

панелей и т. д.). Для достижения указанной цели необходимо использование компонентов (связующего и наполнителя) с высокой диэлектрической проницаемостью, регулирование межфазных взаимодействий между ними и структурирование материала с формированием упорядоченных структур из частиц наполнителя, образующих параллельное соединение по отношению к прилагаемому электрическому полю, что может быть достигнуто за счет дополнительного ориентирующего воздействия.

В качестве подхода к решению данной задачи изучено влияние осаждения ферромагнитных частиц (смеси магнетита и монтмориллонита) на поверхность субмикронных частиц сегнетоэлектрического наполнителя титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) на электрические свойства композитов, получаемых при его введении в матрицу цианэтилового эфира поливинилового спирта с последующим воздействием магнитного поля в процессе сушки. Установлен нелинейный характер зависимости электрических свойств композита от количества вводимой декорирующей добавки, с увеличением которого от 0,6 до 4 мг/г  $\text{BaTiO}_3$  наблюдается чередование областей роста и снижения диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и электрического сопротивления. Воздействие магнитного поля приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости (от 40-60 % при содержании ферромагнитной добавки 1 – 2,4 мг /г  $\text{BaTiO}_3$  до более чем 2,5-кратного роста при повышении ее содержания до значений свыше 4 мг/г  $\text{BaTiO}_3$ ) по сравнению с аналогичными материалами, полученными в отсутствие магнитного поля, что обусловлено ориентацией частиц наполнителя с формированием упорядоченной анизотропной структуры композита.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 21-73-30019.*

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТЬЮ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, В. В. Сидский**

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,  
Республика Беларусь, vaskevich@gsu.by*

Защита полимерных материалов направлена в первую очередь на увеличение срока службы изделий, улучшение их эксплуатационных характеристик, а также придание им эстетичного внешнего вида. Покрытия, формируемые на поверхности полимерных материалов предназначены для, защиты от механических повреждений, химических воздействий, ультрафиолетового излучения, а также позволяют защищать изделие от старения и деградации.

Наиболее простым и функциональным методом формирования защитных декоративных покрытий на поверхности изделий из пластика является золь-гель метод [1]. Золь-гель технология – один из простых и эффективных способов получения функциональных материалов на основе неорганических полимерных матриц с включенными в полимерную структуру органическими красителями. Золь-гель метод позволяет за счет изменения условий синтеза и формирования пленки в достаточно широких пределах изменять структурные и функционально значимые характеристики получаемых гибридных материалов [2–4].

Нанесение кремнийсодержащих слоёв на изделия из пластика производится с целью предотвращения их деградации и защиты от царапин, разрушения под действием света, атмосферы и влаги, а также с целью модификации или придания им новых свойств. Большинство органо-неорганических материалов используется в неокрашенном виде или с базовой окраской. Тем не менее, такие материалы все больше и больше используются для замены декоративных покрытий, которые должны соответствовать жестким функциональным требованиям.

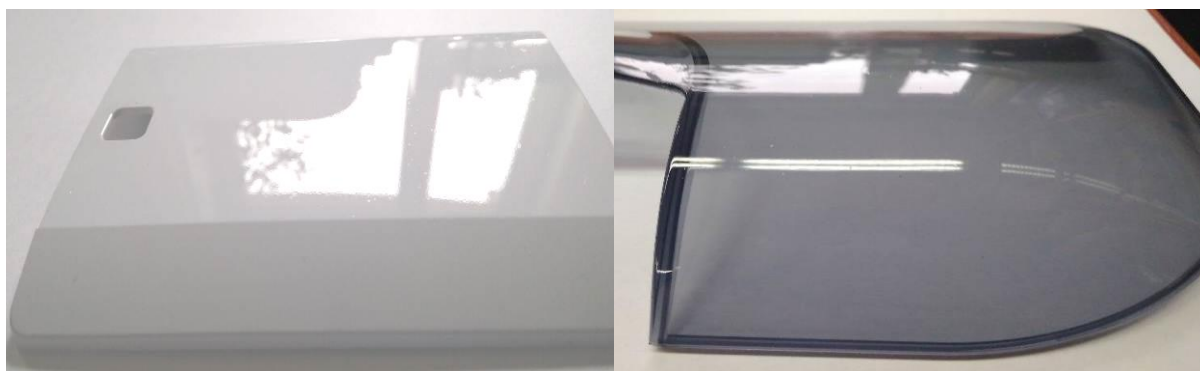
Для получения защитных покрытий на пластиковой подложке были приготовлены исходные золи нескольких составов - на основе металлоорганических соединений кремния и титана, растворителя и катализатора, содержащих фото-отверждаемые добавки (эпоксикарилат).

Нанесение органо-неорганических золь-гель покрытий на подложки осуществляли методом распыления, так как данным методом возможно получить защитные покрытия необходимой толщины на пластике сложной формы. Этот метод нанесения достаточно распространен, и он состоит в том, что готовый пленкообразующий раствор равномерно наносят по всей поверхности подложки посредством применения специального распылительного пульта.

После нанесения на поверхности пластиковых подложек формируется однородный по толщине слой. Последующая термическая обработка приводит к завершению реакций разложения промежуточных продуктов гидролиза и к полному удалению растворителя и органических остатков. На поверхности формируется твердая пленка, препятствующая свободному удалению паров растворителей, находящихся в лежащих ниже слоях. Поэтому этап сушки необходимо проводить по ступенчатой схеме:

- первичная: с использованием технического фена потоком горячего воздуха (происходит интенсивное испарение растворителя) - при температуре (150–200) °С в течении 60–120 секунд;
- вторичная: в сушильном шкафу, при температуре (100–150) °С в течении часа.

Скорость отверждения покрытий зависит от толщины, материала подложки, концентрации фото-отверждаемых добавок и вида пленкообразующего раствора. Введение в исходный раствор фото-отверждаемых добавок приводит к увеличению скорости полимеризации и улучшает сушку получаемых покрытий.



а

б

Рисунок 1 – Внешний вид защитных покрытий, полученных на поверхности:

а – поликарбоната; б – АБС пластика

Проведены исследования адгезии, твердости и стойкости к истиранию полученных покрытий к полимерным подложкам из поликарбоната и АБС пластика.

Результаты исследования показывают, что введение фото-отверждаемых добавок не оказывает влияния на адгезию получаемых покрытий к поверхности подложек. Все полученные покрытия имеют самый высокий класс адгезии согласно ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013) – Класс 0 (края надрезов полностью гладкие; ни один из квадратов в решетке не отслоился).

Из многочисленных методов испытаний твердости с целью изучения долговечности покрытий наиболее распространенными методами являются измерения с помощью твердости карандаша ГОСТ Р 54586-2011 (ISO 15184:1998). Метод хорошо воспроизводится. Карандаши используются с твердостями в диапазоне от 6В до 9Н. По результатам исследования твердости можно сделать вывод, что увеличение концентрации эпоксикарилата приводит к снижению твердости формируемого покрытия. Образцы без фото-отверждаемых добавок имеют твердость 4Н. С увеличением концентрации эпоксикарилата происходит уменьшение содержания кремниевой основы гибридной кремний-полимерной матрицы, что приводит к уменьшению твердости полученных покрытий.

Механическая прочность покрытий, содержащих органические красители, определялась методом истирания резиновым наконечником, изготовленным из пищевой резины средней плотности, через батистовую прокладку. Все полученные покрытия выдерживают 3000 циклов истирания, что соответствует нулевой группе прочности. Полученные материалы могут применяться в качестве защитных покрытий для полимерных материалов.

*Работа выполнена при поддержке государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» задания 4.1.1 и 4.1.6.*

### Список литературы

1. Защитные золь-гель покрытия с гидрофобными свойствами / В. В. Васькевич, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Сидский // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №3 (8). – С. 15-19.
2. Кудина, Е. Ф. Органосиликатные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Материалы, технологии, инструменты. – 2013. – Т. 18, № 4. – С. 31-42.
3. Биоповреждения и защита синтетических полимерных материалов / Пехташева Е. Л., Неверов А. Н., Заиков Г. Е., Стоянов О. В., Русанова С. Н. // Вестник Казанского технологического университета, 2012. – Том 15. – №10. – С. 166-173.
4. Формирование и исследование свойств золь-гель покрытий, предназначенных для модификации поверхности полимерных материалов / В. В. Васькевич, В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. А. Бойко, А. А. Алексеенко // Полимерные материалы и технологии. – 2019. – №4(4). – С. 64-70.

### ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТОГО КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

**В. Е. Гайшун<sup>1</sup>, А. В. Семченко<sup>1</sup>, Д. Л. Коваленко<sup>1</sup>, В. В. Сидский<sup>1</sup>, О. И. Тюленкова<sup>1</sup>,  
В. В. Васькевич<sup>1</sup>, В. Г. Кузьмин<sup>2</sup>, А. С. Лебедев<sup>3</sup>, В. М. Рыжков<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,  
Республика Беларусь, alina@gsu.by;*

<sup>2</sup>*ООО НПК «КРИН»,  
Российская Федерация, kuzminvg1949@yandex.ru;*

<sup>3</sup>*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,  
Российская Федерация, Lebedev.a.s@bk.ru*

Производство особо чистого диоксида кремния (с содержанием SiO<sub>2</sub> более 99,999 %) является одной из важных и актуальных задач современной химической промышленности. Этот материал находит широкое применение в производстве оптического стекла, оптических волокон для интернет-кабелей, фотошаблонов, других применений.

Существующие технологии синтетического производства диоксида кремния были разработаны еще в середине XX века. Эти методы отличаются высокой энергоемкостью, многоступенчатостью и не соответствуют современным экологическим стандартам. Со временем, по мере устаревания традиционных технологий, возникла необходимость в разработке новых методов производства синтетического диоксида кремния.

В промышленности диоксид кремния, маркируемый как «Silica White», получают жидкофазным методом. Этот процесс включает осаждение аморфного кремнезема из растворов натриевого силиката с помощью кислот. Данный способ не применим для получения синтетического диоксида кремния.