

Задача 10. Нанолампы накаливания (16 баллов)

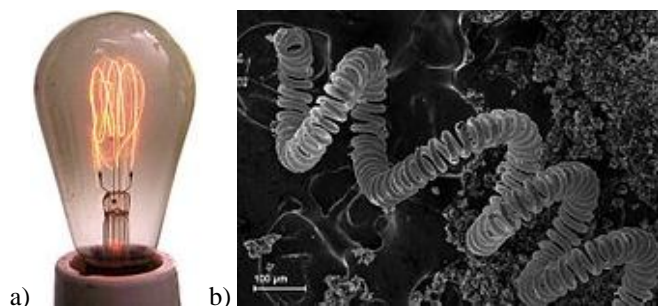


Рис. 1.

- а) Одна из первых ламп накаливания – с нитью из углерода.
- б) Изображение спирали вольфрамовой нити обычной лампы накаливания, полученное при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

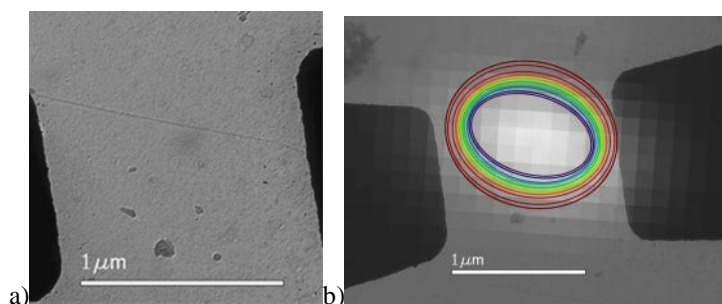


Рис. 2. Нанолампочка из углеродной нанотрубки (УНТ).

Похожа на лампочку Эдисона – питается от напряжения 5 В, вакуумируется, но ее волосок в 10^5 раз короче и тоньше. Тем не менее, ее свечение видно даже невооруженным глазом.

- а) ПЭМ изображение УНТ между двумя электродами. Длина УНТ – 1.4 мкм, внешний диаметр – 13 нм (состоит из 11 слоев).
- б) Наложенное на ПЭМ видимое свечение УНТ (одним цветом обозначены зоны с одинаковой яркостью).

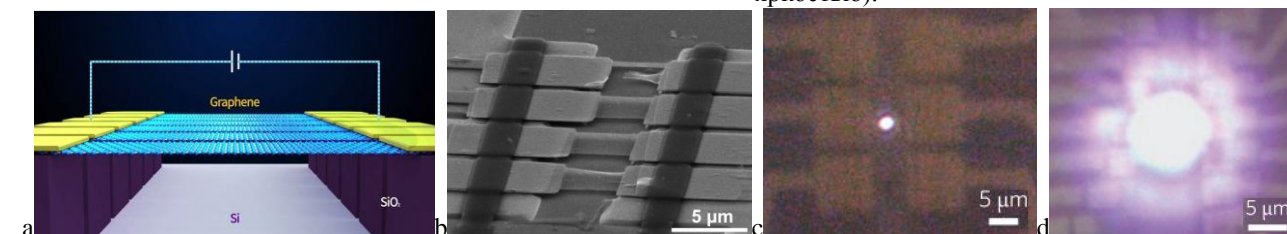


Рис. 3. Массив нанолампочек из графена.

- а) Схема массива из шести графеновых лент.

- б) СЭМ изображение массива из пяти графеновых лент.

Свечение массива при разных силах тока (изображения получены в оптический микроскоп).

- с) Слабое свечение при небольшой силе тока ($U = 2.5$ В, $I = 120$ мкА; размер ленты: длина 2 мкм, ширина 5 мкм).

- д) При максимальной силе тока свет графеновой нанолампочки, также как для нанотрубки, можно заметить невооруженным глазом.

Нити первых ламп накаливания изготавливались из углеродного волокна. Такие лампы не могли работать на большой мощности: их колба изнутри темнела (рис. 1а) и они перегорали, поэтому их заменили более эффективные лампы с вольфрамовой спиралью. Однако прошло более ста лет, и ученые вновь вернулись к углеродным материалам для нитей накаливания, на этот раз в наномасштабе.

1. Из-за чего обычно «перегорают» лампы накаливания?(0.5 балла)

2. Какая лампа накаливания при одинаковой не слишком высокой температуре нити прослужит дольше: с углеродной нитью, с нитью на основе УНТ или на основе графена? Почему? (1 балл)

3. Поясните, можно ли повысить эффективность наноламп накаливания по аналогии с обычными лампами, используя вольфрамовую нанопроволоку или нанофольгу тех же размеров, что и УНТ или полоска графена? (2 балла)

Как можно видеть на рис. 2а и 3а, в конструкции нанолампочек всегда присутствует некоторый зазор между подложкой и нитью накала.

4. Для чего необходим такой зазор? (1 балл)

5. Найдите КПД графеновой лампы (рис. 3с), если мощность ее видимого излучения составляет 1.35 мВт. (1 балл)

6. Исходя из параметров графеновой лампы (рис. 3с), оцените потребляемую мощность лампочки из УНТ (рис. 2). (3 балла)

Представьте себе, что нить накала в лампочке на рис. 1а заменили на УНТ такой же длины, как и углеродная нить, но по остальным параметрам трубки аналогичную использованной в нанолампе (рис. 2).

7. Почему такая лампа не заработает от сети 220 В, и можно ли будет заставить ее работать без изменения конструкции? (2 балла)

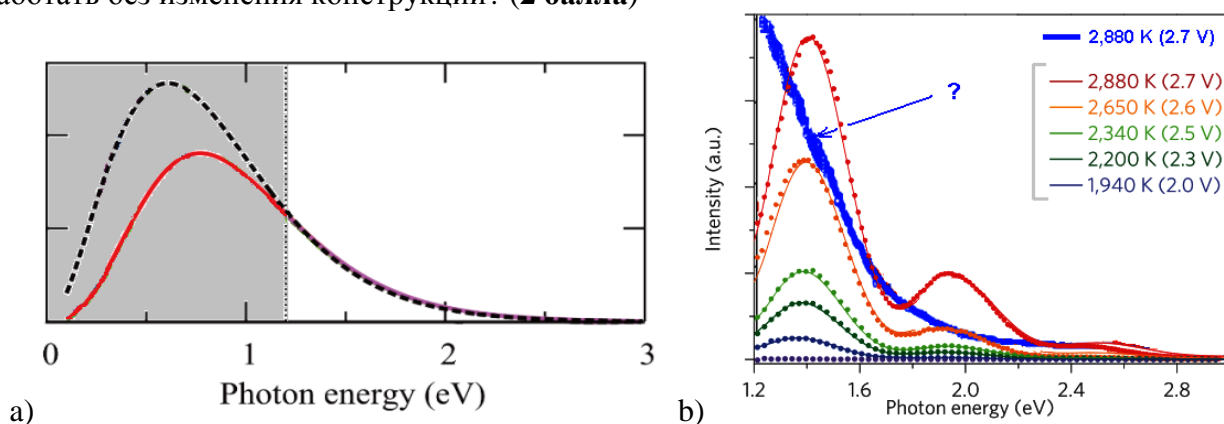


Рис. 4. а) Спектр излучения абсолютно черного тела при 2500К (пунктир) и расчетный спектр излучения графена (красный). б) Экспериментальные спектры излучения графеновой лампочки (рис. 3с) для разных температур накала.

Расчетный спектр излучения графена при нагревании мало отличается от излучения абсолютно черного тела (рис. 4а). С ростом температуры накала максимум в спектре излучения должен, как и у «черного тела», смещаться из красной в синюю область (подобно тому, как меняется цвет раскаленного металла). Однако спектр реальной графеновой нанолампы (рис. 3с) имеет несколько максимумов. Причем при повышении температуры накала положение максимумов и минимумов изменяется слабо (рис. 4б).

8. Объясните причину наблюдаемых особенностей спектра реальной графеновой нанолампочки. (1 балл)

9. Что и как ученые изменили в конструкции чтобы спектр нанолампы стал таким, который отмечен вопросом на рис. 4б? (1.5 балла)

10. Оцените расстояние между графеном и подложкой в нанолампе на рис. 4б. (3 балла)