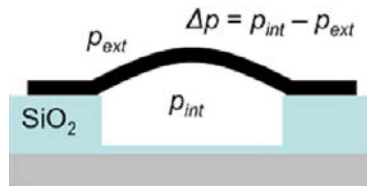


Задача 9.

Графеновый шар (9 баллов)

1. (1 балл) Формулировка заголовков не корректна: создан не шар, а пузырь (колпак).

По теореме Эйлера, выпуклый многогранник, составленный только из шестиугольников, не существует. Создать сферу из графена без дефектов (например, пятиугольников) невозможно.



2. (2 балла) Графеновый пузырь, представленный в условии, получают следующим образом. Небольшой фрагмент графенового листа, полученный методом «отшелушивания» при помощи липкой ленты, помещают над углублением в подложке из окисленного кремния (см. рисунок). Объем выемки – порядка одного кубического микрометра. Затем понижают давление над образцом, при этом, из-за разности давлений $p_{\text{внеш}} - p_{\text{внутр}}$ возникает сила, которая деформирует лист графена, что и приводит к образованию пузыря. Эта деформация тем больше, чем больше разница внешнего давления и давления в микрополости. Все манипуляции проводятся в атмосфере того газа, который необходимо «запереть» в пузыре.

Давление в полости можно задавать не только непосредственно при изготовлении графенового пузыря, но и при длительной выдержке образца при заданном давлении.

Края графенового листа «приклеены» к оксидной подложке за счет сил Ван-дер-Ваальса.

3. (1,5 балла) Графен непроницаем для газов. Уменьшение высоты графенового пузыря с течением времени вызвано утечкой газа, который постепенно просачивается наружу через поры в подложке, а также в месте соприкосновения графенового листа с подложкой (например, в местах неоднородностей поверхности подложки и складок на листе графена (рис 1б)).

Высота заполненного водородом пузыря уменьшается быстрее всего, поскольку водород – самый маленький из газов, и, следовательно, имеет наибольшую скорость диффузии.

Повторно наполнить «сдувшийся» графеновый пузырь можно, постепенно повысив давление до $p_{\text{внеш}} > p_{\text{атмосферное}}$ и выдержав его при данном давлении до выравнивания $p_{\text{внеш}} = p_{\text{внутр}}$.

4. (3 балла) При облучении ультрафиолетом в атмосфере озона в графеновой мембране образуются поры-дефекты (с диаметром между 0,33 и 0,34 нм), достаточно

большие для прохождения молекул водорода и углекислого газа, но слишком маленькие для остальных газов. Данный вывод можно сделать при анализе графика, представленного в условии: только у упомянутых газов после обработки резко увеличивается скорость «оседания» пузыря. Также по графику видно, что при этом в пузыре образуется пониженное давление (вакуум), из-за которого пузырь прогибается вовнутрь микроуглубления. С течением времени полость медленно заполняется воздухом (через подложку и стык, как было отмечено ранее).

5. Применение (1,5 балла):

- молекулярный фильтр: путем регулирования диаметра отверстия в непроницаемой мембране по размеру фильтруемого (например, для разделения смесей газов или для изучения диффузионных процессов);
- сенсор давления: зная давление в полости под графеном, по изменению высоты пузыря можно оценить внешнее давление. И, наоборот – при постоянном внешнем давлении изучать процессы в малом объеме микрополости, протекающие с выделением или поглощением газов;
- для изучения помещенных в раствор биологических материалов: накрыть такой материал графеном и изучать его сквозь прозрачную мембрану атомно силовым микроскопом, не опасаясь за утечку или испарение раствора, поддерживающего жизнедеятельность организма;
- линза с регулируемым с помощью давления фокусным расстоянием.