



بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



اندازه‌گیری ضریب دمایی مقاومت بیوپلیمر کیتوسان

مسعود بابائی^۱، محمدعلی انصاری و عزالدین مهاجرانی

آزمایشگاه تصویربرداری بیولوژیک نوری-پژوهشکده‌ی لیزر و پلاسما-دانشگاه شهید بهشتی- تهران

تلفن: ۰۲۱-۲۹۹۰۴۰۳۳

چکیده - در تصویربرداری از بافت‌های سرطانی، اندازه‌گیری دما می‌تواند نقش مهمی ایفا کند. در این پژوهش، ضریب دمایی مقاومت (TCR) بیوپلیمر کیتوسان به عنوان پارامتر اساسی ماده‌ی حساس در آشکارسازهای فروسرخ از نوع بالومترهای پایه بیولوژیک اندازه‌گیری می‌شود. ساختار مورد بررسی شامل لایه نازک کیتوسان است که میان دو الکترود از جنس آلومینیوم و زیرلایه‌ی ITO لایه نشانی شده است. همچنین ارتباط میان فاصله‌ی حسگر از منبع گرمایی و مقاومت آن، در این مقاله بررسی خواهد شد.

کلید واژه- آشکارساز بالومتر، ضریب دمایی مقاومت، کیتوسان، مشخصه‌ی جریان- ولتاژ.

Measurement of Temperature Coefficient of Resistance of Chitosan biopolymer

Masoud Babaei, MohamadAli Ansari, and Ezedin Mohajerani

Tehran-Shahid Beheshti university-Laser and Plasma Research Institute-Optical Biologic Imaging Lab

Abstract- Temperature measurement is important in cancer tissues imaging. In this study, temperature coefficient of resistance (TCR) of Chitosan as an essential parameter of sensing material in biological-based bolometers is measured. examined structure consists of thin film of Chitosan that is sandwiched between two electrodes of Al and ITO. In this paper, relationship between distance of sensor from heat source and its resistance will be discussed, too.

Keywords: Bolometer detector, Temperature Coefficient of Resistance, Chitosan, I-V Characteristic

¹ Ma.babaei@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه آشکارسازهای فروسرخ در تصویربرداری پزشکی کاربرد دارند. به طور مثال با این آشکارسازها می‌توان براساس تفاوت دمایی ایجاد شده میان بافت‌های سالم و سرطانی، توده‌ی سرطانی را شناسایی و درمان کرد [۱].

عموماً آشکارسازهای فروسرخ به دو نوع فوتونی و حرارتی تقسیم می‌شوند. نوع فوتونی حساسیت و سرعت بالاتری دارد ولی برای حذف نوفه نیاز به خنک‌سازی دارد که منجر به گران‌شدن و سنگینی قطعه می‌گردد. آشکارسازهای حرارتی، عملکرد نسبتاً ضعیف‌تری دارند ولی در دمای اتاق به راحتی کار می‌کنند و سبک‌تر، کوچک‌تر و ارزان‌تر هستند.

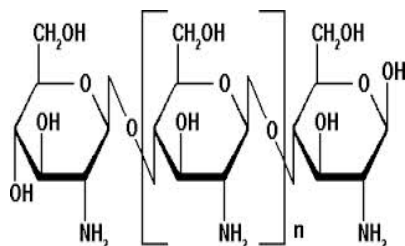
بالومترها دسته‌ی مهمی از آشکارسازهای حرارتی هستند که در آن ماده‌ی حساس پس از جذب امواج فروسرخ، گرم شده و مقاومت الکتریکی آن تغییر می‌کند. اخیراً توجه محققان به سمت بالومترهای پایه بیولوژیک معطوف شده است [2,3]. این نوع بالومترها به دلیل ارزانی و سادگی ساخت اهمیت دارند.

در این مقاله به نوع خاصی از آشکارساز حرارتی پایه بیولوژیک از نوع بالومتر پرداخته می‌شود که در آن از بیوپلیمر کیتوسان به عنوان ماده‌ی جاذب امواج فروسرخ استفاده شده است [4]. کیتوسان زیست سازگار بوده و برای بدن عوارض جانبی ندارد؛ لذا اهمیت ساخت و استفاده از این نوع آشکارساز بیولوژیک دوجندان می‌شود.

ضریب دمایی مقاومت (TCR) پارامتر اساسی ماده‌ی حساس در بالومترها محسوب می‌شود. هرچه TCR بالاتری داشته باشیم؛ یعنی با افزایش دما، مقاومت-الکتریکی تغییرات بیشتری داشته باشد، آشکارساز حساسیت بالاتری از خود نشان می‌دهد.

مکانیسم‌های متفاوتی برای توجیه هدایت الکتریکی در پلیمرها وجود دارد؛ به‌عنوان مثال، اثر پول-فرنکل^۲ بیان می‌کند چطور ماده‌ی عایق درمیدان الکتریکی قوی، هادی جریان الکتریسیته می‌شود. رابطه‌ی آرنیوس^۳ نیز هدایت

الکتریکی تحت دما را بررسی می‌کند [۵]. کیتوسان مشتق داستیل^۴ (استیل زدایی شده) کیتین^۵ است (شکل ۱). کیتین فراوان‌ترین پلی ساکارید^۶ طبیعی بعد از سلولز است و از ضایعات پوسته‌ی جانداران دریایی مثل میگو و خرچنگ استخراج می‌شود. کیتوسان ماده‌ای غیرسمی، تجدیدپذیر و زیست سازگار است که در همه‌ی حلال‌های اسیدی رقیق انحلال‌پذیر است ولی در آب و حلال‌های آلی حل نمی‌شود.



شکل ۱: ساختار شیمیایی کیتوسان.

در این پژوهش، برای به دست آوردن ضریب دمایی مقاومت کیتوسان در دماهای مختلف، مقاومت الکتریکی آن تحت دما بررسی می‌شود. این پارامتر به ساختار درونی، ضخامت فیلم، دما و سطح تماس الکترود با پلیمر بستگی دارد؛ همچنین توزیع چگالی حالت‌ها بر شکل منحنی جریان-ولتاژ تأثیرگذار است [5].

۲- مواد و روش‌ها

در این آزمایش از کیتوسان با وزن مولکولی بالا و درجه‌ی داستیلاسیون^۷ ۶۴٪ (سیگما-آلد ریچ) استفاده شد. ابتدا محلول کیتوسان با غلظت ۲٪ وزنی-حجمی توسط حلال استیک اسید^۸ تهیه شد.

برای تهیه‌ی لایه نازک کیتوسان به روش لایه نشانی چرخشی^۹، محلول کیتوسان روی زیرلایه‌ی ITO چکانده و لایه نشانی با تنظیم سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۳۰ ثانیه انجام شد.

⁴ Deacetylated

⁵ Chitin

⁶ Polysaccharide

⁷ Degree of Deacetylation

⁸ Acetic acid

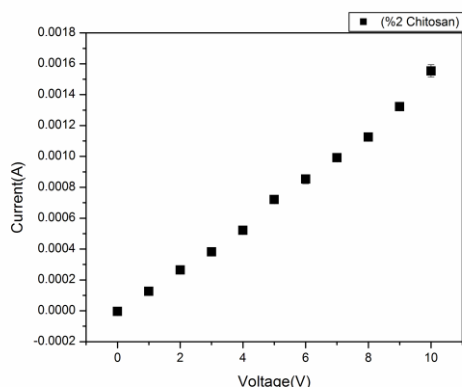
⁹ Spin-coating

² Poole-Frankle

³ Arrhenius

۳- نتایج تجربی

همانطور که در شکل ۳ دیده می شود تغییرات نمودار I-V تقریباً خطی است به طوری که در ولتاژ ۰ تا ۱۰ ولت، جریان از ۰/۲ تا ۱/۶ میلی آمپر متغیر است.



شکل ۳: منحنی جریان- ولتاژ در دمای عادی

به منظور بدست آوردن ضرایب دمایی مقاومت و بررسی تاثیر اکسیژن و رطوبت محیط بر نحوه عملکرد حسگر، آزمایش اندازه گیری I-V تحت دما طی شش روز، دوبار دیگر تکرار شد و نمودار مقاومت-دما با انجام آزمایش ها با فاصله ی زمانی ۳ روز بدست آمد. نمونه ها در این شش روز، در شرایط عادی (دما و فشار استاندارد) نگهداری شد.

مشاهده می شود که به طور کلی مقاومت نمونه با گذشت زمان افزایش می یابد ولی تغییرات آن محدود به بازه های دمایی ۵ تا ۱۰ درجه است و از شکل تابع سیگموئید^{۱۳} با رابطه ی

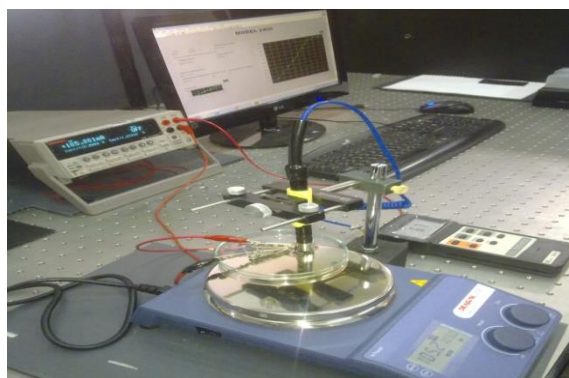
$$R = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp\left(\frac{T - T_0}{dT}\right)} \quad (2)$$

پیروی می کند [۷] (شکل ۴).

(1)

بعد از لایه نشانی، برای تبخیر حلال، قطعه در دمای ۸۰ درجه ی سلسیوس به مدت یک ساعت درون کوره^{۱۰} قرار داده شد [4]. در ادامه به منظور اضافه کردن پوشش آلومینیوم بر لایه نازک کیتوسان، لایه نشانی رسوب تبخیر فیزیکی^{۱۱} انجام شد.

برای بدست آوردن مشخصه ی جریان - ولتاژ^{۱۲} قطعه، چیدمانی متشکل از همزن مغناطیسی (با دقت یک درجه) ، دستگاه اندازه گیری KEITHLEY مدل ۲۴۰۰ (دقت اندازه گیری ۱۰ pA، ۱۰ μV و ۱۰۰ Ω است) با پشتیبانی نرم افزار Lab View و دماسنج لمسی (دقت یک درجه) استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲: چیدمان آزمایش اندازه گیری جریان- ولتاژ با افزایش دما.

برای بدست آوردن نمودار جریان- ولتاژ قطعه، اندازه گیری ابتدا در دمای اتاق و سپس با افزایش دما تا ۷۰ درجه در بازه های ۵ درجه انجام شد. هر آزمایش ۳ تا ۵ مرتبه تکرار شد. در طی آزمایش، نمونه ها بر روی ظرف شیشه ای بالای سطح داغ همزن قرار گرفت. علت استفاده از ظرف، جلوگیری از اتصال سوسماری به سطح داغ بود. ضریب دمایی مقاومت قطعه از رابطه ی

$$TCR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (1)$$

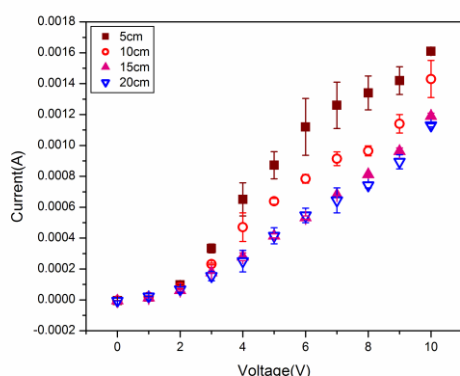
بدست می آید [۶].

¹⁰ Oven

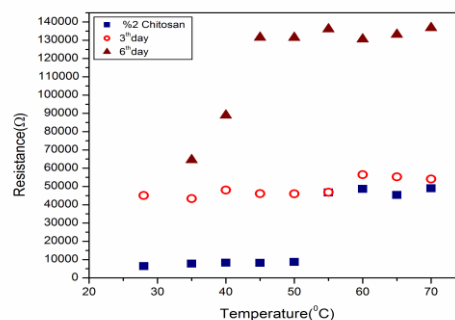
¹¹ Physical Vapor Deposition

¹² I-V characteristics curve

¹³ Sigmoid function



شکل ۵: نمودار I-V در فواصل ۵ تا ۲۰ سانتیمتر از صفحه‌ی داغ.



شکل ۴: تغییرات مقاومت با افزایش دما طی شش روز.

مقادیر اندازه‌گیری شده TCR حسگر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر TCR با گذشت زمان.

(°C) T	TCR _(1/K) (%)	TCR _{3th day (1/K)} (%)	TCR _{6th day} (%)
۳۵	0.01×10^{-8}	0.01×10^{-33}	$8/65 \times 10^{-1}$
۴۰	0.01×10^{-4}	0.01×10^{-24}	۱۴/۴۶
۴۵	$1/30 \times 10^{-2}$	0.01×10^{-15}	۱/۳۰
۵۰	۱۷/۰۰	$1/12 \times 10^{-8}$	$3/90 \times 10^{-3}$
۵۵	۲/۹۰	۸/۵۰	$4/57 \times 10^{-4}$
۶۰	$1/90 \times 10^{-3}$	$0/89 \times 10^{-8}$	0.01×10^{-4}

۴- نتیجه‌گیری

نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که دردمای ۳۵ تا ۵۵ درجه، قطعه ضریب دمایی مقاومت خوبی را نشان می‌دهد و بیشترین مقدار $1/17 (1/K)$ می‌باشد. با این شرایط آن را می‌توان به عنوان یک گزینه‌ی مناسب برای استفاده در آشکارسازهای فروسرخ از نوع بالومتر به حساب آورد. مقادیر TCR رایج برای بالومترهای تجاری حدود $1/4 (1/K)$ است.

مراجع

- [1] Arora N1, Martins D, Ruggerio D, Tousimis E, Swistel AJ, Osborne MP, Simmons RM, Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer. *Am J Surg*. 2008 Oct;196(4):523-6
- [2] Jian-Lun Lai, Chien-Jen Liao and Guo-Dung John Su, Using an SU-8 Photoresist Structure and Cytochrome C Thin Film Sensing Material for a Microbolometer, *Sensors* 2012, 12, 16390-16403.
- [3] Bo-Yu Lai, Chung-Hao Chu and Guo-Dung John Su, Long-Wavelength Infrared Sensing by Cytochrome C Protein Thin Film Deposited by the Spin Coating Method, *Sensors* 2013, 13, 15833-15845.
- [4] Michael Thomas Mueller, Biomimetic, Polymer-Based Microcantilever Infrared Sensors, 2007.
- [5] S.W.Tkaczyk, J.Swiatek, M.Mucha., electrical conductivity in thin layers of chitosan and chitosan acetate, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. vol.8NO.3, June 2001.
- [6]
- [7] Jian-Lun Lai, Chien-Jen Liao and Guo-Dung John Su. Using an SU-8 Photoresist Structure and Cytochrome C Thin Film Sensing Material for a Microbolometer. *Sensors* 2012, 12, 16390-16403.
- [8] <http://www.originlab.com/doc/Origin-Help/Fitting-Sigmoidal>.

برای رسیدن به شرایط واقعی عملکرد حسگر فروسرخ، در آزمایش دیگری تاثیر فاصله‌ی آشکارساز تا منبع حرارتی بررسی شد. آزمایش I-V در فواصل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری از منبع گرمایی انجام شد.

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود تا فاصله‌ی ۱۵ سانتی‌متری تغییرات منظمی را شاهد هستیم به این ترتیب که با افزایش فاصله، مقاومت الکتریکی قطعه افزایش می‌یابد پس مقدار TCR کاهش می‌یابد.