بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

شبیه سازی استفاده از کانال میکروسیالاتی و جریان الکترواسموتیک برای بهبود عملکرد زیست حسگر

عبداله علیزاده، امیر آزادی

بناب، انتهای بزرگراه ولایت، دانشگاه بناب، گروه مهندسی برق –الکترونیک، کد پستی ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷

Email: alizadeh@bonabu.ac.ir, amirazadi603@gmail.com

چکیده - در طول سال های اخیر علاقه زیادی به تو سعه زی ست ح سگرهای نوری و الکترونیکی ن شان داده شده ا ست. زی ست ح سگرها برای کاربردهای مختلف مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. در این تحقیق با ا ستفاده از کانال میکرو سیالاتی و اعمال جریان الکتریکی، با هل دادن محلول حاوی آنالیت به محل قرار گیری زیست حسگر، عملکرد زیست حسگر بهبود داده شده است. در حالت بدون اعمال ولتاژ به الکترودهای قرار گرفته در میکروکانال، محلول جریانی آرام و لایه ای دارد، ولی با اعمال ولتاژ به الکترودها، حالت آ شوب در میکروکانال ایجاد می شود و این امر باعث هل دادن سیال به سمت زی ست ح سگر می شود. با هل دادن سیال یا آنالیت به سمت ح سگر چگالی آنالیت در نزدیکی ح سگر بی شتر شده (روش Ion Torrent) و باعث کاهش زمان ن شی ست در روی ح سگر می شود. بدین ترتیب می‌توان قابلیت اندازه گیری ح سگر را به چگالی های پایین تر نیز برد. در این تحقیق با اعمال جریان AC به الکترودها و ایجاد جریان الکترواسموتیک، از روی پروفایل حرکت سیال، بهترین شرایط انتخاب می‌شود.

کلید واژه- زیست حسگر نوری، میکروکانال، میکروسیالات، الکترواسموتیک

Simulation of Microfluidic Channel and Electroosmotic Flow to improveing Biosensors

Abdollah Alizadeh, Amir Azadi

Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab 5551761167, Iran.

E-mail: alizadeh@ubonab.ac.ir, Email:amirazadi603@gmail.com

Abstract- In recent years, there has been a growing interest in the development of Electronic and Optical Biosensors. Biosensors are suitable for various applications. In this paper, microfluidic channel is used to improve the performance of optical Biosensor. Ion torrent approach used to increase the concentration of analyte in sensing area. For this purpose, an electric field has been applied to microchannel and Electroosmotic flow is produced. To apply electric field, two electrodes are considered at the microchannel surface. Without voltage applying, there are Laminar flow, but by applying voltage to the electrodes, a turbulence created in microchannel, and electroosmotic flow pushed the fluid toward the biosensor.

Keywords: Optical Biosensor, Microfluidic, Microchannel, Ion torrent

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

در سال های اخیر با رشد تکنولوژی، مطالعات زیادی در مورد زیست حسگرهای مختلف از جمله زیست حسگرهای نوری شده است. این زیست حسگرها با کمک پدیده پلاسمون های سطحی، و ساختار های مختلف تحریک پلاسمون ها، در زمینه های بیولوژیکی و برای شناسایی مولکول های زیستی مختلف کاربرد پیدا کرده‌اند. از جمله ساختارهایی که می‌توانند پلاسمون های سطحی را تحریک کنند می‌توان به استفاده از منشور (آرایش کرشمن[1]، آرایش اوتتو[2])، استفاده از موجبر نوری و آرایش مبتنی بر گریتینگ اشاره کرد[۱]. به علت کوچک بودن، حساسیت بالا، سرعت زیاد و هزینه پایین، توجه زیادی به زیست حسگرهای نوع نوری شده است. با توجه به حساسیت زیست حسگرها، نیاز است تا روش و راه کارهایی برای افزایش حساسیت زیست حسگر، کاهش زمان اندازه گیری به کار گرفته شود تا قابلیت اندازه گیری غلظت های پایین برای حسگر فراهم شود. در سال های اخیر تلفیق زیست حسگرها با تکنولوژی میکروسیالات و استفاده از سیگنال نوری باعث محقق شدن آزمایشگاه روی تراشه شده است[۲]. در این پژوهش نشان داده می‌شود که استفاده از یک کانال میکروسیالاتی و کاشتن الکترود هایی در مسیر عبور سیال، و اعمال ولتاژ به الکترودها، سبب بهبود عملکرد زیست حسگر می‌شود. امروزه برای ساخت میکروکانال برای سیالات، از ماده پلی متیل متا آکرلیت (PMMA) یا پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS) استفاده می‌شود. در زیست حسگرهای تلفیق شده با میکروکانال، با اعمال ولتاژ به الکترودهای قرار گرفته شده در سطح میکروکانال، جریان الکترواسموتیک در میکروکانال ایجاد می‌شود[۳]. با بررسی پروفایل جریان سیال، مناسب ترین مقادیر ولتاژ لازم برای الکترودها استخراج می شود.

تئوری میکروسیالات و جریان الکترواسموتیک

در سال های اخیر، با پیشرفت های صورت گرفته در زمینه ساخت سیستم های میکرو اپتو-الکترو-مکانیکی (MOEMS)، شاخه میکرو سیالات نیز به کمک آمده است تا بتوان دست باز تری در اندازه گیری پارامترهای حیاتی داشت. میکرو سیالات یا میکروفلوئیدیک، بطور گسترده در حسگر های زیستی بکار می‌رود. از مزایای استفاده از میکروفلوئیدیک می‌توان به مواردی از جمله زمان اندازه گیری کمتر، حساسیت بالا ، قابل حمل بودن و یکپارچگی روش های آزمایشگاهی در یک ابزار (فناوری آزمایشگاه روی تراشه) اشاره کرد[۴]. الکتروکینتیک یک تکنیک و روش کارآمد برای کنترل مایعات و نمونه ها (مانند یون ها، بیومولکول ها، و سلول ها) در سیستم های میکروسیالاتی است. این تکنیک برای جداسازی نمونه ها و ایجاد حالت آشوب درون میکروکانال ها نیز به کار می‌رود. پروفایل حرکت مایعات حاوی بیومولکول ها در اثر اعمال ولتاژ به الکترودهای سطحی میکروکانال تغییر می‌کند، که این نوع پروفایل حرکت سیال را الکترواسموتیک می‌گویند. سرعت

1- Kretschmann configuration

2- Otto configuration

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

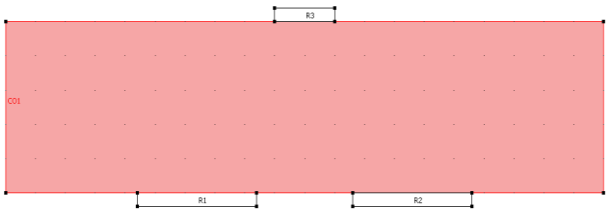
جریان سیال در الکترواسموتیک به صورت رابطه (۱) می باشد [۵].

$$u_s = -\frac{\varepsilon_f \xi}{\mu} E \qquad (۱)$$

در این رابطه ε_f بیانگر ضریب گذردهی، μ ویسکوزیته سیال، و E میدان الکتریکی اعمالی می باشد. اگر ولتاژ الکتریکی اعمال نشود، جریان در میکروکانال به صورت آرام و لایه ایی خواهد بود که در این حالت عدد رینولدز متناسب با حرکت سیال مقدار پایینی خواهد داشت. با اعمال ولتاژ به الکترودهای موجود در دیواره میکروکانال حالت آشوب در میکروکانال ایجاد می‌شود و جریان سیال الکترواسموتیک نامیده می‌شود. جریان الکترواسموتیک در زمینه همزن های ابعاد میکرو برای هم زدن سیالات نیز به کار می‌رود. با اعمال ولتاژ و ایجاد آشوب در سیال عمل هم زدن در میکروکانال اتفاق می افتد [۶].

مشخصات میکروکانال

میکروکانال شبیه سازی در این تحقیق دارای ارتفاع 25µm و طول 100µm است، و طول الکترود های در نظر گرفته شده برای اعمال ولتاژ برابر 200µm با فاصله 150µm از هم می باشند. الکترود ها در روبروی زیست حسگر قرار می-گیرند. این ترکیب در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار میکروکانال و محل قرار گرفتن الکترودها در زیر کانال و زیست حسگر در بالای کانال و روبروی الکترودها

برای شبیه سازی این ساختار از نرم افزار Comsol استفاده شده است. فیزیک های انتخاب شده در محیط Comsol، جهت شبیه سازی میکروکانال شامل فیزیک نویر استوکس (Incompressible Navier-Stokes) و الکترواستاتیک می-باشند. معادلات نویر استوکس و معادلات پیوستگی جریان، برای تحلیل حرکت سیال در حضور میدان الکتریکی بکار می‌روند. این معادلات به صورت روابط (۲) و (۳) می‌باشند [۷].

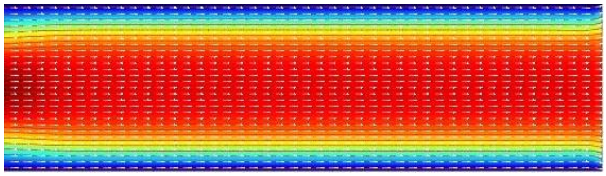
$$\rho_f \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u\right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho_e E \qquad (۲)$$

$$\nabla \cdot v = 0 \qquad (۳)$$

در روابط فوق، u بیانگر سرعت جریان سیال، ρ_f چگالی سیال، p بیانگر فشار، μ ویسکوزیته دینامیکی سیال، E بیانگر میدان الکتریکی و ρ_e بیانگر چگالی بار الکتریکی است. فیزیک الکترواستاتیک مربوط به اعمال ولتاژ به الکترودهای سطحی میکروکانال می‌باشد. در این فیزیک بقیه مرز ها عایق در نظر گرفته شده است.

شبیه سازی و نتیجه گیری

شبیه سازی میکروکانال در دو حالت بدون اعمال ولتاژ به الکترودهای سطحی و با اعمال ولتاژ به الکترودها انجام شد. در نتایج شبیه سازی میکروکانال، در حالت بدون اعمال ولتاژ به الکترودها سیال حرکتی آرام و لایه ای داشت. این نوع جریان سیال در شکل ۲ نشان داده شده است.



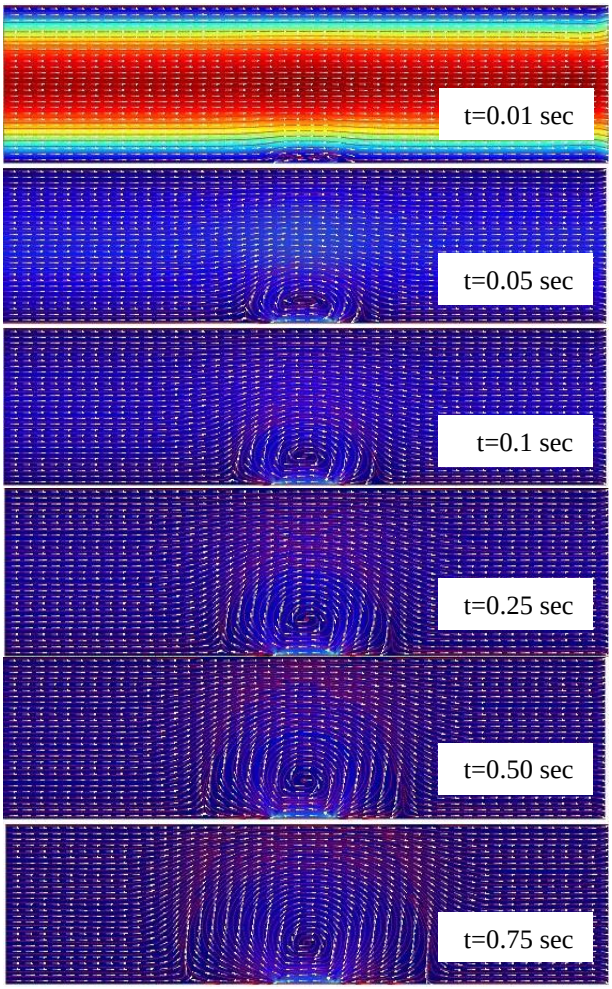
شکل ۲: توزیع سرعت در میکرو کانال در حالت بدون اعمال ولتاژ

همان طور که از شکل ۲ مشخص است، سرعت سیال دارای توزیع لایه ایی است و در مرکز کانال دارای مقدار بیشتر و با نزدیک شدن به دیواره های کانال مقدار سرعت کم می-شود (رنگ قرمز نشان دهنده سرعت بالا و رنگ آبی سرعت کم را نشان می دهد). با اعمال ولتاژ متناوب با فرکانس 0.1Hz به الکترودها و مشاهده توزیع سرعت و اغتشاش در کانال در زمان های مختلف نتایج شکل ۳ بدست می‌آید. با اعمال ولتاژ متناوب فرکانس پایین، با گذشت زمان و در نتیجه افزایش ولتاژ اعمالی به الکترودها، اغتشاش در نزدیکی الکترودها بوجود آمده و به سمت بقیه قسمت ها نیز تسری پیدا می‌کند. نحوه تغییرات سرعت سیال در داخل

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

میکرو کانال در شکل ۳ به ازای زمان های مختلف نشان داده شده است. همان طور که از شکلها مشخص است با بیشتر شدن اغتشاش در کانال سیال در نزدیکی الکترودها دارای سرعت منفی و در طرف حسگر مقادیر مثبت بخود می گیرد. این بدین معنی است که سیال به سمت زیست حسگر هل داده می شود. اغتشاش ایجاد شده به ازای ولتاژ 0.75v (که در زمان t=1 sec رخ می دهد) حداکثر اغتشاش را دارد و با بیشتر شدن ولتاژ اعمالی اغتشاش تغییر چندانی نخواهد داشت.



شکل ۳: حالت های مختلف آشوب به ازای زمان های مختلف

برای ساختار در نظر گرفته شده در این تحقیق مناسب ترین اغتشاش در زمان یک ثانیه رخ می‌دهد. ولتاژ لازم برای ایجاد مناسب ترین اشوب به ابعاد کانال، فاصله الکترود ها از هم و همچنین مشخصات و ویژه گی های سیال ، و مقدار اولیه سرعت یا دبی سیال وابسته است. با ایجاد آشوب در مسیر عبور سیال، می‌توان سیال حاوی آنالیت را به سمت زیست حسگر هل داد و زمان نشست حسگر را کاهش داد تا بتوان به اندازه گیری چگالی های پایین دست یافت.

مراجع

[1] B. D. Gupta, S. K. Srivastava, and R. Verma “FIBER OPTIC SENSORS BASED ON PLASMONICS”, World Scientific Publishing Press, 2015

[2] Pohanka, Miroslav, and Jan Leuchter. "Biosensors based on semiconductors, a review." Int. J. Electrochem. Sci 12.7 (2017): 6611-6621.

[3] Sreekanth, Kandammathe Valiyaveedu, et al. "Microfluidics Integrated Lithography-Free Nanophotonic Biosensor for the Detection of Small Molecules." Advanced Optical Materials 7.7 (2019): 1801313.

[4] Madec, Morgan, et al. "Environment for Modeling and Simulation of Biosystems, Biosensors, and Lab-on-Chips." IEEE Transactions on Electron Devices 66.1 (2018): 34-43.

[5] Jiang, Yuting, et al. "Transient electroosmotic slip flow of fractional Oldroyd-B fluids." Microfluidics and Nanofluidics 21.1 (2017): 7.

[6] Bazant, Martin Z., and Todd M. Squires. "Induced-charge electrokinetic phenomena: theory and microfluidic applications." Physical Review Letters 92.6 (2004): 066101.

[7] Mousavi Shaegh, Seyed Ali, et al. "A microfluidic optical platform for real-time monitorng of pH and oxygen in microfluidic bioreactors and organ-on-chip devices." Biomicrofluidics 10.4 (2016): 044111.

[8] Chang, Chih-Chang, and Ruey-Jen Yang. "Electrokinetic mixing in microfluidic systems." Microfluidics and Nanofluidics3.5 (2007): 501-525

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]