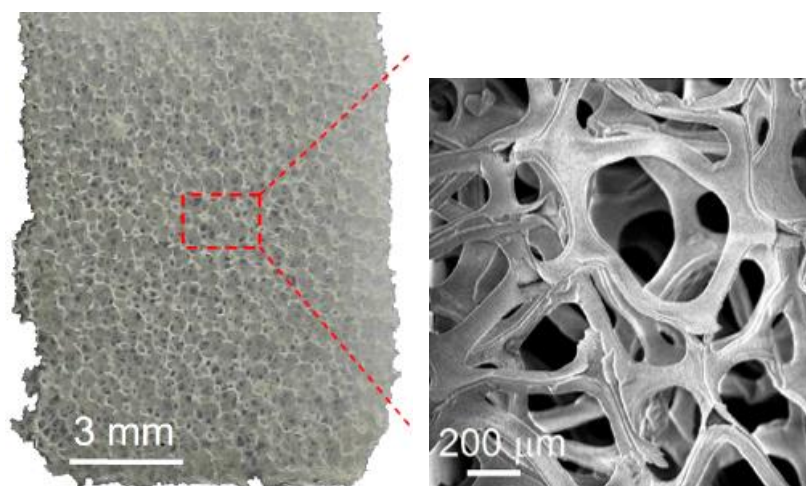


Задача 10. Пористый изолятор

(автор – Еремин В.В.)

Пористый материал на основе бинарного вещества **X** был приготовлен следующим образом. Твердое вещество **Y** с высоким содержанием водорода (19.6% по массе) испарили при нагревании, и пары (они оказались легче кислорода) выдерживали в течение часа над нагретым до 1000 °С пористым никелем. Полученный материал покрыли тонким слоем полимера (ПММА), затем выдержали в 3 М соляной кислоте, тщательно промыли дистиллированной водой и отожгли в течение часа при 700 °С для удаления полимера.

Получили сверхлегкий пористый материал с плотностью 1.6 мг/см³, обладающий очень низкой электропроводностью.



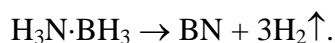
Внешний вид материала **X** и его микроструктура

1. Установите формулы веществ **X** и **Y**, напишите два уравнения реакций, происходящих при синтезе материала. (3 балла)
2. При каких температурах этот материал будет легче воздуха (давление нормальное)? (2 балла)
3. Считая радиусы атомов, входящих в состав **X**, примерно равными 0.1 нм, оцените долю пустого пространства в полученном материале. (3 балла)
4. Предложите еще два способа синтеза вещества **X**. Пригодны ли они для синтеза наноматериалов? (2 балла)

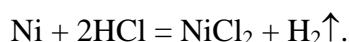
Всего – 10 баллов

Решение

1. На n атомов водорода массой $1.008n$ а.е.м. в веществе **Y** приходится $1.008n/0.196 - 1.008n = 4.135n$ а.е.м. массы остальных элементов. При $n = 6$ получаем $4.135 \cdot 6 = 24.81$ а.е.м., что соответствует фрагменту BN. Брутто-формула **Y** – BNH_6 . Пары **Y** легче кислорода, поэтому брутто-формула совпадает с молекулярной. **Y** – аддукт $\text{H}_3\text{N} \cdot \text{BH}_3$. При его сильном нагревании происходит последовательное отщепление трех молекул водорода и образуется полимерный нитрид бора BN (бинарное вещество **X**).



Трехмерная полимерная сетка нитрида бора заполняет пустоты в пористой подложке никеля, которая затем растворяется в соляной кислоте:



2. Плотность пористого материала мало зависит от температуры, но от нее зависит плотность воздуха, которая при охлаждении увеличивается:

$$\rho(\text{возд}) = \frac{PM}{RT} = \frac{101.3 \cdot 29}{8.314T} > 1.6 \text{ г/л},$$

откуда $T < 221$ К. Разумеется, температура должна при этом быть выше температуры кипения азота и кислорода. При этих условиях плотность пористого нитрида бора будет меньше плотности воздуха.

3. Каждый атом бора или азота занимает объем около $4/3\pi r^3 = 4/3\pi \cdot (10^{-8} \text{ см})^3 = 4.2 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3$.

Возьмем 1 см^3 материала массой 1.6 мг и найдем общее число атомов:

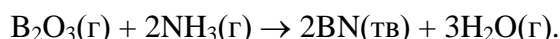
$$N_{\text{ат}} = 2N_{\text{BN}} = 2N_{\text{A}}v(\text{BN}) = 2 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} / 24.8 = 7.7 \cdot 10^{19}.$$

Общий объем всех атомов:

$$V = 7.7 \cdot 10^{19} \cdot 4.2 \cdot 10^{-24} = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3,$$

что составляет 0.032% от объема материала. Следовательно доля пустот равна $100\% - 0.032\% = 99.97\%$.

4. Наночастицы нитрида бора можно получить химическим осаждением из газовой фазы путем восстановления оксида бора аммиаком:



Нанотрубки нитрида бора синтезируют разными способами, самый простой из которых – прямое взаимодействие простых веществ. Для этого бор выдерживают в атмосфере азота при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в присутствии железа, играющего роль катализатора роста трубок:

