

УДК 681.586.7

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЛОИ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛА ДЛЯ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ**Баранова А.С.¹, Мельникова Г.Б.¹, Довгаль М.И.¹, Сапсалёв Д.В.¹, Аксютчиц А.В.², Толстая Т.Н.¹, Котов Д.А.², Чижик С.А.^{1,3}**¹*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси*²*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*³*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Разработаны емкостные датчики температуры с чувствительным слоем на основе полиметилметакрилата. Методом атомно-силовой микроскопии изучены топография поверхности пленок, нанесенных методом спин-коатинга, показана зависимость электрической емкости и модуля упругости сформированных покрытий от температуры.

Ключевые слова: тонкие пленки полиметилметакрилата, атомно-силовая микроскопия, спин-коатинг, емкостные датчики.

SENSITIVE LAYERS OF POLYMETHYLMETHACRYLATE FOR CAPACITIVE TEMPERATURE SENSORS**Baranova A.S.¹, Melnikova G.B.¹, Dovgal M.I.¹, Sapsaliou D.V.¹, Aksyuchits A.V.², Tolstaya T.N.¹, Kotov D.A.², Chizhik S.A.¹**¹*Institute of Heat and Mass Transfer named after A.V. Lykov NAS of Belarus*²*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics**Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. Capacitive temperature sensors with polymethyl methacrylate sensitive layer are developed. Topography of the surface of films deposited by the spin-coating method were studied, and the dependence of the electrical capacitance and elastic modulus of the formed coatings on temperature was shown.

Key words: polymethyl methacrylate thin films, atomic force microscopy, spin-coating, capacitive sensors.

Адрес для переписки: Баранова А.С., ул. П. Бровки, 15, г. Минск, 220072, Республика Беларусь

e-mail: alesyanova@bk.ru

С развитием технологий возникает потребность в создании более универсальных датчиков, способных работать в широком диапазоне температур, обладающих высокой точностью и низким энергопотреблением. Использование полимерных материалов, таких как полиметилметакрилат (ПММА) [1; 2], является одним из перспективных решением. Полимерные материалы обладают рядом существенных преимуществ, включая высокую термическую чувствительность и способность адаптироваться к широкому диапазону температур, что обеспечивает долговечность и стабильность работы датчиков.

Экспериментальная часть. Для получения емкостных датчиков использовали ситалловые подложки, которые служили основой для проводящего слоя из наноструктурированного никеля, нанесенного методом ионно-лучевого распыления [3], а в качестве чувствительного слоя был использован полиметилметакрилат (ПММА, Sigma-Aldrich, $M_r \approx 10\ 000$).

Методом спин-коатинга формировали чувствительный полимерный слой. На подложки, вращающиеся со скоростью 3200 оборотов в минуту, прикапывали 6 мкл раствора ПММА в хлороформе с концентрацией 1 мг/мл.

Оценку емкостных характеристик датчика проводили на основании анализа зависимости ем-

кости от температуры при частоте 212 Гц (измеритель иммитанса E7-25), выдерживая на воздухе с использованием термоплатформы в течение 15 минут в диапазоне температур от 25 до 140 °С.

Методом атомно-силовой микроскопии (НТ-206, ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь) изучали топографию поверхности и определяли модуль упругости слоев полиметилметакрилата.

Результаты и их обсуждение. На основании анализа данных атомно-силовой микроскопии показано, что пленки ПММА имеют неоднородную структуру по сравнению с исходным датчиком (рисунок 1). Отмечается наличие сферических конгломератов размерами от 100 до 1000 нм для 1 и 5 слоев ПММА и 400 – 1400 нм для 10 слоев.

Зависимость электрической емкости (C) от температуры (T) имеет скачкообразный характер для всех образцов (рисунок 2). Отмечается две области изменения данного параметра. В первой, до 80 °С, изменения могут быть обусловлены неоднородностями сформированных слоев, приводящие при нагреве к изменению морфологических параметров как на поверхности, так и в объеме материала. Во второй, от 100 °С, основной вклад вносят фазовые переходы полимера, а именно размягчение и расплав ПММА, что приводит к росту значений емкости.

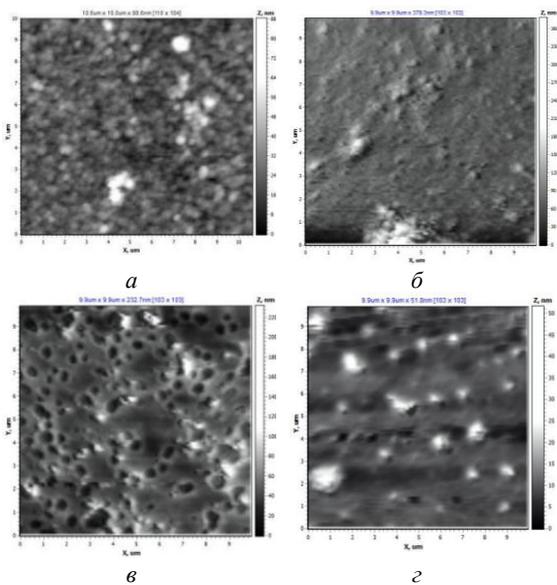


Рисунок 1 – АСМ-структура исходного датчика (а) и пленок ПММА: 1 слой (б), 5 слоев (в), 10 слоев (з)

Монослойные покрытия в заданном диапазоне температур характеризуются наименьшей чувствительностью к воздействию температуры по сравнению с многослойными пленками. Значение емкости принимает значения в диапазоне от 2,54 пФ (100 °С) до 8,05 пФ (60 °С).

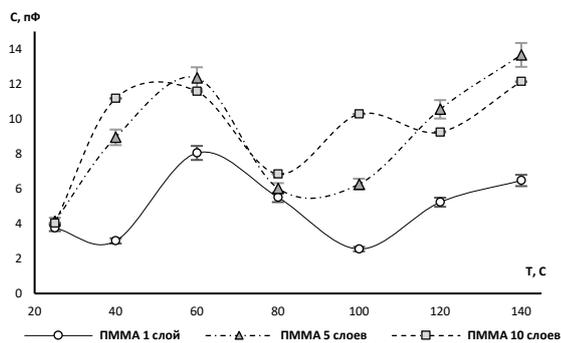


Рисунок 2 – Зависимость электрической емкости сформированных покрытий от температуры при 212 Гц

Для 5 слоев ПММА отмечается пик при 60 и 140 °С, где емкость принимает значения 12,34 и 13,66 пФ соответственно. Образец с 10 слоями ПММА имеет три пика со значениями электрической емкости 11,57 пФ (60 °С), 10,27 пФ (100 °С) и 12,13 пФ (140 °С).

Таким образом, в диапазоне температур от 25 до 140 °С монослойные покрытия характеризуются наименьшей чувствительностью к воздействию температуры по сравнению с многослойными пленками.

Воздействие температуры на пленки ПММА приводит к плавному снижению значений модуля упругости, что подтверждает предположение о размягчении материала (рисунок 3).

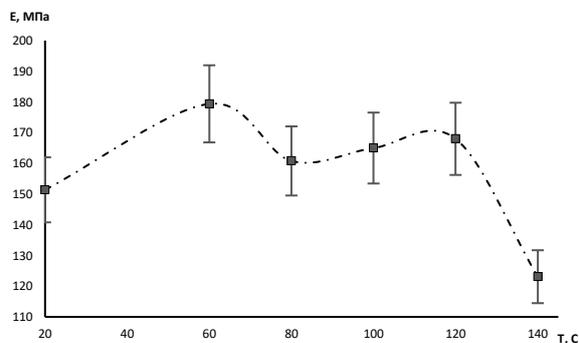


Рисунок 3 – Влияние температуры на значения модуля упругости пленок ПММА

Заключение. На основе проведенных исследований разработаны емкостные датчики температуры с чувствительным слоем на основе ПММА. Показано, что увеличение количества слоев полимера приводит к повышению чувствительности датчика.

Благодарность. Работа выполнена в рамках ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограмма «Энергетические процессы и технологии», зад. 2.25.

Литература

1. Khaleel, A. Synthesis and characterization of PVDF/PMMA/ZnO hybrid nanocomposite thin films for humidity sensor application / A. Khaleel, L. Abbas // *Optik*. – 2022. – V. 272. – P. 170288.
2. Capacitive and resistive response of humidity sensors based on graphene decorated by PMMA and silver nanoparticles / I. Rahim [et al.] // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2018. – V. 26. – P. 42–50.
3. Тонкие полимерные пленки на основе полиметилметакрилата для анализа содержания катионов тяжелых металлов в воде / Д. В. Сапсадев [и др.] // *Приборостроение – 2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16–18 ноября 2022 г. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 435–43.*