



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بررسی خصوصیات ترمولومینسانس لیتیوم فلوراید با ناخالصی منیزیوم ساخته شده به روش ذوب در پرتو دهی گاما

احسان صادقی*^۱، مصطفی زاهدی^۱، مقداد خلیفه شوشتری^۱، محسن محرابی^۲، مریم کاشفی^۱

۱. دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

۲. دانشگاه کاشان، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، گروه نانوفیزیک

چکیده:

ماده LiF:Mg برای بررسی خواص دزیمتری ترمولومینسانس (Thermoluminescence) با استفاده از روش ذوب ساخته شد. روش تابکاری (Annealing) بهینه انتخاب گردید و در مقایسه با ماده LiF خالص نقش ناخالصی منیزیوم مشخص شد. نمونه پیشنهادی با دزیمترهای تجاری استاندارد مقایسه گردید و در نهایت منحنی تابش ترمولومینسانس بدست آمده حاصل از پرتو دهی گاما توسط برنامه کامپیوتری برازش شد و پارامترهای سینتیک با استفاده از مدل مرتبه عام به دست آمد.

کلید واژه: دزیمتری ترمولومینسانس، روش ذوب، LiF:Mg، TLD-100، GR-200

مقدمه

ترمولومینسانس (TL) فرآیندی است که در آن ماده توسط گرما تحریک شده و از حالت برانگیخته به حالت پایه آمده و انرژی خود را بصورت تابش فوتون آزاد می کند. [۱]. خاصیت ترمولومینسانس معمولاً در بلورهای منظم که نقش میزبان را بعهده دارند، و با ناخالصی ها و عیوب شبکه ای آلاینده می شوند، مشاهده می شود. لذا در مورد یک بلور بدون هیچگونه ناخالصی انتظار نمی رود که خاصیت ترمولومینسانس وجود داشته باشد. اما ماده LiF از این مورد مستثناست و بتنهایی می تواند این خاصیت را از خود نشان دهد [۲]. دلیل مهمتر برای استفاده از این ماده در این تحقیق، عدد اتمی مؤثر (Z_{eff}) آن (۸/۱۴) است که بسیار نزدیک به بافت بدن انسان (۷/۴) می باشد [۳]. این ویژگی سبب می شود تا پاسخ دزیمتر نسبت به پرتوهای فوتونی به انرژی پرتو بستگی نداشته باشد. دزیمترهایی که بیشترین کاربرد را برای دزیمتری فردی در سطح بین المللی دارند عبارتند از: LiF:Mg Ti (TLD-100) و LiF:Mg Cu P (GR-200). در این تحقیق ما ناخالصی منیزیوم را بتنهایی وارد کرده و خواص TL آنرا با دزیمترهای ذکر شده مقایسه می نماییم.

روش کار

واضح است که کاربرد دزیمتری مواد TL به شدت آلاینده ها و غلظتشان وابسته است [۴]. در این تحقیق آلاینده مورد استفاده منیزیوم است که بصورت ترکیب $MgCl_2$ با درصد خلوص ۹۸٪ و وزن مولی $95/22 \text{ g/mol}$ بکار



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

گرفته شده است. مقدار بهینه ای که حساسیت قابل توجهی را برای ما ایجاد می کند ، برابر 0.2 مول در صد مقدار ماده استفاده شده میزبان یا همان LiF با در صد خلوص $99/99\%$ تهیه شده از شرکت MERCK می باشد. پس از انتخاب مقدار مناسب از نمونه ها آنها با یکدیگر مخلوط شدند. مخلوط بدست آمده داخل یک بوته پلاتینی گذاشته شده و بوته در یک راکتور برای اعمال شار نیتروژن قرار داده شد. برای ساخت دزیمترهای LiF نیاز مبرم به حضور شار نیتروژن است بگونه ای که عدم حضور این گاز منجر به کاهش فوق العاده حساسیت ماده TL می شود [۵]. با اعمال شار نیتروژن و قرار دادن راکتور داخل کوره اجازه می دهیم تا به مدت نیم ساعت نمونه ها در دمای 1000°C قرار گیرند. پس از گذشت این زمان راکتور را از کوره خارج می نماییم و همچنان اجازه می دهیم تا شار نیتروژن اعمال گردد تا زمانی که مطمئن شویم نمونه از حالت مذاب خارج گردیده است. پس از گذشت این زمان راکتور از کوره خارج می شده و در حالی که هنوز شار نیتروژن تا زمانی که نمونه از حالت مذاب خارج شود اعمال می شد. پس از بیرون آوردن نمونه از کوره با استفاده از هاونگنمونه به دست آمده پودر شد تا ماده یکنواختی در سراسر آزمایش استفاده شود. پودر حاصله را توسط اسید 1HCl نرمال شستشو داده تا ترکیبات اضافی از آن خارج شود و سپس نمونه را در دمای 90°C خشک می نماییم تا برای ادامه کار آماده گردد. قبل از انجام پرتو دهی، جهت زدودن هرگونه اطلاعات ناشی از تابش های قبلی برای بازگشت به وضعیت ابتدایی کریستال قبل از هرگونه تابش و همچنین به منظور پایداری ساختار گیراندازها در داخل کریستال نیاز به انجام فرآیند تابکاری (annealing) است. در این آزمایش دو نوع رژیم گرمایی برای یافتن تابکاری بهینه بر روی نمونه مورد نظر اعمال گردید: در نوع اول ابتدا نمونه را به مدت یک ساعت در دمای 400°C قرار داده و سپس به سرعت تا به دمای اتاق سرد شد. پس از آن نمونه در دمای 100°C به مدت دو ساعت حرارت دهی شد (این رژیم حرارتی برای دزیمتر تجاری TLD-100 استفاده می شود). در نوع دوم نمونه در دمای 240°C به مدت 10 دقیقه قرار گرفت و سپس به سرعت سرد شد. در این تحقیق پرتو دهی نمونه ها با استفاده از چشمه ^{60}Co انجام شد. قرائت نمونه های پرتو دهی شده با استفاده از دستگاه TLD reader مدل 4500 Harshaw و در بازه دمایی 50°C تا 350°C با نرخ 2°C/s انجام پذیرفت.

نتایج

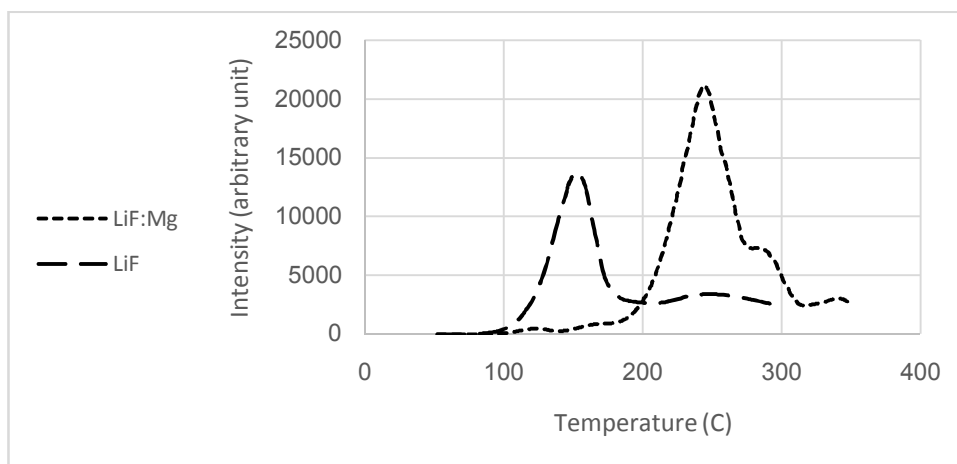
پس از قرائت نمونه ها که نتیجه بصورت منحنی درخشش (glow curve) درمی آید می توان ماده TL پیشنهادی را بررسی کرد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که استفاده از تابکاری با روش دوم ذکر شده، حساسیتی بیش از دو برابر نسبت به روش اول را به دنبال دارد. لذا گرمادهی 240°C به مدت 10 دقیقه بعنوان تابکاری بهینه در نظر گرفته می شود و این نمونه را به عنوان ماده دوزیمتری انتخاب می کنیم. شکل ۱ مربوط به مقایسه منحنی های درخشش نمونه با تابکاری و غلظت بهینه (که مقدار آن 0.2 بدست آمد) و نیز ماده LiF خالص است که تحت شرایط تابکاری (240°C در 10 دقیقه) و پرتو دهی (دز 10Gy) یکسان بدست آمده است (منحنی LiF در عامل 20 ضرب



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

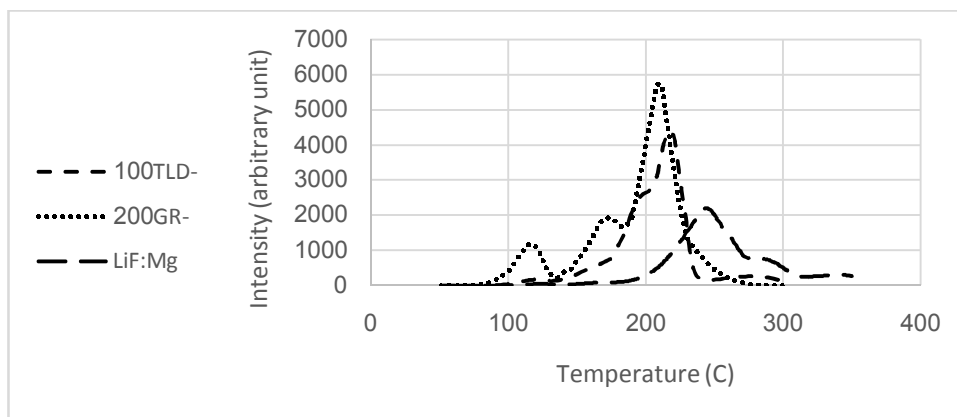
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شده است). از مقایسه دو منحنی می توان به نقش ناخالصی منیزیم در افزایش شدت قله اصلی دزیمتری و در نتیجه افزایش حساسیت ماده پی برد. این بدین معناست که این ناخالصی نقشی اساسی در ایجاد گیراندازها در ساختار کریستالی ماده دارد.



شکل (۱): مقایسه منحنی های درخشش نمونه با تابکاری و غلظت بهینه و ماده LiF خالص (منحنی LiF در عامل ۲۰ ضرب شده است)

شکل ۲ مقایسه ای بین نمونهبیشتنهادی و دزیمترهای تجاری را براساس منحنی های درخشش نشان می دهد (نمودارهای TLD-100 و LiF:Mg در عامل ۱۰ ضرب شده اند). تمام این نمونه ها توسط چشمه ^{60}Co با مقدار دز یکسان ۱۰ Gy ابرتو دهی شده اند. قله اصلی در منحنی درخشش مربوط به LiF:Mg در دمای 245°C ایجاد میشود که نسبت به دمای قله اصلی برای TLD-100 (218°C) و GR-200 (209°C) بیش تر است لذا می توان گفت که محو شدگی (fading) در چنین ماده ای نسبت به دزیمترهای تجاری مذکور از میزان کمتری برخوردار خواهد بود که یک مزیت برای دزیمتر پیشنهادی به شمار می آید.





بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل (۲): مقایسه ای بین نمونه پیشنهادی و دزیمترهای تجاری براساس منحنی های درخشش (نمودارهای TLD-100 و LiF:Mg در عامل ۱۰ ضرب شده اند)

در جدول ۱ خصوصیات TL برای مواد LiF، LiF:Mg (با دو نوع روش تابکاری)، TLD-100 و GR-200 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود حساسیت نمونه LiF:Mg (با تابکاری بهینه) نسبت به نمونه های تجاری مذکور بترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۳۸ می باشد. برای تعیین پارامترهای سینتیک ماده از مدل سینتیک مرتبه عام استفاده شد. برازش منحنی درخشش به وسیله برنامه کامپیوتری مبتنی بر الگوریتم Levenberg-Marquart انجام شد. این برنامه از پارامترهای هندسی قله تجربی از قبیل I_m و T_m استفاده می کند و با انطباق دادن با نتایج تئوری قله تجربی را برازش می کند. معادله ای که برای تعیین پارامترهای سینتیک مرتبه عام استفاده می شود به صورت رابطه (۱) است [۶]. این معادله تابعی از شدت بیشینه I_m و دمای بیشینه T_m است. در این معادله b پارامتر سینتیکین ۱ و ۲ است. E انرژی فعال سازی، T دما بر حسب کلوین و k ثابت بولتزمن می باشد. برای تعیین میزان انطباق منحنی ترمولومینسانس تئوری و تجربی از رابطه FOM به صورت رابطه (۲) استفاده شد.

$$I(T) = I_m b^{\frac{b}{b-1}} \exp\left(\frac{E(T-T_m)}{kTT_m}\right) \times \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{T^2}{T_m^2} (b-1) \left(1 - \frac{2kT}{E}\right) \exp\left(\frac{E(T-T_m)}{kTT_m}\right) + 1 + (b-1) \frac{2kT_m}{E} \right\}^{\frac{-b}{b-1}} \quad (2)$$

$$FOM = \sum_{j_1}^{j_f} \frac{100|y_i - y(x_i)|}{A}$$

که در آن y_i مربوط به مقادیر اصلی یا داده های تجربی است و $y(x_i)$ بهترین مقادیرست که از طریق این انطباق به دست می آید [FOM]. میزان خطا را در انطباق بین منحنی تئوری و تجربی نشان می دهد. هرچه این مقدار کمتر باشد تطابق بیشتری بین منحنی تئوری و تجربی وجود دارد. اگر مقدار FOM کمتر از ۲/۵ به دست آید منحنی تجربی و تئوری تقریباً بر هم منطبقند و پارامترهای به دست آمده دقیقه هستند. شکل ۳ تعداد قله های منحنی LiF:Mg را نشان می دهد.

جدول (۱): خصوصیات TL برای مواد LiF، LiF:Mg (با دو نوع روش تابکاری)، TLD-100 و GR-200

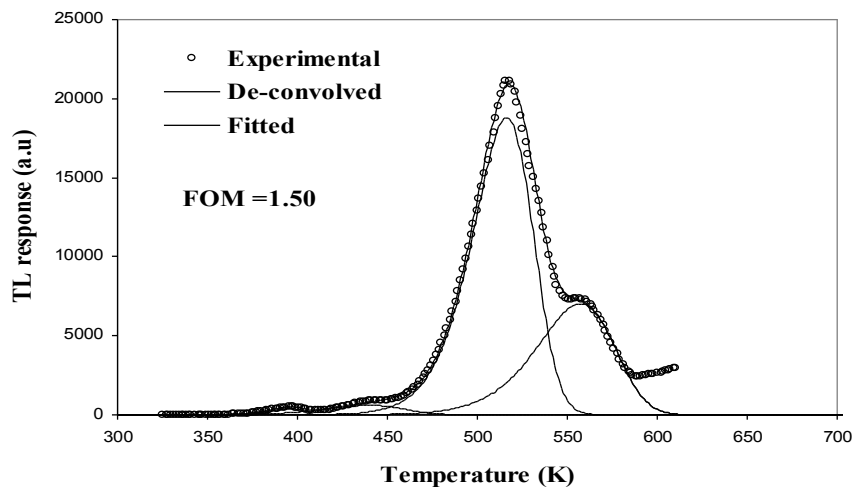
روش تابکاری	حساسیت (نسبت به TLD-100)	دمای قله اصلی (°C)	نام
	(100)		دزیمتر



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

LiF	۲۴۸	۰/۰۴	۴۰ در ۲۴۰ دقیقه
LiF:Mg	۲۴۵	۰/۵	۴۰ در ۱۰ دقیقه
LiF:Mg	۲۶۷	۰/۲۴	۴۰۰ در یک ساعت و ۱۰۰ در دو ساعت
TLD-100	۲۱۸	۱	۴۰۰ در یک ساعت و ۱۰۰ در دو ساعت [۸]
GR-200	۲۰۹	۱۳	۴۰ در ۱۰ دقیقه [۸]



شکل (۳): قله های منحنی LiF:Mg تفکیک شده با استفاده از برنامه کامپیوتری

در جدول ۲ پارامترهای سینتیک ماده گرد آوری شده است. همانطور که مشاهده می شود منحنی درخشش دارای ۴ قله با دماهای بترتیب ۳۹۴، ۴۴۰، ۵۱۶ و ۵۵۷ کلوین می باشد.

جدول (۲): پارامترهای سینتیک نمونه LiF:Mg با استفاده از مدل مرتبه عام

شماره قله	b	E(eV)	T _m (K)	I _m (a.u.)
۱	۱	۱/۴۷	۳۹۴	۳۷۳
۲	۱/۱۱	۰/۸۰	۴۴۰	۵۹۷
۳	۱/۱۳	۱/۴۳	۵۱۶	۲۰۸۴۱
		۱/۲۷	۵۵۷	۷۰۲۹



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۴ ۱/۱۰

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده دزیمتر پیشنهادی دارای حساسیت مناسب نسبت به دزیمتر TLD-100 می باشد و با توجه به دمای بالای قله اصلی از میزان محوشدگی کمتری نسبت به این دزیمتر تجاری برخوردار است. از طرفی چون از ماده LiF استفاده شده لذا می توان بخوبی از نمونه پیشنهادی در دزیمتری فردی استفاده نمود.

سپاسگزاری

از مساعدت و همیاری دانشگاه کاشان در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع:

1. R. Chen, SWS. McKeever, Theory of thermoluminescence and related phenomena, World Science, 1997.
2. D.R.S. Riberio, D.N. Souza, A.F. Maia, Radiat. Meas., 43, 1132-1134, 2008.
3. C. Furetta, Handbook of thermoluminescence, World Science, 2003.
4. A.J.J. Bos, Radiat. Meas., 41, 45-56, 2007
5. B. Obryk, K. Skowronska, A. Bieniarz, P. Bilski, Radiat. Meas., 56, 171-178, 2013.
6. J.J. Kitis, J.W.N. Tuyn, Thermoluminescence glow curve deconvolution function for first, second and general orders of kinetics, J. Phys. D: Appl. Phys., 31, 2636-2641, 1998.
7. H.G. Bailan, N.W. Eddy, figure of merit (FOM), an improved criterion over the normalized chisquared test for assessing goodness-of-fit of gamma-ray spectra peaks, Nucl. Instru. Meth., 145, 389-393, 1977.
8. A. Horowitz, Y.S. Horowitz, Radiat. Prot. Dosim., 33, 267-270, 1990.