

БИОСЕНСОР СО ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ НАНОПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Змитрович Т.В.¹, Захлебаева А.И.², Горох Г.Г.², Таратын И.А.^{1,3}, Хатько В.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет радиоэлектроники и информатики
Минск, Республика Беларусь

³ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», Минск, Республика Беларусь

Биосенсор - это устройство, включающее биологический чувствительный элемент, тесно связанный с преобразователем либо интегрированный с ним. В основу описанных к настоящему времени конфигураций биосенсоров положено принципиально новое объединение хорошо известных ранее и не связанных друг с другом подходов. Одним из новейших подходов является использование встречно-штыревых электродов, для детектирования микроорганизмов. Основными преимуществами таких сенсоров являются их малые габариты, высокая чувствительность и быстрый отклик. Многие сенсоры созданы на основе модифицированных электродов [1]. Существует два типа биологических сенсоров на основе встречно-штыревых электродов: емкостные и резистивные, отличающиеся чувствительно-распознающим слоем. В емкостных сенсорах чувствительный слой действует как диэлектрик между двумя параллельными штыревыми электродами, в резистивных - чувствительный слой является резистором между двумя электродами. Откликом таких устройств является соответственно изменение емкости или сопротивления [2].

Конструкция биосенсора. Конструкция встречно-штыревого датчика схематично представлена на рисунке 1, параметры датчика определяются длиной и шириной электродов, зазором между электродами и их количеством. Величина сигнала пропорциональна площади поверхности всего массива, а фоновый шум пропорционален площади электродов.

Отношение сигнал – шум может быть увеличено за счет уменьшения ширины электродов, вследствие влияния объединения сферической и вертикальной диффузии носителей в области электродов. Близость электродов приводит к увеличению чувствительности и малому времени отклика. Повышение величины сигнала и соотношения сигнал-шум является результатом увеличения площади поверхности электродов за счет увеличения их толщины и выбора материала электродов [2]. Для лучшего понимания функционирования биосенсора со встречно-штыревыми электродами на рисунке 2 показано строение бактерии и представлена эквивалентная схема измерения импеданса с бактерией на гребенке.

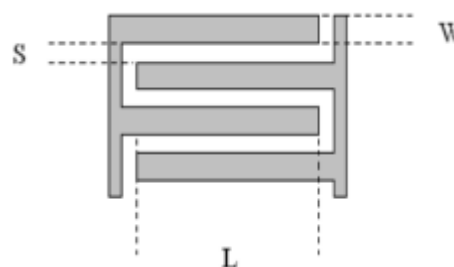
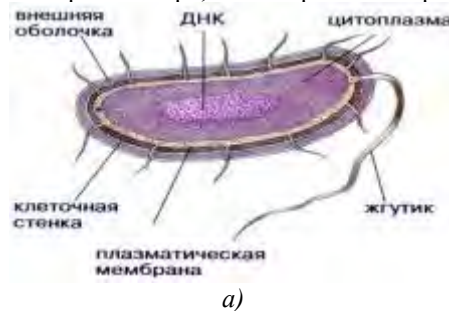
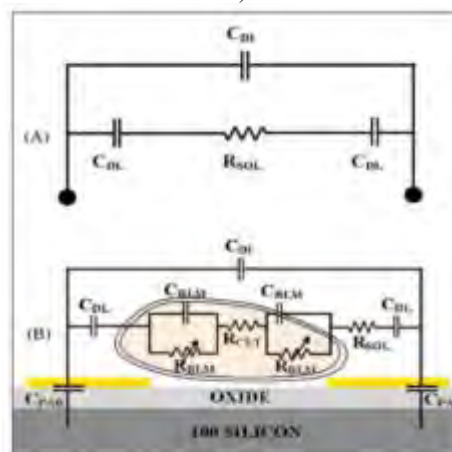


Рисунок 1 – Конструкция встречно-штыревого биосенсора: L – размер перекрытия электродов; S – ширина зазора; W – ширина электрода



а)



б)

Рисунок 2 – Строение бактерии (а) и эквивалентная схема (б) измерения импеданса резистивного биосенсора в растворе (А) и с бактерией (В) [3]

Удельное сопротивление цитоплазмы бактерии составляет $\sim 10^6$ Ом/см², емкость двухслойной липидной мембраны ~ 1 мкФ×см². Эти электрические характеристики вызывают изменение сопротивления и емкости между штыревыми электродами. На рисунке 2б представлена эквивалентная схема, используемая для измерения

импеданса электродов в растворе (А), где C_{DL} – емкость двойного слоя между электродом и электролитом, C_{DI} – диэлектрическая емкость электролита, R_{sol} – сопротивление раствора. Здесь также представлена эквивалентная схема (В) для бактерии, взаимодействующей с антителами, иммобилизованными на поверхности сенсора. Она включает в себя сопротивление бактерии, которое в свою очередь состоит из сопротивления цитоплазмы – R_{cyt} и сопротивления мембраны клетки R_{blm} . Также цепь включает в себя емкость клеточной мембраны – C_{blm} и паразитную емкость C_{par} , возникающую вследствие границы раздела между электродами и кремниевой подложки [3].

При расчете оптимальной конструкции электродов, обеспечивающих максимальное соотношение сигнал-шум для резистивного и емкостного микробного сенсора, использовали соотношения, полученные в работе [3], которые связывают ширину электрода (W), ширину зазора (S) между электродами, их длину (L) и количество (N). Для биосенсора резистивного типа была разработана конструкция, имеющая следующие параметры: $W=50$ мкм, $S=7$ мкм, $L=4000$ мкм, $N=40$ шт., активная область датчика – $10,4$ мм². Для емкостного биосенсора: $W=50$ мкм, $S=15$ мкм, $L=4000$ мкм, $N=40$ шт., активная область датчика – $9,12$ мм². Биосенсор размером 7×8 мм имел контактные площадки к проводникам размером $1,75 \times 2,7$ мм. На рисунке 3 представлено изображение кристалла с биосенсорами резистивного (а) и емкостного типа (б).

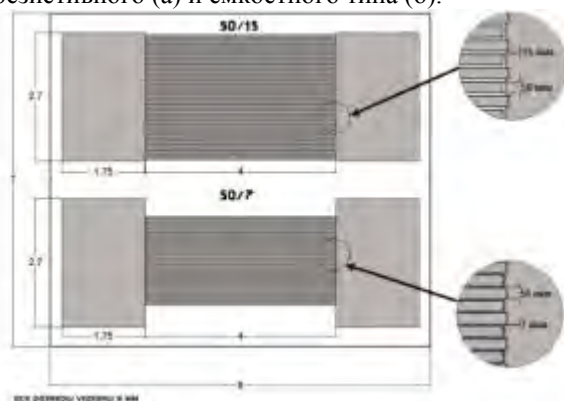


Рисунок 3 - Схематическое изображение кристалла с биосенсорами резистивного (а) и емкостного типа (б).

Технология изготовления биосенсора. Были разработаны технологические маршруты изготовления биосенсоров на основе платформы со встречно-штыревыми электродами для детектирования микроорганизмов резистивным и ем-

костным методами. Алгоритм маршрута для емкостного биосенсора представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Алгоритм технологического маршрута изготовления биосенсора емкостного типа

Разработанные биосенсоры предназначены для измерения количества микроорганизмов имеющих следующие размеры: *Staphylococcus saprophyticus* – 0,905 мкм; *Escherichia coli B* – 2,236 мкм; *Salmonella typhimurium LT2* – 3,125 мкм; *Bacillus subtilis* – 4,693 мкм.

1. Власов, А.И. Бионаноинженерия / А.И. Власов, А.А. Денисов, К. А. Елсуков. - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 215 с.
2. Bard, A.J. Electromechanical methods and applications, second ed. / A.J Bard, L.R. Faulker. – New York: L.R., 2001. – 156 p.
3. Radke, S. Design and fabrication of an impedimetric biosensor / S. Radke, E. Alocilja. – IE Sens, - 2004. – 440 p.