

## АЭРОГЕЛИ

*Aerogels. Proceedings of 3 International Symposium on Aerogels / Ed. J. Fricke. Amsterdam: Elsevier, 1992. 259 p.*

Сборник содержит 60 докладов 3-го Международного симпозиума по аэрогелям, прошедшем в Вюрцбурге (Германия) в конце 1991 г. Редактор этого сборника, председатель оргкомитета и организатор этого и предыдущих симпозиумов проф. Фрике является одним из лидеров в области аэрогелей. Ему удалось собрать в сборнике работы ведущих специалистов данного направления, так что рецензируемая книга отражает современное состояние проблемы.

Аэрогель представляет собой пористый материал с высоким значением удельной поверхности (до 1500 г/м<sup>2</sup>) и малой плотностью (вплоть до 3 г/л). Его история начинается с 30-х годов, когда американский ученый Кистлер предложил технологию получения этих материалов. И сейчас технология производства аэрогелей занимает одну из главных пози-

ций в проблеме аэрогелей. Его получают в автоклаве при сверхкритических параметрах раствора, что позволяет освободиться от молекул, находящихся в порах аэрогеля. Ряд работ симпозиума посвящен детальному анализу протекающих при этом процессов. Так, для наиболее распространенного SiO<sub>2</sub>-аэрогеля найдены параметры процесса конденсации аэрогеля в растворе (энергия активации равна 4,7 кДж/моль, порядок реакции по отношению к концентрации ионов гидроксила в растворе составляет 0,7). Следует выделить разработку американскими учеными двухступенчатого способа производства аэрогелей. Этот способ позволяет снизить плотность аэрогеля до 3 г/л, сохраняя его однородность и прозрачность.

Сравнивая представленные на данном симпозиуме исследования по аэрогелям с проводимыми ранее (см., например, работы 1-го симпозиума по аэрогелям [1] и рецензию на них [2]), следует отметить расширение круга аэрогелей. Ранее химический со-

став аэрогелей ограничивался несколькими окислами, главным из которых является  $\text{SiO}_2$ . Теперь круг окислов, используемых в аэрогелях, несколько расширился, и к ним добавились органические аэрогели.

Существенная часть исследований аэрогелей посвящена их структуре и физическим свойствам. Современные методы измерения структурных факторов используют рассеяние на малые углы потоков нейтронов и рентгеновского излучения. Эти методы позволяют установить детали строения аэрогелей, в том числе их фрактальные свойства в некоторой области размеров. Несколько работ посвящено оптическим свойствам аэрогелей в инфракрасной, ультрафиолетовой и оптической областях спектров. Для анализа свойств аэрогелей используется метод ядерного магнитного резонанса. Тем самым, аэрогель стал объектом исследования всевозможными существующими физическими методами.

Выполнен ряд интересных исследований, относящихся к физическим свойствам аэрогеля. Исследование протекания газа через аэрогель позволяет детально разобраться во взаимодействии атомов газа с внутренней поверхностью аэрогеля. Измерения теплопроводности и теплоемкости аэрогеля показывают, что в области исследуемых температур 0,1—330 К эти величины изменяются на несколько порядков. Проанализирован характер изменения теплофизических параметров аэрогелей при низких температурах. Исследуется распространение ультразвуковых и звуковых колебаний в аэрогелях и связанные с ним механические свойства аэрогелей.

Ряд физических свойств аэрогелей рассматривается вместе с применением аэрогелей. Сюда относятся оптические и тепловые свойства аэрогелей, связанные с их использованием в качестве оконных изоляторов и солнечных коллекторов, а также как материал для пенного изолятора. Акустические свойства аэрогеля связаны с малой скоростью звука в нем (меньшей, чем в воздухе), которая обычным способом зависит от плотности аэрогеля. Акустические

свойства аэрогеля используются при создании на его основе акустических систем для передачи и отражения звука. Перечисленные приложения аэрогеля являются перспективными, но они не нашли еще практического применения. Основное применение аэрогеля, как материала в черенковских детекторах, давно оправдало те усилия, которые затрачиваются на исследования аэрогелей. На этом симпозиуме обсуждается один из новых вариантов этого направления, относящийся к исследованию тепловых мюониев (мюоний — система, подобная атому водорода и состоящая из  $\mu^+$ -мезона и электрона), торможение которых осуществляется с помощью аэрогельных пластин. Другой пример посвящен использованию аэрогелей в качестве катализатора. Представлен палладиевый катализатор, причем палладий является присадкой к аэрогелю на основе окислов алюминия. Свойства катализатора продемонстрированы для процессов окисления CO и NO.

Таким образом, аэрогель как специфический физический объект занимает свое место в научных исследованиях. Интерес к этому объекту в большой степени связан с его прикладными возможностями как материала, однако в не меньшей степени заслуживает внимания фундаментальная сторона изучения аэрогелей. Являясь сильно разреженным пористым веществом, аэрогель относится к твердым веществам, проявляя в то же время газовые свойства, поскольку поры составляют основную долю объема аэрогеля. В некоторой области параметров он обладает фрактальными свойствами. Эта специфика аэрогеля привлекает внимание к нему. Труды симпозиума отражают современное состояние исследования аэрогелей.

*Б.М. Смирнов*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aerogels*/Ed. J. Fricke. Berlin a. o: Springer-Verlag, 1986.
2. *Смирнов Б.М.* // УФН. 1987. Т.151. С.733.