

признаки старения – белые пятна. Проверку пленок проводили на растяжение с определенной скоростью деформирования, на прочность при растяжении по максимальному напряжению, которое выдерживал образец без разрушения и на относительное удлинение при разрыве по способности пленки менять первоначальную длину при растяжении вплоть до разрыва. Модуль упругости определяли отношением напряжения к соответствующему относительному удлинению свободной пленки. При комнатной температуре прочность пленок при растяжении и показатель модуля упругости у ПКМ с добавками сажи, выше, чем у промышленных образцов. После термообработки разрушающее напряжение при растяжении и модуль упругости пленок ПКМ возрастает, а величина относительного удлинения при разрыве уменьшается. Промышленные пленки не выдерживают испытаний при температуре 150°C.

Таким образом, проведенные исследования показали, что ПКМ с добавками сажи обладают повышенной термостойкостью и размягчением, что позволяет перерабатывать их в изделия традиционными промышленными методами. Образцы по своим физико-механическим показателям не уступают промышленным аналогам, относятся к трудногорючим, самозатухающим материалам средней воспламеняемости, соответствующим известным полимерным материалам, а продукты разложения не являются токсичными. Установлено, что пленки ПКМ с добавками сажи обладают хорошими механико-прочностными показателями в сочетании с химической стойкостью в разнообразных агрессивных средах, устойчивы к гидролизу. Водостойкость и адгезия образцов позволяет получать полимерные покрытия на металлических конструкциях, способные выдерживать длительную эксплуатацию при экстремальных температурах.

ПКМ с добавками сажи на основе полибензимидазолов являются перспективными материалами. Оптимизированы составы и условия получения композитов, изучены физико-механические свойства полученных материалов, разработаны технология получения устойчивых к действию агрессивных сред и перепадов температур материалов, оценена их эксплуатационная пригодность в условиях холодного климата, выявлены эффективность воздействия добавок при ультрафиолетовом воздействии на их свойства.

#### Литература

1. Гайле А.А., Сомов В.Е., Варшавский О.М. Ароматические углеводороды. Выделение, применение, рынок. – СПб.: Химиздат, 2000. – 544 с.
2. Макаров В.Г., Коптенармусов В.Б. Промышленные термопласты: Справочник. – М.: КолосС, 2003. – 208 с.
3. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов. – СПб.: Профессия, 2003. – 240 с.
4. Nikiteev V.V., Mogonov D.M., Doroshenko Yu.E., Khakhinov V.V. // Polymer Science. Ser.A. – 1998. – V. 40, № 2. – P. 110-116
5. Khakhinov V.V., Mazurevskaya Zh.P., Mogonov D.M., P'ina O.V. // Russ. J. Appl. Chem. – 2001. – T. 74, № 4. – P. 669-676.
6. Ilyina O.M., Khakhinov V.V. Thermal properties of polymeric materials on the basis of polybenzimidazoles // Stroitel'nye Materialy. 2004, № 7. P. 64
7. Генис А.В., Якушенков Г.Н., Коннова Н.Ф. Рынок полиамидов: смена приоритетов // Пластикс. 2009. №1-2 (71-72). С. 26-31.
8. Генис А.В., Усов В.В. Состояние и перспективы развития мирового и российского рынка полиамидов // Пластические массы. 2008. №7. С. 3-6.
9. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов // www.StandartGost.ru
10. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение // www.StandartGost.ru
11. Цой Б., Карташов Э.М., Шевелев В.В. Прочность и разрушение полимерных пленок и волокон. – М.: Химия, 1999. – 496 с.

УДК 543.38:543.9

doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-66-71

### Изучение возможности применения углеродных нанотрубок в пьезокварцевых сенсорах

М. В. Попова<sup>1</sup>, О. В. Фарафонова<sup>1</sup>, Т. Н. Ермолаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Липецкий государственный технический университет,  
398042, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30, e-mail: akvarel.23@mail.ru

#### Аннотация

Методом пьезокварцевого микровзвешивания, растровой электронной и атомно-силовой микроскопии изучены условия формирования наноструктурированного аффинного слоя на поверхности золотого электрода пьезокварцевого гравиметрического сенсора. Исследована возможность применения многостенных углеродных нанотрубок при формировании распознающего слоя пьезокварцевого сенсора. Установлена оптимальная концентрация раствора нанотрубок, соответствующая разбавлению 1:10 для УНТ (HF) и 1:7 для УНТ (HNO<sub>3</sub>). Выявлен оптимальный способ активации, заключающийся в послойном нанесении смеси EDAC/NHS на поверхность с нанесенными нанотрубками.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, углеродные нанотрубки, пьезокварцевый сенсор, биорецепторный слой, антитела, иммобилизация, аффинный комплекс.

## Applicability of Carbon Nanotubes in Qcm Sensors

M. V. Popova<sup>1</sup>, O. V. Farafonova<sup>1</sup>, T. N. Ermolaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lipetsk State Technical University, Moskovskaya Str., 30,  
Lipetsk 398042, Russia, e-mail: akvarel.23@mail.ru

### Abstract

By quartz crystal microbalance, scanning electron and atomic force microscopy the conditions of formation of nanostructured affinity layers on the surface of the gold electrode of quartz crystal gravity sensor have been researched. The applicability of multiwall carbon nanotubes during the formation process of the discriminating layer of QCM sensor has been studied. The optimal concentration of nanotubes solution, corresponding to a dilution of 1:10 for CNT (HF) and 1:7 for CNTS (HNO<sub>3</sub>) has been determined. The optimum method of activation consisting of layering a mixture of EDAC/NHS on a surface coated with nanotubes has been found out.

**Keywords:** nanotechnology, carbon nanotubes, QCM sensor, bioreceptor layer, antibodies, immobilization, affine complex.

### Введение

В современном мире наступает тенденция вытеснения микрокомпонентов наноразмерными структурами, в связи с чем активно развиваются нанотехнологии. Новейшими достижениями в этой области являются материалы, разработанные на основе наночастиц с уникальными характеристиками, обусловленными их микроскопическими размерами, к таким материалам относятся углеродные нанотрубки (УНТ) [1]. Углеродные нанотрубки разнообразны по структуре и свойствам – однослойные и многослойные, прямые и спиральные, короткие и длинные, металлы и полупроводники, – они излучают свет, обладают электропроводностью, капиллярными свойствами, большой прочностью и при механическом воздействии перестраивают свою структуру, а не разрушаются [2]. Эти свойства находят своё применение в большой области прикладных задач, от создания искусственных мышц и тросов космических лифтов до капсул для активных молекул и нанопинцетов, но наиболее интересным и развиваемым способом их использования является совершенствование биорецепторных покрытий сенсоров на их основе, в частности пьезокварцевых иммуносенсоров. Такие устройства обладают высокой чувствительностью, универсальностью, малыми габаритами и невысокой стоимостью. Они находят широкое применение в химических определениях, причём данный вид анализа активно развивается.

Целью настоящего исследования является изучение возможности применения УНТ с целью модификации поверхности сенсора и условия формирования наноструктурированного аффинного слоя на поверхности золотого электрода.

### Экспериментальная часть

**Реагенты.** В качестве показателя селективности модифицированного сенсора был выбран стимулятор роста – β-адренергический агонист – рактопамина гидрохлорид («Sigma-Aldrich», Великобритания). Также применялись моноклональные антитела к рактопамину.

Использованы следующие органические растворы – этанол, 96%, ацетон («Quimica», Испания), диметилформамид (ДМФ); неорганические реактивы – соляная ( $\rho = 1,198 \text{ г/см}^3$ ) серная ( $\rho = 1,8356 \text{ г/см}^3$ ), азотная ( $\rho = 1,513 \text{ г/см}^3$ ) кислоты, пероксид водорода, тиоцианат калия («Реахим», Россия); углеродные нанотрубки (Институт физики твёрдого тела РАН, Черноголовки), фосфатный буферный раствор (PBS, pH 7,2), содержащий (г/л): NaCl (8,0); KCl (0,2); Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O (2,9); KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (0,2). Для формирования рецепторного слоя: 11-меркапто-1-ундеканол, γ-аминопропилтриоксисилан, 2-меркаптоэтиламин, 2-амино-3-меркаптопропионовую кислоту («Sigma», США); глутаровый альдегид («Reanal», Венгрия), N-гидроксисукцинимид (NHS), N-этил-N'-[3-диметиламинопропил] карбодии-мид гидрохлорид (EDAC).

**Подготовка УНТ.** Подготовка осуществлялась несколькими способами.

**Способ 1.** 0,5 мг УНТ выдерживали в ультразвуковой ванне в течение 1 часа, затем к ним добавляли 1 мл концентрированной азотной кислоты и оставляли ещё на 1 час в ультразвуковой ванне, после чего 1 час обрабатывали с добавлением концентрированной серной кислоты. Полученную смесь обрабатывали 1 мл пероксида водорода и переводили в коллоидный раствор путём воздействия ДМФ.

**Способ 2.** УНТ прокипятили при 130 °С с 2 М раствором азотной кислоты до прекращения выделения паров NO<sub>2</sub>. Затем 0,1 мг подготовленных таким образом нанотрубок смешивали с 10 мл бидистиллированной воды и выдерживали в ультразвуковой ванне в течение 20 минут. Полученный таким образом раствор профильтровывали, промывали дистиллированной водой и высушивали на воздухе, после чего диспергировали в растворе диметилформамида.

**Способ 3.** 1 мг УНТ подвергали ультразвуковой обработке в течение 1 часа в смеси концентрированных азотной и серной кислот в соотношении 1:3, после чего обрабатывали 1 М раствором соляной кислоты. Полученную смесь высушивали до постоянной массы и диспергировали в 99,5%-ном ДМФ.

Растворы углеродных нанотрубок затем разбавляли в соотношении 1:2 (500 мг/л), 1:5 (200 мг/л), 1:7 (144 мг/л), 1:10 (100 мг/л), 1:20 (50 мг/л). При разбавлении растворы УНТ подвергали ультразвуковой обработке в течение 40 минут.

**Формирование распознающего слоя.** На поверхности золотого электрода рецепторный слой формировали следующими способами.

**Способ 1.** На поверхность предварительно очищенного сенсора наносили 0,03%-ный этанольный раствор 11-меркапто-1-ундеканола и выдерживали 30 минут.

**Способ 2.** На поверхность предварительно очищенного сенсора наносили 1 мМ раствор 2-амино-3-меркаптопропионовой кислоты и выдерживали при комнатной температуре в течение 90 минут.

**Способ 3.** На поверхность электрода наносили раствор  $\gamma$ -аминопропилтриоксисилана в ацетоне и высушивали при 80°C в сушильном шкафу в течение 20 минут.

**Способ 4.** На поверхность предварительно очищенного сенсора наносили 5%-ный этанольный раствор 2-меркаптоэтиламина и высушивали при 80 °С в сушильном шкафу в течение 20 минут.

**Приборы и оборудование.** Массочувствительным датчиком являлся пьезокварцевый резонатор АТ-среза собственной частоты колебаний 10 МГц с электродами диаметром 10 мм, полученными в результате термического напыления золота на предварительно шлифованную кварцевую пластинку (ЗАО «ЭТНА», Россия).

Для вскрытия головок углеродных нанотрубок использовалась ультразвуковая ванна («ПСБ-Галас», Россия).

Для изучения морфологии поверхности применялся растровый электронный микроскоп TESCAN VEGA 3 SBH. АСМ изображение поверхности получали с помощью атомно-силового микроскопа SOLVER P47-Pro.

**Процедура измерений.** На предварительно очищенную поверхность сенсора наносили распознающий слой, а затем раствор УНТ. Осуществляли активацию сформированного поверхностного слоя, после чего наносили раствор антител с учётом 50%-ного связывания и проводили измерение модельных концентраций рактопамина.

#### Результаты и обсуждения

В последнее время в качестве одной из разновидностей модификаторов поверхности используются углеродные нанотрубки. В результате прививания наночастиц на резонатор происходит существенное возрастание удельной поверхности электрода, увеличение плотности активных центров на поверхности рецепторного слоя и их концентрации. Такие характеристики распознающего слоя могут быть достигнуты за счет существенного увеличения удельной поверхности электрода.

Качество получаемого модифицированного электрода во многом зависит от качества и способа подготовки наночастиц. УНТ были получены путем каталитического газофазного пиролиза этанола. Для раскрытия концов углеродных нанотрубок их дополнительно обрабатывали при ультразвуковом воздействии концентрированными серной и азотной кислотой. Оптимальным качеством характеризуются растворы УНТ, подготовленные по способу 3, наименее трудоёмкому и затратному по времени. Воздействие смеси концентрированных  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  позволяет раскрыть полусферические головки, препятствующие прямому присоединению наночастиц к биорецепторному слою на поверхности резонатора, при этом уменьшив время обработки ультразвуком. В результате воздействия соляной кислоты, происходит присоединение большого количества карбоксильных групп, а растворение подготовленных таким образом наночастиц в диметилформамиде приводит к образованию однородного дисперсного раствора.

Активацию проводили для максимальной эффективности использования УНТ в сенсорах. Молекулы веществ-активаторов прочно связывают нанотрубки как с подложкой, так и с антителами, которые затем взаимодействуют с определяемыми веществами с образованием иммунного комплекса. В работе использовали способ активации карбоксильных групп УНТ путём образования УНТ-носящего NHS-эфира (рис. 1), обеспечивающего пришивку разветвлённых функциональных групп и облегчающего нанесение нанотрубок на поверхность модифицированного сенсора и их закрепление.

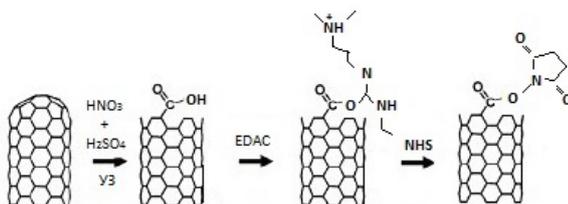


Рис. 1. Схема активации УНТ

В результате такой активации антитела напрямую связываются с наночастицами без использования конъюгата. При этом направление антител ориентировано таким образом, что их сайты связывания наиболее доступны, направлены в другую сторону от УНТ. Первичные аминогруппы в составе наночастиц делают их способными присоединять различные соединения, как низко- так и высокомолекулярные. В этом случае аминогруппа является линкером.

Для получения оптимального количества данных определение рактопамина проводили с гаптен-белковым конъюгатом на подложках 11-меркапто-1-ундеканола,  $\gamma$ -аминопропилтриоксисилана, канавалина А, 2-меркаптоэтиламина, 2-амино-3-меркаптопропионовой кислоты, а растворы углеродных нанотрубок различных концентраций наносились только на подложки 2-меркаптоэтиламина и 2-амино-3-меркаптопропионовой кислоты (рис. 2). Это связано с тем, что УНТ наиболее прочно связываются с поверхностью золотого электрода при применении линкеров, содержащих атомы серы, которые специфически и ковалентно связываются с золотом. Присутствие терминальных карбоксильных и аминогрупп позитивно сказывается на образовании прочной связи с наночастицами. Эта связь образуется даже без активации УНТ, которую проводят впоследствии для иммобилизации антител через аминогруппу.

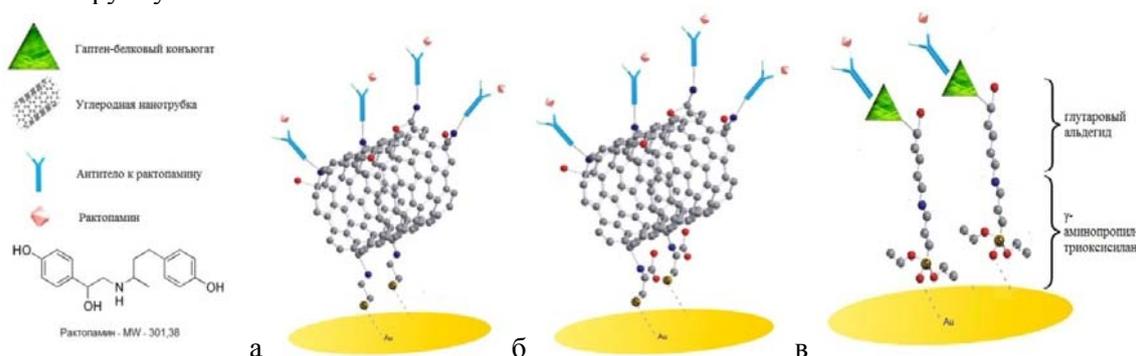


Рис. 2. Схема связывания УНТ на подложки 2-меркаптоэтиламина (а) и 2-амино-3-меркаптопропионовой кислоты (б),  $\gamma$ -аминопропилтриоксисилана с конъюгатом (в) и последующая иммобилизация антител

Подбор технологии получения оптимального покрытия контролировался методом пьезокварцевого микровзвешивания. Нанесение на модифицированную поверхность растворов УНТ существенно увеличивает массу и толщину рецепторного покрытия, а также его устойчивость, причём эти характеристики зависят от концентрации нанесённого раствора наночастиц. Подбор оптимальной концентрации раствора углеродных нанотрубок по характеристикам качества биорецепторного слоя (табл. 1) показал, что наилучшими характеристиками обладают растворы при разбавлении 1:10 УНТ (HF) и 1:7 УНТ(HNO<sub>3</sub>), так как при больших концентрациях происходит перегруз сенсора вплоть до срыва частотных характеристик, а меньшие концентрации обладают более низкой чувствительностью.

Таблица 1. Подбор оптимальной концентрации (P=0,95; n=3)

Вид УНТ	Разбавление	$\Delta$ , мкг	$\Delta h$ , нм	$S_c$ , Гц·мл/мкг	$S_m$ , Гц·мл/мкг <sup>2</sup>
HF	1:20	19,47	0,68	192	9,86
	1:10	37,08	1,30	1251	20,45
	1:7	61,18	2,14	639	17,23
	1:5	109,37	3,82	476	4,35
HNO <sub>3</sub>	1:20	13,35	0,47	160	11,99
	1:10	16,47	0,58	153	9,29
	1:7	19,58	0,68	386	11,02
	1:5	35,00	1,22	195	9,96

Следующим этапом формирования подложки пьезокварцевого сенсора на основе углеродных нанотрубок является активация, в результате которой увеличивается концентрация функциональных групп. Этот процесс необходим для оптимизации работы сенсора на их основе. Функциональные группы, привившиеся к УНТ в результате открытия колпачков, необходимы для пришивки молекул, в частности с их помощью функционализированные нанотрубки могут выступать как твёрдые носители для антител. В результате такой иммобилизации увеличивается площадь поверхности, электропроводимость, химическая и физическая стабильность сенсора. Причём активацию можно проводить как во время подготовки УНТ, так и после образования прочной связи с рецепторным покрытием. Наиболее оптимальным методом активации является послойное нанесение растворов EDAC и NHS,

поскольку покрытия с их применением характеризуются наименьшей массой, не перегружающей сенсор и наибольшей устойчивостью к эксплуатации, тем самым как бы образуя дополнительный защитный слой, препятствующий вымыванию нанотрубок.

Для анализа изменения профиля поверхности регистрировали послойное нанесение веществ на поверхность сенсора, а также сравнивали структуры нанотрубок, обработанных концентрированными  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HF}$ . С нанесением каждого слоя образующиеся пористые структуры увеличивают удельную поверхность сенсора (рис 3). Нити УНТ ( $\text{HF}$ ) обладают меньшей толщиной по сравнению с нитями УНТ ( $\text{HNO}_3$ ).

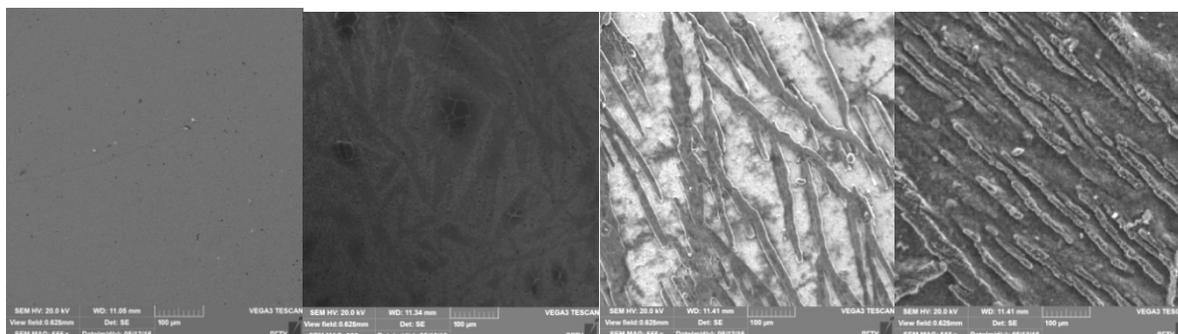


Рис. 3 Изображения золотой поверхности сенсора (а), слоя 2-амино-3-меркаптопропионовой кислоты (б), слоя с привитыми нанотрубками, обработанными  $\text{HNO}_3$  (в) и  $\text{HF}$  (г), сделанные с помощью растрового электронного микроскопа при разрешении 500 мкм

Для подтверждения увеличения удельной поверхности пьезокварцевого иммуносенсора применяли метод атомной силовой микроскопии. На основании значений средней арифметической шероховатости оценили морфологию поверхности пьезокварцевого иммуносенсора, сопоставив значения  $R_a$ , полученной для золотого электрода сенсора, сформированного методом магнетронного напыления, поверхности на основе самоорганизованного слоя 2-меркаптоэтиленамина, а также слоев, включающих УНТ (рис. 4).

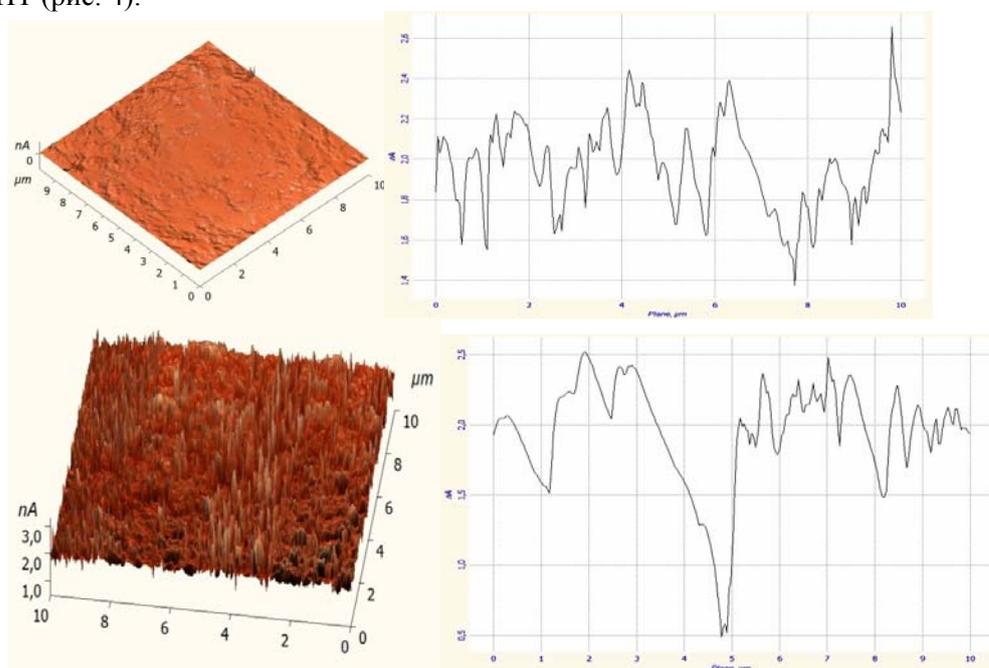


Рис. 4 Морфология и профиль поверхности распознающего слоя на основе 2-меркаптоэтиленамина ( $R_a=83\text{nm}$ ) и 2-меркаптоэтиленамина, включающего УНТ ( $\text{HF}$ ) ( $R_a=181\text{nm}$ )

С целью повышения чувствительности определения оптимизировали условия процедуры анализа.

При предварительной очистке поверхности золотого электрода сенсора смесью, состоящей из 5 частей воды, 1 части пероксида водорода и 1 части аммиака показатель частоты чистого сенсора стремится к 10 МГц.

При объеме раствора УНТ 2 мкл можно получить наиболее стабильный и высокий аналитический сигнал без срыва частотных характеристик. Увеличение объема до 5 мкл не оказывает влияние на

аналитический сигнал ( $\Delta f$  остается постоянным).

Для исследования влияния продолжительности контакта с иммуносенсором на величину отклика раствора УНТ наносили на поверхность пьезокварцевого сенсора и через 20, 24, 48 часов регистрировали изменение частоты колебаний. Было выяснено, что выдерживание продолжительностью 24 часа приводит к получению воспроизводимых результатов, тогда как при более длительном контакте УНТ с рецепторным слоем увеличения  $\Delta f$  не происходит.

В гравиметрическом анализе важным этапом является высушивание пробы до постоянной массы. Установлено, что стабилизация сигнала происходит при высушивании сенсора в потоке теплого воздуха (30 °С) в течении 5 мин. Также установлена оптимальная продолжительность времени воздействия активирующих агентов, соответствующая 90 мин. При первом рассмотрении сигнал сенсора остаётся неизменным при увеличении продолжительности активации. Но при промывании сигнал сенсора претерпевает изменения вследствие удаления с поверхности не успевших связаться молекул.

Применение нанотрубок позволяет избежать синтеза конъюгатов, что положительно сказывается на продолжительности анализа без ущерба качеству определения.

#### Литература

1. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения / П.Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – С. 8-19.
2. Булярский, С.В. Углеродные нанотрубки: технология, управление свойствами, применение / С.В. Булярский. – М.: Стержень, 2011. – С. 50-51.
3. Васильев С.В., Попова М.А., Фарафонова О.В., Карасева Н.А., Ермолаева Т.Н. Формирование рецепторного слоя пьезокварцевого иммуносенсора для определения следовых концентраций рактопамина // Современные проблемы науки и образования. 2014 (Электронный журнал) <http://www.science-education.ru/115-11917>

#### Сведения об авторах

Попова Маргарита Владиславовна, студент, Липецкий государственный технический университет, Россия, 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 147-66, тел. 89513013831, e-мaйл: [akvarel.23@mail.ru](mailto:akvarel.23@mail.ru)

Фарафонова Ольга Вячеславовна, кандидат химических наук, доцент, Липецкий государственный технический университет, Россия, 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 143-24, тел. 89192541284, e-мaйл: [farafonova.ov@mail.ru](mailto:farafonova.ov@mail.ru)

Ермолаева Татьяна Николаевна, доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой химии, Липецкий государственный технический университет, Россия, 398024, Россия, г. Липецк, ул. Индустриальная, 3А-15, тел. 89610316203, e-мaйл: [erm1704@gmail.com](mailto:erm1704@gmail.com)

УДК 669.184.244.66.666

doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-71-77

## Наноструктурированные конструкционные высокопрочные стали, микролегированные ванадием и азотом

Л. А. Смирнов, Л. М. Панфилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИМЕТ УрО РАН, ОАО «Уральский институт металлов»

620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14, 8(343)374-03-91, e-mail: [uim@ural.ru](mailto:uim@ural.ru)

#### Аннотация

Представлены результаты систематических исследований влияния микролегирования азотом (0,02 ÷ 0,04%) и ванадием (≈ 0,1%) на свойства конструкционных сталей различного назначения. Установлены уникальные особенности свойств сталей при микролегировании, такие как: достижение одновременного повышения прочностных (на 40 – 60%), пластических, усталостных характеристик (в 1,5 ÷ 2 раза), сопротивления хрупким, коррозионным и задержанным разрушениям, снижение веса конструкций и машин, увеличение надежности и срока службы деталей. Указанный уровень свойств достигается созданием наноструктуры, упрочненной наноразмерной нитридной фазой.

Стали с микролегированием и деформационно – термическим упрочнением могут заменить никельсодержащие стали типа 40ХНГМА, 28ХГНЗМ и др. Свойства достигаются при контролируемой прокатке (ковке, штамповке), исключается операция закалки. Установлена возможность получить сверхвысокую прочность для конструкционных экономнолегированных сталей при деформации гидропрессованием.

**Ключевые слова:** высокопрочные стали, микролегирование ванадием и азотом, упрочнение, наноструктура, наноразмерная нитридная фаза, сопротивление хрупким разрушениям.

## Vanadium-nitrogen-microalloyed Structural Highstrength Steels Having Nanostructure

L. A. Smirnov, L. M. Panfilova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC «The Urals Metal Institute»

620062, Russia, Yekaterinburg, Gagarina Str., 14, tel.: +7(343)374-03-91, e-mail: [uim@ural.ru](mailto:uim@ural.ru)