

اندازه گیری دز گاما از طریق محاسبه میزان تغییرات قطبش نور در پلیمر

مه زیار نمدانیان، زینب سنجابی، سید محمود رضا آقامیری

دانشکده مهندسی هسته ای دانشگاه شهید بهشتی تهران، پژوهشگاه نیرو

چکیده

این تحقیق به بررسی تغییرخواص اپتیکی پلیمرها، در میدان تابش های یونیزان گاما، به منظور استفاده از آنها در سیستم آشکارسازی و دزیمتری می پردازد. در این آزمایش با استفاده از سیستم های تداخل سنج و پلاریمتر، میزان تغییر قطبش نور عبوری از پلیمر PMMA که تحت سه دز متفاوت، 5 KGy ، 25 KGy ، $61/2 \text{ KGy}$ ، پرتو گامای ناشی از چشمه ^{60}Co با آهنگ دز ثابت $1/42 \text{ KGy/h}$ قرار گرفته است، تعیین و در نتیجه میزان تغییرات ضریب شکست ماده مشخص می گردد. نتایج آزمایشات افزایش تغییر قطبش نور عبوری از ماده، که بیانگر افزایش ضریب شکست آن می باشد را نشان میدهد.

کلید واژه

قطبش، تداخل سنج، تابش گاما، ضریب شکست، پلیمر

۱- مقدمه

پرتو گاما، موج الکترومغناطیسی است که توسط مواد رادیو اکتیو خاصی در فرآیند شکافت هسته ای تولید شده و قابلیت نفوذپذیری بالا در مواد را دارد و توسط میدان های الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی شود. طول موج آن بسته به نوع ماده تابنده است و در محدوده m ($3/9 \times 10^{-10} - 4/7 \times 10^{-13}$) می باشد. پرتوگیری پلیمرها باعث تغییرات ساختاری و شیمیایی در آنها می شود. از جمله این تغییرات می توان به کاهش وزن مولکولی و ایجاد رادیکال های آزاد اشاره کرد. در بعضی موارد، شکستن باندهای مولکولی و کاهش قدرت مکانیکی مشاهده شده است [۱]. فیبر اپتیکی محیط دی الکتریک شفاف است که قادر به انتقال و هدایت نور می باشد، دارای وزن کم و مقاوم در برابر تداخل های الکترومغناطیسی است. همچنین توانایی انتقال دو طرفه سیگنال ها را دارد. با توجه به استفاده از فیبر های اپتیکی در کاربرد های فضایی [۲]، صنعت هسته ای [۳]، و شبکه های زیر دریایی [۴]، بررسی اثرات تابش یونیزان در خواص اپتیکی این مواد امری ضروری به شمار می رود. بررسی برخی از این اثرات شامل پدید آمدن خاصیت جذب [۵و۶]، لومینسانس [۷] و تغییرات ضریب شکست [۸-۱۰]، بررسی V-number در فیبرها، مورد آزمایش قرار گرفته، لیکن توجه بیشتر به بررسی اثر جذب و لومینسانس بوده است.

با توجه به قیمت مناسب پلیمرها نسبت به مواد کریستالی، استحکام مکانیکی بالا و مقاومت زیاد در برابر شوک ها و ارتعاشات قوی، قابلیت خمش و پیچش، احتیاج نداشتن به پوشش گران، سنگین و ضخیم، وزن کم (تقریباً 6 g/m که

۱/۳ وزن فیبرهای گلاس میباشد) استفاده از آنهادر آزمایشات اپتیکی و علوم هسته ای و ارتباطات فیبر نوری ارزش زیادی دارد.

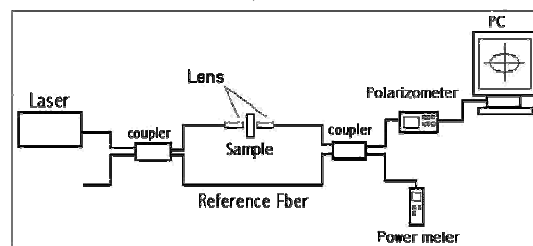
اثرات تابش گاما بر پلیمرها توسط Charles (1960) و Chapiro (1962) بررسی شده است. Faust (1952) و Baracat و El-Hennawi (1971) با استفاده از روش های تداخل سنجی دو پرتویی و چندپرتویی به مطالعه خواص اپتیکی مواد پرداختند [۱۱].

این آزمایش به بررسی اثر تابش یونیزان گاما بر ضریب شکست ماده پرداخته و اثر این پدیده را در تغییر قطبش موج عبوری، توسط سیستم پلاریمتر نشان می دهد. پلیمر مورد استفاده در این تحقیق (Polymethylmethacrylate) PMMA می باشد که در ساخت فیبرهای پلیمری اپتیکی (POF) استفاده می شود. دزگامای مورد استفاده دارای مقادیر ۵KGy، ۲۵KGy، ۶۱/۲KGy، با آهنگ دز ثابت ۱/۴۴ KGy/h می باشد. روند تغییرات ضریب شکست ماده و در اثر آن تغییر قطبش نور عبوری با استفاده از خروجی سیستم تداخل سنج و فرستادن آن به سیستم پلاریمتر THORLABS به کمک ضرایب استوکس و بیضی قطبش تعیین گردید.

۲- روش کار

پلیمر مورد استفاده در این آزمایش، PMMA دارای ضخامت ۸ mm می باشد و نمونه ها به ترتیب تحت دزگاما ۵KGy، ۲۵KGy، ۶۱/۲KGy با آهنگ ثابت ۱/۴۴KGy/h و قدرت ۱۸۰۰ کوری قرار گرفته اند. میزان قطبش نور، قبل وبعد از پرتو گیری نمونه ثبت شده است. سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده، شامل لیزر دیودی ۱۵۵۰nm، سیستم تداخل سنج فیبری

ماخ زندر با کوپلری با مشخصات (OCSI.CO (C-NS-AQ-50-S-2210-13-FC/FC)، وات متری با دقت نانو وات و پلاریمتر THORLABS می باشد. شماتیکی از سیستم در شکل ۱ دیده می شود.



شکل ۱: شماتیک سیستم مورد آزمایش

تداخل سنج ماخ زندر بر اساس تداخل دو پرتویی است، قرار دادن ماده شفاف در یک شاخه از این تداخل سنج، مسیر اپتیکی دو پرتو را تغییر می دهد. در نتیجه یک پرتو مسیر طولانی تری را نسبت به دیگری طی می کند. در حین این فرآیند بین دو پرتو اختلاف فازی به صورت $\Delta\Phi = nk\Delta l$ ایجاد می شود، که Δl اختلاف طول مسیرها، n ضریب شکست محیط و k عدد موج می باشد. دو پرتو در انتهای مسیر مجدداً با هم ترکیب می شوند و از آنجا که اختلاف فاز $\Delta\Phi$ بین آنها ایجاد شده، طرح تداخلی ناشی از آن قابل مشاهده است. این سیستم برای اندازه گیری دقیق ضریب شکست ماده قابل استفاده می باشد. می توان این اختلاف فاز را مستقیماً توسط سیستم پلاریمتری اندازه گیری نمود. پلاریمتر دستگاهی است که قادر به نمایش دادن فاز موج الکترومغناطیسی به صورت بیضی

قطبش می باشد. در واقع این سیستم اختلاف فاز بین مولفه های عمود بر هم موج را در حالات مختلف نشان می دهد. پلیمر PMMA با ضخامت ۸ mm در مسیر یکی از شاخه های مدارماخ زندر قرار می گیرد. قبل از اینکه نمونه پلیمری تحت تابش گاما قرار گیرد، قطبش نور خروجی از مدار با قرار دادن نمونه های اولیه طی سه مرحله آزمایش ثبت شد. خروجی سیستم پلاریمتر شامل شکل بیضی قطبش، کره پوانکاره، ضرایب استوکس (S0,S1,S2,S3)، درجه قطبش، (DOP,DOCP,DO) و Orientation ellipticity می باشد (شکل ۲).



شکل ۲: نمای بیضی قطبش پلاری متر THORLABS

پس از قرار دادن نمونه ها در برابر تابش یونیزان گاما و قرار دادن آنها در مسیر های قبلی طی ۸ مرحله آزمایش برای هر نمونه، خروجی پلاریمتر ثبت شد. با استفاده از داده های سیستم پلاریمتر شامل ضرایب استوکس و روابطی که در زیر بحث می شود می توان قطبش را از یک نمونه ماده یافت.

۲- ۱ - محاسبات ریاضی

برای موجی به معادله (۱)

$$E(z,t) = E_0 \exp[-i(\omega t - kz)] \quad (1)$$

ضریب شکست محیطی است که پرتو از آن عبور می کند. E_0 کمیت برداری مختلطی است که در صفحه موج قرار گرفته و قطبش را بیان می کند. این کمیت را می توان در دستگاه مختصات xoy به دو مولفه عمود بر هم تقسیم کرده و به صورت معادله (۲) نوشت:

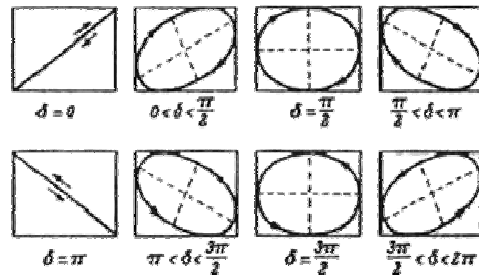
$$E_0 = A_x e^{i\Phi_x} \hat{x} + A_y e^{i\Phi_y} \hat{y} \quad (2)$$

در این رابطه کمیت های A_x, A_y ثابت های حقیقی و مثبت هستند. با قرار دادن $\Phi = \Phi_y - \Phi_x$ که $\Phi \in [-\pi, \pi]$ می توان مولفه های کارتزین این موج را به صورت حقیقی در صفحه موج $Z=0$ به صورت زیر نوشت:

$$E_x(t) = A_x \cos \omega t \quad (3)$$

$$E_y(t) = A_y \cos(\omega t - \Phi) \quad (4)$$

بررسی این دو معادله میزان قطبیدگی موج را نشان می دهد. اگر Φ مضرب صحیحی از صفر یا π باشد، موج دارای قطبیدگی خطی و هرگاه $\Phi = \pm \frac{\pi}{2}$ و $A_x = A_y$ باشد، موج دارای قطبیدگی دایره ای و در بقیه موارد قطبیدگی بیضوی است (شکل ۳).



شکل ۳: نمایش قطبیدگی بر اثر تغییرات اختلاف فاز

همانطور که از دو معادله (۳) و (۴) مشخص است این بیضی داخل مستطیلی به اضلاع $2A_x$ و $2A_y$ قرار خواهد داشت. با توجه به معادلات زیر در رابطه با دو مولفه A_x و A_y می توان ضرایب استوکس را یافت. ضرایب استوکس استاندارد خوانده می شوند. Φ اختلاف فاز تعریف شده بین A_x و A_y می باشد.

$$S_{0,1,2,3} = \frac{P_{0,1,2,3}}{P_0}$$

$$P_0 = A_x^2 + A_y^2 \quad (5)$$

$$P_1 = A_x^2 - A_y^2 \quad (6)$$

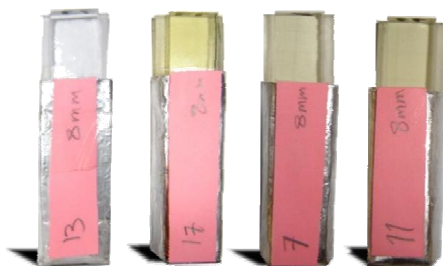
$$P_2 = 2A_x A_y \cos \Phi \quad (7) \quad P_3 = 2A_x A_y \sin \Phi \quad (8)$$

با داشتن این ضرایب از خروجی پلاریمتر می توان به اختلاف فاز Φ بین مولفه های x و y موج و در نتیجه قطبش آن پی برد.

$$\frac{s_3}{s_2} = \tan \Phi \quad (9)$$

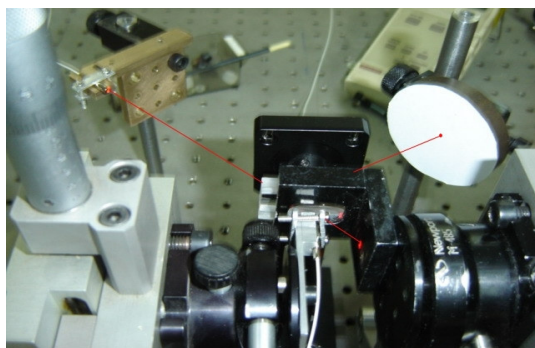
۲ - ۲ - عملیات اندازه گیری

با استفاده از رابطه های به دست آمده تغییرات ایجاد شده در قطبش موج خروجی بررسی گردید. اولین آزمایش ۳۰ دقیقه بعد از پرتوگیری، و آزمایشات بعدی در ساعات مختلف و به مدت ۳ تا ۴ روز پس از پرتوگیری ادامه داشت. در حین اندازه گیری سعی بر این بود که شرایط محیطی از قبیل دما و روشنایی محیط تا حد امکان ثابت نگه داشته شود. برای جلوگیری از اثر میدان الکترومغناطیسی و نور روی پلیمرها، نمونه ها مطابق شکل ۴ درون فویل های آلومینیومی قرار گرفتند.



شکل ۴: نمونه های پلیمر درون فویل های آلومینیومی

به منظور هرچه دقیق تر قرار دادن نمونه ها در مسیر یکی از شاخه های تداخل سنج، از قانون انعکاس نور استفاده شد؛ به این ترتیب که با تنظیم نقطه برخورد نور لیزر قرمز انعکاس یافته از پلیمر، برای حالات مختلف از قرار گرفتن دقیق پلیمر در مکان اولیه اطمینان حاصل می شد (شکل ۵).

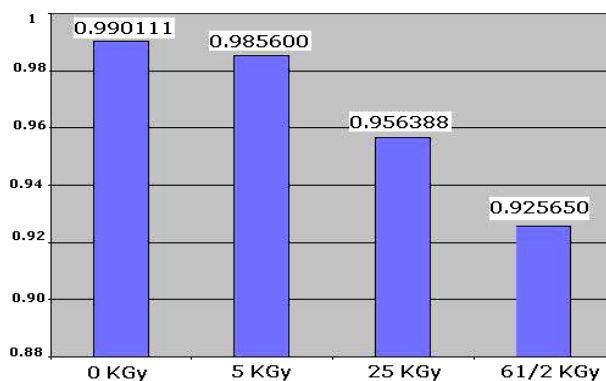


شکل ۵: با تنظیم نقطه برخورد نور لیزر قرمز انعکاس یافته از پلیمر، برای حالات مختلف از قرار گرفتن دقیق پلیمر در مکان اولیه اطمینان حاصل می شود

علاوه بر بررسی خاصیت تغییر قطبش نور خروجی از سیستم، به دلیل تغییر ضریب شکست ماده، طیف عبوری نمونه های پرتوگیری شده در محدوده مرئی و UV بررسی شد.

۲-۳- نتایج اندازه گیری

اندازه گیری های انجام شده در ساعات و روزهای مختلف برای نمونه های موجود، میانگین گیری شده و در جدول ۱ تنظیم شده اند. شکل ۶ میزان اختلاف فاز میانگین بر حسب مقدار دز اعمال شده بر نمونه های پلیمر را نشان می دهد.

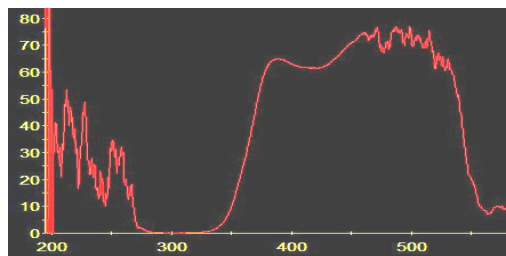


شکل ۶: میزان اختلاف فاز میانگین بر حسب مقدار دز اعمال شده بر نمونه های پلیمر

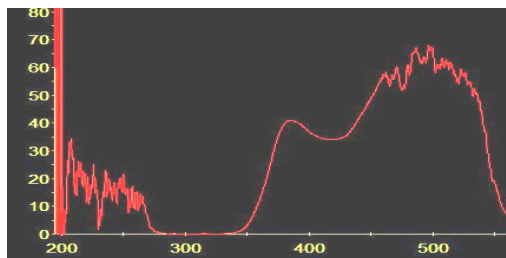
جدول ۱: میانگین اندازه گیری های انجام شده برای نمونه های مختلف تحت دز گامای متفاوت

Nu	قبل از تابش گاما				Dose KGy	بعد از تابش گاما				
	S1	S2	S3	Φ_0		S1	S2	S3	Φ	$\Phi_0 - \Phi$
۱	-/۷۷۵۷۴۰	/۲۰۸۶۴۷	/۳۱۸۷۵۴	/۹۹۱۲۰۰	۵	-/۷۶۲۳۱۴	/۰۲۹۳۳۳	/۰۴۴۳۰۰	/۹۸۵۶۰۰	/۰۰۵۵۵۳
۲	-/۷۷۲۳۴۵	/۲۰۱۹۵۴	/۳۲۳۶۵۸۷	۱/۰۱۷۰۰۰		-/۷۶۲۵۱۱	/۰۳۰۷۲۹	/۰۴۹۱۰۰	۱/۰۱۱۵۰	/۰۰۵۴۹۴
۳	-/۷۷۴۵۲۵	/۱۹۸۵۴۲	/۳۲۳۶۵۴	۱/۰۲۰۶۰۰		-/۷۶۲۰۱۴	/۰۲۹۷۳۱	/۰۴۷۹۰۰	۱/۰۱۵۴۰	/۰۰۵۲۱۴
۴	-/۷۶۸۴۰۰	/۲۰۸۴۵۸	/۳۱۹۵۸۳	/۹۸۹۶۶۷	۲۵	-/۷۶۵۲۱۳	/۲۱۷۰۰۰	/۳۰۸۶۴۴	/۹۵۶۳۸۸	/۰۳۳۲۷۹
۵	-/۷۷۰۰۰۰	/۲۰۱۸۱۷	/۳۲۱۶۶۷	۱/۰۱۰۵۶۷		-/۷۶۵۶۷۵	/۲۱۰۴۰۶	/۳۱۶۵۳۱	/۹۸۳۸۶۳	/۰۲۶۷۷۰۴
۶	-/۷۷۵۷۶۰	/۱۸۸۶۶۷	/۳۲۵۸۰۰	۱/۰۳۶۵۰۰		-/۷۶۰۹۲۰	/۲۰۳۲۸۶	/۳۲۳۰۷۱	۱/۰۰۹۱۸۶	/۰۲۷۳۱۴
۷	-/۷۷۹۲۳۳	/۱۹۷۲۱۷	/۳۳۸۸۱۷	۱/۰۴۳۵۶۷	۶۱/۲	-/۷۶۵۶۲۰	/۲۱۲۳۵۰	/۳۱۳۶۲۵	/۹۷۵۶۰۰	/۰۶۷۹۶۷
۸	-/۷۷۱۷۳۳	/۲۰۹۲۵۰	/۳۱۸۵۰۰	/۹۸۹۴۶۷		-/۷۶۹۲۰۰	/۲۲۲۴۷۵	/۲۹۵۶۲۵	/۹۲۵۶۵۰	/۰۶۳۸۱۷
۹	-/۷۷۳۹۳۳	/۲۰۰۶۸۰	/۳۲۲۰۸۳	۱/۰۱۳۶۰۰		-/۷۷۱۵۰۰	/۲۱۵۲۵۰	/۲۹۸۷۰۰	/۹۴۶۳۵۰	/۰۶۷۲۵۰

همانگونه که در شکل ۷ و ۸ دیده می شود، طیف عبوری نمونه ها در طول موج ۳۵۰ - ۵۵۰ nm دارای پیک متناسب با دز دریافت شده می باشد.



شکل ۷: طیف عبوری پلیمر با دز ۲۵ KGy



شکل ۸: طیف عبوری پلیمر با دز ۶۱/۲ KGy

با افزایش میزان دز، افزایش تیره شدن رنگ پلیمر بیشتر می شود، این اثر در شکل ۹ قابل مشاهده است.



شکل ۹: تغییر رنگ پلیمر بر حسب مقدار دز

۳- نتیجه گیری

با افزایش میزان دز، افزایش تیره شدن رنگ پلیمر و افزایش اختلاف فاز بین دو مؤلفه موج خروجی و در نتیجه افزایش ضریب شکست ماده مشاهده می شود. کوچک ترین تغییر در ضریب شکست ماده که تغییر قطبش نور خروجی را در بر خواهد داشت، به کمک این سیستم قابل آشکارسازی می باشد. بنابراین با توجه به این تکنیک می توان در کاربردهای دزیمتری از موادی استفاده نمود که بیشترین حساسیت به تابش های یونیزان محیط را دارا باشند و نسبت به کمترین دز موجود، پاسخ قابل اندازه گیری را از خود نشان دهند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از جناب آقایان دکتر مهاجرانی، دکتر شهریاری، مهندس فیروزآبادی و مهندس مظفری و خانم مهندس مدرس رضوی برای راهنمایی های سودمندشان در پیشروی عملکرد پروژه، دارند.

مراجع

- [1] Anno j N, "Radiation effects on materials", New YORK: Hermi sphere, pp.56-75, 1984.
- [2] Barnes and Wiczler j., "Radiation effect in optoelectronic devices Technical", Report 84 - 0771 (Albuquerque: sandia National labs) p 2., 1984.
- [3] Borgerman p2001., "Safety and operational monitoring of nuclear waste repositories whit fiber optics sensing systems", ECFPPS-Euratom R and D PROJECT., 2/2001-10-02, SCK.CEN.
- [4] M Medhat, SYEL-Zaiat, Saleh Abdou, Amr Radi and M F Omar, "Interferometer determination of gamma radiation effects on optical parameters of a GRIN OPTICAL FIBER", J.OPT.a: PURE appl.opt.4, pp.485-490, 2002.
- [5] D.Griscom, M.Gingerich and E.Friebele., "Model for the dose, dose rate and tempreture dependence of radiation - induced loss in optical fibers", opt.lett., vol.19, pp.548-550, 1994.
- [6] V.Neustruev, "Color centers un German silicate glass on optical fibers", j.phys.condens. Matter, vol.6, pp.6901-6936, 1994.
- [7] E.Friebele, K.Long, C.Askins and M.Gingerich "Overview of radiation effects in fiber optics", in radiation Effects in optical Materials. Bellingham, WA: SPIE, vol.541, pp.70-88, 1985
- [8] W.Primak, "The Compacted states of vitreous silica", in studies of effects in solids. Dienes and L.Chadderton, Eds, New York: Gordon and Breach, vol.4, 1975.
- [9] E.Taylor, Hulick, j Battiato, A.Sanchez, Winter and A.Pirich, "Response of germana doped fiber Bragg gratings in radiation environments", proc.SPIE, vol.3714, pp.106-113, 1999.
- [10] A.Fernandez, B.Brighard, F.Berghamans and M.Decerton, "Dose-rate dependencies in gamma - irradiated in fiber Bragg gratings", IEEE Trans .Nucl .sci., vol.94, pp.2874, Des.2002.
- [11] N Barakat, H A El-Hennawit, M M El-oker and F Sharaf, "Effect of gamma irradiation on the refractive indices, birefringence and optical absorption of blue cashmeline fiber", j.phys.D:Appl.phys.22, pp.786-789, 1989