

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СИЛИКОФОСФАТНЫХ ПЛЕНОК

<sup>1</sup>Петровская Т. С., <sup>2</sup>Козик В. В., <sup>2</sup>Борило Л. П.,  
<sup>2</sup>Кузнецова С. А., <sup>1</sup>Килин В. А.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, г. Томск

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, г. Томск

*pts@tpu.ru*

В работе исследованы поверхностные свойства тонких плёнок, полученных золь-гель методом. Пленки получали из коллоидных пленкообразующих растворов (ПОР). В качестве исходных веществ использовали тетраэтоксисилан (ТЭОС), ортофосфорную кислоту, хлорид кальция, растворитель этиловый спирт (95%). Пленки формировали на различных подложках (монокристаллический кремний, кварцевое стекло, др.) методом вытягивания (скорость до 30 см/мин) с последующей сушкой в муфельной печи при температуре 60 °С (1 час) и термообработкой при температуре 600 °С (30 мин). Дисперсные продукты (гидролизаты ПОР) получали сушкой влажного геля до воздушно-сухого состояния и использовали для рентгенофазового и термического анализов.

Измерение вязкости ПОР проводили с помощью стеклянного вискозиметра ВПЖ-2 (диаметр капилляра 0,99 мм), термический анализ дисперсий – на дериватографе Q-1500 (от 25 до 1000 °С, атмосфера – воздух). Кинетические параметры и энергию активации рассчитывали с помощью метода Метцера-Горовица. Для рентгенофазового анализа (РФА) дисперсных продуктов использовали дифрактометр

ДРОН-3М ( $\text{Cu}_{K\alpha}$ ,  $\lambda = 1,5418$  нм). Инфракрасные спектры пленок на кремнии, отожженных при различных температурах, изучали в области частот  $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$  с помощью спектрофотометра Perkin Elmer FTIR-Spectrometer. Для исследования микроструктуры пленок использовали растровый электронный микроскоп Philips SEM-515 при ускоряющем напряжении 30 кэВ. Морфологию поверхности пленок изучали с помощью атомно-силового микроскопа NtegraAURA (диаметр кремниевой иглы 2–5 нм) и бесконтактного 3D-профилометра MICRO MEASURE 3D station (STIL), адгезионные свойства пленок – с помощью CSEM Micro Scratch Tester. Толщину пленок измеряли с помощью лазерного эллипсометра ЛЭФ-3М ( $\lambda = 632,8$  нм) при измерении в 5-ти точках по всей поверхности образца.

Установлено, что наряду с аморфной структурой пленки содержат кристаллические фазы в виде кристаллических форм  $\text{SiO}_2$ , волластонита  $\text{CaSiO}_3$ , пирофосфата кальция  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , хлорапатита. ИК спектры показывают наличие в пленках кремнийкислородных и фосфоркислородных атомных групп,  $[\text{SiO}_4]$  – тетраэдров,  $[\text{CaO}_6]$  – октаэдров, а также присутствие воды и групп OH. Для оценки морфологии определены параметры шероховатости поверхности пленок, площадь удельной поверхности ( $18\text{--}20\text{ м}^2/\text{г}$ ), размер пор ( $17\text{--}20$  нм). В зависимости от температуры термообработки ( $60$  и  $600\text{ °C}$ ) значения pH поверхности изменяются от 3,8 до 10,8. Толщина пленок регулируется от 90 мкм и больше в зависимости от поставленной задачи. По данным атомно-силовой микроскопии при содержании  $\text{SiO}_2$  50–65 % образуются структурированные пленки с развитым рельефом, высокой шероховатостью и адсорбционными свойствами, которые могут использоваться для

регулирования поверхностных свойств функциональных материалов.

## **ГОРЕНИЕ КАМЕННОГО УГЛЯ В ВОЗДУХЕ С ДОБАВКАМИ НАНОПОРОШКА ОКСИДА МЕДИ (II)**

*Котина Р. Е., Ильин А. П., Роот Л. О.*

*Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, г. Томск, [ilyin@tpu.ru](mailto:ilyin@tpu.ru)*

Каменный уголь является одним из перспективных энергоносителей органического происхождения. Актуальность исследований связана с проблемой повышения ресурсо- и энергоэффективности в получении тепловой энергии при сгорании каменного угля. В связи с этим, было проведено исследование влияния добавок нанопорошка оксида меди (II) на процесс сгорания каменного угля в воздухе.

Целью работы было сравнение теплоты сгорания каменного угля с добавками нанопорошка оксида меди (II) с теплотой сгорания исходного каменного угля.

Нанопорошок оксида меди (II) получали с помощью электрического взрыва проводников в среде газообразного аргона с добавкой 20 об. % кислорода. Полученный нанопорошок смешивали с измельченным углем и подвергали дифференциально-термическому анализу (термоанализатор SDT Q 600). Установлено, что скорость сгорания угля в смеси CuO (3,2 мас. %) увеличивалась в 7,7 раз в сравнении с углем без добавки, что связано с каталитическим эффектом. При этом на 197 МДж/т возросла теплота сгорания угля в воздухе. Согласно экспериментальным данным сгорание угля происходило в