

В результате исследования при сравнении нуклеотидных последовательностей нетранскрибируемых спейсеров (NTS) увидели вариацию последовательностей (NTS) 5s рДНК некоторых видов падуб, показало даже незначительные различия внутри видов падуба. Используя метод флюоресцентной гибридизации (FISH) для обнаружены сигналы в хромосомах, мы смогли увидеть, что сигналы 45s рДНК обнаруживаются в 2 парах хромосом, а сигнал 5s рДНК в 1 паре хромосом у разных видов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J.W. Kadereit and V. Bittrich (eds.), Flowering Plants. Eudicots, The Families and Genera of Vascular Plants 14, DOI 10.1007/978-3-319-28534-4\_3, # Springer International Publishing Switzerland 2016
2. Research progress in the phytochemistry and biology of Ilex pharmaceutical resources. Dacheng HaoXiaojie GuPeigen XiaoZhanguo LiangLijia XuYong Peng.
3. Capuzzo & M. E. Maffei (2016) Molecular fingerprinting of peppermint (*Mentha piperita*) and some *Mentha* hybrids by sequencing and RFLP analysis of the 5S rRNA Non-Transcribed Spacer (NTS) region, *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150:2, 236-243, DOI: 10.1080/11263504.2014.969355
4. Divashuk, Mikhail G.; Alexandrov, Oleg S.; Razumova, Olga V.; Kirov, Ilya V.; Karlov, Gennady I.; Marais, Gabriel A. B. (2014). Molecular Cytogenetic Characterization of the Dioecious *Cannabis sativa* with an XY Chromosome Sex Determination System. *PLoS ONE*, 9(1), e85118–. doi: 10.1371/journal.pone.0085118

Маматова Алина (Кыргызстан)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Леонова Лилия Александровна,  
канд. техн. наук, доцент

#### **ГАЛФЕНОЛ: ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ В БИОМЕДИЦИНЕ**

Железо-галлиевый сплав (галфенол) впервые был получен в 1999 году в военно-морском центре наземных боеприпасов США (Naval Surface Warfare Center (NSWC)) [1]. Мотивацией для его создания был интерес к уже существующим магнитоотрицательным материалам –

никель и сплав Terfenol-D. Была выдвинута гипотеза о возможности существования материала, сочетающего механическую прочность никеля и гигантскую магнитострикцию Terfenol-D.

### **Свойства галфенола**

Галфенол продемонстрировал уникальную комбинацию механических и магнитострикционных свойств, которые отсутствуют у традиционных «умных» материалов. Этот сплав способен менять форму под воздействием внешнего магнитного поля, при этом обладает низкой хрупкостью, высокой механической прочностью и превосходной обрабатываемостью, обладает высокой прочностью на разрыв (500 МПа), хорошими тепломеханическими свойствами [2,3]. Было проведено множество исследований, которые показали, что сплавы Fe-Ga с атомными долями Ga 19,5 % и 20 % демонстрируют наилучшие магнитострикционные свойства. При данном соотношении магнитострикционная деформация в достаточно малых магнитных полях может достичь пикового значения около 400 ppm [4-6], что намного больше, чем у большинства других магнитострикционных материалов, таких как сплавы Fe, Co или Ni, магнитострикция которых достигает максимум 130 ppm. Кроме того, галфенол демонстрирует высокие значения магнитострикции под действием низкочастотных магнитных полей. Магнитострикция Terfenol-D достигает 2000 ppm и выше, однако, этот материал уступает железо-галлиевым сплавам в механических свойствах.

### **Области применения галфенола**

Благодаря своим характеристикам галфенол имеет большой потенциал для различных применений в датчиках, исполнительных механизмах, поглотителях энергии механических вибраций [7]. Также в последние годы активно ведутся исследования по его применению в области медицины. Количество работ, посвященных возможности применения магнитных частиц в медицинских целях неуклонно возрастает с каждым годом. Магнитные частицы – магнетики, а значит, ими можно управлять приложенным внешним магнитным полем. Это свойство позволяет использовать такие частицы для транспортировки и доставки лекарственных средств в любую точку организма. Также большим преимуществом магнетиков является возможность применения неинвазивных методов обследования и лечения, дальное действие, неразрушающий контроль.

### **Исследования в области биосовместимости галфенола с живыми клетками**

Варгас-Эстив и др. исследовали влияние частиц галфенола на жизнеспособность клеток, используя макрофаги, остеобласты и клетки остеосаркомы [8]. Результаты показали, что пленки Fe-Ga не оказывали никакого влияния на жизнеспособность трех видов клеток, а также не было обнаружено существенных различий в активности клеток после попадания частиц Fe-Ga в макрофаги. Холмс и др. описали применение трех магнитострикционных материалов, включая сплавы  $Fe_{88}Ga_{12}$ ,  $Fe_{71}Ga_{29}$  и  $Fe_{40}Ni_{38}Mo_4V_{18}$ , в качестве биоразлагаемых имплантатов [9]. Результаты цитотоксичности показали, что сплав  $Fe_{40}Ni_{38}Mo_4V_{18}$  не был биосовместимым, в то время как  $Fe_{88}Ga_{12}$ ,  $Fe_{71}Ga_{29}$  не оказали никакого негативного влияния на жизнеспособность клеток фибробластов.

### **Дистанционное управление клетками**

В последние годы магнитострикционные материалы вызвали большой интерес в качестве устройств для дистанционного управления клетками в биомедицинских областях. Было исследовано взаимодействие между управляемыми внешним магнитным полем частицами сплава Fe-Ga и клетками [8]. Частицы сплава культивировались с макрофагами, а затем попадали в клетки. После приложения статического магнитного поля, цепочки частиц образовывались на клеточной мембране и внутри клетки. Этими цепочками можно было управлять дистанционно с помощью магнитного поля, не влияя на морфологию клеток.

### **Датчики магнитного поля**

Магнитострикционные материалы могут быть использованы для производства специальных датчиков для измерения биологического магнитного поля. Это является эффективным неинвазивным методом клинического обследования, например, использование магнитоэнцефалографии (МЭГ) и магнитокардиографии (МКГ) для изучения функций головного мозга.

Исследования в области биомедицинского применения магнитострикционных материалов продолжаются, однако полученные результаты указывают на большой потенциал данных материалов для медицинских приложений.

**Методы получения галфенола**

Таблица 1

*Магнитострикционные сплавы на основе Fe-Ga [10-12]*

Классификация	Состав	Магнитострикция, ppm	Способ получения
Fe-Ga сплавы	$Fe_{81,6}Ga_{18,4}$	~90	Магнетронное распыление
	$Fe_{80,5}Ga_{19,5}$	~300	Направленная кристаллизация
	$Fe_{80}Ga_{20}$	~300	Направленная кристаллизация
	$Fe_{81}Ga_{19}$	~116	Метод прокатки
	$Fe_{83}Ga_{17}$	~140	Электроосаждение
Fe-Ga-X сплавы	$Fe_{85}Ga_{10,2}Mo_{4,8}$	~117	Направленная кристаллизация
	$Fe_{80}Ga_{14}Al_6$	~205	-
	$(Fe_{0,83}Ga_{0,17})_{99,75}Dy_{0,25}$	~620	-

**Метод магнетронного распыления**

Магнетронное распыление тонких пленок основывается на нанесении тонких пленок на подложку с помощью катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда. Основным преимуществом данного метода является возможность управления свойствами растущей пленки посредством выбора рабочих параметров (давление, мощность и т.д.).

**Метод направленной кристаллизации**

Этот метод довольно часто используется для получения магнитострикционных материалов. Он может быть использован для приготовления поликристаллических магнитострикционных материалов с большим размером, равномерной поверхностью, однородным составом и свойствами. Метод заключается в следующем: в контейнер в виде лодочки помещается исходный материал – шихта в виде порошка, кристаллического боя или керамических таблеток. Перемещая контейнер через зону нагрева, шихту расплавляют и закристаллизовывают.

**Предлагаемый метод получения галфенола**

Все перечисленные выше методы позволяют получить галфенол в виде тонких пленок, нано-проволок, стержней, слитков. Наше исследование заключается в получении галфенола в виде нано-частиц гидротермальным способом. Преимуществами данного метода является одностадийность, высокая степень смешения реагентов, относительно мягкие

условия синтеза, возможность контроля морфологии, размера частиц. Магнитные наночастицы могут применяться для адресной доставки лекарств – при использовании градиентного магнитного поля, фокусирующего и притягивающего магнитные частицы к нужной точке в организме человека. Данное направление перспективно продолжает развиваться. Магнитные наночастицы могут помочь в решении проблемы доставки цитостатиков при лечении рака. Еще одним способом лечения рака является гипертермия, где также используются магнитные частицы. Поэтому, помимо получения нано-частиц галфенола, целью нашей работы также является подбор оптимальных режимов процесса; определение параметров магнитного поля, при которых воздействие на полученные магнитные частицы достигает максимально возможных значений; исследование влияния полученных частиц на живые клетки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clark A., Wun-Fogle M., Restorff J. Magnetic and magnetostrictive properties of galfenol alloys under large compressive stresses // Symp. on Smart Materials – 2002. – Vol. 43. P. 881-886.
2. Jahjah W., Manach R., Le Grand Y., Fessant A. Thickness dependence of magnetization reversal and magnetostriction in Fe<sub>81</sub> Ga<sub>19</sub> thin films // Phys. Rev. Appl. – 2019. – Vol. 20. – P. 24-27.
3. Jayasimha A., Flatau A. A review of magnetostrictive iron–gallium alloys // Smart Mater. Struct. – 2011. – Vol. 20. – P. 43-49.
4. Cullen J.R., Clark A.E., Wun-Fogle M., J.B. Magnetoelasticity of Fe–Ga and Fe–Al alloys // Magnetic Materials. – 2001. – Vol. 226. – P. 948–949.
5. Atulasimha J., Alison B., Cullen J. Analysis of the effect of gallium content on the magnetomechanical behavior of single-crystal Fe-Ga alloys using an energy-based model // Smart Mater. Struct. – 2008. – Vol. 17. – P. 344-386.
6. Clark A.E., Wun-Fogle W., Restorff J.B. Kevin W. Temperature dependence of the magnetic anisotropy and magnetostriction of Fe<sub>100-x</sub>Ga<sub>x</sub> (x= 8.6, 16.6, 28.5) // J. Appl. Phys. – 2005. – Vol. 97. – P. 228- 234.
7. Ueno T., Summers E., Wun-Fogle M. // Sensors Actuators. – 2008. – Vol. 148. – P. 280-284.
8. Vargas-Estevez C., Blanquer C. Study of Galfenol direct cytotoxicity and remote microactuation in cells // Biomaterials – 2017. – Vol.119. – P. 67–74.

9. Holmes H.R., DeRouin A., Wright S. Biodegradation and biocompatibility of mechanically active magnetoelastic materials // *Smart Mater. Struct.* – 2014. – Vol. 23. – P. 256-261.
10. Xing Q., Du Y., McQueeney R.J. Structural investigations of Fe–Ga alloys: phase relations and magnetostrictive behavior // *Acta Mater.* – 2008. – Vol. 56. – P. 4536–4546.
11. Quan Fu, Yuhui Sha, Fang Zhang, Lei Fan. Strong texture development and magnetostriction in recrystallized Fe<sub>81</sub>Ga<sub>19</sub> thin sheet // *Environmental and Biological Engineering* – 2015. – P. 1055–1059.
12. Zhao X., Mellors N., Lord D.G. Magnetomechanical performance of directionally solidified Fe–Ga alloys // *J. Appl. Phys.*

Мусса Авалдугубах (Чад),  
Губарев Федор Александрович (Россия)  
Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель Губарев Федор Александрович,  
д-р тех. наук, ведущий научный сотрудник

## **ОПТОВОЛОКОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

### **Ведение**

Оптическая визуализация быстро развивается в течение последних трех десятилетий и является одним из основных способов диагностики в ряде областей биологии и медицины. Трендом современной медицины являются портативные приборы и приборы для персонального использования. Особенно актуальна разработка приборов для проведения экспресс-диагностики травм вне лечебного или диагностического учреждения, в том числе в отдалённых районах или полевых условиях. Наиболее опасными повреждениями организма в результате аварий, несчастных случаев или в результате боевых действий являются повреждения головного мозга, а также внутренние кровотечения. В настоящее время обследование головного мозга для обнаружения повреждений или заболеваний проводится на аппаратах МРТ или КТ, однако данное оборудование является технически сложным, стационарным и имеется не во всех травматологических пунктах. Кроме того, методы на основе ионизирующих излучений небезопасны для пациентов, особенно для детей младшего возраста, беременных женщин и онкологических больных.