

ДНК ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУР DNA DETECTOR BASED ON NANOSTRUCTURES

Полетаев Дмитрий Александрович
Кандидат физико-математических наук

Poletaev Dmitry Alexandrovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Соколенко Богдан Валентинович
Кандидат физико-математических наук

Sokolenko Bogdan Valentinovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского

Crimean Federal University named after V.I.
Vernadsky

E-mail: dmjtry@gmail.com

Резюме

В работе предложена наноструктура для детектирования конкретных цепочек ДНК. Цель работы – теоретический анализ разработки. В процессе исследований теоретически выявлены оптимальные геометрические размеры модели наноструктур. Получены характеристики модели. Показано, что резонансная длина волны изменяется более чем на 100 нм, что может быть продетектировано даже без использования приборов.

Ключевые слова: ДНК, праймер, резонансная длина волны, наноантенна

Summary

In this paper a nanostructure for DNA detection was proposed. The aim of the work is a theoretical analysis of the construction. The optimal dimensions of the nanostructure were determined. The characteristics of the model were obtained. It was revealed that the resonant wavelength changes by more than 100 nm, which can be detected even without using any instruments.

Key words: DNA, primer, resonant wavelength, nanoantenna

Библиографическая ссылка на статью

Полетаев Д.А., Соколенко Б.Г. ДНК детектор на основе наноструктур // Innova. - 2021. - № 4 (25). - С.18-20.

References to the article

Poletaev D.A., Sokolenko B.G. DNA detector based on nanostructures // Innova. - 2021. - No. 4 (25). - P.18-20.

DOI:

[10.21626/innova/2021.4/04](https://doi.org/10.21626/innova/2021.4/04)

Введение

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) – современный метод многократного копирования определенных участков дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), который широко используется для ДНК-диагностики биологических материалов [1]. Достоинствами данного метода являются: высокая точность, возможность работы с минимальными количествами тестового материала. Недостаток метода полимеразной цепной реакции – длительность проведения исследования, достигающая в некоторых случаях 12 часов. Даже сравнительно недавно предложенный метод цифровой ПЦР в реальном времени не может предоставить результаты исследования ранее 60 минут [2].

Оптические методы качественной и количественной диагностики объектов, в большинстве своем, позволяют проводить анализ в реальном времени [2]. Однако чувствительность данных методов невысока – их нельзя непосредственно применить для анализа ДНК, ввиду малой концентрации исследуемого материала и его небольших размерах, по

сравнению с длиной волны зондирующего колебания.

Наноантенны – наноструктуры, которые широко применяются для приема и передачи электромагнитных волн [3]. Данные элементы весьма перспективны для использования в качестве фотоэлектрических преобразователей и датчиков. Достоинством данных структур, с точки зрения диагностики, является возможность резонансной настройки на конкретный диапазон длин волн и высокая чувствительность. Современные исследования данной области сконцентрированы на анализе параметров всего материала, а не отдельных молекул [3]. Целесообразно использовать высокую чувствительность и избирательность наноантенных структур для детектирования конкретной ДНК.

Целью работы является теоретический расчет предлагаемой наноструктуры для детектирования ДНК.

Предлагаемый наноантенный детектор ДНК состоит из собственно монополярной наноантенны – параллелепипеда с размерами а

– длина; b – ширина; l – высота; праймера – короткого фрагмента комплементарной к детектируемому участку ДНК последовательности нуклеотидов, который соединяется с детектируемой последовательностью ДНК.

Работает детектор ДНК следующим образом. Геометрические размеры, тип материала, диэлектрические элементы, окружающие монополярную наноантенну, влияют на ее резонансную частоту – частоту поглощения падающей электромагнитной волны. В исходном состоянии праймер не соединен с цепочкой ДНК, при этом небольшой праймер с соответствующим значением относительной диэлектрической проницаемости незначительно изменяет резонансную частоту монополярной наноантенны. При нанесении денатурированных цепочек ДНК на поверхность, покрытую описываемыми наноантеннами, каждый праймер захватывает конкретную, комплементарную ему, цепочку ДНК, притягивая ее к поверхности наноантенны. При этом размеры цепочек ДНК значительно больше размеров праймеров, что приводит к заметному изменению резонансной

частоты наноантенны. Так, поверхность, покрытая наноантеннами, без внесения пробы ДНК поглощает электромагнитную волну с одной длиной, а при внесении ДНК и ее комплементарном соответствии выбранным праймерам, длина поглощаемой волны меняется, что можно наблюдать непосредственно, даже без применения приборов.

Для теоретического расчета наноструктуры выбраны следующие параметры: проводимость проводника наноантенны: $58 \cdot 10^5$ См/м; $a=1$ нм; $b=1$ нм; $l=40$ нм; $d=5$ нм; длина прикрепленной ДНК $k=15$ нм; относительная диэлектрическая проницаемость праймера и ДНК принята равной 10 [1]. По этим данным, исходя из формул [4, 5], задающих индуктивность и емкость проводников, вычислялись соответствующие величины. Общий импеданс антенны определялся выражением (1):

$$Z = \left[\frac{1}{R + j2\pi cL / \lambda} + \frac{1}{R - j\lambda / (2\pi c(C_1 + C_2 + C_3))} \right]^{-1} \quad (1)$$

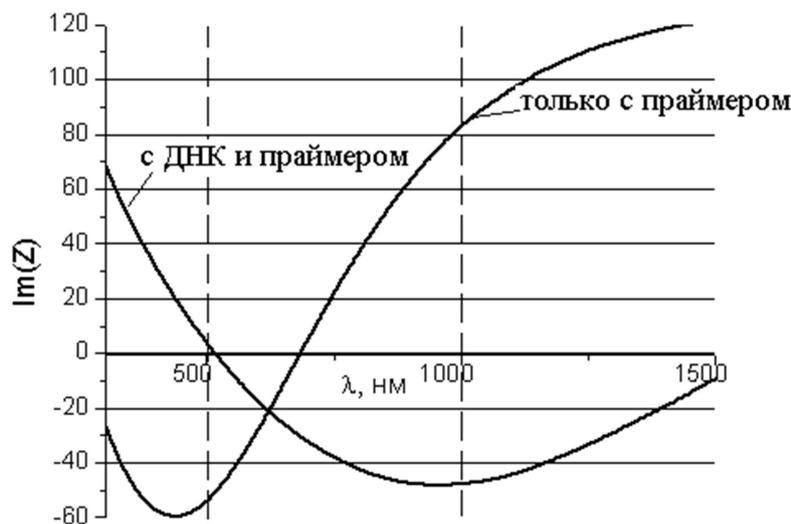


Рис. 1. Зависимость мнимой части импеданса наноантенны от длины волны

Из теории антенн [6, 7] известно, что максимальная эффективность приемной антенны достигается при равенстве нулю мнимой части импеданса (1). На рис. 1 представлены графики зависимости мнимой части импеданса монополярной наноантенны (1) от длины волны падающего излучения при наличии участка ДНК и без него.

И рис. 3 видно, что присутствие участка ДНК существенно меняет резонансную длину волны наноструктуры: более чем на 100 нм, что может быть установлено даже без применения

приборов.

Заключение

Таким образом предлагаемая разработка может быть использована в составе экспресс-диагностических приборов для детектирования ДНК вирусов, в частности ковид-19, бактерий, установления сходства ДНК при проведении генетических исследований и др.

В дальнейшем планируется осуществить моделирование массивов из предложенных наноантенн.

На данную разработку получен патент

Российской Федерации на полезную модель.

Литература

1. Маккреди Б. Дж., Чимера Д. А. Обнаружение и идентификация патогенных микроорганизмов молекулярными методами. Молекулярная клиническая диагностика. Методы. Москва : Мир, 1999. 522 с.

2. Sanders R., Huggett J. F., Bushell C. A., Cowen S., Scott D. J., Foy C. A. Evaluation of digital PCR for absolute DNA quantification // An. chem. 2011. No 83. P. 6474-6484.

3. Краснок А. Е., Максимов И. С., Денисюк А. И., Белов П. А., Мирошниченко А. Е., Симовский К. Р., Кившарь Ю. С. Оптические наноантенны // УФН. 2013. № 183. С. 561–589.

4. Калантаров П. Л. Расчет индуктивностей. Санкт-Петербург : энергоатомиздат, 1986. 488 с.

5. Иоссель Ю. А., Кочанов Э. С., Струнский М. Г. Расчет электрической емкости. Санкт-Петербург : энергоатомиздат, 1981. 290 с.

6. Кураев А. А., Попкова Т. Л., Сеницын А. К. Электродинамика и распространение радиоволн. Минск : Бестпринт, 2004. 357 с.

7. Давидович М. В. Антенна загоризонтного радара на поверхностной волне Ценнека. В сб. : 25-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2015 (Севастополь, 6—12 сент. 2015 г.). 2015. С. 1148—1149.