

## تعیین میزان دز جذب‌شده پرتو گاما به روش PTTL با استفاده از آشکارساز $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$

احسان صادقی<sup>۱</sup>، مصطفی زاهدی فر<sup>۱\*</sup>، سمانه نجاری<sup>۲</sup> و محسن محرابی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

\* کاشان، دانشگاه کاشان، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، کد پستی: ۸۷۳۱۷-۱۱۶۷۵

پست الکترونیکی: zhdf@kashanu.ac.ir

### چکیده

در این پژوهش، امکان استفاده از آشکارساز  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  برای تعیین دز جذب‌شده پرتو گاما به روش PTTL با استفاده از تابش UVB بررسی شده است. پاسخ PTTL این دزیمتر نسبت به زمان پرتودهی با UVB نیز مورد بررسی قرار گرفته است. با انتخاب زمان پرتودهی UVB به مدت ۸ دقیقه، نمودار پاسخ PTTL آشکارساز  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  رسم شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، این پاسخ از حدود ۰/۱ تا ۱۴ mGy به خوبی خطی است. این نتایج امکان استفاده از این دزیمتر را برای تخمین دز جذب‌شده گاما با استفاده از پاسخ PTTL، حتی برای مقدار دز بسیار پایین (۰/۱ mGy) نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌گان: گرماتابی، دزیمتری،  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ، PTTL، UVB.

### ۱. مقدمه

یک الکترون گیرافتاده ( $F^+$ ) ایجاد می‌شود [۳]. یکی از دلایل حساسیت بالای آشکارساز  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  (در حدود ۴۰-۶۰ برابر بزرگ‌تر از LiF:Mg,Ti (TLD-100)) وجود این مراکز خلأ اکسیژن است [۴] که به واسطه آن، می‌توان از این دزیمتر برای آشکارسازی دزهای پایین در حدود  $0.7 \mu\text{Gy}$  نیز استفاده کرد. چگونگی لومینسانس گسیل‌شده به این ترتیب است: بلور  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  تحت تابش پرتوهای یونساز قرار می‌گیرد و منجر به تولید جفت‌های الکترون و حفره می‌شود. الکترون‌ها و حفره‌ها به ترتیب، به باندهای غیر جای‌گزیده هدایت و ظرفیت منتقل می‌شوند. تعدادی از الکترون‌ها و حفره‌ها در حالت‌های شبه پایدار جای‌گزیده که در فاصله بین باند هدایت و ظرفیت قرار گرفته‌اند، گیر می‌افتند. تحریک گرمایی یا اپتیکی، بارهای گیرافتاده را از حالت‌های شبه پایدار جای‌گزیده آزاد کرده و آن‌ها را به باندهای غیرجای‌گزیده منتقل می‌کند. لومینسانس

در سال‌های اخیر، دزیمتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  (TLD-500) به دلیل حساسیت بالا نسبت به پرتوهای یونساز، به عنوان یک دزیمتر حساس به لومینسانس تحریک‌شده گرمایی ( $TL^1$ ) و لومینسانس تحریک‌شده اپتیکی ( $OSL^2$ )، کاربرد فراوانی در استفاده از هریک از این پدیده‌ها پیدا کرده است [۱ و ۲]. بلور خالص آلومینیوم، اکسید حساسیت TL و OSL بسیار کمی در پرتودهی از خود نشان می‌دهد، درحالی‌که وارد کردن کربن به عنوان ناخالصی (در حدود ۵۰۰-۱۰۰ ppm) به آن، باعث افزایش حساسیت آن نسبت به تابش می‌شود. در اثر موازنه باری که بین یون‌های دو ظرفیتی کربن  $C^{+2}$  با یون‌های سه ظرفیتی آلومینیوم  $Al^{+3}$  به وجود می‌آید، مراکز خلأ اکسیژن با

1. Thermoluminescence
2. Optically stimulated luminescence

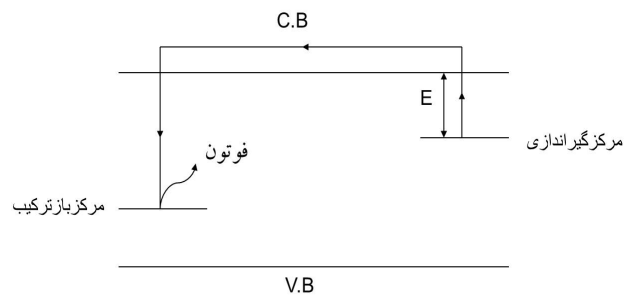
گرفت. به‌منظور تخلیه کامل دام‌های سطحی و عمیق نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  گرمادهی شدند. دما و زمان گرمادهی براساس مقادیر استفاده‌شده در کارهای قبلی، در مطالعات PTTL با دزیتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ، انتخاب شد [۹]. با به‌کارگیری این رژیم گرمایی، حامل‌های بار باقی‌مانده در مراکز گیراندازی عمیق که به‌واسطه پرتودهی‌های قبلی یا پرتوهای ناشی از محیط بر جای مانده‌اند، از این مراکز خارج می‌شوند. برای قرائت نمونه‌ها از دستگاه TLD-reader مدل Harshaw 4500 استفاده شد. بعد از پرتودهی با گاما، قرائت نمونه‌ها از دمای  $50^{\circ}\text{C}$  تا دمای  $300^{\circ}\text{C}$  با آهنگ گرمایی  $5^{\circ}\text{C/s}$  انجام شد. پس از سردشدن، نمونه‌ها از دستگاه خارج شده و تحت پرتودهی با پرتو فرابنفش UVB قرار گرفتند و در همان بازه دمایی قبل قرائت شدند. منحنی به‌دست‌آمده، همان نمودار PTTL نمونه TLD-500 است. سطح زیر این قله به‌عنوان پاسخ PTTL یادداشت می‌شود. نمونه‌ها به‌ازای یک دز ثابت 14 mGy گاما در زمان‌های مختلف در معرض UVB قرار گرفتند تا زمان مناسب انتخاب شود.

### ۳. نتایج

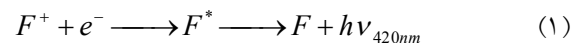
گاف انرژی موجود در  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  حدود  $9/8\text{ eV}$  است. پرتودهی با پرتو فرابنفش UVB با طول موج ( $290\text{ nm}$ – $320\text{ nm}$ ) نمی‌تواند باعث انتقال الکترون و حفره از باند ظرفیت به باند هدایت شود، ولی در حالتی که مراکز گیراندازی عمیق در اثر پرتودهی‌های قبلی پر باشند، پرتودهی با UVB می‌تواند باعث تخلیه الکترون‌ها از این مراکز شود. در صورتی که مراکز دزیتری خالی باشند، با این الکترون‌ها پر شده و پس از قرائت نمونه‌ها، مجدداً قله دزیتری ظاهر می‌شود. یکی دیگر از دلایل استفاده از پرتو UVB در این کار این است که طول موج گزارش‌شده برای PTTL در آشکارساز  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  در حدود  $307\text{ nm}$  است [۹] که این طول موج در گستره طول موج UVB می‌باشد.

شکل (۲) منحنی تابش ترمولومینسانس و نمودار PTTL نمونه  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  (TLD-500) در پرتودهی به میزان 0/1 mGy گاما را نشان می‌دهد.

گسیل شده ( $410\text{ nm}$ – $420\text{ nm}$ ) در این کریستال، بعد از بازترکیب الکترون‌های تحریک‌شده گرمایی یا اپتیکی از یک مرکز گیراندازی شبه پایدار با مراکز  $F^+$  ایجاد می‌شود. در اثر بازترکیب الکترون‌ها با مراکز  $F^+$ ، مراکز  $F$  (مراکز خلأ اکسیژن با دو الکترون گیرافتاده) در حالت برانگیخته تشکیل می‌شود ( $F^*$ )، که در بازگشت به حالت پایه، فوتونی با طول موج  $410\text{ nm}$ – $420\text{ nm}$  گسیل می‌کنند [۵]. طرح ساده‌ای از مراکز گیرانداز و بازترکیب و چگونگی گسیل فوتون در شکل (۱) دیده می‌شود.



شکل ۱: طرح ساده‌ای از مراکز گیرانداز و بازترکیب و چگونگی گسیل فوتون



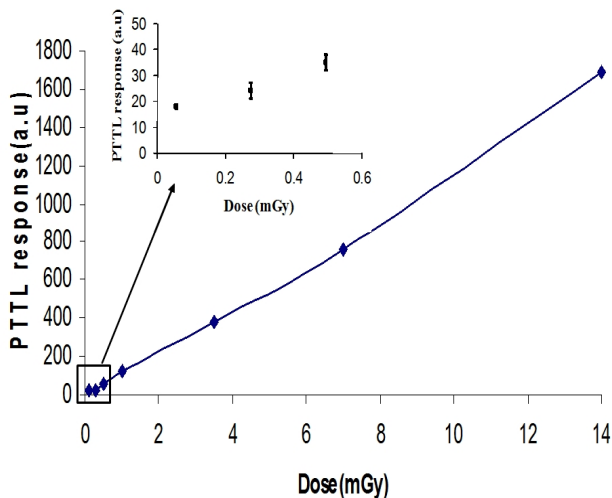
استفاده از روش PTTL، یکی از روش‌های معمول در تعیین دز جذب‌شده با استفاده از دزیترهای مختلف است [۶]. مطالعات PTTL با استفاده از دزیتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  (TLD-500) توسط پژوهشگران متعددی انجام گرفته است [۷–۹]. تشخیص دز جذب‌شده با استفاده از PTTL برای  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  تاکنون انجام نشده است. در این کار، اندازه‌گیری میزان دز جذب‌شده پرتو گاما به روش PTTL با استفاده از تابش UVB در آشکارساز  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  انجام شده است.

### ۲. مراحل آزمایش

در این کار، از ۹ نمونه TLD-500 که به شکل تراشه‌هایی با قطر ۵ mm و ضخامت ۱ mm هستند، استفاده شد. پرتودهی گاما با استفاده از چشمه  $^{137}\text{Cs}$  واقع در دانشگاه کاشان انجام

پاسخ PTTL بر حسب دزهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.

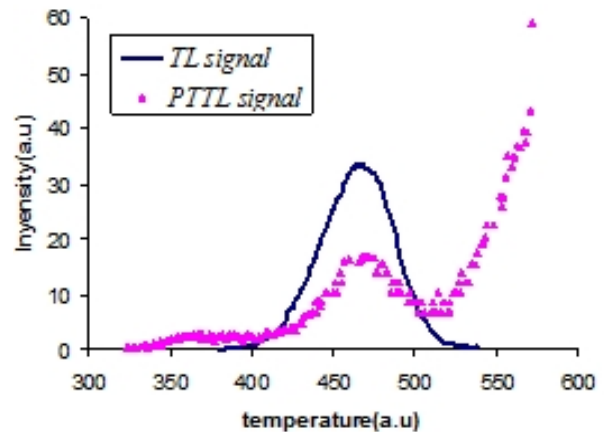
جدول (۱) داده‌های به‌دست‌آمده برای نمودار شکل ۴ را به‌همراه میزان انحراف استاندارد آن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۴) دیده می‌شود، با توجه به خطی بودن پاسخ PTTL بر حسب دز، با داشتن پاسخ PTTL مربوط به دزیمتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  به‌ازای یک دز گامای نامشخص، می‌توان میزان دز جذب شده در نمونه را تشخیص داد.



شکل ۴: منحنی پاسخ PTTL بر حسب دز گاما بعد از پرتودهی با UVB به‌مدت ۸ دقیقه. هر نقطه نشان داده شده در شکل میانگین داده‌های حاصل از ۹ نمونه است. ۳ نقطه ابتدایی برای وضوح بیشتر بزرگ‌نمایی شده‌اند.

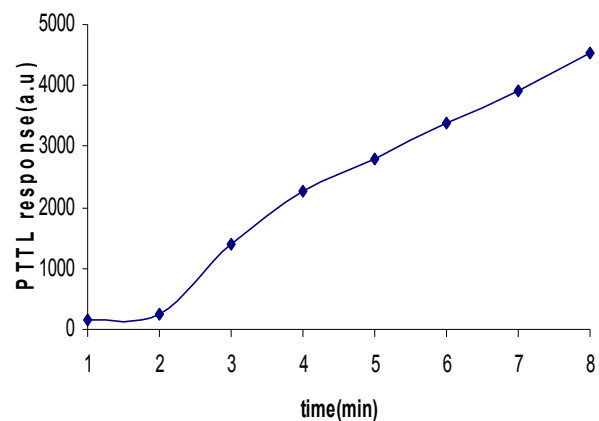
جدول ۱: پاسخ PTTL با افزایش دز جذب‌شده گاما

دز جذب شده گاما (mGy)	مقدار میانگین	انحراف استاندارد
۰/۱	۱۶/۷۶	۰/۱۸
۰/۳	۲۰/۸۰	۱/۳۰
۰/۵	۲۵/۰۶	۰/۹۶
۱/۰	۳۲/۱۰	۰/۶۴
۳/۵	۷۰/۰۰	۰/۵۳
۷/۰	۱۲۵/۰۰	۰/۴۳
۱۴/۰	۲۳۰/۰۰	۰/۲۰



شکل ۲: منحنی شدت TL و PTTL بر حسب دما به‌ازای دز گامای  $۰/۱\text{ mGy}$ .

نتایج پاسخ PTTL بر حسب زمان‌های مختلف پرتودهی با UVB در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: منحنی پاسخ PTTL نمونه  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  بر حسب زمان‌های مختلف پرتودهی با UVB. نمونه‌ها  $۱۴\text{ mGy}$  با پرتو گاما پرتودهی شده‌اند.

همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، هرچه زمان پرتودهی با UVB بیشتر شود، پاسخ PTTL هم بیشتر می‌شود. از آنجاکه زمان ۸ دقیقه برای تشخیص دز پایینی در حدود  $۰/۱\text{ mGy}$  کافی است و در کاربردهای دزیمتری، زمان کوتاه‌تر مناسب‌تر است، زمان ۸ دقیقه به‌عنوان زمان مناسب برای تخمین مجدد دز<sup>۱</sup> جذب‌شده با استفاده از PTTL انتخاب شد.

## 1. Dose reestimation

#### ۴. نتیجه‌گیری

تخمین دز جذب‌شده گاما با استفاده از نمودار PTTL دزیمتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  انجام گرفت. آستانه آشکارسازی دز گاما به سبب حساسیت TL و PTTL بالای این دزیمتر تا  $0.1\text{ mGy}$  هم پایین آمده است. نمودار پاسخ PTTL بر حسب دز این بلور تا  $14\text{ mGy}$  خطی است که در این صورت، با داشتن منحنی PTTL می‌توان مقدار دز جذب شده را تعیین کرد.

باید توجه داشت که تخمین میزان کم دز جذب‌شده (در حدود  $0.1\text{ mGy}$ ) بسیار مهم است. مشاهده می‌شود که با استفاده از دزیمتر  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  و روش تخمین با بهره‌گیری از نمودار PTTL، آستانه آشکارسازی دز جذب‌شده تا  $0.1\text{ mGy}$  هم پایین خواهد آمد. با داشتن منحنی خطی پاسخ PTTL بر حسب دز، می‌توان مقدار یک دز نامشخص را با معلوم بودن پاسخ PTTL آن تخمین زد. از آنجایی که این منحنی خطی به اندازه انحراف استاندارد دارای خطاست، درصد خطای تخمین میزان دز با استفاده از نمودار PTTL در مرتبه مقدار به دست آمده برای انحراف استاندارد است.

#### ۵. مراجع

- [1] Akselrod. M.S, Kortov. V.S, Gorelova. E.A. Preparation and properties of  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ . *Radiat. Prot. Dosim.* 1993, 47, 159-164.
- [2] Colyott. L.E, Mckeever. S.W.S, Akselrod. M.S. An integrating UVB dosimeter in  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ . *Radiat. Prot. Dosim.* 1999, 85, 309-312.
- [3] Akselrod. M.S, Kortov. V.S, Kravetsky. D.J, Gotlib.V.I. Highly sensitive thermoluminescent anion-defective  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  single crystal detectors. *Radiat. Prot. Dosim.* 1990, 32, 15-20.
- [4] Walker. F.D, Colyott. L.E, Agersnap Larsen. N, Mckeever. S.W.S. The Wavelength dependence of light-induced fading of thermoluminescence from  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ . *Radiat. Meas.* 1996, 26, 711-718.
- [5] Mckeever. S.W.S, Akselrod. M.S, Colyott. L.E, Agersnap Larsen. N, Polf. J.C, Whitley. V. Characterization of  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  for use in thermally and optically stimulated luminescence dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.* 1999, 84, 163-168.
- [6] Muniz. J.L, Correcher. V, Delgado. A. PTTL dose re-estimation applied to quality control in TLD-100 based personal dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.* 1999, 85, 63-66.
- [7] Akselrod. M.S. and Gorelova. E.A. Deep traps in highly sensitive  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  TLD crystals. *Nucl. Tracks. Radiat. Meas.* 1993, 21, 143-146.
- [8] Ostar. L, Weiss. D, Kristianpoller. N. A study of photostimulated thermoluminescence in C-doped  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  crystals. *J. Phys.* 1994, 27, 1732-1736.
- [9] Colyott. L.E, Akselrod. M.S, Mckeever S.W.S. Phototransferred thermoluminescence in  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ . *Radiat. Prot. Dosim.* 1996, 65, 263-266.