

Вероятно, это вызвано образованием объемного защитного слоя из макромолекул пектина на поверхности стали, что приводит к отслоению полимерной пленки. Отслаиваясь от поверхности стали, полимерная пленка пектина захватывает наночастицы оксида цинка, существенно снижая защитные свойства комплексного ингибитора.

Список литературы

1. Kazuhira A. // *The Journal on Environmental Degradation of Materials and its Control*, 2002. – V. 44. – P. 1329–1341.
2. Akpanyung K. // *J. Phys. Conf. Ser.*, 2019. – V. 1378. – P. 357–368.
3. Burson-Thomas C. // *J. Bio- Tribo-Corros*, 2017. – P. 1–14.
4. Sushmitha Y. // *Port. Electrochemica Acta*, 2020. – V. 38. – P. 149–163.
5. Ma X. // *ACS Omega*, 2019.
6. Sushmitha Y. // *Surf. Interfaces*, 2019. – V. 16. – P. 67–75.

Основываясь на полученных данных можно утверждать, что комплексный ингибитор на основе яблочного пектина с наночастицами оксида цинка позволяет снизить скорость коррозии высокоуглеродистой стали У8А в агрессивной коррозионной среде.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА БИОРЕЗОРБИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН СКЭФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

П. В. Чернозем, Р. В. Чернозем, М. А. Сурменова
 Научный руководитель – д.т.н., профессор Р. А. Сурменев

Томский Политехнический Университет
 г. Томск, rsurmenev@mail.ru

Введение. Полимолочная кислота (ПЛА) – хорошо известный биоразлагаемый и биосовместимый синтетический полиэфир, который может быть получен из возобновляемых источников [1]. Пьезоэлектрический поли-Л-лактид (ПЛЛА) является перспективным для различных биомедицинских применений, который обладает пьезоэлектрической константой d_{14} около 10 пКл/Н [2]. Однако адаптация и контроль структуры ПЛЛА для усиления пьезоэлектрического отклика по-прежнему остается сложной задачей. Орторомбическая α -фаза ПЛЛА демонстрирует сдвиговые пьезоэлектрические константы (d_{14} , d_{25} , d_{36}) [3], изучение которых является трудной научно-технической задачей даже с помощью высокотехнологических методов, как, например, сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Таким образом, цель данной научно-исследовательской работы заключается в моделировании прямого и обратного пьезоэффектов микроволокон на основе ПЛЛА.

Методы. Моделирование прямого и обратного пьезоотклика ПЛЛА волокна длиной 4 мкм и радиусом кривизны 1,5 мкм было выполнено с помощью метода конечных элементов в про-

грамме Comsol Multiphysics v.5.6 (рис. 1). При моделировании прямого пьезоотклика вдоль искривленной поверхности прикладывалось равномерное давление 10 МПа. В случае обратного пьезоотклика электрический потенциал 10 В прикладывался к вершине волокна вдоль продольной оси длиной 100 нм, имитирующей область контакта волокна с проводящим зондом СЗМ. Для обоих пьезоэффектов нижняя сторона волокна была неподвижно зафиксирована и заземлена. Значения матрицы упругих свойств α -фазы ПЛЛА взяты из литературных данных [4]. Значения пьезоэлектрического коэффициента d_{14} варьировались от –6 пКл/Н, –10 пКл/Н и –20 пКл/Н. Пьезокоэффициент $d_{25} = -d_{14}$, в то время как $d_{36} = 0$ из-за ортогонального направления электрического напряжения к одноосной кристаллической ориентации волокна [5].

Результаты и их анализ. Из полученных результатов видно, что при прямом пьезоэффекте максимальные значения пьезопотенциала α -фазы ПЛЛА различной полярности наблюдаются на краях волокна в радиальном направлении (рис. 1а). В случае обратного пьезоэффекта наблюдается «скручивающее» смещение в об-

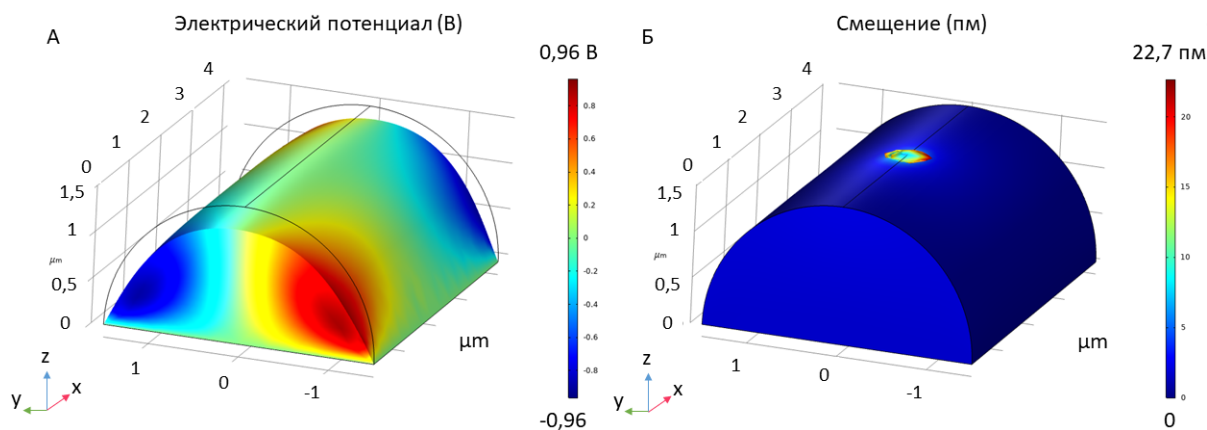


Рис. 1. (а) Распределение потенциала при прямом пьезоэффекте; (б) Распределение смещения при обратном пьезоэффекте

ласти волокна (100 нм), имитирующей область контакта с зондом СЗМ (рис. 1б).

Кроме того, увеличение значений сдвиговых пьезоэлектрических констант α -фазы ПЛЛА приводит к пропорциональному увеличению максимальных значений пьезоотклика (таблица 1) – электрического потенциала (прямой пьезоэффект) и смещения волокна (обратный пьезоэффект).

Заключение. Результаты моделирования пьезоотклика α -фазы ПЛЛА волокон будут необходимы при исследовании и разработке биомедицинских материалов и имплантатов на основе ПЛЛА для медицины.

Список литературы

1. Garlotta D // *A Literature Review of Poly (Lactic Acid), Journal of Polymers and the Environment*, 2001. – 9. – 2. – P. 63–84.
2. E. Fukada // *Piezoelectric properties of poly-L-lactic acid, Rep. Prog. Polym. Phys. Jpn.*, 1991. – P. 269–272.
3. E. Fukada // *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, 2000. – 47. – P. 1277–1290.
4. T.Lin et al. // *J. Phys. Chem.*, 2010. – 114. – P. 3133–3139.
5. Masamichi Ando et al // *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2012. – 51 09LD14.

Таблица 1. Максимальное значение потенциала/ смещения

Константы, пКл/Н	Потенциал, мВ	Смещение, пм
$d_{14} = -6;$ $d_{25} = 6$	0,58	$xy - 14,2;$ $z - 0,89$
$d_{14} = -10;$ $d_{25} = 10$	0,96	$xy - 22,7;$ $z - 1,49$
$d_{14} = -20;$ $d_{25} = 20$	1,96	$xy - 47,7;$ $z - 3,11$

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 20-63-47096 и Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-588 от 1.06.2021).