بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۱۱۸۱-۱۰-A

الگودهی داربست‌های الکتروریسی شده PVDF با استفاده از تپ‌های لیزری فمتوثانیه

اسماء السادات معتمدی[۱و۲]، فرشته حاج اسماعیل‌بیگی[۱]، حمید میرزاده[۲و۳]، شاداب باقری خولنجانی[۳] و افتخارسادات بستان‌دوست[۱]

۱- پژوهشکدهٔ فوتونیک و فناوری‌های کوآنتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران
۲- دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران
۳- دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران

asma.motamed@gmail.com, fbaigi2000@yahoo.com,mirzadeh@aut.ac.ir, s.bagheri@aut.ac.ir, meigolbostan@gmail.com

چکیده - در این مقاله فرآیند الگودهی نانوالیاف پلیمر پیزوالکتریک*PVDF*الکتروریسی شده مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا نانوالیاف با استفاده از روش الکتروریسی و با شرایط بهینه ساخته شده است. سپس داربست نانوالیاف حاصله با استفاده از تپ‌های فمتوثانیه لیزر تیتانیوم سفایر الگودهی شده و کانال‌ها و الگوهای میکرومتری برروی آن ایجاد شده است. ساختار و ریخت شناسی نانوالیاف و الگوهای ایجاد شده توسط روش تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی*(SEM)*بررسی شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که داربست نانوالیاف الگودهی شده با استفاده از تپ‌های لیزر فمتوثانیه می‌تواند به‌عنوان داربست مهندسی بافت عصبی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه-الگودهی، پلیمر پیزوالکتریکPVDF، تپ فمتوثانیه، داربست نانوالیاف، لیزر تیتانیوم سفایر.

Patterning on Electrospun PVDF Scaffolds by Femtosecond Laser Pulses

A. Motamedi[1,2], F. Hajiesmaeilbaigi[1], H. Mirzadeh[2,3], S.Bagheri Khoulenjani[3] and EftekharBostandoust

1 Photonics and Quantum Technologies Research School, NSTRI, Tehran

2 Department of Biomedical Engineering, AmirKabir University of Technology, Tehran

3 Department of Polymer Engineering and Color Technology, AmirKabir University of Technology, Tehran

Abstract- In this paper, the patterning process of Electrospun piezoelectric PVDF nanofibers is studied.For this purpose,first nanofibers are made using electrospinning method with optimal conditions.Then the resulting nanofibers scaffold was patterned using the femtosecond pulses of Ti:Sapphire laser and micrometer channels and patterns were created on it.The structure and morphology of the nanofibers and the created patterns are investigatedby scanning electron microscopy (SEM).The results show that thepatterned nanofibers scaffold using femtosecond laser pulsescan be used as a neural tissue-engineering scaffold.

Keywords: Femtosecond pulses, nanofibers scaffold, patterning, piezoelectricPVDF polymer, Ti:Sapphire laser.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

پلیمرهای پیزوالکتریک مواد فعال الکتریکی هستند که می‌توانند بدون نیاز به تحریکات خارجی، سیگنال الکتریکی تولید کنند.پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF) پلیمری نیمه بلوری و زیست سازگار با فعالیت الکتریکی بالا است که به‌علت ویژگی‌های فوق العاده پیزوالکتریک توجه زیادی را به خود جلب کرده است[۱]. مواد پیزوالکتریک موادی هستند که تغییر فشار و یا نیرو باعث تغییر بارالکتریکی لحظه‌ای در سطح آن‌ها می‌شود. پلیمرهای پیزوالکتریک جهت استفاده در کاربردهای گوناگون نظیر حس‌گرها و داربست‌های مهندسی بافت بسیار مفید هستند، زیرا می‌توانند بار موقتی را بدون نیاز به منبع انرژی خارجی یا الکترود القا کنند [۲].

در مهندسی بافت عوامل محیطی نظیر هندسه سطح و الگوهای سطحی داربست‌ها نقش مؤثری در برهم‌کنش داربست سلول و نیز میزان چسبندگی رشد و تمایز سلولی بر سطح داربست ایفا می‌کنند. از طرفی الگودهی سطح داربست‌ها به‌صورت ساختارهایی با ابعاد در حدود صد میکرومتر می‌تواند به رشد مستقیم و جهت‌مند سلولی و تشکیل بافت منجر گردد. از سوی دیگر، تحقیقات نشان داده‌اند که سلول‌های عصبی تمایل بیشتری به رشد درون کانال و در یک راستای مشخص دارند[۳].

فرآیند الکتروریسی یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای تهیه داربست مهندسی بافت است که کنترل و بهینه‌سازی مورفولوژی را در حین فرآیند میسر می‌سازد. ساختار و هندسه نمد نانوالیاف الکتروریسی شده بسیار شبیه ساختار ماتریس برون سلولی(ECM)طبیعی انسان می‌باشد. بنابراین نانوالیاف الکتروریسی شده می‌تواند ماده‌ای امیدبخش برای کشت سلولی و کابردهای مهندسی بافت باشد[۴].

استفاده از لیزر برای الگودهی نانوالیاف الکتروریسی شده،روشی غیرتماسی است و بدون افزودن هیچ ماده شیمیایی اضافی، معمولاً در یک مرحله به‌طور کامل انجام می‌شود. میکروماشین‌کاری با لیزرهای فمتوثانیه یکی از جدیدترین شاخه‌های علمی است و کاربردهای گوناگونی از جمله اصلاح سطح سلول‌های خورشیدی جهت افزایش بازده آنها، اصلاح و تولید ماسک‌های مورد استفاده در فوتولیتوگرافی، ایجاد حفره‌های میکرومتری و ساخت میکروکانال برای شاره‌ها، تولید موج‌بر نوری، تغییر آب‌گریزی سطح مواد مورد استفاده در زیست‌شناسی و تولید حافظه‌های کوآنتومی دارد.

با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه، اثرات مخرب مکانیکی و گرمایی به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابند. به‌علاوه، با استفاده از سامانه نوری مطلوب، می‌توان قطر کانون لیزر را تا حدی که حد پراش اجازه می‌دهد، کم کرد و با دقت بسیار بالایی در مقیاس نانومتری ماشین‌کاری نمود [۵].

در این مقاله ایجاد الگوهای میکرومتری بر داربست نانوالیاف پلیمر پیزوالکتریک PVDFالکتروریسی شده، توسط پرتودهی با لیزر فمتوثانیه تیتانیوم سفایر،بررسی شده است. آزمایش‌های الکتروریسی در شرایط بهینه به‌دست آمده انجام شده و نانوالیافی هم‌راستا با قطر یکنواخت به‌دست آمده است. با ایجاد الگوی‌های میکرومتری محیط مناسب برای رشد جهت‌مند سلول‌های عصبی برای کاربرد به‌عنوان داربست مهندسی بافت عصبی فراهم می‌شود.

روش آزمایش

در این تحقیق، برای ساخت نانوالیاف پلیمری از محلول پلیمری با غلظت ۳۰٪ استفاده شده است. برای این منظور ابتدا پلیمر PVDF در حلال دی متیل استامید و استون با نسبت برابر حل شده تا محلولی کاملاً شفاف و یکنواخت به‌دست آید. آزمایش‌های الکتروریسی در شرایط بهینه شامل ولتاژ ۱۵ کیلووات، فاصله نوک سوزن تا صفحه هدف ۲۴ سانتی‌متر، سرعت تغذیه ۰/۷میلی‌لیتر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه انجام شده است[۶].

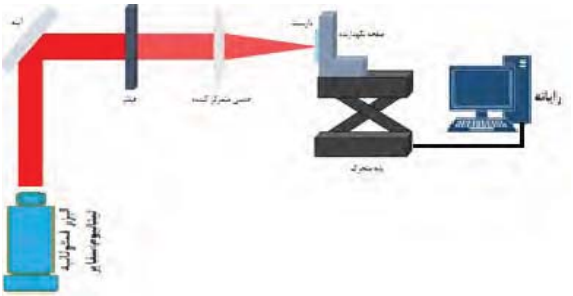
در این پژوهش برای الگودهی و ایجاد میکروکانال جهت بهبود خواص داربست،برروی داربست‌های نانوالیاف الکتروریسی شده با استفاده از لیزر فمتوثانیه تیتانیوم سفایر با طول موج در بازه ۸۰۰ نانومتر و پهنای تپ در

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

حدود ۳۷ فمتوثانیه و با انرژی تپ بین ۵۰ تا ۲۰۰ میکروژل در هر تپ پرتودهی گردید. با تغییر سرعت روبش سطح داربست‌ها توسط لیزر از ۰/۰۵ تا ۰/۶ میلی‌متر بر ثانیه الگوهای متفاوتی روی سطح داربست‌ها به‌وجود آمد.

چیدمان آزمایشگاهی پرتودهی

چیدمان آزمایشگاهی برای ایجاد کانال‌های میکرومتری روی سطح داربست‌های نانوالیاف الکتروریسی شده پلیمری PVDF در شکل ۱ به‌صورت طرح‌وار نشان داده شده است.

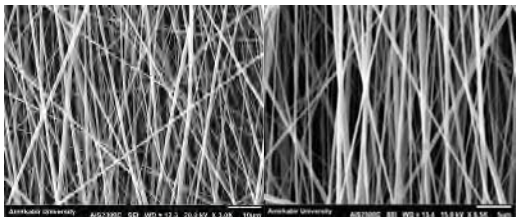


شکل ۱: نمایش طرح‌وار چیدمان الگودهی داربست‌ها با لیزر Ti:Sapphire

باریکه لیزر پس از عبور از یک آینه بازتابی در طول موج ۸۰۰ نانومتر و یک عدسی با فاصله کانونی ۸۵ میلی‌متر روی نمونه که بر روی پایه نگه دارنده متحرک نصب شده است متمرکز می‌شود. برای کاهش انرژی تپ برخوردی از یک فیلتر خنثی قبل از عدسی استفاده شده است. سرعت حرکت پایه نگه دارنده نیز توسط کامپیوتر تنظیم می‌شود.

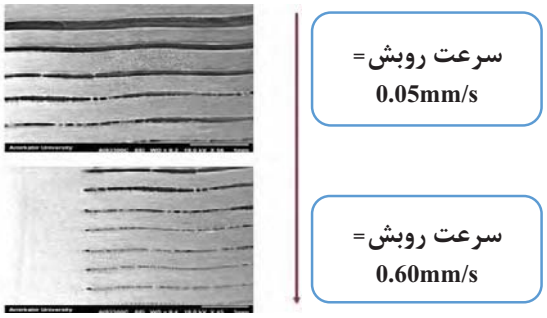
بحث و نتایج

در شکل ۲ تصاویر SEM نانوالیاف الکتروریسی شده پلیمر PVDF نشان داده شده است.



شکل ۲: تصاویر SEM نانوالیاف پلیمر PVDF

تصاویر SEMکانال‌ها و حفره‌های ایجاد شده بر سطح داربست‌های الکتروریسی با سرعت روبش سطح خطی متغیر در زیر آورده شده است. داربست‌ها در فاصله کانونی عدسی متمرکز کننده پرتو لیزر و با انرژی ۱۲۸ میکروژول بر تپ پرتودهی شدند. جهت به دست آوردن انرژی بهینه جهت پرتودهی کانال‌ها از فیلترهای خنثی در مسیر پرتو استفاده گردید.

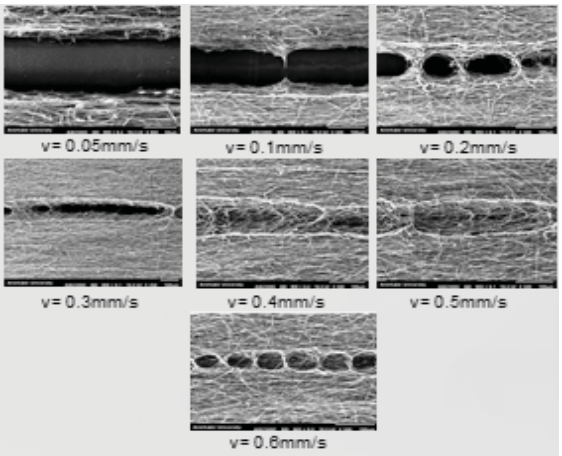


شکل ۳: تصاویرSEMاز نمای کلی الگوهای ایجاد شده بر سطح داربست‌های نانوالیاف الکتروریسی شده

شکل ۳ نمایی کلی از الگوهای ایجاد شده از کانال تا حفره روی سطح داربست نانوالیاف پلیمری الکتروریسی شده را نشان می دهد. با توجه به این تصاویر مشخص می‌شود با افزایش سرعت روبش سطح کانال‌های ممتد و یکنواخت به حفره های مجزا از هم تبدیل می‌شود. هم‌چنین تصاویرSEM از کانال‌ها و حفره‌های ایجاد شده با سرعت‌های روبش متفاوت در شکل ۴ آورده شده است. همان‌طور که در این تصاویر مشاهده می‌شود، در سرعت روبش سطح ۰/۰۵ به‌علت این‌که سطح داربست در مدت زمان بیش‌تری پرتودهی می‌شود، نانوالیاف داربست توسط برخورد تپ‌های لیزری کاملاً کنده شده و کانالی یکنواخت و با عرض ۱۱۰/۹۳±۱۰/۶۷ میکرومتر ایجاد شده است. امابه‌دلیل این‌که سطح داربست کاملاً از بین رفته و بستر نانوالیاف در کف کانال وجود ندارد در نتیجه این ساختار بستر مناسبی برای رشد سلول ها فراهم نمی‌کند.

با افزایش سرعت روبش سطح به ۰/۱۰ میلی متر بر ثانیه با وجود کاهش مدت زمان پرتودهی سطح، مجدداً مشابه شرایط قبل کانالی یکنواخت و با بستر کاملاً عاری از نانوالیاف حاصل شده است. اما عرض کانال به ۱۰۶/۲۳±۷/۶ میکرومتر کاهش یافته است و در یک نقطه بستر کانال در آستانه کندگی قرار داشته است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.



شکل ۴:تصاویرSEM الگوها و کانال‌های ایجاد شده بر سطح داربست‌های نانوالیاف الکتروریسی شده با سرعت‌های روبش متفاوت

با افزایش سرعت روبش سطح داربست به ۰/۲۰ و ۰/۳۰ میلی‌متر بر ثانیه، قسمت‌هایی از سطح داربست به‌طور کامل کنده شده اما در بعضی از مکان‌ها مدت زمان پرتودهی برای کندن کامل نانوالیاف کافی نبوده است. لذا کانالی غیر یکنواخت به‌دست آمده است.با افزایش سرعت روبش سطح داربست نانوالیاف به ۰/۴۰ و ۰/۵۰ میلی‌متر بر ثانیه، به‌علت کاهش مدت زمان پرتودهی، سطح داربست در تمام مسیر پرتودهی بدون کندگی کامل، الگودهی می شود. به این ترتیب کانال‌هایی یکنواخت با بستر نانوالیاف ایجاد می‌شود که نانوالیاف بستر کانال بدون تخریب باقی مانده است. این کانال‌ها بستری مناسب جهت رشد و جهت‌مندی سلول‌های عصبی فراهم می‌کند.با توجه به این تصاویر هنگامی‌که سطح داربست نانوالیاف الکتروریسی شده با سرعت ۰/۶۰ میلی‌متر بر ثانیه روبش می‌شود، به‌علت افزایش سرعت روبش در هر نقطه از سطح دقیقاً یک تپ لیزری برخورد کرده و به‌علت کاهش مدت زمان پرتودهی و نیز کاهش انرژی منتقل شده که باعث کندگی سطح می‌گردد، حفراتی با ابعاد و هندسه مشابه و مجاور هم روی سطح داربست ایجاد می‌شود. همان‌گونه که در تصاویر مشاهده می‌شود، بستر داربست بدون تخریب شدن و از بین رفتن ساختار نانوالیاف باقی مانده است. قطر میانگین حفره‌ها نیز ۵۲/۷۷±۵۸/۲ میکرومتر به‌دست آمده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدادابست نانوالیاف PVDF با ریخت‌شناسی کاملاً موازی و دارای خاصیت پیزوالکتریک با روش الکتروریسی تهیه گردید. سپس با استفاده از تپ‌های فمتوثانیه لیزر تیتانیوم سفایر الگوها و کانال‌های میکرومتری بر سطح داربست ایجاد گردید.بهینه انرژی به‌دست آمده جهت پرتودهی سطح داربست‌ها و ایجاد الگو ۱۲۸ میکروژول بر تپ می‌باشد و با تغییر سرعت روبش سطح داربست‌ها توسط لیزر از ۰/۰۵ تا ۰/۶ میلی‌متر بر ثانیه الگوهای متفاوتی روی سطح داربست‌ها به‌وجود آمده است. الگودهی سطح داربست‌ها با استفاده از لیزر فمتوثانیه تیتانیوم سفایر روشی نویدبخش جهت تهیه داربست‌های نانوالیاف رساناو پیزوالکتریک در زمینه مهندسی بافت عصبی می‌باشد.

مرجع‌ها

[1]B. Ahmed, S. K. Raghuvanshi, N. P. Sharma, J. B. M. Krishna, and M. a Wahab, “1.25mev Gamma Irradiated Induced Physical and Chemical Changes in Poly Vinylidene Fluoride (PVDF) Polymer,” Prog. Nanotechnol. Nanometerials, vol. 2, no. 2, pp. 42–46, 2013.

[2] E. Guzman, J. Cugnoni, T. Gmür, "Survivability of integrated PVDF film sensors to accelerated ageing conditions in aeronautical/aerospace structures". Smart Mater Struct 22, 2013.

[3]Mobarakeh, L. G.;" Application of conductive polymers, scaffolds and electrical stimulation for nerve tissue engineering"; J Tissue Eng Regen Med, Vol. 5, pp. 17-35, 2011.

[4] Q. P. Pham, U. Sharma, and A. G. Mikos, “Electrospinning of polymeric nanofibers for tissue engineering applications: a review.,” Tissue Eng., vol. 12, no. 5, pp. 1197–211, 2006.

[5]V. Melissinaki, A.A. Gill et al., “Direct Laser Writing of 3D Scaffolds for nural Tissue engineering applications”, Biofabrication, 3, 2011.

[6] A. S. Motamedi, H. Mirzadeh, F. Hajiesmaeilbaigi, S. Bagheri-Khoulenjani, and M. A. Shokrgozar, “Piezoelectric electrospun nanocomposite comprising Au NPs/PVDF for nerve tissue engineering,” J. Biomed. Mater. Res. Part A, pp. 1–10, 2017.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.