J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 51, pp. 77-82, 2010

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۵۱، صفحات ۸۲-۷۷، ۱۳۸۹

Sci. and Tech. note
یادداشت علمی و فنی

ساخت دزیمتر ترمولومینسانس کلسیم فلورید و بررسی تأثیر ناخالصی Dy بر خواص دزیمتری آن

مهدی غلام‌پور*[۱و۲]، جعفر قیصری[۱]، غضنفر میرجلیلی[۱و۳]، محمدعلی شفائی[۱]، لیلا شکاری[۴]، علی‌رضا معینی[۱]، ارژنگ شاهور[۵]

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

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

۳- پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۸۹-۸۹۱۷۵، تفت- ایران

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

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

چکیده: در این کار تحقیقاتی، نمونه‌های کلسیم فلورید، به شکل قرص، تحت تابش گامای چشمه‌ی کبالت قرار داده شد و بلافاصله شدت نوردهی توسط دستگاه TLDخوان تعیین گردید. قله‌های منحنی درخشش در دماهای تقریباً برابر ۱۳۵، ۱۷۰، ۲۶۰ و ۳۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مشاهده شد. قله‌ی اصلی در دمای ۲۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار دارد. در این پژوهش حساسیت کلسیم فلورید خالص و تأثیر ناخالصی دیسپروسیم (Dy) بر آن بررسی و با مقدار ۲ درصد مولی دیسپروسیم بیش‌ترین میزان حساسیت مشاهده شد. حساسیت این دزیمتر حدود ۵ برابر TLD-۱۰۰ است که با افزودن ناخالصی دیسپروسیم به حدود ۱۸ برابر رسید. میزان محوشدگی در دمای اتاق در طول یک روز، دو روز و ۵۰۰ ساعت، به ترتیب، ۱۳، ۳۶ و ۵۰ درصد تعیین گردید. پس از ۱۰ بار تکرار پرتودهی، و متعاقب آن انجام عملیات خواندن و بازپخت تحت شرایط معین، تکرارپذیری این دزیمتر مورد تأیید قرار گرفت.

***واژه‌های کلیدی:* کلسیم فلورید، دزیمتر ترمولومینسانس، دیسپروسیم، منحنی درخشندگی، حساسیت، محوشدگی**

Preparation of CaF_2 Thermoluminescence Dosimeter and Investigating of the Influence of Dy Impurity in it's Dosimetric Properties

M. Gholampoor*[1,2], J. Gheisari[1], Gh. Mirjalili[1,3], M.A. Shafaie[1], L. Shekari[4], A.R. Moini[1], A. Shahvar[5]

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, Postcod: 1317893471, Tehran-Iran

3- Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 89175-389, Taft-Iran

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

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

Abstract: In this study, CaF_2 pellet samples were prepared and its thermoluminescence (TL) properties were investigated after gamma irradiation. The TL glow curve of the CaF_2 pellet has four peaks at around 135, 170, 260 and 370°C for the heating rate of 10°C/S. The main peak occurs at 260°C. The sensivity of CaF_2 and Dy doped CaF_2 were examined. The observed TL sensivity of the prepared CaF_2 pellet is abut five times than that of TLD-100. The sensivity of the Dy doped CaF_2 is approximately 18 times higher than that of TLD-100. The fading is approximately 13% in one day, 36% in two days and 50% in 500 hours. These examinations repeated for 10 times and all the results were found to be consistant. These properties make the CaF_2 pellets a useful can dilate for γ-ray irradiation dosimetry applications.

***Keywords:* Calcium Fluoride, Thermoluminescence Dosimeter, Dy, Glow Curve, Sensitivity, Fading**

*email: mahdi.gholampoor@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۷/۲۷

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

نوردهی بر اثر تحریک گرمایی (ترمولومینسانس) مبحث بسیار گسترده‌ای در دزیمتری پرتوها به شمار می‌رود.

میزان دز جذبی پرتو از طریق شدت نور گسیل شده بر اثر تحریک گرمایی ماده اندازه‌گیری می‌شود. مواد مختلفی دارای این ویژگی هستند، یکی از این مواد کلسیم فلورید است. ماده‌ی ترمولومینسانس کلسیم فلورید به صورت طبیعی در طبیعت یافت می‌شود و بعد از فرایندهایی به صورت پودر خالص قابل تهیه است. مطالعاتی در مورد ماده‌ی ترمولومینسانس کلسیم فلورید طبیعی انجام شده است.

موضوع اصلی این تحقیق، ساخت دزیمتر ترمولومینسانس کلسیم فلورید و بررسی قله‌های منحنی درخشش[۱] آن است.

خصوصیات کلسیم فلورید طبیعی به عنوان دزیمتر از قبیل محوشدگی[۲]، قله‌های منحنی درخشش آن، بازپخت[۳]، پاسخ دز[۴] به پرتوگاما توسط مک‌کیور، موسکویچ و تاوسند (۱۹۹۵) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۱].

خواص دزیمتری کلسیم فلورید با نسبت درصد فلوئور به کلسیم ۴۸/۶۷ :۵۱/۳۳ توسط وینکیر بررسی و نشان داده شده است که با تغییر درصد ترکیب کلسیم و فلوئور نتایج متفاوتی از خواص دزیمتری حاصل می‌شود. تغییرات پاسخ دز در الکترون‌ها و طول موج‌های گسیلی و منحنی درخشش کلسیم فلورید طبیعی معدن‌های مادرید اسپانیا توسط منریک و آنگولو (۲۰۰۹) بررسی شده است [۳]. در این پژوهش قله‌های درخشش متفاوتی در پاسخ دز کلسیم فلورید برای الکترون‌ها مشاهده شده است. مقایسه‌ی خاصیت دزیمتری محیطی و فردی CaF_2:NaCl و TLD-۱۰۰ و وابستگی شدت نور گسیلیده به انرژی فوتون تابشی توسط جیومارس (۲۰۰۳) انجام شده است [۴]. روی خاصیت نوردهی این ماده‌ی طبیعی و پیچیده بودن فرایند محوشدگی تحقیقاتی توسط اگاندار (۲۰۰۴) انجام شده است [۵].

۲- مواد و روش‌ها

پودر کلسیم فلورید و دیسپروسیم مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک تهیه شد. Dy با درصدهای مختلف به صورت فیزیکی با کلسیم فلورید ترکیب گردید. با طراحی و تهیه‌ی یک قالب از جنس فولاد خشکاین، ماده‌ها توسط دستگاه پرس سرد، که تا فشار ۱۵ تن قابل تنظیم بود، به قرص تبدیل شدند. قطر قرص‌های تهیه شده ۶ میلی‌متر (شکل ۱)، ضخامت آن‌ها ۰/۹ میلی‌متر و وزن آن‌ها ۰/۰۵۵ گرم بود.

آنالیز قرص‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل XL30 ساخت شرکت فیلیپس هلند انجام شد. قرص‌های تهیه شده در دماهای مختلف در کوره قرار گرفته و سخت شدن[۵] قرص‌ها بررسی شد.

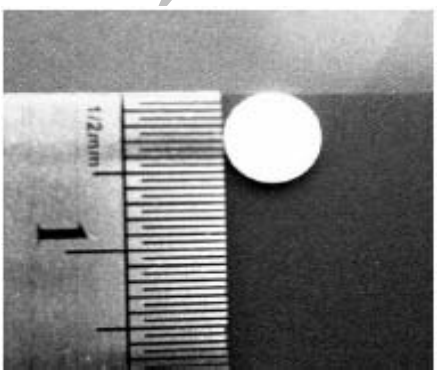
کوره‌ی ۲ لیتری استفاده شده در این پژوهش، از قابلیت افزایش دما تا ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و آهنگ گرمایش از ۲۰ تا ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر ثانیه برخوردار بود. حداکثر میزان خطا در اندازه‌گیری دما ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.

در مرحله‌ی بعدی قرص‌های حرارت دیده، تا دز ۰/۳۷ گری در معرض پرتو گامای چشمه‌ی ^{60}Co قرار گرفتند. سپس قرص‌ها توسط TLDخوان مجارستانی قابل کنترل از طریق کامپیوتر خوانده شدند. قسمت ثبت منحنی درخشش با آهنگ کاهش ۱ تا ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برثانیه قابل برنامه‌ریزی بود.

TLDخوان قابلیت خواندن نمونه‌های به شکل قرص، میله‌ای و پودر را داشت. پس از خواندن، بازپخت قرص‌ها به منظور استفاده‌ی مجدد آن‌ها، در کوره انجام شد.

۳- نتایج و بحث

درصد وزنی فلوئور به کلسیم در قرص‌ها ۴۰/۲۳ :۵۷/۳۷ بود که مجموعاً ۹۷/۶ درصد وزن ماده است (جدول ۱). درصد اتمی فلوئور به کلسیم ۵۹/۱۵ :۳۹/۰۴ بود که مجموعاً ۹۸/۱۹ درصد اتم‌های ماده می‌باشد. دیگر عناصر موجود در ماده شامل درصد کمی از سدیم، مس، آلومینیم و پتاسیم بود. جدول ۱ میزان این ناخالصی‌ها را ارایه می‌دهد. ماده‌ی مورد تحقیق فاقد آهن و سریم بود، در صورتی که در یک گرم از کلسیم فلورید طبیعی صدها میکروگرم از این دو ماده وجود دارد [۲].



شکل ۱- قرص CaF_2 تهیه شده.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱- درصد وزنی و اتمی ماده‌ی مورد تحقیق.

عناصر	درصد وزنی	درصد اتمی
F	۴۰٫۲۳	۵۹٫۱۵
Ca	۵۷٫۳۷	۳۹٫۰۴
Na	۰٫۶۱	۰٫۴۱
Sr	۰٫۳۰	۰٫۰۹
Cr	۰٫۱۱	۰٫۰۶
Al	۰٫۹۹	۱٫۰۲
Cu	۰٫۳۸	۰٫۲۲

میزان تبخیر در دماهای مختلف بررسی شد. در دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد میزان تبخیر در حدود ۰٫۰۳ درصد و قابل چشم‌پوشی بود (جدول ۲). بهترین دما و مدت زمان لازم برای سینترشدن، به ترتیب، ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۲ ساعت بود.

قرص‌ها به مدت ۴ دقیقه یعنی تا دز تقریباً برابر ۱٫۵Gy تحت پرتو گاما قرار گرفتند و بلافاصله با TLDخوان از قبل تنظیم شده، خوانده شدند. تنظیم TLDخوان به صورت زیر انجام شد: پیش‌گرمایش به مدت ۱۰ ثانیه در ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، گرمایش با آهنگ ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر ثانیه تا ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، سپس گرمایش به مدت ۱۰ ثانیه در ۴۰۰ درجه، و با آهنگ سرمایش ۱۰ درجه بر ثانیه.

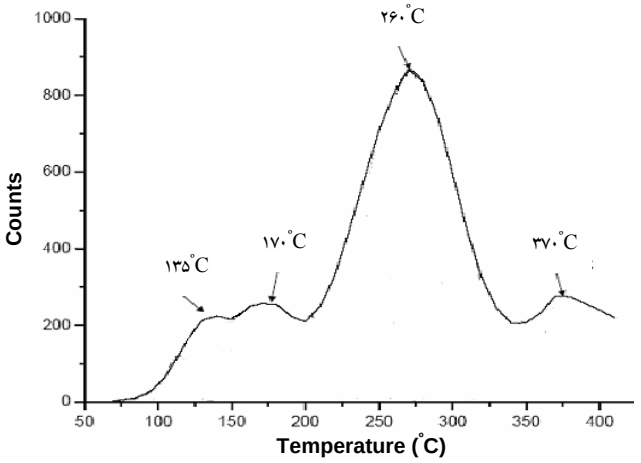
قله‌های منحنی درخشش مشاهده شده برای کلسیم فلوراید تقریباً در دماهای ۱۳۵، ۱۷۰، ۲۶۰ و ۳۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داشتند. سه قله‌ی اول برای کلسیم فلوراید طبیعی را نیارکو و همکارانش [۳]، به ترتیب، در دماهای ۱۱۵، ۲۰۵، ۳۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، و سامودرالوار و همکارانش [۱]، به ترتیب، در دماهای ۱۱۰، ۲۰۰ و ۳۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گزارش کرده‌اند. قله‌ی اصلی ماده‌ی مورد بررسی در ۲۶۰°C قرار دارد که این توسط جاهد خانیکی نیز گزارش شده است [۴] (شکل ۲). از مقایسه‌ی این نتایج، تفاوت کلسیم فلوراید مورد مطالعه با کلسیم فلوراید طبیعی مشخص می‌شود و می‌توان وجود ناخالصی در کلسیم فلوراید طبیعی (آهن و سریم) را دلیل بالاتر رفتن قله‌ی اصلی در منحنی درخشش کلسیم فلوراید طبیعی دانست. البته نداشتن شرایط آزمایشگاهی کاملاً استاندارد بی‌تأثیر نیست.

حساسیت S برابر است با سطح زیر نمودار ارایه شده توسط TLDخوان تقسیم بر دز تابشی داده شده برای کلسیم فلوراید. (دستگاه TLDخوان سطح زیر نمودار را با تعداد شمارش، counts، نشان می‌دهد):

$$S = \frac{\text{Counts}}{\text{Dose}} = \frac{25071}{1.5} = 16714 \qquad (۱)$$

جدول ۲- تأثیر دما و آهنگ گرمایش بر میزان کاهش وزن.

کاهش وزن (درصد)	آهنگ گرم شدن (°C/min)	دما (سانتی‌گراد)	مدت زمان (ساعت)
۰٫۰۲	۴۰	۹۰۰	۲
۰٫۰۲۶	۵۰	۹۰۰	۱
۰٫۰۲۸	۵۰	۹۰۰	۱
۰٫۰۱۱	۵۰	۷۰۰	۱
۰٫۰۰۷	۳۰	۷۰۰	۱



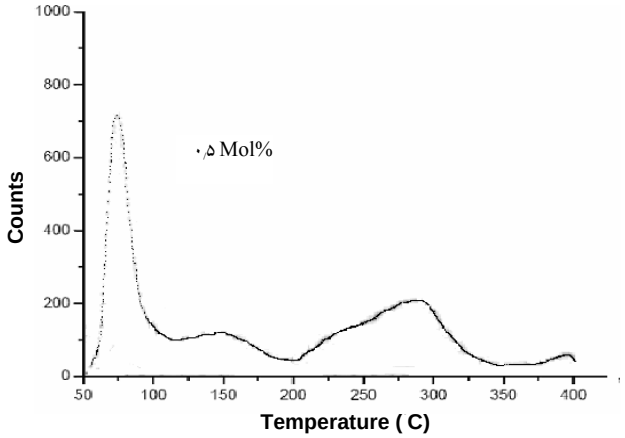
شکل ۲- منحنی درخشش نمونه‌ی کلسیم فلوراید خالص به دست آمده، با استفاده از دستگاه TLDخوان. قله‌ی اصلی تقریباً در دمای ۲۶۰°C قرار دارد. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S].

حساسیت دزیمتر کلسیم فلوراید مورد بررسی حدود ۵ برابر TLD-۱۰۰ است.

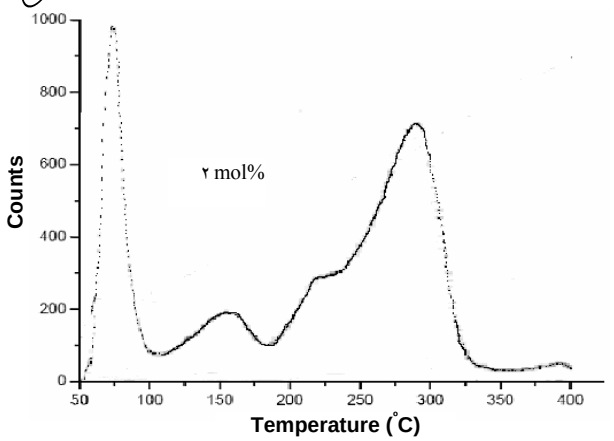
هم‌زمان با مراحل بالا، Dy با کلسیم فلوراید ترکیب و تحت همان شرایط، قرص‌هایی ساخته شده و در معرض پرتو قرار داده شدند. همان‌طور که شکل‌های ۳ تا ۸ و جدول ۳ نشان می‌دهند با تغییر درصد مولی دیسپروسیم از ۰٫۵ تا ۲ حساسیت قرص‌ها افزایش یافته و در ۲ درصد مولی به بیشینه مقدار خود می‌رسد و سپس با افزایش درصد مولی دیسپروسیم به ۲٫۵ و ۳ به شدت کاهش می‌یابد، به طوری که، در شکل ۹ به خوبی مشاهده می‌شود با ۱۳ درصد مولی از دیسپروسیم شدت نوردهی کم‌تر از شدت نوردهی برای کلسیم فلوراید خالص است.

میزان حساسیت برای کلسیم فلوراید ترکیب شده با ۲ درصد مولی از Dy حدود ۱۸ برابر TLD-۱۰۰ است (جدول ۳).

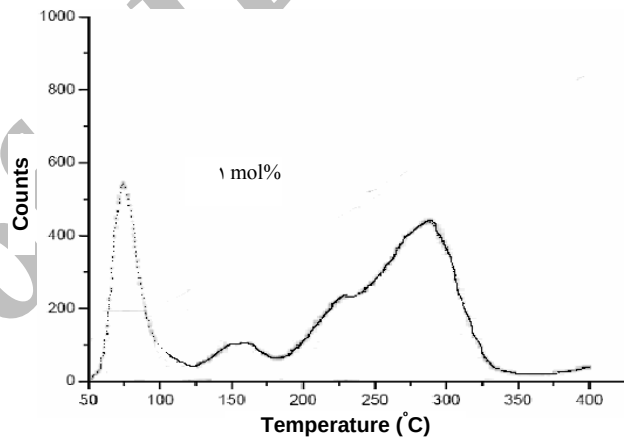
Archive of SID
www.SID.ir



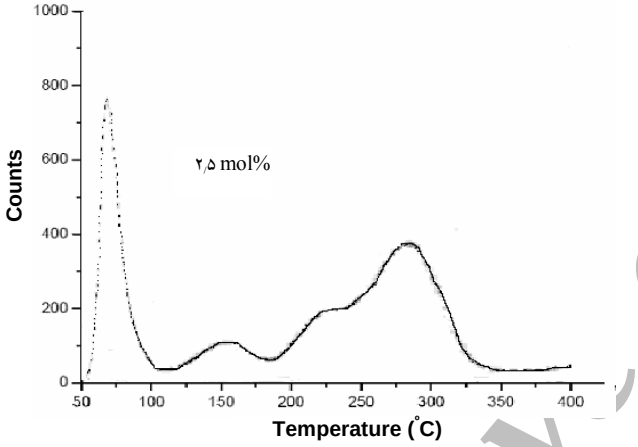
شکل ۳- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۰٫۵ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. قله‌ها تقریباً در ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C مشاهده شده‌اند. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].



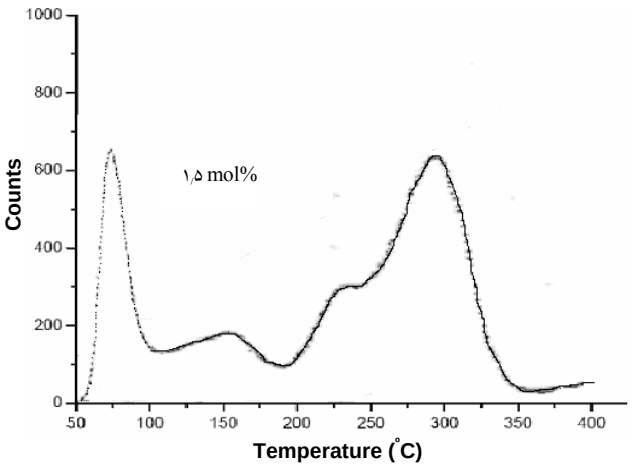
شکل ۶- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۲ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. قله‌ها تقریباً در دماهای ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C مشاهده می‌شوند. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].



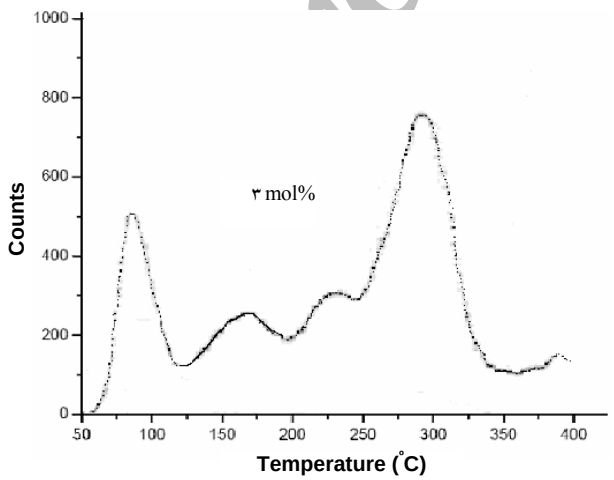
شکل ۴- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۱ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. قله‌ها تقریباً در ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C مشاهده شده‌اند. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].



شکل ۷- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۲٫۵ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. دماهای نظیر قله‌ها عبارت‌اند از تقریباً ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].



شکل ۵- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۱٫۵ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. قله‌ها تقریباً با دماهای ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C متناظراند. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].

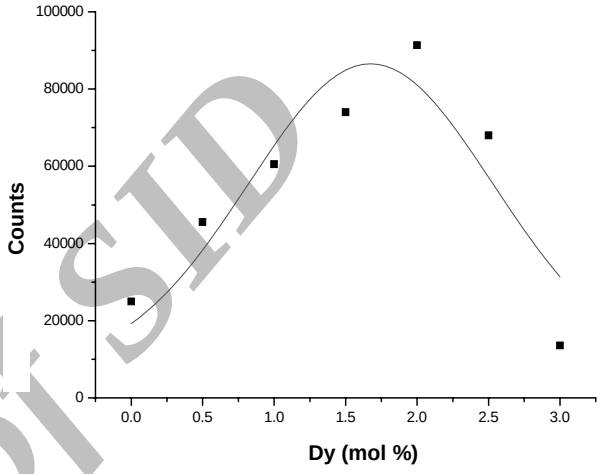


شکل ۸- منحنی درخشش ترکیب کلسیم فلورید با ۳ درصد مولی از Dy، به دست آمده با استفاده از دستگاه TLDخوان. دماهای متناظر با قله‌ها تقریباً ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵°C می‌باشند. [آهنگ گرمایش ۱۰°C/S، ۱۰ ثانیه در ۱۰۰°C].

www.SID.ir

جدول ۳- حساسیت کلسیم فلورید ترکیب شده با Dy.

حساسیت نسبت به TLD-100 برای پرتو گاما (γ)	حساسیت (S)	سطح زیر منحنی درخشش (Count)	Dose (Gy)	درصد Dy ترکیب
~ ۹ برابر	۳۰۳۴۷	۴۵۵۲۱	۱،۵	۰،۵
~ ۱۲ برابر	۴۰۳۶۷	۶۰۵۵۱	۱،۵	۱
~ ۱۴،۷ برابر	۴۹۳۴۷	۷۴۰۲۱	۱،۵	۱،۵
~ ۱۸،۲ برابر	۶۰۸۹۴	۹۱۳۴۲	۱،۵	۲
~ ۱۳،۵ برابر	۴۵۳۴۵	۶۸۰۱۸	۱،۵	۲،۵
~ ۲،۷ برابر	۹۰۴۷	۱۳۵۷۱	۱،۵	۳

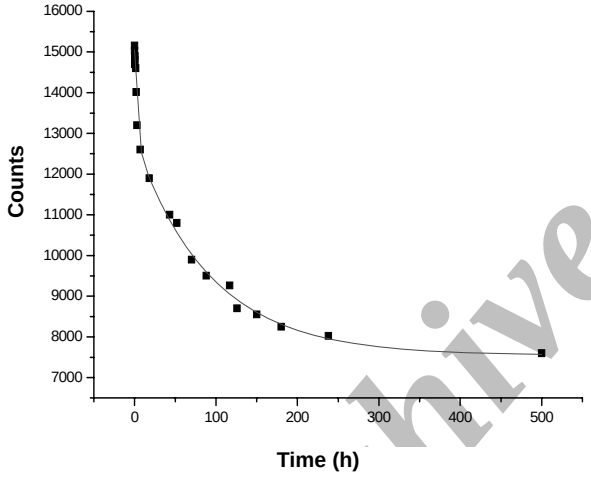


شکل ۹- تغییر شدت نوردهی با تغییر غلظت Dy.

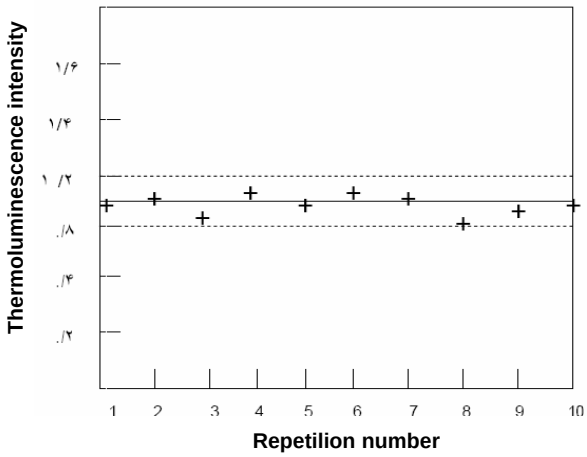
با توجه به منحنی‌های درخشش حاصل از ترکیب‌های مختلف کلسیم فلورید با درصدهای مختلف Dy (شکل‌های ۳ تا ۸)، قله‌های منحنی درخشش در دماهای ۱۵۵، ۲۲۵ و ۲۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار دارند. ارتفاع قله‌ها با مقدار Dy موجود در ترکیب تغییر می‌کند. ترکیب با ۲ درصد مولی از Dy بلندترین قله‌ها را در میان ترکیب‌های مختلف دارا است.

قرص‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند تا صفر شوند یعنی، آثار تابش در آن‌ها از بین برود. قرص‌ها سپس در دمای اتاق (۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) قرار داده شدند تا سرد شوند. دوباره در همان شرایط قرص‌ها تحت پرتو قرار گرفتند. این بار حدود ۲ دقیقه بعد، عملیات خواندن انجام شد. این مراحل تا ۵۰۰ ساعت در تاریکی تکرار شدند و مشاهده گردید که در زمان‌های اولیه، محوشدگی گرمایی (در دمای ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) خیلی سریع رخ می‌دهد و کم‌کم به حالت تقریباً پایداری می‌رسد (شکل ۱۰). این محوشدگی گرمایی سریع در زمان‌های اولیه از ناپایدار بودن قله‌ی اول ($135^{\circ}C$) ناشی می‌شود. بعد از محو شدن این قله، شدت نوردهی کم‌تر کاهش می‌یابد تا این‌که قله‌ی $260^{\circ}C$ به حالت تقریباً ثابتی می‌رسد. محوشدگی گرمایی منحنی درخشش کلسیم فلورید به این صورت رخ داد: ۱۳٪ در طول یک روز، ۳۶٪ در طول دو روز و ۵۰٪ در خلال ۵۰۰ ساعت. محوشدگی نوری برای این دزیمتر تحت نور مستقیم افزایش یافت. محوشدگی مشاهده شده تحت نور فلوئورسان اتاق در طول یک روز ۳۰٪ و در طول دو روز ۴۷٪ بوده است.

منظور از تکرارپذیری خاصیت دزیمتری این است که ماده‌ی دزیمتر بر اثر پرتودهی و بازپخت‌های مکرر، دچار افت حساسیت نگردد. برای بررسی، عملیات پخت چندین مرتبه روی ماده انجام و رابطه‌ی پاسخ دز با توجه به دز دریافتی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد، اگر حساسیت نسبی آن تغییر نکرد ماده دارای خاصیت تکرارپذیری است. این عملیات بر روی نمونه‌ای انجام شد که نتایج حاصل از آن در شکل ۱۱ آمده است.



شکل ۱۰- محوشدگی کلسیم فلورید خالص با زمان.



شکل ۱۱- تغییرات شدت نوردهی به صورت تابعی از عملیات پخت تکراری (انحراف میانگین ۸٪ است).

Archive of SID
www.SID.ir

۴- نتیجه‌گیری

با مشاهده‌ی قله‌های منحنی درخشش کلسیم فلورید (شکل ۲) در دماهای ۱۳۵، ۱۷۰، ۲۶۰ و ۳۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، نتیجه می‌شود که تغییر در درصد ترکیب فلوئور و کلسیم باعث تغییر در دمای نظیر قله‌ها شده است. نبود بعضی از ناخالصی‌ها مثل آهن و سریم ممکن است دلیل دیگر پایین آمدن دمای نظیر قله باشد. همان‌طور که در شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می‌شود ترکیب دارای ۲ درصد مولی Dy، بیش‌ترین حساسیت و شدت نوردهی را دارد. نمودار محوشدگی با زمان در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که شدت نوردهی با زمان به سرعت کاهش می‌یابد. حساسیت نسبت به TLD-۱۰۰ بالا است و می‌توان با درجه‌بندی این دزیمتر، مقادیر دز پایین (در حد میلی‌گری) را نیز اندازه‌گیری نمود. با توجه به برخورداری این دزیمتر از خاصیت تکرارپذیری، می‌توان به دفعات از آن برای دزیمتری استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

در پایان از آقای دکتر گرجی و آقایان مهندس منصوری، غفوری و پارسائیان و خانم میرزاجانی که در تهیه و انجام این پژوهش ما را یاری رسانده‌اند تشکر می‌نماییم.

پی‌نوشت‌ها:

۱- Glow Curve

۲- Fading

۳- Annealing

۴- Dose Response

۵- Sintering

References:

1. S.W.S. McKeever, M. Moscivitch, P.D. Townsend, "THERMOLUMINESCENCE DOSIMETRY MATERIALS: PROPERTIES AND USES," Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, 74-79, 109-111 (1995).

2. B. Marczewska, P. Bilski, M. Budzanowski, P. Olko, V. Chernov, "Dosimetry properties of Tm-doped single CaF_2 crystals," Radiation Measurements, Vol. 33, 571-576 (2001).

3. J. Manrique, S. Angulo, M.P. Pardo, R.Gastesi, A. Dela Cruz, A. Perez, "Thermoluminescence spectra of natural CaF_2 irradiated by 10MeV electrons," Radiation Measurements, Vol. 41 145-153 (2006).

4. C.C. Guimarães, E.Okuno, "Blind performance testing of personal and environmental dosimeters based on TLD-100 and natural CaF_2: NaCl," Radiation Measurements, Vol. 37 127-132 (2003).

5. F.O. Ogundare, F.A. Balogun, L.A. Hussain, "Kinetic characterization of the thermoluminescence of natural fluorite," Radiation Measurements, Vol. 38, 281–286 (2004).

Archive of SID

www.SID.ir