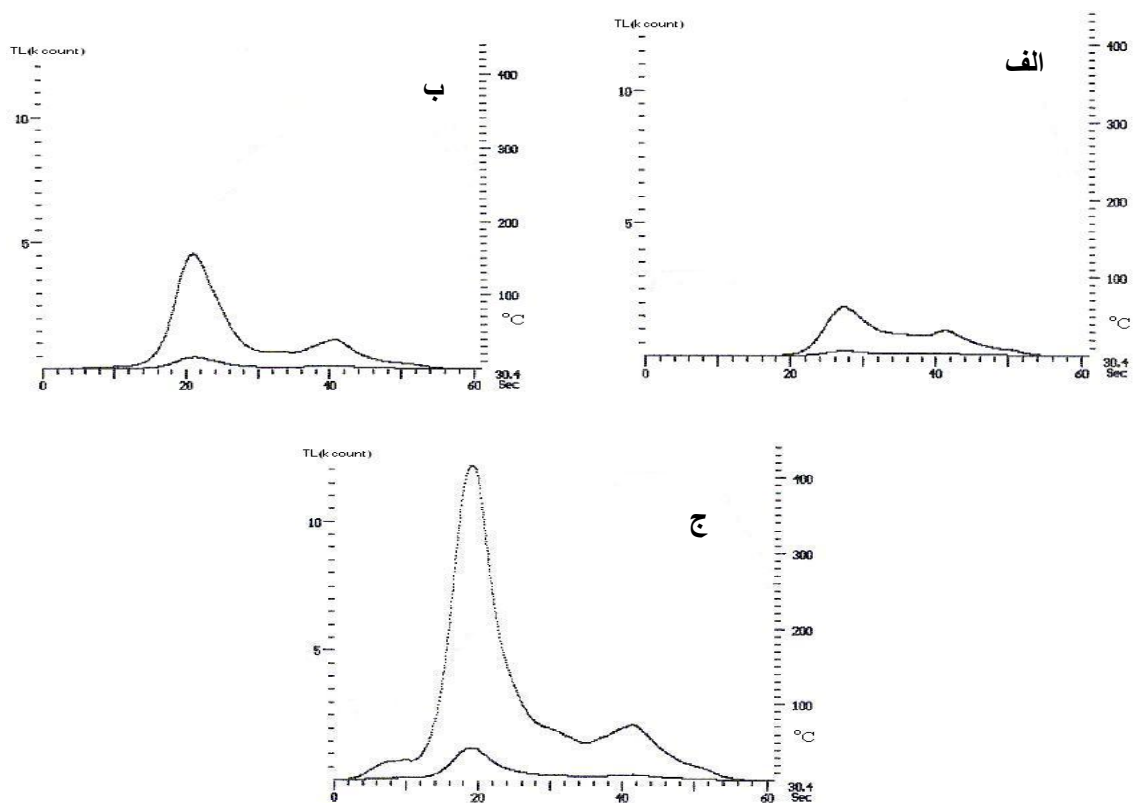
در مورد دزیمتر ساخت ما با قله اصلی ۱۶۷°C محو شدگی زیادی مورد انتظار است زیرا محو شدگی طبق فرمول زیر به دمای قله اصلی وابسته است:

$$p(T) = s(T) \exp(-E/kT) \quad (۲)$$

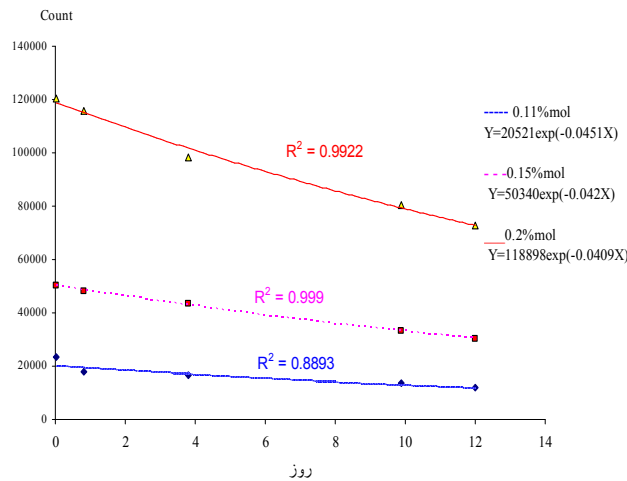
که $p(T)$ احتمال آزاد شدن انرژی ذخیره شده در TLD، $s(T)$ عبارتی وابسته به زمان با عنوان فرکانس فاکتور، k ثابت بولتزمن و T دمای ماده می‌باشد. E انرژی گاف ترازهای نیمه پایدار است (محل گیر اندازی

الکترون بعد از پرتو دهی). بنابر فرمول ۲ احتمال آزاد شدن انرژی یعنی تخلیه TLD به دمای قله اصلی ارتباط پیدا می کند زیرا دمای قله دزیمتری معیاری از انرژی گاف است و هرچه اختلاف این دما با دمای محیط کم باشد احتمال خالی شدن TLD از انرژی ذخیره شده ، زیاد می شود. انتخاب دمای پخت پس از پرتو دهی مناسب (بسته به قله اصلی) به نحوی که برای کاهش محو شدگی، قله اصلی را از بین بردن نبرد، نیز مهم است.

شکل ۵ منحنی های محو شدگی برای نمونه ها با مقادیر مختلف ناخالصی را نشان می دهد. منحنی ها، نمایی مرتبه اول است. نکته قابل توجه این است که با کاهش میزان ناخالصی منحنی سریع تر افت می کند بنحوی که محو شدگی بعد از یک روز برای مقادیر مختلف ناخالصی ۰/۱۱ ، ۰/۱۵ و ۰/۲ به ترتیب ۴/۴ ، ۴/۱ و ۴ درصد و بعد از ۱۰ روز ۳۶ ، ۳۴ و ۳۳ درصد است. یعنی با افزایش ناخالصی ، محو شدگی کاهش می یابد.



شکل ۴: الف) $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ با پخت پس از پرتو دهی در دمای 110°C بمدت ۱۰ دقیقه. ب) $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ با پخت پس از پرتو دهی در دمای 90°C بمدت ۸ دقیقه. ج) $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ با پخت پس از پرتو دهی در دمای 70°C بمدت ۸ دقیقه.



شکل ۵: منحنی محو شدگی بر حسب روز برای $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ با مقادیر مختلف ناخالصی. دز $1/5\text{Gy}$ از چشمه ^{60}Co

نتیجه گیری

منحنی درخشندگی $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ساخته شده به روش شیمیایی در این پژوهش دارای قله اصلی در دمای حدود 167°C است که با قله اصلی 220°C نمونه های ساخت شرکت Harshaw اختلاف دما دارد. حساسیت نمونه TLD با مقدار ناخالصی $0.2\text{mol}\%$ بیشترین حساسیت را از خود نشان می دهد. این بدلیل افزایش مراکز باز ترکیب با افزایش یون Dy می باشد. ضمن اینکه نمونه سولفات کلسیم آلاییده با Dy در مقایسه با نمونه خالص هزاران برابر حساس تر است. منحنی پاسخ دز قرص های $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ساخته شده، مطابق با انتظار تا 4Gy خطی است و میزان ناخالصی Dy در خطی بودن منحنی تأثیری ندارد. محو شدگی این دزیمتر بدلیل پایین بودن دمای قله دزیمتری آن زیاد است (در حدود 34% در مدت ۱۰ روز) در حالی که محو شدگی برای قرص های $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ساخت Harshaw با یک پخت پس از پرتو دهی در دمای 110°C بمدت ۱۰ دقیقه، 5% در شش ماه است.

مرجع ها

- [1] E. L. Tullborg, S. A. Larson, " Dating methods and geochronology of fractures", Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (June 2001) p29.
- [2] S. W. S. McKeever, M. Moscovitch, P. D. Townsend, " Thermoluminescence Dosimetry Materials ", Nuclear Technology Publ., Ashford, Kent (1995)192.
- [3] T. Yamashita, N. Nada, H. Onishi, In: Proc. 2nd Conf. on Luminescence Dosimetry, Gatlinburg, CONF 680920, p. 4 (1968); Health Phys.56, 551 (1986).
- [4] M. G. Guelev, I. T. Mischev, B. Burgkhardt, E. Piesch, RPD.51(1994)35.