

ДИСПЕРСНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ «МЕТАЛЛ – ЖИДКОСТЬ – МЕТАЛЛ»

Лещинская А.В.¹, студент гр. 740301

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь*

Петрович В.А. – канд. физ.-мат. наук

В работе представлены результаты исследования свойств деионизованной воды, спиртов и водно – спиртовых растворов, которые подвергаются воздействию электрического слоя, образующегося на границе раздела фаз «металл – жидкость». Определены особенности строения исследуемых жидкостей. Рассчитаны диэлектрические проницаемости воды и спиртов.

При производстве полупроводниковых приборов и ИМС широко используются различные технологические операции, связанные с использованием деионизованной воды, и различных промышленные жидкостей, а также растворов на основе деионизованной воды. В связи с этим, а также в связи с разработкой новых технологических операций в области микро- и нанoeлектроники, становится весьма актуальной задача изучения свойств технологических жидкостей, но и их изменение при внесении различных примесей.

Целью моей работы является изучение свойств деионизованной воды и ряда спиртов: метилового (МС), этилового (ЭС) и изопропилового (ИПС). Высокая «отмывающая» способность воды, а также высокая ее способность как растворителя, являются следствием двух аспектов:

- дипольный характер молекулярного строения воды;
- высокая ее диэлектрическая проницаемость.

Спирты можно рассматривать как производные воды (H-O-H), в которых один атом водорода замещен на органическую функциональную группу: R-O-H .

Особенности спиртов, так же и для воды, объясняются наличием прочной межмолекулярной водородной связи; этим же объясняется хорошая растворимость низших спиртов в воде. При таком растворении образуются межмолекулярные водородные связи между молекулами спирта и воды. Пространственная структура образования водородных связей между водой и спиртами представлена на рисунке 1.

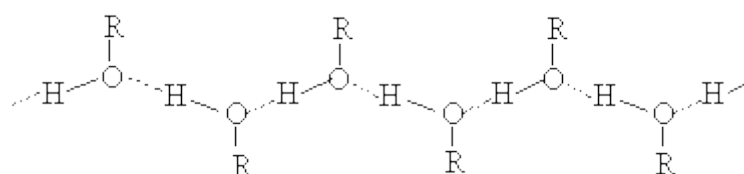


Рисунок 1 – Пространственная структура образования водородной связи между водой и спиртом

При проведении исследований использовались и водно – спиртовые растворы в различных концентрациях.

Вместе с тем, следует иметь ввиду следующее обстоятельство [1]. На границе раздела металл-раствор или полупроводник-раствор формируется двойной электрический слой (ДЭС). Этот слой со стороны раствора часто называют слоем Гуи-Гельмгольца. Для количественного определения величины электрического заряда в двойном электрическом слое используют дзета-потенциал, который отличен от потенциала адсорбционного и от потенциала поверхностного слоев. Данный слой характеризуется наличием электрического поля с напряженностью многие сотни и тысячи вольт/см. Направление электрического поля и его величина определяются гальвани – потенциалом, а именно его величиной и знаком. Имеет место и разницы значений энергии Ферми на электроде и RedOx-энергии в растворе. Также на величину электрического поля будет оказывать влияние материал электродов и состав, исследуемого раствора.

Характерные особенности строения ДЭС приводят к изменению структуры жидкости, которая используется в технологических операциях. Данное явление происходит за счет влияния электрического поля ДЭС и приводят к изменению, прежде всего, вязкости воды/спирта, а также величины диэлектрической проницаемости, электропроводности и иных физических и физико-химических свойств раствора.

При выполнении экспериментальной части использовалась деионизованная вода, объемом 3 мл, произведенная на ОАО «Интеграл», г. Минск. Спирты были взяты в НИЛ 4.3 В. П. Бондаренко. Исследования производились при нормальных условиях измерительным прибором - регистратор иммитанса E7-25 (производство ОАО «МНИПИ» г. Минска) на диапазоне частот от 25 Гц до 1 МГц. Основным иммитансным параметром, несущим максимальное количество информации о свойствах изучаемых объектов, является тангенс угла потерь ($\text{tg}\delta$), который является наиболее чувствительным к структуре и свойствам различных сред. Более того, численные значения $\text{tg}\delta$ не зависят от геометрических размеров и конструкции датчика, находящегося в растворе [2].

По этой причине предполагалось и было обнаружено, что деионизованная вода так же, как и спирты, в упомянутом диапазоне частот обладает ярковыраженной экстремальной зависимостью $\text{tg}\delta$ от частоты f (рисунок 2). Для спиртов зависимость $\text{tg}\delta$ от частоты f приведены на рисунках 3, 4, 5.

Для обеспечения формирования ДЭС, а также электрического поля были предложены датчики двух конструкций:

1. Расположенные параллельно друг другу пластинчатые электроды как одинаковой, так и разной площади, представляющие собой датчики конденсаторного типа. Расстояние между пластинами регулировалось путем установки между ними дистанционных диэлектрических шайб в пределах 0,1-10 мм.

2. Спиралевидный электрод, внутри которого размещался второй штыревой электрод.

С нашей точки зрения данные конструкции датчиков являются наиболее удачными прежде всего из-за простоты технологии изготовления с использованием широкодоступных элементов: цилиндрических проволок как покрытых, так и не покрытых изоляцией. Преимуществом датчиков конструкции №1 является то, что линии электрического поля направлены параллельно друг другу и при удачном выборе расстояния между пластинами и площади электродов позволяет исследователю избавиться от перехода численных значений (например, R_S и R_P) к определению удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости исследуемой жидкости. В качестве металла электродов датчика мы использовали медь, никель, цинк, нержавеющей сталь, платину. В материалах данной работы мы представили результаты регистрации $\text{tg}\delta$ только для датчика, изготовленного из платины. Эти данные, по нашему мнению, представляют предмет отдельного рассмотрения.

В качестве датчика для определения $\text{tg}\delta$ деионизованной воды использовался датчик второй конструкции, электроды которого были изолированы от непосредственного контакта с водой слоем диэлектрика. Частным случаем таких датчиков могут быть медные спирали или штыри, изготовленные на основе провода марки ПЭВ-2. Металлические части датчика изолированы от прямого контакта с водой слоем эмали – винифлекс (или поливинилацеталь). Лак был нанесен заводом производителем моточных проводов. По этой причине, использованные нами датчики, давали возможность наблюдать только за объемными свойствами воды.

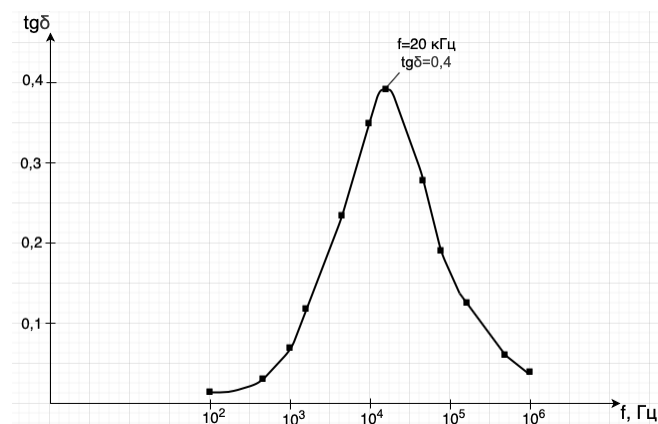


Рисунок 2 – Экспериментальная зависимость $\text{tg}\delta$ деионизованной воды от частоты

В ходе исследования проводились измерения некоторых характеристик для следующих спиртов: метилового (МС), этилового (ЭС) и изопропилового (ИПС) – которые смешивались с деионизованной водой в различных концентрациях. Результаты приведены в виде графиков зависимости тангенса диэлектрических потерь от частоты, где прослеживаются изменения их свойств в зависимости от концентрации веществ в водно-спиртовом растворе.

При этом было установлено, что при изменении концентрации спирта в водно – спиртовом растворе сдвигаются значения резонансных частот и, соответственно, изменяется значения тангенса диэлектрических потерь. Например, в растворе МС/ H_2O значение резонансной частоты уменьшается со снижением концентрации спирта в растворе, также и реагирует значение $\text{tg}\delta$ - уменьшается. При уменьшении концентрации ЭС в водно-спиртовом растворе наблюдается уменьшение тангенса в резонансной точке, которая остается относительно постоянной. Если рассматривать раствор ИПС/ H_2O , то там наблюдается следующее: при увеличении процента воды в данном водно – спиртовом растворе резонансная частота возрастает от 2,442Гц до 19,306Гц. При соотношении H_2O /ИПС 1:1 резонансная частота составляет 16кГц, а значения $\text{tg}\delta$ в данной точка наименьшее. Зависимость изменения частоты нелинейная.

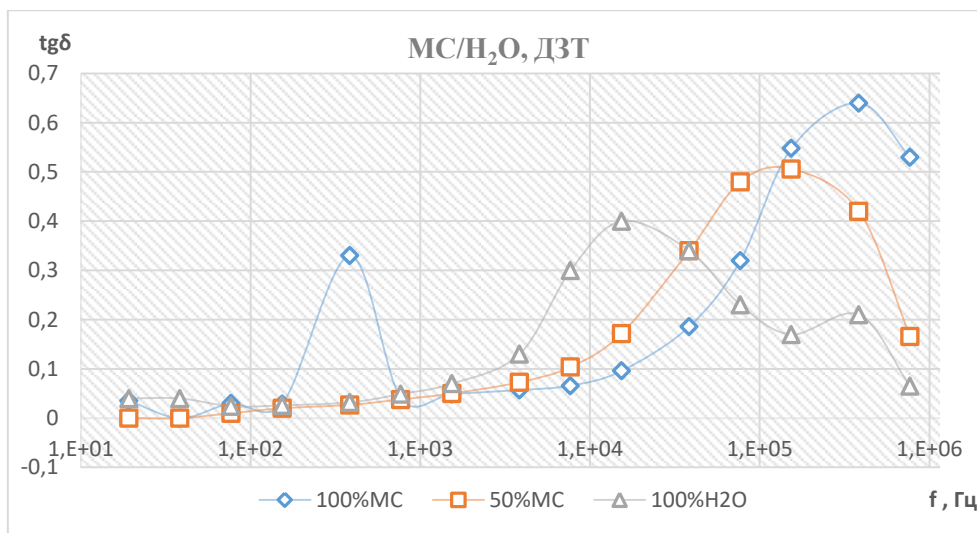


Рисунок 3 – Зависимость тангенса диэлектрических потерь МС от частоты

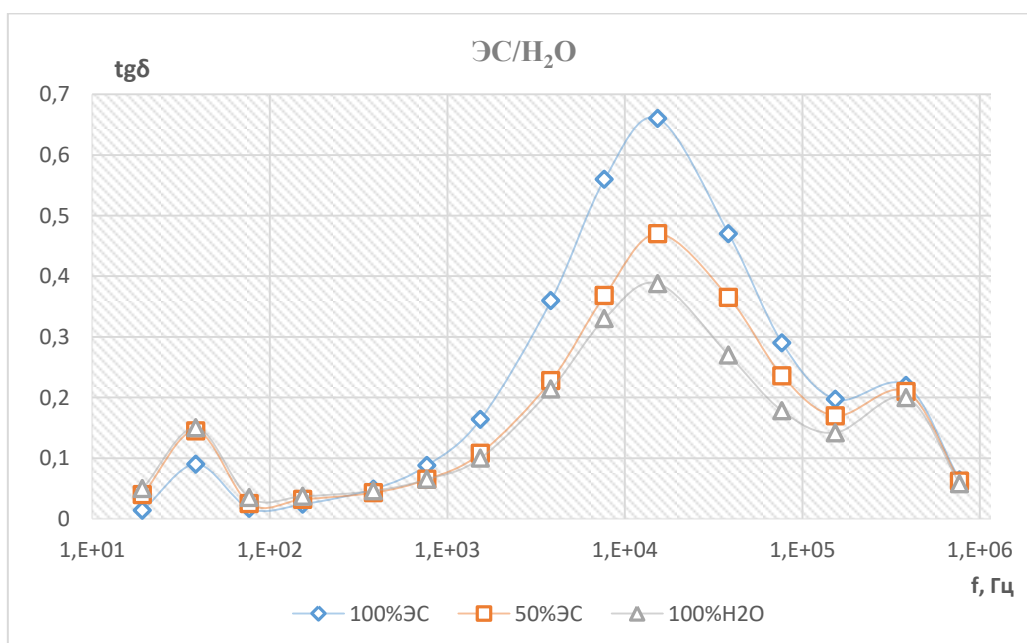


Рисунок 4 – Зависимость тангенса диэлектрических потерь ЭС от частоты

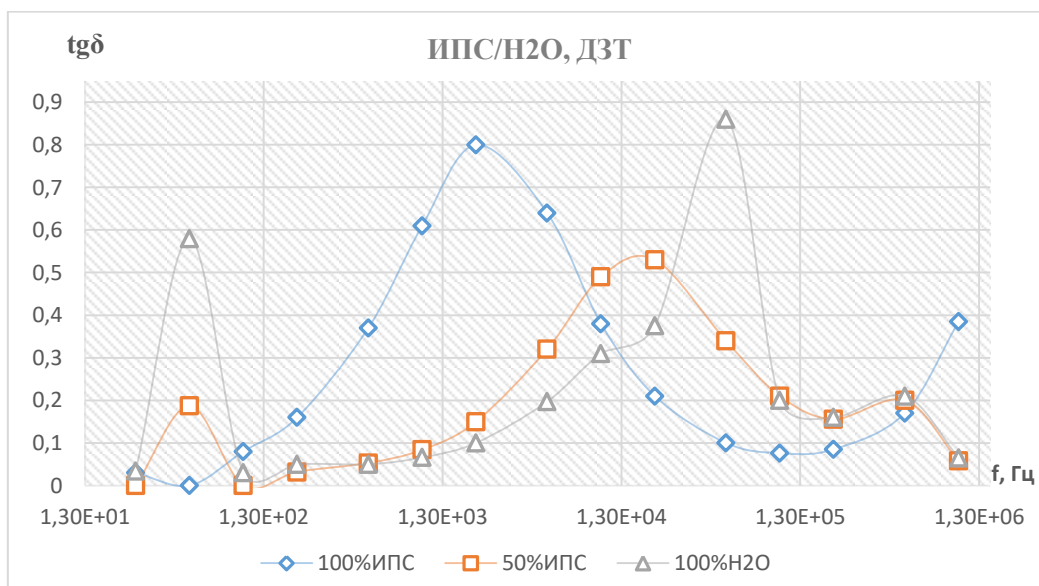


Рисунок 5 – Зависимость тангенса диэлектрических потерь ИПС от частоты

В соответствии с моделью релаксационных потерь (моделью Дебая) такое поведение $\text{tg}\delta$ описывается уравнением (1):

$$\text{tg}\delta = \frac{\omega\tau(\varepsilon_c - \varepsilon_x)}{\varepsilon_c + \varepsilon_x(\omega\tau)^2} \quad (1)$$

Максимальное значение $\text{tg}\delta$ определяется условием (2):

$$\omega\tau = \sqrt{\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_x}} \quad (2)$$

В данных уравнениях $\omega=2\pi f$, где f – частота в Гц, τ – время релаксации наблюдаемого процесса, ε_c – стационарное значение диэлектрической проницаемости (для воды находится в районе 80 ± 2 единиц, для МС – $32,70\pm 2$, для ЭС – $24,55\pm 2$, для ИПС – $19,41\pm 2$), ε_x – диэлектрическая проницаемость при частоте намного большей, чем частота, отвечающая максимальному значению $\text{tg}\delta$.

Решая систему уравнений (1) и (2), мы получили соотношение (3):

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_x} = (1 + 2\text{tg}^2\delta) - 2\text{tg}\delta \sqrt{1 + \text{tg}^2\delta} \quad (3)$$

Данные соотношения позволяют рассчитать диэлектрические проницаемости рассмотренный нами жидкостей/растворов. Исходя из полученных данных были получены значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения полученных диэлектрических проницаемостей исследуемых веществ

Вещество	Вода	МС	ЭС	ИПС
ε_x	93	36,04	26,55	20

Из полученных результатов можно заметить, как изменяется диэлектрическая проницаемость жидкости, которая вызвана заменой одного атома водорода в молекуле воды на органическую функциональную группу R в химической формуле R–O–H. В публикации [3] было показано, что для гомологического ряда N-спиртов в диапазоне частот не свыше 1МГц зависимость $\text{tg}\delta$ имеет экстремум. Авторы данной работы справедливо отмечают, что в этом же районе частот значение диэлектрической проницаемости спиртов уменьшается.

Можно сделать некоторые выводы:

- особые свойства деионизованной воды могут быть использованы как диагностический инструмент при разработке и контроле технологических процессов в микро- и нанoeлектронике.
- особенности строения представленных водно – спиртовых растворов свидетельствуют об изменении их свойств.
- на основе полученных значений $\text{tg}\delta$ и соответствующих этим значениям частот можно получить реальные значения диэлектрической проницаемости жидкости.

Список использованных источников:

1. Цивадзе А.Ю. (ред.) Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз. Монография. - Москва, ЛКИ, 2008. - 544 с.
2. S. A. Volchek, V. A. Petrovich, S. V. Granko, V. Yu. Serenkov and V.A. Yakovtseva Bond Energy in Nanostructured Water —World scientific publishing company, 2019
3. ФКС XIII: Материалы конференции — Гродно: ГрГУ, 2015, стр 294.
4. Клеман М. Основы физики частично упорядоченных сред: жидкие кристаллы, коллоиды, фрактальные структуры, полимеры и биологические объекты / М.Клеман, О. Д. Лаврентович; пер. с англ. под ред. С. А. Пикина, В.Е. Дмитриенко. - М: Физматлит, 2007
5. Журнал №3 «Наонатехнологии: разработка, применение XXI век» — Москва, 2019.стр 5-13
6. Я.Ю. Ахадов Диэлектрические свойства чистых жидкостей, 1972

Лещинская Ангелина Викторовна, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь angelina260194@gmail.com

Руководитель: Петрович Владимир Алексеевич – доцент, канд. физ.-мат. наук, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, (почта)