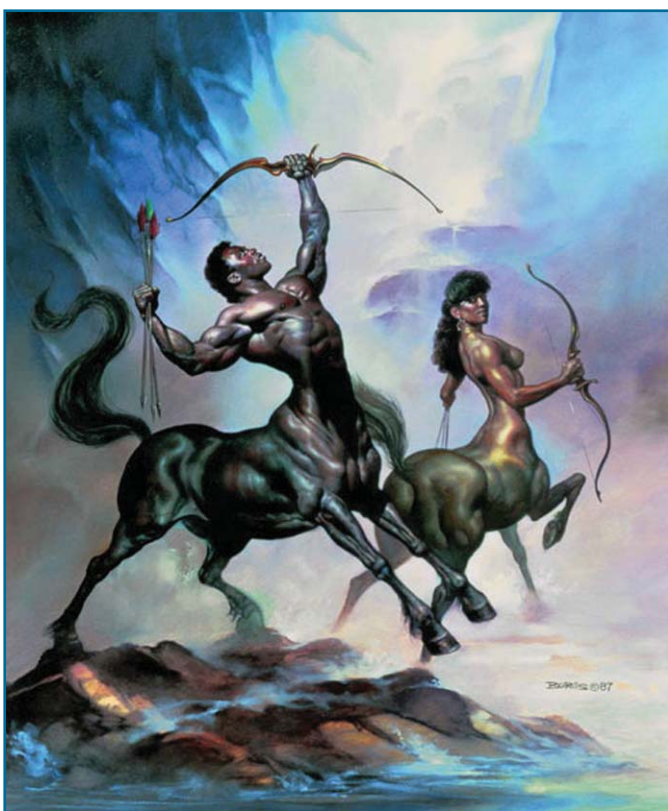


## Блок-сополимеры (Block-copolymers)

*«...вдруг мимо него промчался в долину табун диких коней. Но, приглядевшись пристальнее, Геракл увидел, что это были не кони. Словно полчеловека срослось с половиной лошади – на конском крупе человеческое туловище с головой и руками...».*

*Мифы Древней Греции*



Кентавр: полчеловек-полуконь  
(художник Борис Валледжо)

Воображение древних людей породило множество мифологических чудовищ, сочетавших в себе части разных животных. Читая «Мифы Древней Греции», мы сталкиваемся с крылатым конем Пегасом; кентавром, нижняя часть тела которого принадлежала лошади, а торс и голова были человеческими; медузой Горгоной, напоминавшей обычную женщину, но вместо волос у нее были змеи... Историки бьются над загадками: какие природные явления и события могли привести к возникновению в мифологии

столь необычных существ, а ученые стараются совместить несовместимое в реальных объектах и получают различные полифункциональные системы (**фотонные кристаллы, наносенсоры, нанолечения, нанокompозиты**, генетически модифицированные продукты и т.д.). Кстати, «полифункциональность» перечисленных выше мифических тварей делала их уникальными, поскольку они приобретали новые свойства из сочетания присущих только им характеристик – кто, кроме кентавров, и быстро бегал, и быстро думал; кто, кроме медузы Горгоны, был обворожителен ...до окаменения?

Пожалуй, наиболее легко добиться полифункциональности в органической химии. Каждый школьник знает, что способность органических молекул вступать в те или иные реакции определяется наличием в их структуре определенных функциональных групп. А если в молекуле есть разные функциональные группы, то она сочетает в себе свойства нескольких классов органических соединений.

Переход от одиночной молекулы к нанобъектам возможен с помощью контролируемой полимеризации молекул с различными функциональными группами. Соединение нескольких полимерных блоков различной химической природы в единую макромолекулу позволяет получать блок-сополимеры, уникально сочетающие в себе свойства составляющих их мономеров. По числу блоков выделяют диблок-сополимеры, триблок-сополимеры, тетраблок-сополимеры и т.д. Блоки могут быть непосредственно сшиты между собой или соединены через звено низкомолекулярного вещества. Блок-сополимеры по-

лучают по механизму «живой» (безобрывной) ионной полимеризации компонента А (до полного исчерпания мономера), возобновляемой добавлением мономера В. Альтернативными способами являются взаимодействие между собой полимеров и олигомеров, содержащих на концах функциональные группы, или рекомбинация макрорадикалов.

В блок-сополимерах, содержащих сильно различающиеся по химической природе блоки, часто наблюдается расслаивание и образование микрогетерогенных систем (систем, неоднородных на микроуровне). Например, термоэластопласты состоят из гомополимеров, образующих жесткие блоки термопласта, и эластичных блоков. Благодаря образованию неоднородной структуры на наноуровне, они сочетают в себе легкость обработки (возможность придать форму при нагревании) и эластичность.

Расслаивание блок-сополимеров используют при формировании массивов самоорганизованных наноструктур в качестве некоторого шаблона («трафарета»), способствующего возникновению упорядоченной структуры. Аналогично *жидким кристаллам* блок-сополимеры также образуют пространственно-упорядоченные системы ламеллярных, цилиндрических или сферических агломератов, представляющих собой *мицеллы* одного гомополимера в матрице другого. Стоит отметить, что ламеллярные наноструктуры во многом подобны клеточным мембранам живых организмов.

Современные нанотехнологии предполагают использование блок-сополимеров в качестве перспективных оптических материалов (*фотонных кристаллов*) или матриц для формирования наночастиц. Температурная обработка или облучение сополимера позволяют осуществить селективную деградацию одной из фаз, одновременно связывая фрагменты другой в жесткую пористую матрицу, которая может использоваться в качестве шаблона для формирования различных наноструктур. Так, пленки сополимера  $PS_{70}PMMA_{30}$  (полистирол/полиметилметакрилат) самопроизвольно формируют упорядоченную

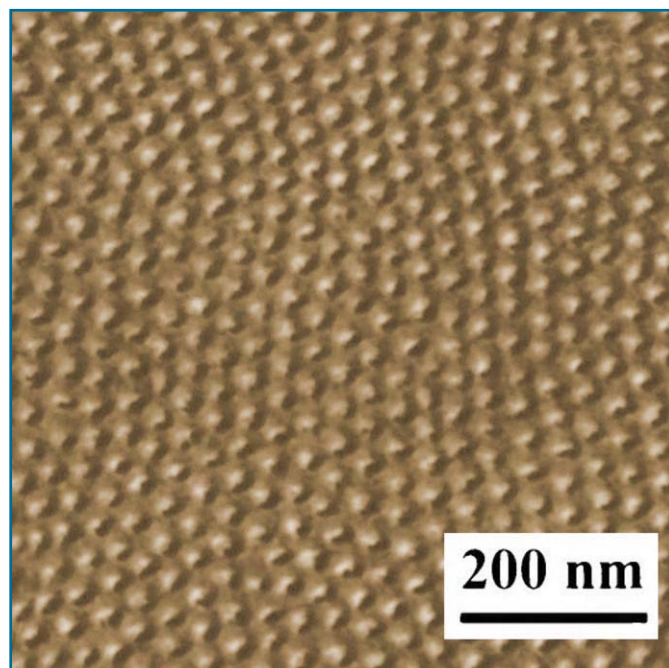


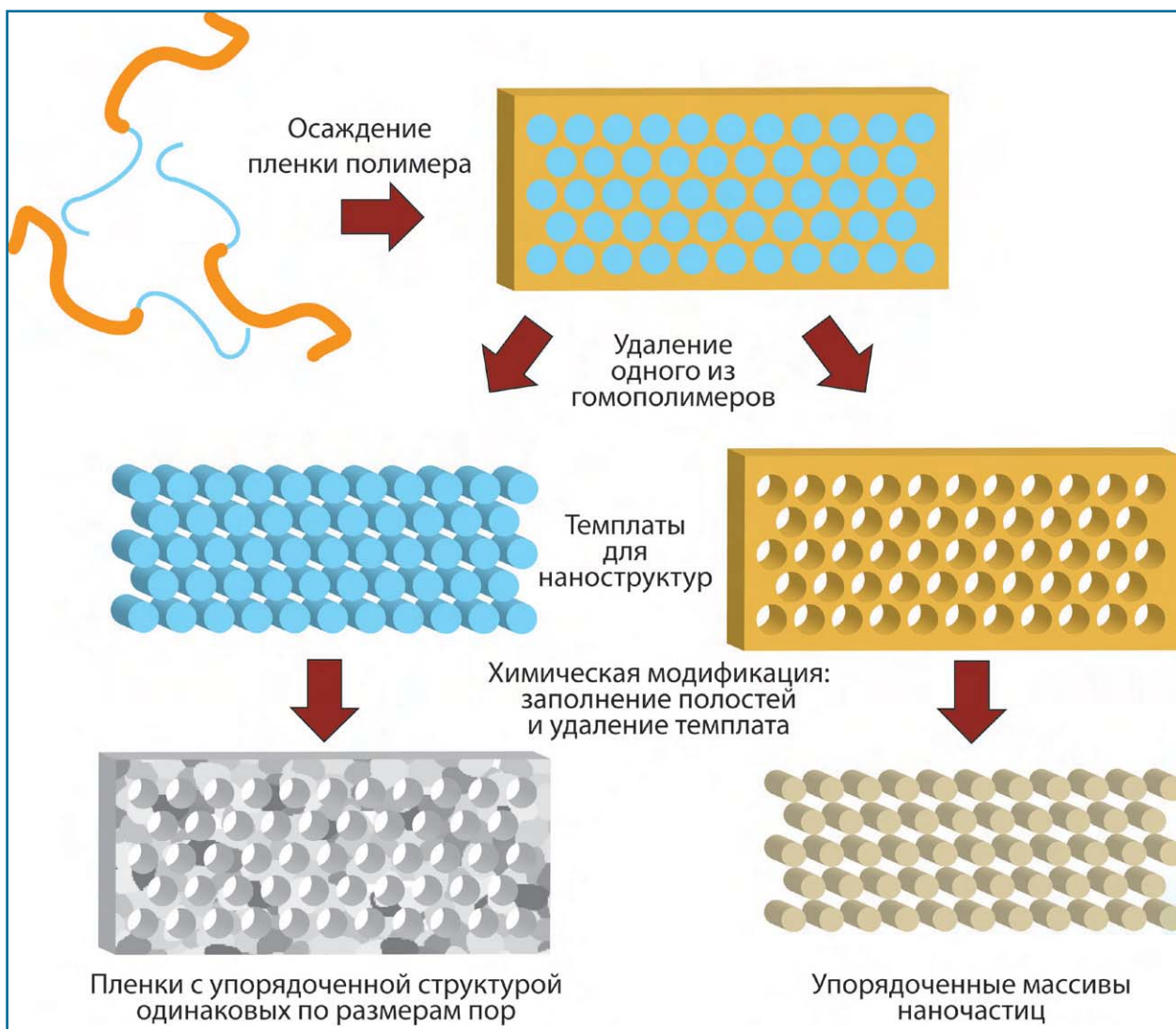
Рис. 1. АСМ-изображение пленки блок-сополимера  $PS_{70}PMMA_{30}$

систему цилиндров полиметилметакрилата диаметром  $\sim 25$  нм в матрице полистирола. Селективное удаление PMMA приводит к формированию регулярной системы изолированных цилиндрических пор, которая в дальнейшем может быть использована для формирования нанонитей металлов или полупроводников с плотностью расположения элементов  $\sim 10^{11}$  шт/см<sup>2</sup> (рис. 1).

Такие системы находят применение для разработки устройств сверхплотной записи информации и позиционно чувствительных сенсоров. Блок-сополимеры, имеющие в своем составе гидрофильные/гидрофобные блоки или блоки с разной растворимостью (например, полиэтиленоксид и полипропиленоксид), используются, соответственно, в качестве *темплата* для синтеза монодисперсных *наночастиц* или *мезопористых молекулярных сит* (рис. 2). *Поверхностно-активные вещества* на основе блок-сополимеров являются эффективными и экологически безопасными деэмульгаторами, широко используемыми в нефтепереработке, а также в бытовых синтетических моющих средствах.

#### Литература:

1. Ruzette A.-V., Leibler L. Nature Materials. 2005. Vol. 4. P. 19.



**Рис. 2.** Химический дизайн наноструктур на основе блоксополимеров