

## کاربرد روش لومینسانس یون-القایی در سنجش سختی تابشی آشکارسازهای سوسوزن: بررسی سوسوزن ZnS(Ag)

طاهره نیکبخت\*، امیدرضا کاکویی، محمد لامعی رشتی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک و شناگرها

### چکیده

بررسی میزان سختی تابشی مواد سوسوزن، به‌ویژه هنگامی که در معرض تابش‌های شدید قرار می‌گیرند، چالشی برای سازندگان و استفاده‌کنندگان از این مواد است. در این کار پژوهشی قابلیت روش لومینسانس یون-القایی در سنجش سختی تابشی سوسوزن‌ها نشان داده شده است. باریکه پروتون  $2.5 \text{ MeV}$  با چگالی تابشی در بازه  $10^{11} - 10^{10} \text{ protons/mm}^2$  جهت انجام آزمایش لومینسانس یون-القایی به کار گرفته شده است. نمونه مورد بررسی لایه نازکی از ZnS(Ag) به ضخامت  $50 \mu\text{m}$  است که در آزمایشگاه تهیه شد. مقایسه تغییرات شدت سوسوزنی نمونه نسبت به دز دریافتی با نتایج نظری، هم‌خوانی مناسب آن‌ها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: لومینسانس یون-القایی، سختی تابشی سوسوزن، سوسوزن ZnS(Ag)

### مقدمه

سوسوزن‌ها نقش مهمی در زمینه آشکارسازی و تشخیص ذرات دارند و استفاده از آن‌ها ساده‌ترین، کم هزینه‌ترین و مؤثرترین راه مشاهده پروفایل باریکه یونی است. مهم‌ترین عیب آشکارسازهای سوسوزن، مخصوصاً در مواردی که تحت چگالی تابش پرتوی زیاد قرار می‌گیرند، افت<sup>۱</sup> خواص سوسوزنی آن‌ها است. انباشت انرژی در سوسوزن‌های آلی از یک سو مراکز لومینسانس<sup>۲</sup> را فعال کرده و از سوی دیگر پیوندهای شیمیایی را شکسته و منجر به خاموش شدن لومینسانس می‌شود [۱]. آسیب مؤلفه‌های فلورسان و تولید مراکز جذب اپتیکی در نمونه از عوامل مؤثر بر میزان نور

<sup>1</sup> . degradation

<sup>۲</sup> . fluorophore

تولیدی در سوسوزن‌ها هستند [۲]. در این فرایند پیچیده متغیرهای زیادی شامل آهنگ دز، حضور یا عدم حضور اکسیژن و طبیعت تابش نقش دارند. محدودیت سختی تابشی<sup>۳</sup>، منجر به کاهش شدت سوسوزنی و قدرت تفکیک انرژی سوسوزن‌ها طی فرایند تابش دهی می‌شود.

با توجه به امکان کنترل برد و آهنگ یونش باریکه یونی، آنالیز لومینسانس یون-القایی<sup>۴</sup> (یونولومینسانس) روشی سودمندی در مطالعه‌ی فیلم‌های نازک سوسوزن به‌شمار می‌آید [۳، ۴]. این روش می‌تواند جهت مانیتورینگ برخط تغییرات القایی توسط تابش در مواد سوسوزن مورد استفاده قرار گیرد [۵-۸]. در حقیقت کاهش شدت لومینسانس طی تابش دهی به آهنگ تشکیل نواقص و پیوندهای شکسته شده وابسته است. بنابراین جهت سنجش سختی تابشی و کارایی مواد سوسوزن تولیدی، می‌توان از روش یونولومینسانس استفاده نمود [۹، ۱۰]. شکل طیف یونولومینسانس و تغییرات آن با دز دریافتی، به پارامترهای متعددی مانند نوع و انرژی یون‌های برخوردی به نمونه، محیط شیمیایی آلاینده‌های گسیلنده لومینسانس، نواقص و سختی تابشی مواد، بستگی دارد [۱۰]. در این کار پژوهشی کارایی روش یونولومینسانس در بررسی میزان سختی تابشی سوسوزن ZnS(Ag) مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲. ابزار و روش انجام آزمایش

به منظور انجام آزمایش یونولومینسانس از خط میکروباریکه شتابدهنده و اندوگراف ۳ MeV استفاده شد. محفظه‌ی برهم کنش خلاء جهت انجام آزمایش مجهز به قطعات اپتیکی، شامل فیبر نوری با ضخامت  $400 \mu\text{m}$ ، لنز موازی‌ساز<sup>۵</sup> با فاصله کانونی ۲/۵ cm، دوربین<sup>۶</sup> CCD، و اسپکتروفتومتر AvaSpec-ULS2048L با بازه‌ی طول موجی قابل آشکارسازی ۱۱۰۰-۲۰۰ nm و تفکیک‌پذیری ۱/۴ nm بود. از باریکه پروتون ۲/۵ MeV با جریان ثابت حدود ۱۱ pA و ابعاد  $350 \times 350 \mu\text{m}^2$  روی نمونه، در مد نقطه‌ای استفاده شد. به منظور کاهش نویز گرمایی، دمای اسپکتروفتومتر تا  $1/5^\circ\text{C}$  پایین آورده شد. نخستین طیف یونولومینسانس بلافاصله پس از برخورد باریکه یونی برای

<sup>۳</sup> . radiation hardness

<sup>۴</sup> . Ion Beam Induced Luminescence (IBIL)

<sup>۵</sup> . Collimating Lens

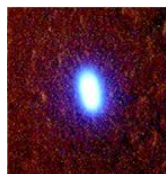
<sup>۶</sup> . Charged-Coupled Device

زمان ۱۰ S ثبت شد. جمع آوری سایر طیف‌های یونولومینسانس با افزایش دز دریافتی، در فواصل زمانی معین تکرار شد. زمان کل انجام آزمایش سختی تابشی نمونه سوسوزن مورد مطالعه حدود ۵ min بود.

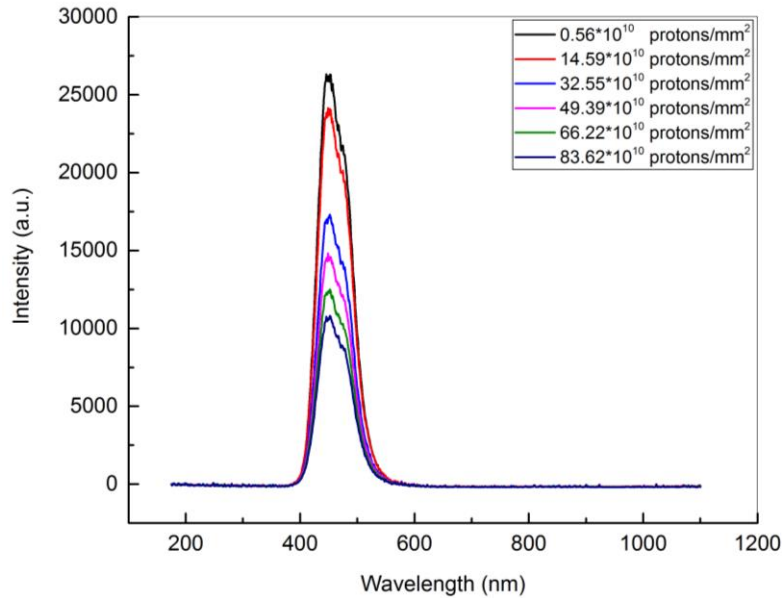
جهت تهیه لایه نازک ZnS(Ag) از یک پیوند دهنده<sup>۷</sup> استفاده شد. جهت تهیه پیوند دهنده ۱۰ mg از تراشه‌های پلکسی گلاس در ۲ ml دی متیل فرم آمید (DMF) حل و به مدت چند ساعت در ظرف در بسته قرار گرفت تا محلول یکنواختی بدست آید. سپس مقدار ۰٫۹ g از پودر ZnS(Ag) به آن افزوده شد. پس از هم زدن، محلول سفید رنگی حاصل شد که به صورت قطره قطره در مرکز زیر لایه شیشه‌ای مستقر بر سطح مسطح ریخته شد. با توجه به آهنگ تبخیر نسبتاً کند DMF، نمونه‌ها پس از طی مدت حدود سه روز نگهداری در محل عاری از گرد و غبار خشک شدند [۱۲]. مقدار ضخامت نمونه‌ها با استفاده از میکروسنج در حدود ۵۰ μm بدست آمد.

### ۳. بررسی نتایج

در شکل ۱ تصاویر یونولومینسانس میکروسکوپی حاصل از برخورد باریکه پروتون به سطحی با ابعاد  $350 \times 350 \mu m^2$  از لایه نازک سوسوزن ZnS(Ag) نشان داده شده است. نمودار تغییرات طیف لومینسانس گسیلی نمونه سوسوزن ZnS(Ag) نسبت به افزایش دز دریافتی ناشی از باریکه پروتون با انرژی ۲٫۵ MeV و جریان ۱۱ pA در شکل ۲ نشان داده شده است. طیف‌ها در زمان انتگرال‌گیری ۱۰ S بدست آمده‌اند. مشاهده می‌شود که با افزایش دز جذبی شدت لومینسانس گسیلی نمونه کاهش یافته است. با توجه به استفاده از پلکسی گلاس در ساخت نمونه، یکی از دلایل کاهش شدت یونولومینسانس گسیلی از آن می‌تواند ناشی از حساسیت زیاد مواد پلیمری به تابش باشد [۱۱].



شکل ۱. تصویر پروفایل باریکه پروتون ۲٫۵ MeV با ابعاد باریکه حدود  $350 \times 350 \mu m^2$  روی فیلم نازک ZnS(Ag).



شکل ۲. طیف یونولومینسانس نمونه ZnS(Ag) برای شش چگالی تابش دریافتی مختلف پروتون ۲٫۵ MeV با جریان ۱۱ pA.

پارامترهای فیزیکی مختلفی چون دمای نمونه، بازتاب داخلی در آن و آسیب القایی حاصل از باریکه می‌توانند روی طیف یونولومینسانس و کارایی آن تأثیر گذار باشند. با افزایش چگالی تابش یونی دریافتی و بنابراین با افزایش آسیب یون-القایی در سوسوزن، فرایند خاموشی شدت لومینسانس مطابق با رابطه زیر، که منسوب به بیرکز و بلاک<sup>۸</sup> است [۱۱]، رخ می‌دهد:

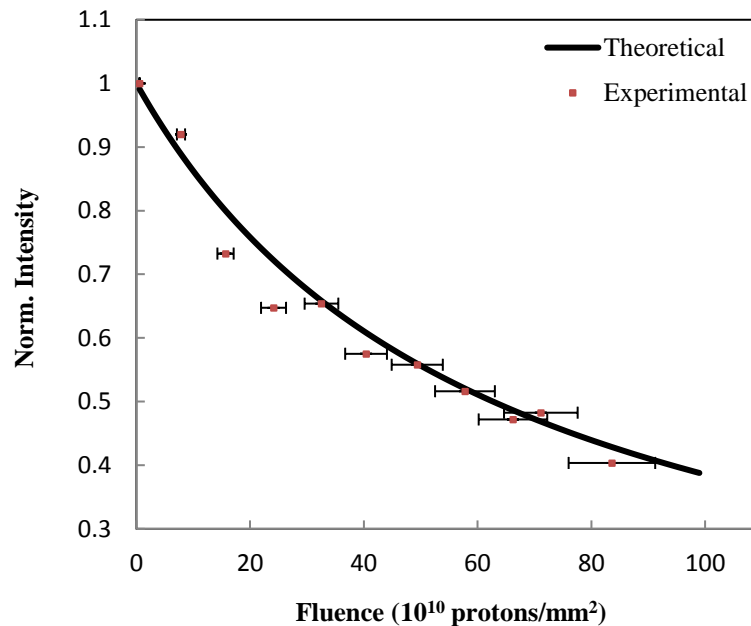
$$L(F) = L_0 / (1 + F/F_{1/2}) \quad (1)$$

که در آن  $L(F)$  شدت سیگنال لومینسانس (با واحد اختیاری) پس از جذب چگالی تابش  $F$  [ions/cm<sup>2</sup>],  $L_0$  سیگنال لومینسانس اولیه، و  $F_{1/2}$  برابر با مقدار چگالی تابش جذب شده توسط نمونه است که در آن شدت سیگنال لومینسانس به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد.

در شکل ۳ نمودار نظری و تجربی کاهش شدت نرمالیزه شده لومینسانس گسیلی از نمونه ZnS(Ag) نسبت به افزایش دز جذبی توسط باریکه پروتون با انرژی ۲٫۵ MeV و جریان ۱۱ pA نشان داده شده است. مقدار خطای قابل

<sup>8</sup> . Birks-Black

محاسبه در چگالی تابش تجربی، مربوط به تغییر جریان باریکه و برابر با  $\Delta F = 0.9 F$  است. با توجه به نمودار مشخص است که داده‌های تجربی و نظری هم‌خوانی مناسبی با یکدیگر دارند.



شکل ۳. مقایسه مقادیر نظری و تجربی افت شدت یونولومینسانس انتگرال‌گیری شده و نرمالیزه شده با افزایش مقدار چگالی تابش دریافتی توسط نمونه. خطای داده‌های تجربی در شکل نشان داده شده است.

## ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به قابلیت کنترل میزان دز دریافتی نسبت به زمان، یونولومینسانس روشی مؤثر جهت بررسی سختی تابشی سوسوزن‌ها است. در این راستا نتایج تجربی حاصل از بررسی سختی تابشی نمونه نازک  $ZnS(Ag)$ ، که در آزمایشگاه تهیه شد، ارائه و با نتایج مدل نظری مقایسه شدند. هم‌خوانی مناسب این نتایج نشان دهنده کارایی یونولومینسانس در مطالعه ویژگی‌های سوسوزن‌ها است. به این ترتیب نه تنها با روش یونولومینسانس کنترل کیفی سوسوزن‌های تجاری مقدور شده بلکه امکان ارزیابی مواد سوسوزن جدید دستاورد محققان ملی در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای فراهم شده است.

## مراجع

- [۱] E. Gardés, E. Balanzat, B. Ban-d'Etat, A. Cassimi, F. Durantel, C. Grygiel, T. Madi, I. Monnet, J. -M. Ramillon, F. Ropars, H. Lebius, "SPORT: A new sub-nanosecond time-resolved instrument to study swift heavy ion-beam induced luminescence – Application to luminescence degradation of a fast plastic scintillator", Nucl. Instrum. Methods B, ۲۹۷, p. ۳۹-۴۳, (۲۰۱۳).
- [۲] G. F. Knoll, Radiation detection and measurement, John Wiley and Sons, (۲۰۱۰).
- [۳] P. D. Townsend, M. Khanlary, D. E. Hole, "information obtainable from ion beam luminescence", Surf. Coat. Tech., ۲۰۱, ۸۱۶۰-۸۱۶۴ (۲۰۰۷).
- [۴] P. D. Townsend, "variations on the use of ion beam luminescence", Nucl. Instr. and Meth. B, 286, ۳۵-۳۹ (۲۰۱۲).
- [۵] P. A. Sullivan, R. A. Baragiola, "Ion beam induced luminescence in natural diamond", J. Appl. Phys., ۷۶, p. ۴۸۴۷-۴۸۵۲, (۱۹۹۴).
- [۶] R. J. Brooks, D. E. Hole, P. D. Townsend, Z. Wu, J. Gonzalo, A. Suarez-Garcia, P. Knott, "Ion Beam Induced Luminescence of Thin Films", Nucl. Instrum. Methods B, ۱۹۰, p. ۷۰۹-۷۱۳, (۲۰۰۲).
- [۷] G. Gawlik, J. Sarnecki, I. Jóźwik, J. Jagielski and M. Pawłowska, "Ion and electron beam induced luminescence of rare earth doped YAG crystals", Acta Phys. Pol. A, ۱۲۰, p. ۱۸۱-۱۸۳, (۲۰۱۱).
- [۸] N. Markovic', Z. Siketic', D. Cosic, H.K. Jung, N.H. Lee, W.-T. Han, M. Jakšic', "Ion beam induced luminescence (IBIL) system for imaging of radiation induced changes in materials", Nucl. Instrum. Methods B, ۳۴۳, p. ۱۶۷-۱۷۲, (۲۰۱۵).
- [۹] A. Quaranta, S. Carturan, T. Marchi, A. Antonaci, C. Scian, V. L. Kravchuk, M. Degerlier, F. Gramegna, G. Maggioni, "Radiation hardness of polysiloxane scintillators analyzed by ion beam induced luminescence", Nucl. Instrum. Methods B, ۲۶۸, p. ۳۱۵۵-۳۱۵۹, (۲۰۱۰).
- [۱۰] A. Quaranta, "Recent Developments of Ion Beam Induced Luminescence: Radiation Hardness Study of Thin Film Plastic Scintillators", Nucl. Instrum. Methods B, ۲۴۰, p. ۱۱۷-۱۲۳, (۲۰۰۵).
- [۱۱] J. B. Birks, The theory and practice of scintillation counting, first Ed., Pergamon Press, [distributed in the Western Hemisphere by Macmillan, New York], (۱۹۶۴).
- [۱۲] F. Saheli, M. Sohrabi, K. Mohammadi, "Production of silver-activated zinc sulfide (ZnS:Ag) scintillation detector for counting alpha particles", IJRSM., ۳, p. ۷-۱۲, (۲۰۱۵).

## Abstract

*The ability of the ion beam-induced luminescence technique in the examination of the radiation hardness of the scintillators is demonstrated using proton beam of 2.5 MeV at fluences in the  $10^{10}$ - $10^{11}$  (protons/mm<sup>2</sup>) range. The samples were thin layers of ZnS(Ag) with a thickness of 50  $\mu$ m which were produced in the laboratory. Variations in luminescence intensity of the samples towards the absorbed dose were compared with the results of the theoretical model.*