J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 49, pp. 57-61, 2009

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۴۹، صفحات ۶۱-۵۷، ۱۳۸۸

Sci. and Tech. note
یادداشت علمی و فنی

بررسی پاسخ دزیمتر ترمولومینسانس $CaSO_4$:Dy به دز پرتو گاما

علی‌رضا معینی[۱]، مهدی غلام‌پور*[۱و۲]، جعفر قیصری[۱]، غضنفر میرجلیلی[۱]، محمدعلی شفائی[۱]، لیلا شکاری[۳]، ارژنگ شاهور[۴]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵، یزد- ایران

۲- گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه افسری امام علی (ع)، صندوق پستی: ۱۳۱۷۸۹۳۴۷۱، تهران- ایران

۳- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۱۷-۱۴۱۱۵، تهران- ایران

۴- آزمایشگاه دزیمتری استاندارد (SSDL)، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۴۹۸-۳۱۴۸۵، کرج- ایران

چکیده: امروزه دزیمتر $CaSO_4$:Dy به طور گسترده در دزیمتری فردی و محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق پاسخ دزیمتر $CaSO_4$:Dy، ساخته شده به روش شیمیایی با غلظت‌های مختلف (۰٫۱۱، ۰٫۱۵ و ۰٫۲ درصد مولی) از ناخالصی دیسپروسیم، به دز پرتو گاما و هم‌چنین تأثیر برنامه‌ی گرمادهی در طول فرایند خواندن TLD، بر روی منحنی درخشش آن مورد بررسی قرار گرفته است. منحنی درخشش دارای دو قله در دماهای ۱۰۰ و $167^{\circ}C$ می‌باشد. قرص‌های ساخته شده از حساسیت بالایی برخوردارند و در مورد نمونه با میزان ناخالصی Dy برابر با ۰٫۲ درصد مولی، حساسیت نسبی ۱۲ می‌باشد. پاسخ دزیمتر تا دز ۳٫۷Gy خطی است و میزان محوشدگی در طول ۱۰ روز ۳۶٪ است.

واژه‌های کلیدی: ناخالصی دیسپروزیوم، دزیمتر ترمولومینسانس (گرمالیان)، منحنی درخشش، محو شدگی، پرتو گاما، حساسیت

Investigation of $CaSO_4$:Dy Thermoluminescence Dosimeter Response to Gamma Ray Doses

A.R. Moini[1], M. Gholampoor*[1,2], J. Gheisari[1], G. Mirjalili[1], M.A. Shafaie[1], L. Shekari[3], A. Shahvar[4]

1- Department of Physics, Faculty of Science, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd – Iran

2- Department of Physics, Faculty of Science, Imam Ali Military University, P.O. Box: 1317893471, Tehran – Iran

3- Department of Physics, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, P.O. Box: 14115-317, Tehran – Iran

4- Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL), Agricultural, Medical and Industrial Researech School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 31485-498, Karaj – Iran

Abstract: $CaSO_4$:Dy thermoluminesconce dosimeter (TLD) is one of the best materials for environmental and personal dosimetry due to its high sensitivity and high dose saturation. In this investigation, the dose response of $CaSO_4$:Dy with three concentrations, 0.11, 0.15 and 0.2 mol% of dysprosium, to ^{60}Co gamma rays doses up to 3.7Gy were studied. The effect of heating program on glow curve was also studied. The glow peaks of $CaSO_4$:Dy were seen at $100^{o}C$ and $167^{o}C$. The pellets have high sensitivity and in the case of sample with 0.2 mol% of dysprosium, the relative sensitivity is 12. The dose response is found to be linear up to 3.7Gy and the fading was approximately about 36% in 10 days.

Keywords: ***Dysprosium Impurity, Thermoluminescent Dosimeter, Glow Curve, Fading, Gamma Ray, Sensitivity***

*email: gholampoor@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۲/۳۱

۱- مقدمه

$CaSO_4$:Dy (TLD-۹۰۰) ماده‌ی بسیار مناسبی برای دزیمتری محیطی در دزهای پایین[۱] و دزهای بالا[۲] می‌باشد. کاربرد روزافزون این دزیمتر در تحقیقات هسته‌ای لزوم ساخت و بررسی خواص آن در کشور را دو چندان می‌سازد. افزایش استفاده از TLD-۹۰۰ در تحقیقات هسته‌ای، در درجه‌ی اول به دلیل حساسیت بالای آن (۳۰ تا ۵۰ برابر حساسیت TLD-۱۰۰ [۱]) است که آن را به مناسب‌ترین دزیمتر برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار پایین دز پرتو تبدیل می‌کند. حتی اندازه‌گیری دز پرتو گاما تا ۲μSv با این دزیمتر گزارش شده است [۲]. وابستگی خطی دز، در یک بازه‌ی گسترده از دز پرتو، و البته ارزان بودن مواد اولیه‌ی این دزیمتر، از دیگر عوامل افزایش بیش از پیش کاربرد آن می‌باشد. این دزیمتر برای اولین بار توسط یاماشیتا [۳] تهیه شد. در این تحقیق، ساخت $CaSO_4$:Dy به روش شیمیایی، و هم‌چنین منحنی درخشش و برخی خواص آن مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی تأثیر میزان ناخالصی Dy در خواص آن، نیز از اهداف این تحقیق بوده است.

۲- روش کار

برای ساخت قرص $CaSO_4$:Dy، ابتدا پودر $CaSO_4$ به همراه پودر Dy_2O_3 در سولفوریک اسید ۳۰۰°C حل شد. نزدیکی به دمای تبخیر سولفوریک اسید و افزایش میزان انحلال مواد در آن از دلایل انتخاب دمای ۳۰۰°C می‌باشد. در این مرحله هدف وارد نمودن ناخالصی Dy به صورت Dy^{3+} به عنوان آلاینده[۳] در شبکه‌ی بلوری $CaSO_4$ بود. سپس محلول، تا تبخیر کامل اسید حرارت داده شد. به‌هم‌زدن مایع در خلال تبخیر جهت حصول نتیجه‌ی بهتر ضروری بود، زیرا در حین تبخیر، غلظت مواد محلول در سولفوریک اسید از انحلال‌پذیری آن‌ها فراتر رفته و مواد به تدریج ته‌نشین می‌شوند. بنابراین با به‌هم‌زدن مداوم، مواد ته‌نشین شده مخلوطی یکنواخت از دو ماده‌ی $CaSO_4$ و Dy_2O_3 می‌باشد. محصول، پودر قهوه‌ای رنگ $CaSO_4$:Dy با دانه‌هایی در اندازه‌های مختلف است. بدون انتخاب اندازه‌ای خاص از دانه‌ها، اقدام به ساخت قرص شد. پودر تحت نیروی ۰/۵ تن، با استفاده از پرس دستی، به قرص‌هایی به قطر 6mm تبدیل شد.

برای آلاییدن شبکه‌ی بلوری $CaSO_4$ با Dy قرص‌های حاصل به مدت یک ساعت در دمای ۷۰۰°C [۴] گرمادهی شدند (پخت اولیه). در این مرحله تقریباً ۲۰٪ از ماده تبخیر شد و اندازه‌ی قطر قرص‌ها به 5mm، ضخامت آن‌ها به 0/7mm و وزن آن‌ها به 54mg کاهش یافت. کاهش وزن ناشی از تبخیر رطوبت و خروج اکسیژن است. چشمه‌ی گاما مورد استفاده در این تحقیق، ^{60}Co مدل PikerV9 با آهنگ دز $0/37 Gy\ min^{-1}$ می‌باشد. قرص‌ها به وسیله‌ی TLDخوان مجارستانی (۱۹۸۶) خوانده شدند. پس از هر بار پرتودهی و خواندن، قرص‌ها مطابق با دستورالعمل‌های رایج به مدت یک ساعت در دمای ۴۰۰°C بازپخت شدند.

پخت اولیه (به مدت یک ساعت در دمای ۷۰۰°C) باعث یک کاهش ۲۰ درصدی در وزن قرص‌ها شد. بررسی انجام شده (جدول ۱)، نشان داد که میزان این کاهش وزن در گستره‌ی دمایی از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰°C مستقل از دمای گرمادهی است. مقایسه‌ی درصدهای وزنی عناصر در ماده‌ی میزبان قبل و بعد از گرمادهی (جدول ۲) به همراه داده‌های جدول ۱، تبخیر رطوبت و خروج اکسیژن را اصلی‌ترین عامل کاهش وزن نشان می‌دهد.

جدول ۱- میزان کاهش وزن $CaSO_4$:Dy بعد از اولین گرمادهی.

دمای گرمادهی (°C)	زمان گرمادهی (h)	میزان کاهش وزن (٪)
۳۰۰	۱	۱۸/۸
۳۰۰	۳	۱۹/۶
۴۰۰	۱	۱۹
۴۰۰	۲	۱۹/۶
۶۰۰	۲	۲۰
۷۰۰	۱	۱۹/۵
۸۰۰	۱	۱۹/۵
۱۰۰۰	۱	۲۰

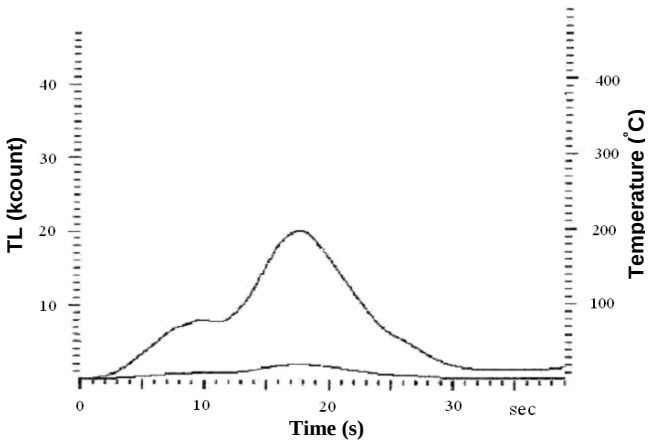
جدول ۲- درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی $CaSO_4$ قبل و بعد از اولین گرمادهی در دمای ۷۰۰°C.

عنصر تشکیل‌دهنده‌ی $CaSO_4$	Ca	S	O
درصد وزنی قبل از گرمادهی	۲۹/۵	۲۳/۵	۴۷
درصد وزنی بعد از گرمادهی	۳۱	۲۶	۴۳

۳- نتایج

۳-۱ منحنی‌های درخشش

منحنی‌های درخشش برای همه‌ی نمونه‌ها، مشابه و دارای ۲ قله در دماهای ۱۰۰ و ۱۶۷°C هستند (شکل ۱). شکل ۲ تأثیر برنامه‌ی گرمادهی در هنگام خواندن TLD، بر دما و شکل قله‌ها را نشان می‌دهد هر چند که آهنگ گرمادهی تأثیری بر سطح زیر منحنی درخشش ندارد.



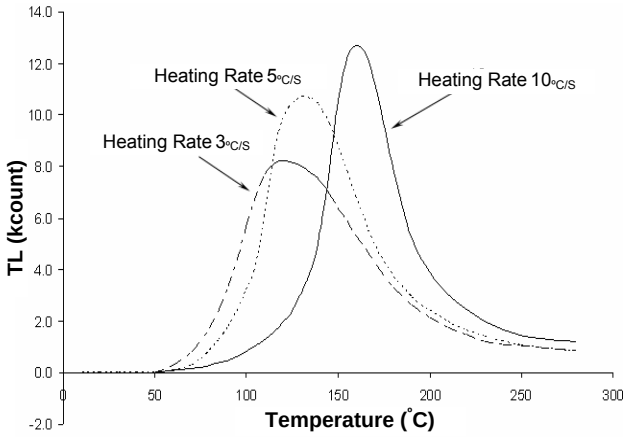
شکل ۱- منحنی درخشش $CaSO_4$:Dy با ناخالصی Dy درصد مولی ۰٫۱۱.

۳-۲ پاسخ دز

منحنی پاسخ دز $CaSO_4$:Dy (شکل ۳)، در دزهای زیر ۴Gy، با حداکثر خطای ۷٫۶ درصد در دز ۱٫۸۵Gy، تقریباً خطی است.

۳-۳ حساسیت

حساسیت به صورت سطح زیر منحنی درخشش تقسیم بر دز واقعی تعریف می‌شود. طبق این تعریف، مقدار به دست آمده برای حساسیت به سیستم TLDخوان بستگی دارد. برای در دست داشتن معیاری تقریباً مستقل از سیستم TLDخوان، از حساسیت نسبی، تعریف شده به صورت نسبت حساسیت TLD مورد نظر به حساسیت TLD-۱۰۰، استفاده می‌شود. حساسیت نمونه‌ی خالص $CaSO_4$ و نمونه‌های $CaSO_4$:Dy با ناخالصی‌های ۰٫۱۱، ۰٫۱۵ و ۰٫۲ درصد مولی دیسپروسیم در دز ۱Gy در جدول ۳ آورده شده است. کاهش حساسیت با افزایش دمای پخت پس از پرتودهی در شکل ۴ نشان داده شده است.



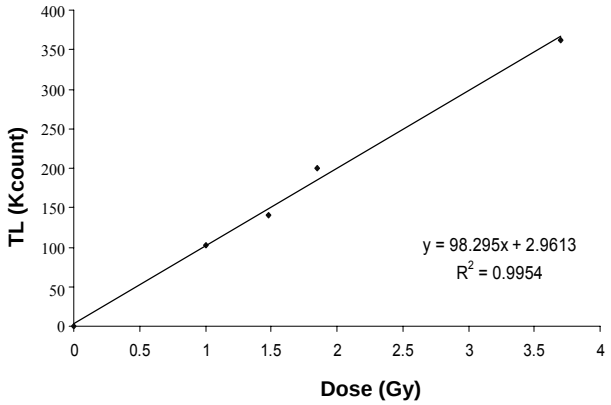
شکل ۲- تغییرات منحنی درخشش $CaSO_4$:Dy با آهنگ گرمادهی.

۳-۴ محوشدگی

انتظار می‌رود محوشدگی، برای دزیمتر ساخته شده با قله‌ی اصلی در دمای ۱۶۷°C، زیاد باشد زیرا محوشدگی طبق فرمول زیر به دمای قله‌ی اصلی وابسته است

$$p(T)=s(T)\exp(-E/kT) \qquad (۱)$$

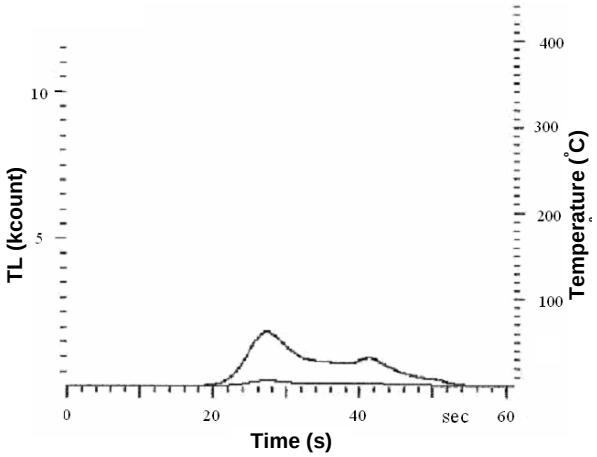
که در آن، p(T) احتمال آزاد شدن انرژی ذخیره شده در TLD، s(T) ضریب بسامد[۴] وابسته به زمان، k ثابت بولتزمن و T دمای ماده است. E گاف انرژی ترازهای نیمه پایدار



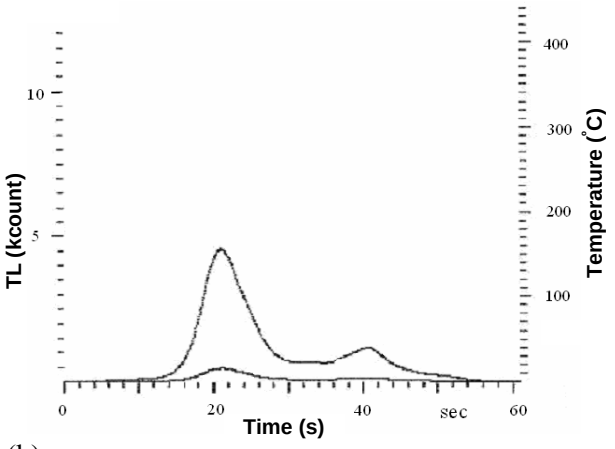
شکل ۳- منحنی پاسخ دز $CaSO_4$:Dy تا دز ۴Gy.

جدول ۳- حساسیت و حساسیت نسبی $CaSO_4$ با و بدون ناخالصی Dy. TLD-۱۰۰ مورد استفاده، ساخت شرکت هارشاو[۶] می‌باشد.

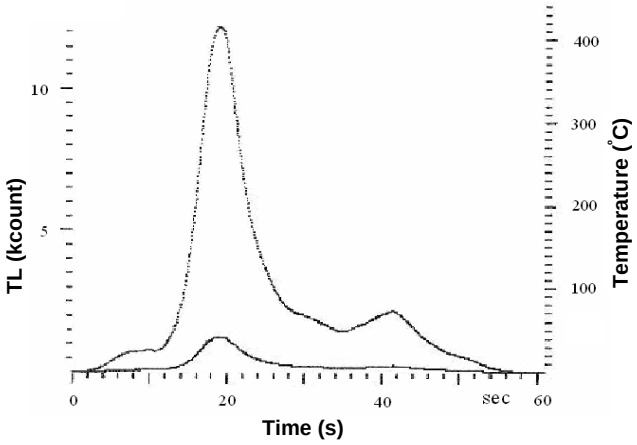
میزان ناخالصی Dy (درصد مولی)	TLD-100	۰	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۲
حساسیت	۱۷۰۰۰	۸۹	۵۳۱۶۳	۱۲۶۹۱۰	۲۰۳۷۸۷
حساسیت نسبی	۱	$۵٫۲\times۱۰^{-۳}$	۳٫۱۳	۷٫۴۶	۱۲



(a)



(b)

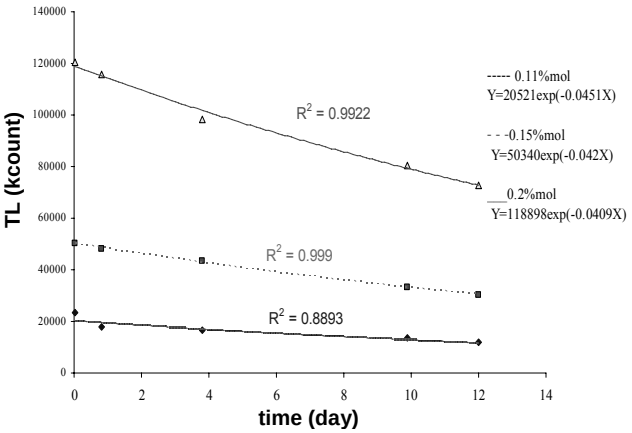


(c)

شکل ۴- پخت $CaSO_4$:Dy پس از پرتوگیری؛ a) در دمای $110^{\circ}C$ و به مدت ۱۰ دقیقه؛ b) در دمای $90^{\circ}C$ و به مدت ۸ دقیقه؛ c) در دمای $70^{\circ}C$ و به مدت ۸ دقیقه.

است (محل گیراندازی الکترون بعد از دریافت پرتو). مطابق رابطه‌ی ۱ احتمال آزاد شدن انرژی یعنی، تخلیه‌ی TLD، به دمای قله‌ی اصلی ارتباط پیدا می‌کند زیرا دمای آن، معیاری از گاف انرژی است و هر اندازه اختلاف بین این دما و دمای محیط کم باشد، احتمال تخلیه‌ی انرژی ذخیره شده در TLD، به همان اندازه زیاد می‌شود. در نتیجه، فرایند پخت پس از پرتودهی[۵] در هر دمایی که انجام شود باعث کاهش ارتفاع قله‌ی اصلی می‌شود. پی‌آمد این امر کاهش حساسیت دزیمتر است. لذا، انتخاب یک دمای مناسب برای باز پخت پس از پرتودهی (بسته به دمای قله‌ی اصلی) به نحوی که هم کم‌ترین آسیب به قله‌ی اصلی برسد و هم محو شدگی دزیمتر در دمای اتاق کمینه شود، بسیار مهم است.

شکل ۵ منحنی‌های محوشدگی $CaSO_4$:Dy با زمان را برای مقادیر مختلف ناخالصی Dy نشان می‌دهد. منحنی‌ها، نمایی مرتبه‌ی اول هستند. نکته‌ی قابل توجه این است که با کاهش میزان ناخالصی منحنی سریع‌تر افت می‌کند به نحوی که محوشدگی برای مقادیر ۰٫۱۱، ۰٫۱۵ و ۰٫۲ درصد مولی از ناخالصی Dy، بعد از یک روز، به ترتیب، برابر ۴٫۴، ۴٫۱ و ۴ درصد و بعد از ۱۰ روز، به ترتیب، برابر ۳۶، ۳۴ و ۳۳ درصد است. یعنی با افزایش ناخالصی، محوشدگی کاهش می‌یابد که یک نتیجه‌ی مورد انتظار است زیرا افزایش ناخالصی در شبکه‌ی بلور میزبان، باعث افزایش تعداد گاف‌های انرژی با انرژی نزدیک به انرژی‌ای می‌گردد که هنگام خواندن TLD، قله‌ی اصلی منحنی درخشش دزیمتر را تشکیل می‌دهد.



شکل ۵- تغییرات محوشدگی با زمان برای $CaSO_4$:Dy با مقادیر مختلف ناخالصی Dy به دنبال پرتوگیری تا دز ۱٫۵Gy از چشمه گامای ^{60}Co.

۴- نتیجه‌گیری

منحنی درخشش نمونه‌ی دزیمتر $CaSO_4$:Dy ساخته شده به روش شیمیایی در این پژوهش دارای قله‌ی اصلی در دمای حدود ۱۶۷°C است که با قله‌ی اصلی در دمای ۲۲۰°C برای نمونه‌های ساخت شده توسط شرکت هارشاو اختلاف دارد. حساسیت نمونه‌ی TLD با ناخالصی Dy با مقدار ۰٫۲ درصد مولی بیش‌ترین مقدار را دارد. این، به دلیل افزایش مراکز بازترکیب بر اثر افزایش ناخالصی Dy می‌باشد، ضمن این که نمونه‌ی سولفات‌کلسیم آلاییده شده با Dy در مقایسه با نمونه‌ی خالص، هزاران برابر حساس‌تر است. منحنی پاسخ دز قرص‌های $CaSO_4$:Dy ساخته شده، همان‌طور که انتظار می‌رود تا دز ۴Gy خطی است و میزان ناخالصی Dy در خطی بودن آن تأثیری ندارد. محوشدگی این دزیمتر به دلیل پایین بودن دمای قله‌ی اصلی آن زیاد است (در حدود ۳۴٪ در مدت ۱۰ روز)، در حالی که مقدار آن برای قرص‌های $CaSO_4$:Dy ساخت هارشاو با یک پخت پس از پرتوگیری در دمای ۱۱۰°C به مدت ۱۰ دقیقه، ۵٪ در خلال شش ماه است [۱]. هر چند این میزان محوشدگی استفاده از این دزیمتر را برای دزیمتری‌های طولانی مدت محدود می‌سازد، با این وجود برای اندازه‌گیری دزهای بسیار زیاد (در حد kGy) که معمولاً در مقطع‌های زمانی کوتاه انجام می‌شوند، بسیار کارآمد است.

پی‌نوشت‌ها:

۱- در حدود μSv که بسیار کم‌تر از دزهای زمینه‌ی محیط است.

۲- تا حدود ۱۰۰kGy برای کاربردهای استریلیزاسیون.

۳- Doping

۴- Frequency Factor

۵- Post Irradiation Annealing

۶- Harshaw

References:

1. S.W.S. McKeever, M. Moscovitch, P.D. Townsend, "Thermoluminescence dosimetry materials," Nuclear Technology Publ, Ashford, Kent 192 (1995).

2. T. yamashita, N. Nada, H. Onishi, In: Porc, "2nd Conf. on luminescence dosimetry," Gatlinburg, CONF 680920, p. 4 (1968); Health Phys. **56**, 551 (1986).

3. M.G. Guelev, I.T. Mischev, B. Burgkhardt, E. Piesch Radiation Protection Dosimetry, 51-35 (1994).

4. R. Abubakar, S. Untung, M. Oberhofer, Radiation Protection Dosimetry **33**, 95 (1990).