УДК 538.958

**ОПТИЧЕские свойства и ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ**

**МИКРОСФЕР ДИОКСИДА КРЕМНИЯ И натриевого жидкого стекла**

**А.Н. Дудин**, В.В. Сердакова, А.С. Неретина

*Амурский государственный университет (г. Благовещенск)*

*andrew.n.dudin@gmail.com*

*Исследованы спектры диффузного отражения и теплопроводность покрытий на основе полых частиц диоксида кремния и натриевого жидкого стекла с концентрацией от 20 до 80 об.%. Установлено, что малая концентрация связующего обусловливает низкую теплопроводность и высокую отражательную способность покрытий.*

**OPTICAL PROPERTIES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF COATINGS BASED ON**

**MICROSPHERES OF SILICON DIOXIDE AND SODIUM LIQUID GLASS**

**A.N. Dudin, V.V. Serdakova, A.S. Neretina**

*Amur State University, Blagoveshchensk*

*andrew.n.dudin@gmail.com*

*Diffuse reflection spectra and thermal conductivity of coatings based on hollow particles of silicon dioxide and sodium liquid glass with a concentration of 20 to 80 vol.% were studied. It was found that a low concentration of binder causes low thermal conductivity and high reflectivity of coatings.*

Применение полых частиц диоксида кремния и жидкого натриевого стекла имеет важное значение в области катализа и космического материаловедения. Эти материалы являются легкими и обладают низкой плотностью, что делает их идеальными для использования в космических аппаратах и спутниках. Они также обладают высокой прочностью и термостойкостью, что позволяет им выдерживать экстремальные условия космического пространства, включая высокие температуры, радиацию и экстремальные перепады давления. Кроме того, полые частицы SiO2 способствуют улучшению теплоотвода и защите от радиации, что повышает надежность и долговечность космических материалов. Полые частицы диоксида кремния обладают высокой поверхностной активностью и большой площадью поверхности, что позволяет им быть эффективными и стабильными катализаторами. Они могут активизировать различные химические реакции, упрощая стадию переноса электрона и ускоряя скорость реакции. Кроме того, полые частицы SiO2 легко модифицируются, что позволяет обеспечить оптимальные условия для конкретной реакции.

Целью настоящей работы было проведение исследований оптических свойств и теплопроводности покрытий на основе полых частиц диоксида кремния и жидкого натриевого стекла.

Синтез полых частиц осуществлялся с применением шаблонного метода. В качестве шаблонов использовались полистирольные шарики. Для получения которых в 500 мл круглодонную колбу с тремя горлами заливали 300 мл этанола, затем добавляли 30 мл стирола и 0,12 г поливинилпирролидона, раствор смешивали со скоростью 300 об/мин. при температуре 80 ºС в течение 30 минут. Затем добавляли водный раствор аммония персульфата в соотношениях: 36 мл деионизированной воды и 2 г аммония персульфата для получения частиц полистирола микронных размеров. Далее смешивание происходило при температуре 75 ºС в течение 3 часов, до образования белого раствора. Раствор был дважды промыт 500 мл этанола, дважды центрифугирован при 2000 об/мин., после каждого этапа раствор подвергался ультразвуковому воздействию.

Для того, чтобы получить полые частицы диоксида кремния готовили раствор с добавлением полистирольных шариков, этанола, дистиллированной воды, раствора аммиака и тетраэтоксисилана в соотношениях к объему: 5:40:10:5:1. Затем полученный раствор перемешивали в течение 2 часов при температуре 50 ºС. После этого раствор трижды промывали этанолом и водой и центрифугировали при 3000 об/мин после каждого промывания. На последнем этапе его высушивали и подвергали трехстадийной термообработке при температуре 200, 300 и 500 ºС. На выходе был получен белый и мучнисто-сыпучий порошок. Для проведения измерений коэффициента теплопроводности были изготовлены образцы покрытий с различным содержанием натриевого жидкого стекла от 20 до 80 % по объему в виде прямоугольного параллелепипеда размером 100×100×10 мм.

Используя сканирующий двухлучевой спектрофотометр с двойным монохроматором Perkin Elmer Lambda 950 шагом 5 нм/с в диапазоне от 250 до 2500 нм, были получены спектры диффузного отражения. Для измерения коэффициента теплопроводности использовался микропроцессорный прибор измеритель плотности теплового потока ИТП-МГ4 [1]. Принцип работы прибора ИТП-МГ4 основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца. Основными контролируемыми при эксперименте параметрами являлись толщина образца, плотность теплового потока и температура противоположных лицевых граней образца. Вычисление коэффициента теплопроводности по результатам измерений производится вычислительным встроенным устройством прибора по формуле:

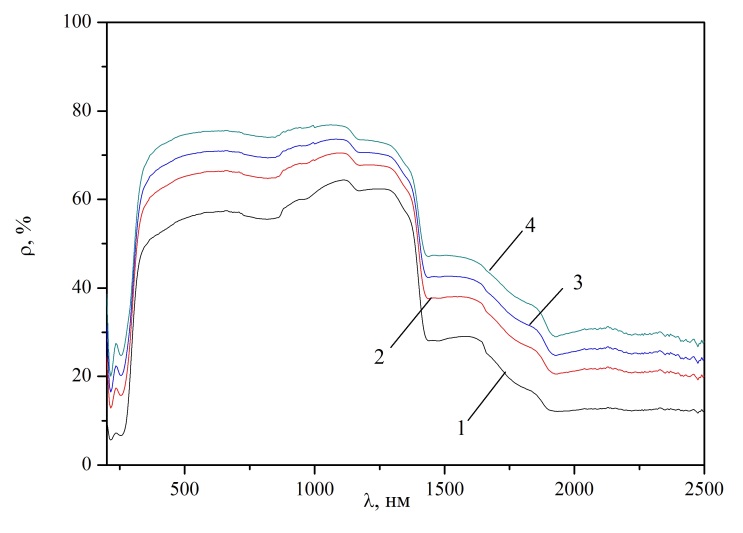
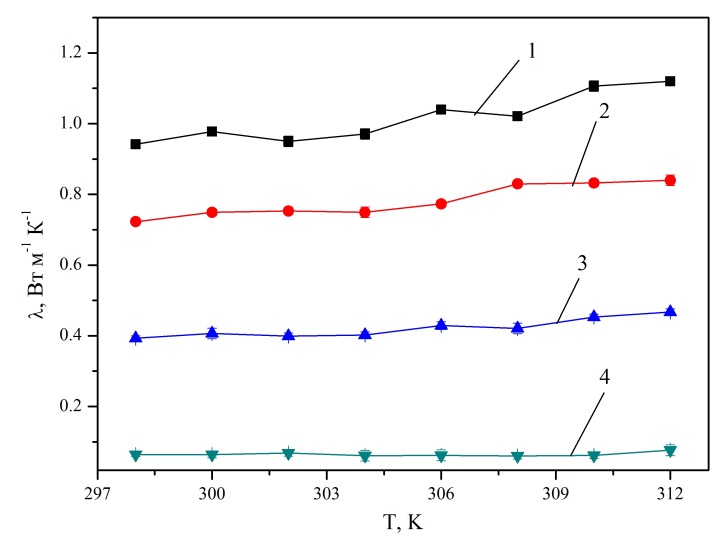
, (1)

где Н – толщина измеряемого образца, м; q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через измеряемый образец, Вт∙м-2; tн – температура нагретой грани измеряемого образца, К; tх– температура холодной грани измеряемого образца, К.

Из полученных спектров диффузного отражения следует (рис.1), что коэффициент отражения (ρλ) для покрытий с высоким содержанием микросфер SiO2 увеличивается и достигает 75 % в видимой области спектра. Увеличение концентрации жидкого стекла приводит у уменьшению отражательной способности покрытий до 55 % в видимой области спектра и до 12 % в ближней ИК-области. Для всех типов покрытий характерны пики поглощения вблизи 1440 и 1915 нм, обусловленные поглощением асимметричных растягивающих колебаний Si-O-Si или Si-O- [2].

Значение интегрального коэффициент поглощения солнечного излучения (*a*s) рассчитывали в соответствии с ГОСТР 59313- 2021 и ASTM (E490-00a и E903-96). Расчет показал, что коэффициент *a*s для покрытий с содержанием жидкого натриевого стекла в 20 об.% достигает 0,30, при добавлении 40 и 60 об.% интегрального коэффициент поглощения солнечного излучения увеличивается до 0,35 и 0,39, а при 80 об.% *a*s=0,48.

Регистрация теплопроводности покрытий на основе полых частиц и жидкого стекла показала, что с увеличением температуры значение λ увеличивается (рис.2 (Б)). Теплопроводность покрытий с 20 об.% жидкого стекла составляет 0,064, при концентрации 40 об.% λ=0,39 Вт∙м-1∙К-1, при 80 об.% изменение уже достигает 0,94 Вт∙м-1∙К-1. Отличие в теплопроводности определяется тем, что полые частицы в составе покрытий после затвердевания жидкого стекла образуют закрытую пористость, которая близка к их объемному содержанию. Теплоперенос в пористых средах обусловлен кондуктивным теплопереносом по тонкому слою сферы и полимерной матрице.



Б

А

А

Б

*Рис. 2.* Спектры диффузного отражения (А) и теплопроводность (Б) покрытий на основе микросфер SiO2 и жидкого натриевого стекла (1 - 80 об.%, 2 - 60 об.%, 3 - 40 об.%, 4 - 20 об.%)

Механизм теплопроводности может быть оценен в условиях нормального потока к пластине по формуле:

, (2)

где λсвяз и λпигм – коэффициенты теплопроводности каждого из компонентов, ρ – объемная доля связующего.

Во втором случае, когда поток падает параллельно, теплопроводность будет определятся выражением:

. (3)

Выполненные исследования показали, что интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения покрытий на основе полых частиц диоксида кремния с содержанием жидкого стекла в 20 об.% достигает 0,30, что на 23% больше по сравнению с покрытием в котором жидкого стекла содержится 80 об.%. Теплопроводность таких покрытий с увеличением концентрации жидкого стекла возрастает от 0,064 до 0,94 Вт∙м-1∙К-1, с увеличением температуры среды теплоемкость покрытий может возрастать.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007).*

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Измеритель теплопроводности ИТП – МГ4. Руководство по эксплуатации. Технические характеристики. – Санкт-Петербург, 2010. 37 с.
2. Burns, D.A. Handbook of near-infrared analysis / D.A. Burns, E.W. Ciurczak. – 2001. – P. 814.