

## Задача 8.

### Всё дело в трубке (10 баллов)

1. (1 балл) Сложнее всего получить трубку из NaCl.

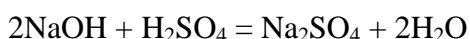
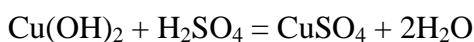
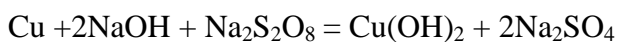
2. (1 балл) Главная структурная особенность материалов легко образующих трубки – анизотропия кристаллографической ячейки, слоистая структура. При этом в пределах слоя связи ковалентные, а между слоями – слабые, например, водородные.

3. (3 балла) Как минимум одной из солей должен быть сульфат натрия, образующийся при нейтрализации избытка гидроксида натрия. Действительно, находим для кристаллизующегося из водного раствора десятиводного сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  содержание серы 9,9% - соль Г.

Можно догадаться, что голубой сульфат – это медный купорос ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), а можно, обозначив формулу сульфата Д как  $\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y \cdot z(\text{H}_2\text{O})$  и перебирая правдоподобные  $x$ ,  $y$  и  $z$ , найти молярную массу меди по формуле:  $M = ((100 \cdot 32y / \omega(\text{S})) - 96y - 18z) / x$  при  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $z = 5$ .

В итоге имеем, что металл А – это медь. Медная фольга окисляется под действием некоторой соли, причем продуктами данной реакции являются сульфат натрия и какое-то производное меди (синий цвет и щелочная среда указывают на гидроксид), которое под действием серной кислоты превращается в сульфат меди. При этом соль Б (в которой не может содержаться ничего кроме натрия, серы, водорода, кислорода и меди) должна являться окислителем. Если предположить, что Б – это производное сульфата натрия, то тогда Б – персульфат натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ .

Запишем реакции для всех процессов, описанных в условии.



4. (2 балла) В качестве ответа рассматриваются любые разумные предположения. Например, получение супергидрофобной поверхности (Рис. 1а), получение структурированного оксидного катализатора (после прокаливания), или обладающей каталитической активностью меди (после восстановления).

Преимущество нано-свертков перед нано-трубками – большая доступная, например, для адсорбции, удельная площадь поверхности, что может значительно улучшить характеристики катализатора или сорбента.

5. Методы получения (3 балла):

#### Получение нанотрубок для веществ, имеющих большую склонность к их образованию:

- выращивание углеродных нанотрубок методом химического осаждения из пара;
- синтез оксидных нанотрубок и наносвертков  $\text{VO}_x$  золь-гель методом;
- самопроизвольное образование нанотрубок при обработке в токе  $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2$  плёнок молибдена или вольфрама, нанесенных на кварцевую подложку.

#### Получение нанотрубок для веществ, имеющих меньшую склонность к их образованию:

Темплатный метод синтеза. Часто применяют для получения многослойных композитных нанотрубок – нанотрубок, содержащих слои разного состава. В качестве основы (матрицы) используют стабильные нанотрубки (обычно, углеродные), которые затем покрываются слоями различных металлов. Также можно использовать наностержни (вискеры) с последующим удалением (травлением) основы.

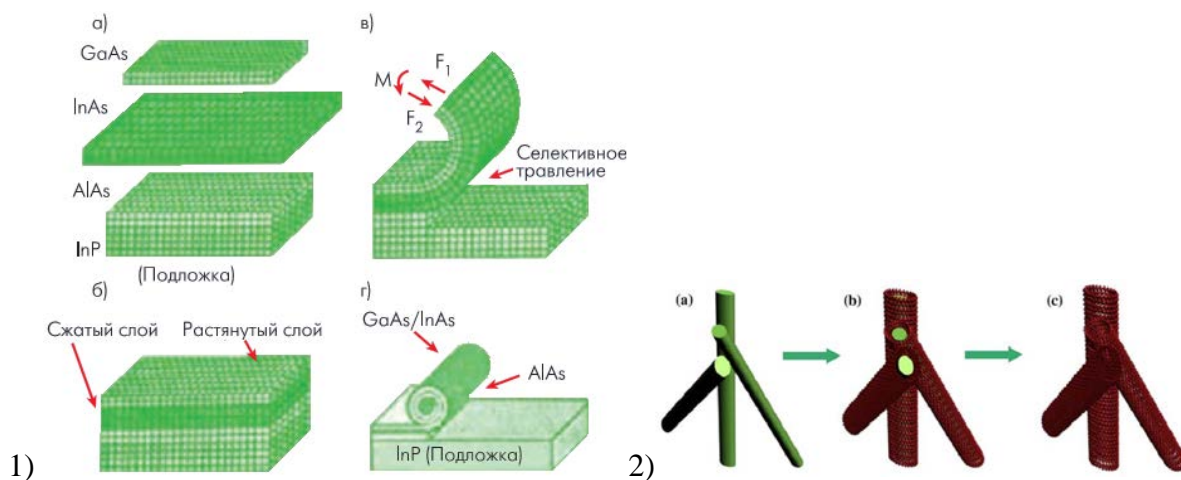


Рис. 1. 1) Метод самосворачивания. 2) Термоокисление основы: (а) вискер CuSe, (б) образование на поверхности оболочки CuO, (с) формирование полой структуры.

Самосворачивание напряженной гетероструктуры (например, SiGe/Si, InAs/GaAs, InGaAs/GaAs) (Рис. 1.1). Метод основан на формировании напряженной двухслойной пленки, решетка которой стабилизируется решеткой подложки. После селективного травления промежуточного между подложкой и гетеропленкой слоя («жертвенного» слоя) происходит неодинаковая деформация двухслойной пленки, и как следствие скручивание ее в сверток.

Термоокисление, основанное на реакции твёрдое-газ. Окисление вискером CuSe на воздухе приводит к формированию пористых трубок CuO (рис. 1.2). Процесс основан на эффекте Киркендалла: через образующийся на поверхности исходного вискера оболочку CuO диффузия CuSe происходит быстрее, чем диффузия кислорода воздуха вовнутрь. Это приводит к переносу CuSe из глубины вискера на поверхность с последующим окислением. В конце реакции, таким образом, получается полая структура.