

Напыление тонких плёнок в вакууме

Шмаков Владимир Б04-105

Цель работы

- Познакомиться с методами термовакuumного напыления плёнок.
- Получить плёнку алюминия некоторой толщины, используя термовакuumное испарение.

Оборудование

- Испаритель
 - Мощный блок питания
 - Проволока(в нашем случае из вольфрама)
 - Металлические контакты
- Вакуумная камера
 - Колпак
 - Прорезиненная подложка(для устранения течей вследствие плохого контакта поверхности с колпаком)
 - Насос для предварительной откачки
 - Формвакуумный насос
- Расходные материалы
 - Проволока из алюминия
 - Стекло
- Измерительные приборы
 - линейка
 - вакуометр
- Прочее
 - Стойка с <<лапкой>> для удерживания стеклышка
 - Кусачки

Теоретические данные

Существует несколько методов напыления тонких пленок. Кратко ознакомимся с каждым из них

ТЕРМИЧЕСКОЕ ИСПАРЕНИЕ

Суть метода заключается в следующем. Необходимо расположить область для напыления в вакуумной камере, затем испарить металл. Таким образом, пары напыляемого материала(металла) осядут(сконденсируются) на необходимой области.

Тут может возникнуть вопрос:

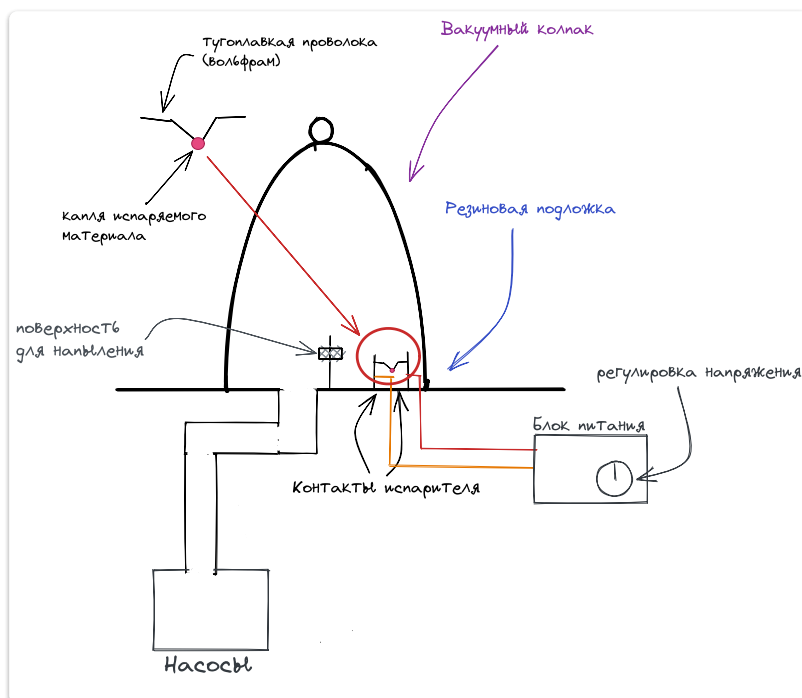
Почему нанесение стоит проводить в вакууме? И из каких соображений стоит подбирать параметры используемого вакуума?

Представим, что напыление происходит вне вакуумной камеры. Тогда молекулы напыляемого материала испытают множество столкновений, перед тем как попасть на объект напыления. Вследствие этого плёнка получится неравномерной, и большинство напыляемого материала будет истарчено впустую(попросту не попадёт на объект напыления).

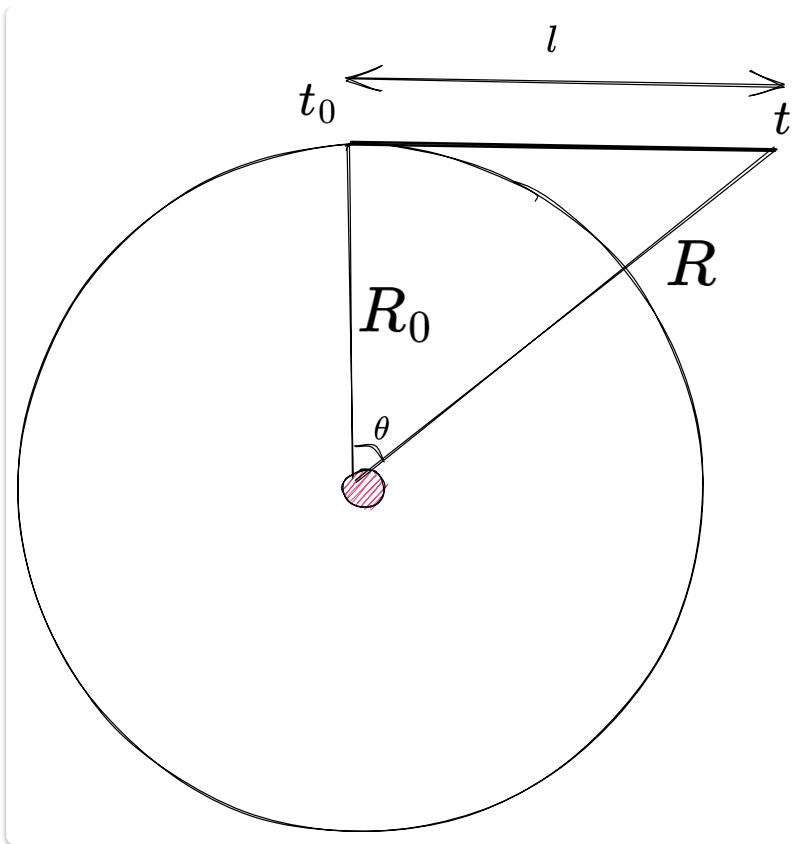
Необходимый вакуум следует подбирать так, чтобы длина свободного пробега остаточных газов была много больше, чем расстояние от испарителя, до объекта напыления: $R \ll \lambda$.

Помимо характеристик вакуума, стоит учитывать и скорость испарения напыляемого материала. При быстром испарении, молекулы напыляемого газа объединяются в островки, вследствие чего пленка получается неравномерной. При медленном, плёнка получается <<грязной>> из-за воздействия внешних параметров(столкновения с молекулами остаточного газа).

Экспериментальная установка



Установка схематично изображена на рисунке. Попробуем рассчитать зависимость толщины пленки от расстояния между испарителем и напыляемой поверхностью



Согласно термодинамике о единицу площади в единицу времени бьётся $N = n \frac{V_a}{4}$ молекул. Выразим концентрацию и скорость из известных соотношений для идеального газа:

$$N = \frac{P}{kT} \cdot \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \cdot \frac{1}{4}$$

Считаем распределение молекул изотропным (молекулы с равной вероятностью летят в различных направлениях). Тогда вероятность того, что молекула полетит в направлении вектора R_0 есть $h \cdot dx / (4\pi R_0^2)$ - где h - высота поверхности напыления. Таким образом:

$$N_0 = \frac{h \cdot dx}{4\pi R_0^2} \cdot N$$

По окончании эксперимента вся масса m алюминия испарится -> толщина плёнки составит:

$$t_0 = \frac{m}{4\pi \rho R_0^2}$$

В описании к работе присутствует вывод формулы для распределения t по поверхности напыляемого материала:

$$t = \frac{m R_0}{4\pi \rho R^3}$$

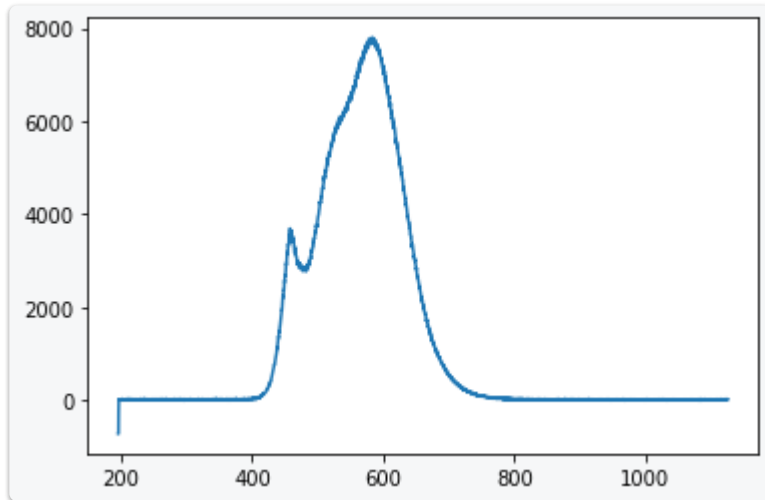
Рассчитаем t_0 и оценим погрешность. Используя метод частных производных:

$$\Delta t_0 = |\text{grad } t_0 \cdot \Delta t_0|_2 = \sqrt{\frac{\left|\frac{\Delta_m}{R^2 \rho}\right|^2}{16\pi^2} + \frac{\left|\frac{\Delta_R m}{R^3 \rho}\right|^2}{4\pi^2} + \frac{\left|\frac{\Delta_\rho m}{R^2 \rho^2}\right|^2}{16\pi^2}}$$

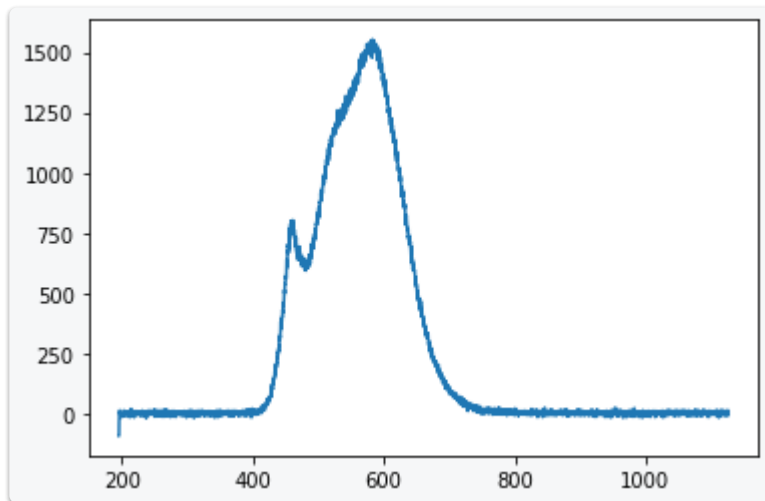
Подставив данные эксперимента получаем:

$$t_0 = 13 \pm 1 \text{ нМ}$$

Теперь оценим толщину, используя данные спектрометра:



спектр освещения лампочки



спектр при просвечивании лампочки через стекло, с нанесённым алюминиевым покрытием

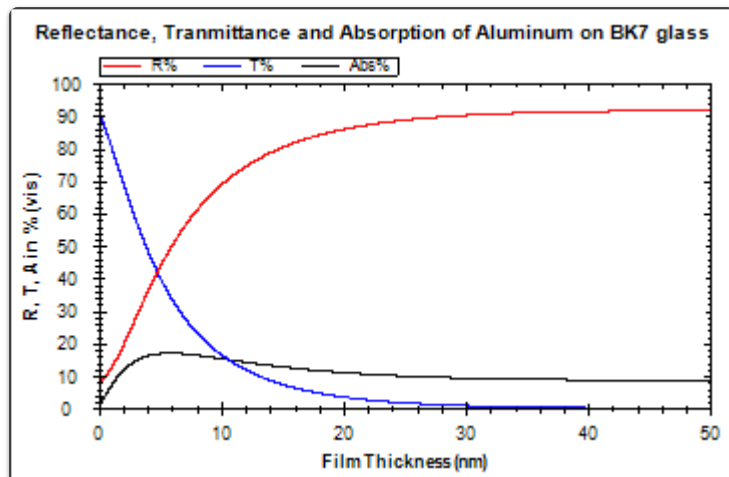
Проинтегрируем данные функции, чтобы получить полный поток:

$$\Phi = \int_{200}^{1000} \Phi(\lambda) d\lambda$$

Коэффициент пропускания определяется как отношения потока, пропущенного через материал, к потоку, падающему на материал:

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0}$$

В результате вычисления T различными способами получаем $T = 22\%$. Согласно [графику](#)



Толщина плёнки алюминия при таком коэффициенте пропускания есть 10 нМ.

Согласно расчётам, сделанным ранее получили, что максимальная толщина плёнки $t_0 = 13 \pm 1$ нМ. Воспользуемся формулой распределения толщины, и получим, что минимальная толщина есть $t_{min} = 10.5 \pm 0.8$ нМ.