

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМИМЕТИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СЕНСОРА В ИССЛЕДОВАНИИ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.Т. Минлигареев<sup>1</sup>, Ю.А. Усс<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Фёдорова, Москва, ул. Ростокинская,

<sup>2</sup>Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе

metrologo@mail.ru, ussyuri@gmail.com

В статье изложены физико-химические основы разработки нового типа элементной базы при создании высокочувствительных магнитометров для измерения параметров магнитного поля в диапазоне  $10^{-9} - 10^{-15}$  Тл. Физические модели биомиметического сенсора основаны на измерении влияния на полупроводниковые свойства комплексов с переносом заряда магнитного поля. В качестве природного аналога использована модель молекулярного механизма магниторецепции живых организмов.

Ключевые слова: биомиметика, сенсор, полупроводник, магнитное поле.

## USE OF BIOMIMETIC SEMICONDUCTOR SENSOR IN THE STUDY OF WEAK MAGNETIC FIELDS

V.T. Minligareev<sup>1</sup>, Yu.A. Uss<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Applied Geophysics named after Academician E.K. Fedorov,  
Russian Federation, Moscow, Rostokinskaya St., 9

<sup>2</sup>Branch of Moscow State University named after M.V. Lomonosov in the city of Sevastopol  
metrologo@mail.ru, ussyuri@gmail.com

The article describes the physicochemical principles of developing a new type of element base for creating highly sensitive magnetometers for measuring magnetic field parameters in the range of  $10^{-9} - 10^{-15}$  T. Physical models of the biomimetic sensor are based on measuring the effect on the semiconductor properties of complexes with a charge transfer of a magnetic field. A model of the molecular mechanism of magnetoreception of living organisms is used as a natural analogue.

Key words: biomimetics, sensor, semiconductor, magnetic field.

Аномальная компонента магнитного поля Земли (МПЗ) порядка менее  $10^{-9}$  Тл на ее поверхности трудно поддается исследованиям из-за отсутствия как эффективных методов, так и средств измерения, эталонной базы [1, 2]. Информация о сверхмалых параметрах аномального магнитного поля Земли (АМПЗ) может стать основой для создания современной локальной и резервной системы навигации, не зависящей от сигналов навигационных спутников. Одним из возможных решений этой проблемы является изучение и

применение природных молекулярных механизмов магниторецепции.

В суммарных липидах морских гидробионтов была обнаружена природная молекулярная структура, которая после реакции одноэлектронного переноса с неорганическими и органическими окислителями при комнатной температуре трансформировалась в природный стабильный радикал [3,4]. Определена вероятная модель редокс-фрагмента природного стабильного радикала – комплекс с переносом заряда (КПЗ), где в качестве *n*-донора выступает фосфолипид с полярным химическим радикалом в виде гетероцикла с двумя близко расположенными атомами азота (например, как в пиримидине), а в качестве акцептора выступает группа природных соединений в виде орто- и парахинонов. Разработана модель возможного молекулярного механизма магниторецепции живых организмов и его роль в регуляции универсальной системы восприятия, проведения и реализации внешних сигналов клетки второго типа.

Органические комплексы с переносом заряда образуются за счёт комбинации электронодонорных D и электроноакцепторных A молекул:  $A + D \leftrightarrow A^{\delta+} + D^{\delta-}$ , где  $\delta$  – степень переноса заряда ( $0 < \delta < 1$ ) [5]. При полном переносе заряда с донорной на акцепторную молекулу образуются ион-радикальные соли  $A^+D^-$ , которые и обладают полупроводниковыми свойствами [6]. Исходя из возможности практического применения в регистрации слабых магнитных полей физико-химических свойств этой модели, проводятся исследования влияния синтетических неорганических и органических окислителей с полупроводниковыми свойствами (диоксидом свинца, пара- и ортохинонов с различными заместителями, карбоцианов) на парамагнитные и оптические свойства природной молекулярной структуры. Исследуются основные физико-химические параметры, определяющие стабильность парамагнитных свойств активного вещества при нормальной температуре. Отрабатываются схемы химического синтеза природной молекулярной структуры и возможные варианты ее оптимальной химической модификации.

Образование органического полупроводникового КПЗ может происходить путем формирования упорядоченной структуры с чередованием донорных и акцепторных молекул [7]. Присутствие плоскостной пространственной структуры у молекул донора и акцептора с выраженной системой  $\pi$ -сопряжения способствует их упаковке в регулярные слои либо стопки со степенью переноса заряда, необходимой для появления выраженной электрической проводимости, в диапазоне  $0,25 \leq \delta \leq 1$ . Важной особенностью органических полупроводниковых КПЗ является наличие у них высокоупорядоченной пространственной упаковки, причем, при близких размерах молекул донора и акцептора в надмолекулярной структуре они могут чередоваться, расположение молекул в соседних цепочках может быть одинаковым

либо сдвинутым, располагаться зигзагом либо иным способом.

Предполагается, что при синтезе биомиметического полупроводникового сенсора, при образовании комплекса с переносом заряда с парамагнитными свойствами и высокоупорядоченной структурой может сформироваться органический полимер с ферромагнитными свойствами. Известно, что для синтеза органического или молекулярного ферромагнетика необходимы два главных условия. Первое - это наличие органических многоспиновых парамагнитных молекул, предпочтительнее высокоспиновых, с высокой плотностью ориентированных спинов, чтобы обеспечить значительную намагниченность. Второе - это высокая степень упорядоченности этих молекул в кристалле или в аморфном твердом теле так, чтобы обеспечить ферромагнитное выстраивание спинов [8].

Таким образом, методами молекулярной инженерии возможно создание биомиметического полупроводникового сенсора с уникальными характеристиками, который будет оптимально сочетать в себе комбинацию свойств оптически активного органического полупроводника и органического ферромагнетика [7].

Для практического применения в качестве нового типа элементной базы при создании высокочувствительных магнитометров для измерения индукции магнитного поля Земли в диапазоне  $10^{-9} - 10^{-15}$  Тл разрабатываются химические модели биомиметического полупроводникового сенсора, основанные на следующих физических принципах:

- эффекте Оверхаузера в полупроводниках;
- магнитооптическом эффекте в оптической жидкокристаллической ячейке с использованием парамагнитных лиотропных жидких нанокристаллов с амфифильными свойствами;
- поляризации флуоресценции в оптической жидкокристаллической ячейке с использованием парамагнитных лиотропных жидких нанокристаллов с амфифильными свойствами;
- изменении полупроводниковой фотопроводимости тонкопленочной оптической ячейкой с учетом влияния на заряд внешнего магнитного поля.

Научная работа проводится в рамках гранта РФФИ №18-47-920006 р\_а «Исследование слабых геофизических полей методами радиооптической спектроскопии и магнитометрии с использованием бионического полупроводникового сенсора».

### **Литература**

1. Козлов А.Н. Радиооптическая магнитометрия в геофизических и прикладных исследованиях. - Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н., Москва, 280с. 1987.

2. Вершовский А.К. Новые квантовые радиооптические системы и методы измерения слабых магнитных полей. – Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н., Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 302с. 2007.
3. Нехорошев М.В., Усс Ю.А., Климов Е.С. и др. Стабильный радикал из липидных экстрактов морских организмов // Докл. АН УССР. Сер. Б. Геол., хим. и биол. науки. 1989. № 10. С. 78–79.
4. Усс Ю. А., Крашенинников Б. Н., Минлигареев В. Т. Исследование парамагнитных свойств суммарных липидов морских организмов // Системы контроля окружающей среды. 2018. №14 (34). С. 138–142.
5. Mulliken, R. S. Molecular Compounds and Their Spectra. 2 // J. Am. Chem. Soc. 1952. 74. P. 811-824.
6. Сосорев А.Ю. Эффект соседних звеньев при формировании комплекса с переносом заряда между полупроводниковыми полимерами и органическими акцепторами. - Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н., Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 140 с. 2014.
7. Wang Y., Frascioni M., & Stoddart J. F. Introducing Stable Radicals into Molecular Machines // ACS Central Science. 2017. V. 3 (9). P. 927–935.
8. Бучаченко А.Л. Органические и молекулярные ферромагнетики: достижения и проблемы // Успехи химии. 1990. Т. 59 (4). С. 529 – 550.