

Для получения электродов были использованы фрагменты стекла, покрытые нанопроводами из серебра, в коллоидном растворе, содержащем частицы оксида графена. Благодаря электростатическим взаимодействиям частички оксида графена прочно связывались с контактирующими нанопроводами из серебра. На следующем этапе работы исследователи покрыли нанопровода слоем уретан-акрилового мономера, полимеризация которого была инициирована. Когда исследователи отшелушили образовавшуюся полимерную пленку, система нанопровод/оксид графена уже оказалась внедренной в полученный полимер. Полученная эластичная пленка оказалась на 5% прозрачнее и на 35% более электропроводная, чем полиэтиленовая пленка, покрытая слоем оксидов индия-олова, используемая в настоящее время в качестве электродов для гибких оптоэлектронных устройств. На заключительном этапе органический светоизлучающий диод был получен за счет того, что в пространство между двумя эластичными электропроводными пленками был вложен органический полимер, излучающий белый свет. Полученное устройство в рабочем состоянии можно было однократно растянуть более, чем в два раза относительно его исходных размеров. Если же полимерный светоизлучающий диод растягивали на 40% от исходных размеров, устройство выдерживало 100 циклов растяжение/сжатие.

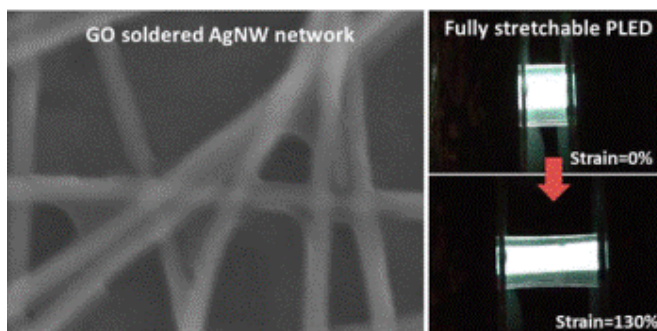


Рис. 3. — Полимерный светоизлучающий диод, изготовленный с применением гибких электродов-пленок

Список использованных источников:

1. Курамшин, В.А. / В мире науки. — 2013. — №10. — С. 69-71.

## ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ ГИБКИЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С РАСШИРЕННЫМ ДИАПАЗОНОМ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

*Минск, Республика Беларусь*

*Гвоздева Н. В., Твердовский А. А.*

*Позняк А. А. — канд. физ.-мат. наук, доцент*

Исследованы влияние температуры на экранирующие характеристики гибких водосодержащих нанокомпозитных радиопоглощающих материалов на текстильной основе в диапазоне частот 8–12 ГГц. Показано, что применение пористых материалов с высокоразвитой поверхностью, а также наноструктурирующих добавок и компонентов раствора препятствует снижению эффективности экранирования водосодержащих экранов электромагнитного излучения при отрицательных температурах.

Современные конструкции экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) обычно включают комбинацию материалов с проводящими и магнитными потерями, многослойные структуры на основе полимерных матриц, заполненных проводящими и магнитными порошками. Форму, размеры, состав, концентрацию частиц и их соотношение варьируют, что позволяет изменять электрофизические и экранирующие характеристики таких материалов.

Известно, что дистиллированная вода обладает свойством хорошо подавлять ЭМИ, что обуславливает перспективность разработки композиционных экранов с водосодержащими наполнителями различного состава (растворами кислот, солей, гелями, суспензиями, пенами) [1].

В работе [2] предложено создавать экраны ЭМИ на основе капиллярно-пористых матриц, внутреннее поровое пространство которых заполняется растворами электролитов, что обуславливает их электрофизические, а следовательно, и экранирующие характеристики. На свойства влагосодержащих материалов влияют как параметры структуры самой матрицы, так и свойства используемого раствора, т. е. проводимость и диэлектрическая проницаемость. Область существования воды в жидком состоянии накладывает естественные ограничения на эффективность ее применения в качестве компонента радиопоглощающих материалов. Однако существуют попытки расширить диапазон рабочих температур водосодержащих материалов, например, в сторону повышенных значений (более 100 °С) [3].

Для создания гибких композитных водосодержащих экранов ЭМИ, предназначенных для работы в расширенном в сторону отрицательных температур диапазоне, было предложено использовать компоненты, выполняющие следующие функции.

Полиакрилонитрильное текстильное сверхуплотненное машинно-вязаное полотно — гибкая основа композитного экрана и отчасти структурирующий материал, образующий развитую систему капилляров с широким диапазоном (от микрометрового до нанометрового) их размеров [4].

Шунгит или активный уголь в виде микродисперсного порошка — электропроводящие материалы, одновременно, благодаря наноструктурированию [5–8] и, как следствие, развитой поверхности, снижающие температуру замерзания сорбированной воды (рис. 1) и, наряду с этим, снижающие зависимость радиопоглощающих свойств воды от частоты ЭМИ [9].

Поливиниловый спирт (ПВС) в виде гидрогеля — добавка, препятствующая седиментации и стабилизирующая распределение порошкообразного наполнителя в объеме конструкции экрана и одновременно эффективно препятствующая образованию структуры льда за счет создания наноразмерной структуры геля и благодаря образованию прочных водородных связей с молекулами воды [10, 11] (рис. 2).

Хлорид калия введен для модификации совокупной структуры гидрогеля и изменения его радиопоглощающих и радиозащитных свойств [12, 13]. Побочное, но немаловажное влияние — снижение температуры замерзания системы. Следует отметить, что это одна из немногих добавок из числа изученных, не приводящая к коагуляции раствора ПВС. Оказалось также, что раствор ПВС с добавлением 1 М хлорида калия со временем превращается в гель необратимо, и при нагревании вплоть до температуры деструкции полимера в жидкое состояние обратно не переходит, что сдвигает верхнюю границу диапазона рабочих температур экранов, как минимум, до 100 °С.

В качестве наполнителей текстильных матриц использовали дистиллированную воду, 1 М раствор хлорида калия (KCl), растворы ПВС в воде и в 1 М растворе хлорида калия, приготовленные из расчета 88 г сухого ПВС на 1 литр раствора. Такое количество полимера соответствует условному 2 М раствору повторяющихся составных звеньев макромолекулы. Кроме того, были приготовлены две серии образцов, содержащих гелево-порошковые наполнители: диоксид титана (TiO<sub>2</sub>) в модификации анатаз, шунгит и активный уголь (C<sub>акт</sub>) марки БАУ, распределенные в растворах ПВС и ПВС+KCl.

После пропитки растворами и взвешивания измеряли коэффициенты передачи S<sub>21</sub> и отражения S<sub>11</sub> ЭМИ образцами. Затем их помещали в морозильную камеру на 24 ч. После этого образец помещали между волноводным фланцами измерительной установки. Для контроля температуры использовали тепловизор *MobIR M4* (спектральный диапазон 8–12 мкм) с разрешением 0,12 °С. Погрешность измерения абсолютных температур по абсолютно черному телу по всему полю зрения прибора составляет ±1 °С.

Для исследования экранирующих характеристик созданных образцов экранов ЭМИ использовали панорамные измерители КСВН и ослабления. По полученным частотным зависимостям коэффициентов передачи и отражения, измеренным при комнатной температуре (298 К), S<sub>21</sub> и S<sub>11</sub> соответственно, и после замораживания (258 К), S<sub>21</sub>\* и S<sub>11</sub>\*, рассчитывали их изменение, дБ:

$$\Delta S_{21} = S_{21}^* - S_{21};$$

$$\Delta S_{11} = S_{11} - S_{11}^*.$$

Исследования показали, в первых, что во всех без исключения случаях замораживание образцов приводит к увеличению их коэффициента передачи и уменьшению коэффициента отражения.

Как и следовало ожидать, коэффициент передачи ЭМИ образца ткани, пропитанного дистиллированной водой, существенно увеличивается при замораживании (в среднем на 12 дБ). Несколькими неожиданным является тот факт, что образцы, пропитанные гелем ПВС и раствором KCl, обладают близкими значениями  $\Delta S_{21}$ , в то время как образец, содержащий гель ПВС в смеси с KCl, изменяет свои свойства несколько в меньшей степени ( $\Delta S_{21}$  менее 11 дБ), что можно объяснить совместным воздействием наноструктурирующих добавок, взаимно усиливающих свое влияние. Коэффициент отражения образцов с водой и ПВС в качестве пропитки после замораживания не поддается измерению вследствие малости значений, а  $\Delta S_{11}$  образца с ПВС+KCl составляет около 4 дБ. Изменение экранирующих характеристик при отрицательной температуре экрана ЭМИ, содержащего смесь ПВС+KCl, ожидаемо меньше, чем для образцов с чистой водой, гелем ПВС и раствором KCl. Любопытно отметить, что у образца, пропитанного раствором KCl, при существенном возрастании коэффициента передачи, коэффициент отражения уменьшился лишь на 1,5 дБ. Вероятно, это происходит по причине разделения пропитывающего раствора на две фазы — фазу льда со значением относительной диэлектрической проницаемости существенно меньшим, чем у воды, и фазу раствора KCl еще большей концентрации и еще более сниженным  $\epsilon$  по сравнению с исходным 1 М раствором, но обладающей высокой электропроводностью и эффективно отражающей СВЧ-излучение. Для всех углеродсодержащих наполнителей характерна слабые изменения коэффициента отражения (0,5–1,5 дБ) при замораживании, поскольку его обуславливают наличие проводящего углерода. Если принять во внимание экспериментально подтвержденный вывод об определяющем влиянии воды на ослабление ЭМИ подобными композитными материалами, то становится ясной причиной существенного различия коэффициентов передачи этих образцов с добавкой хлорида калия и без нее после их охлаждения. В образцах без добавки сильного электролита происходит кристаллизация воды в полостях матрицы ПВС и образование композитного криогеля, как следствие — существенное снижение значения  $\epsilon_r$  и рост S<sub>21</sub>. Образец с порошком шунгита, распределенным в геле ПВС+KCl, характеризуется минимальным изменением  $\Delta S_{21}$  ( $\Delta S_{21}$  около 4,5 дБ), аналогичный наполнитель с C<sub>акт</sub> характеризуется значением  $\Delta S_{21}$  около 8,5 дБ; разницы, на мой взгляд, объясняется плохой адсорбцией полярного раствора поверхностью угля (являясь неполярным материалом, активный уголь особенно хорошо адсорбирует углеводороды и их производные, слабее — спирт, аммиак, воду и другие полярные вещества [14]) и намного лучшей — шунгитом, содержащим значительное количество полярных соединений (прежде всего SiO<sub>2</sub>) в своем составе [15, 16]. Таким образом, развитая наноструктурированная поверхность шунгита

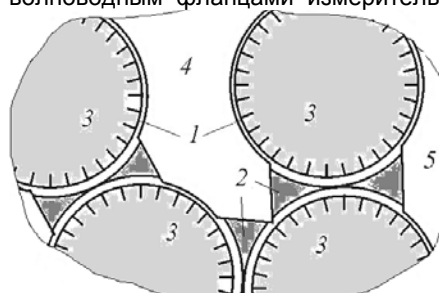


Рис. 1. — Фрагмент структуры промёрзшего пористого тела [9]:  
1 — незамерзающие плёнки воды;  
2 — лёд; 3 — частицы пористого тела;  
4 — фаза газа; 5 — незамерзающие прослойки воды

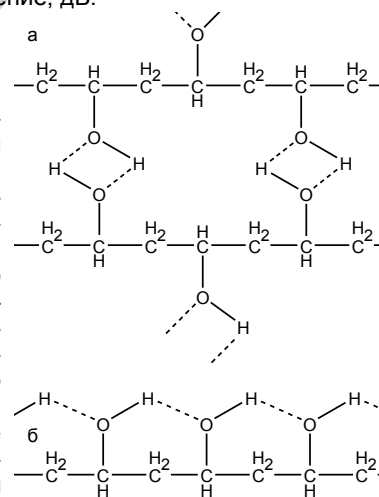


Рис. 2. — Меж- (а) и внутримолекулярные (б) ассоциаты синдио- и изотактических участков макромолекулы ПВС в структуре гидрогеля [11]

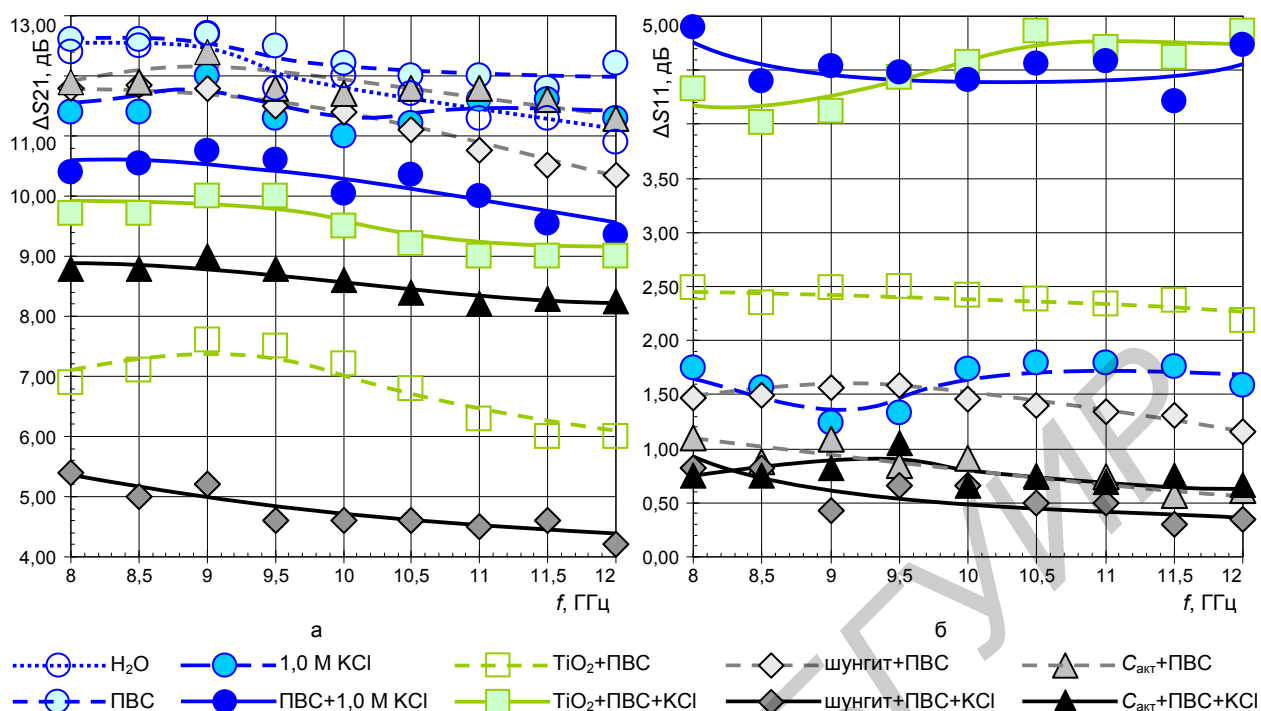


Рис. 3. — Изменение коэффициентов передачи (а) и отражения (б) в диапазоне частот 8–12 ГГц при изменении температуры в пределах 258 – 298 К

существенно лучше модифицирует и стабилизирует структуру жидкой фазы, предупреждая замерзание существенной ее части как за счет дополнительной поляризации молекул воды, так и в результате дополнительно структурирования гидрогеля из-за взаимодействия ОН-групп ПВС с полярной составляющей шунгита.

Композитный экран, содержащий порошок  $\text{TiO}_2$ , распределенный в смеси ПВС+КCl, изменил при замораживании свои свойства, подобно текстильной матрице, содержащей наполнитель ПВС+КCl. Это обусловлено тем, что грубодисперсный порошок оксида титана с относительно невысокой удельной площадью поверхности не меняет в существенной мере свойств исходной гелевой матрицы и не является проводящим материалом, в результате  $\Delta S_{21}$  такого экрана еще выше, чем у композита с наполнителем  $\text{C}_{\text{акт}}+\text{ПВС}+\text{КCl}$ .

Список использованных источников:

1. Маскировочное покрытие с изменяемым объемом и клапан наполнения и откачивания для него (их варианты): пат. 2192606, Российская Федерация, МПК F41H3/00 / Н.Г. Шахворостов, Я.Я. Хаджиева, Е.В. Исаева, С.И. Поддубный, В.М. Маковский, И.Ф. Шапкин, И.И. Дрозд, О.Д. Войлошников, Е.В. Гольцман, М.Э. Казанцев, И.Е. Прокофьев, Д.Б. Новичков, И.А. Кулешов; заявитель ООО Научно-технический центр «Версия» – № 2000118750/02; заявл. 17.07.2000; опубл. 10.11.2002.
2. Лыньков, Л.М. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения / Л.М. Лыньков [и др.] // Доклады БГУИР. – 2004. – Т. 2, № 3. – С. 152–167.
3. Пухир, Г.А. Стабильность экранирующих характеристик влагосодержащих материалов при фазовом переходе воды / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Электронный журнал «Труды МАИ». – Вып. № 67. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/a6a/a6a7173abe56bb7cc972b6ebb19e73a4.pdf>. – Дата доступа: 03.11.2013.
4. Насонова, Н.В. Влияние температуры на экранирующие характеристики водосодержащих материалов / Насонова Н.В., Аль-Адеми Я.Т.А., Пулко Т.А., Лыньков Л.М. // Известия Национальной академии наук Беларуси. – 2013. – № 3. – С. 117–122.
5. Поляков, Н.С. Активный уголь / Н.С. Поляков // Химическая энциклопедия. – М.: «Советская энциклопедия», 1988. – Т. 1. – 623 с. – С. 77.
6. Характеристики и свойства шунгита / Карбон-шунгит [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.shungit.ru/shungit/harakteristiki.html>. – Дата доступа: 08.04.2006.
7. Соловьева, А.Б. Органическое вещество шунгитовых пород / А.Б. Соловьева, Н.Н. Глаголев, Н.А. Зайченко // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тез. докл. междунар. симп., 2-7 июня 1998 г. – Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии, 2000. – С. 131–133.
8. Голуб, С.Л. Хромато-масс-спектрометрия продуктов трансформации несимметричного диметилгидраза на поверхности шунгитового материала: автореф. дис.... канд. хим. наук: 05.11.11 / С.Л. Голуб; Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Рос. акад. наук. – М.: 2007. – 24 с.
9. Дерягин, Б.В. Вода в дисперсных системах / Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д. [и др.]. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
10. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. М.: Химия, 1975. – 512 с.
11. Лозинский, В.И. Криотропное гелеобразование растворов поливинилового спирта / В.И. Лозинский // Успехи химии. – 1998. – Т. 67, № 7. – С. 641–655.
12. Робинсон, Р. Растворы электролитов / Р. Робинсон, Р. Стокс. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 647 с.
13. Глебов, А.Н. Структурно-динамические свойства водных растворов электролитов / А.Н. Глебов, А.Р. Буданов // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 72–78.
14. Активированный уголь – структура пор // Активированный уголь – главное это поры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://carbo.e-stile.ru/au-pori/>. – Дата доступа: 19.10.2013.
15. Зайденберг, А.З. Микроэлементный состав шунгитов первой разновидности / А.З. Зайденберг // Сб. тез. докл. 7-й конф. по ХТТ России и стран СНГ, 1996 г. – Москва, 1996. – С. 66–67.
16. Березкин, В.И. Исследование структуры природного стеклоглуглерада шунгитов методом рамановской спектроскопии / В.И. Березкин, Ю.В. Холодкевич, В.Ю. Давыдов // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тез. докл. междунар. симп., 2–7 июня 1998 г. – Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии, 2000. – С. 111.