

УДК 547.914

СОЗДАНИЕ СЕГНЕТОАКТИВНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛЕДЕНФТОРИДА С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОЧЕШУЕК ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

**Бурьянская Е.Л.^{1,2}, Кочервинский В.В.¹, Осипков А.С.¹, Киселев Д.А.², Нечаев А.Н.^{3,4},
Пономарева О.Ю.^{3,4}, Набиев А.А.^{3,5}**

¹ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

² *Университет науки и технологий МИСИС*

³ *Объединённый институт ядерных исследований*

⁴ *Государственный университет "Дубна"*

⁵ *МНОАР Институт радиационных проблем, Баку*

E-mail: m1707925@edu.misis.ru

Ключевые слова: сегнетоэлектрики, композитные материалы, пьезоэлектричество, гибкая электроника, smart materials.

Сегнетоэлектрические полимеры на основе винилденфторида отличаются химической и термической стойкостью, высокими пиро- и пьезоэлектрическими свойствами и доказанной биосовместимостью. Всё это обеспечивает широкий ряд применений таких материалов в различных областях техники.

В последнее время в ряде работ сообщается о существенном увеличении сегнетоактивной фазы и, как следствие, величины пьезоэлектрического коэффициента d_{33} поливинилдефторида (ПВДФ) при введении в полимерную матрицу дисульфида молибдена в виде двумерных структур (наночешуек) с высокой поверхностной активностью. Такая структура обуславливает уникальные структурные и электрофизические свойства материала и делает его перспективной добавкой для создания композитов. Вместе с тем опубликованные данные носят несколько разрозненный характер и не позволяют однозначно оценить влияние MoS_2 на свойства композита. Данная работа направлена на устранения указанного пробела. В работе проведено исследование изменения структуры и электрофизических свойств ПВДФ при введении в него различных концентраций MoS_2 . Пленки получались методом полива из растворителя *n*-метилпирролидона. Коммерческий дисульфид молибдена добавлялся в раствор полимера и размешивался с помощью воздушных мешалок.

Морфология поверхности получившихся материалов изучалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Из данных СЭМ, в последующем подтвержденных результатами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) видно, что сторона образца, находившаяся при кристаллизации на воздухе, имеет значительно большую среднеквадратичную шероховатость порядка 250 нм, на этой стороне наблюдаются сферические частицы. Выявлено, что радиус таких частиц уменьшается с увеличением доли дисульфида молибдена. Так в чистой пленке он составил 12 мкм, а в пленке с 10% MoS_2 – 3 мкм. Из этого сделан вывод о влиянии дисульфида молибдена на процесс кристаллизации полимера.

Структура полученного композита изучалась методами рентгенофазового анализа и ИК-Фурье спектроскопии. Для сополимеров ВДФ характерно наличие четырех полиморфных модификаций, из которых наиболее интересна сегнетоактивная β -фаза. При добавлении дисульфида молибдена в количестве 1% наблюдается аномальное увеличение доли сегнетоактивной β -фазы и снижение несегнетоактивной α -фазы. Для концентраций, превышающих 1%, подобный эффект не наблюдается, это может быть связано с выпадением MoS_2 в отдельную фазу. Также из данных ИК-спектров, полученных в режиме спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) видно, что структура пленок заметно различается для двух сторон образца.

Электрофизические свойства таких композитов были изучены методами СЗМ и широкополосной импедансной спектроскопии. В режиме микроскопии зонда Кельвина получено распределение сигнала поверхностного потенциала для двух сторон образца. Выявлено, что сигналы поверхностного потенциала заметно отличаются для разных сторон пленки, что согласуется с данными, полученными в режиме НПВО. Это говорит о влиянии условий кристаллизации на свойства материала. Также замечено, что значения поверхностного потенциала максимальны для ранее отмеченного образца, содержащего 1% MoS_2 . В режиме широкополосной импедансной спектроскопии изучена диэлектрическая релаксация материала в диапазоне частот от 10^{-2} Гц до 10^7 Гц. Значения диэлектрических характеристик существенно меняются при добавлении 1% MoS_2 . Так для чистого ПВДФ значение действительной диэлектрической проницаемости составило $\epsilon' = 24$, а для образца, содержащего наименьший процент дисульфида молибдена $\epsilon' = 350$. Для образцов с большим процентом MoS_2 подобного не наблюдается.

Сделан вывод о влиянии дисульфида молибдена на структурные, морфологические и электрофизические свойства ПВДФ. Добавление MoS_2 существенно меняет свойства полимера, позволяя создавать материалы с улучшенными диэлектрическими характеристиками.