

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа
Напыление тонких пленок в вакууме

Салтыкова Дарья

Б04-105

Долгопрудный 2022

1 Введение

Цель работы: Ознакомление с методами термовакuumного напыления тонких пленок, ионно-плазменными методами (катодным, магнетронными на постоянном токе и высокочастотном), эпитаксиальными методами. Практически получить пленку Al заданной толщины термовакuumным испарением с измерением ее параметров.

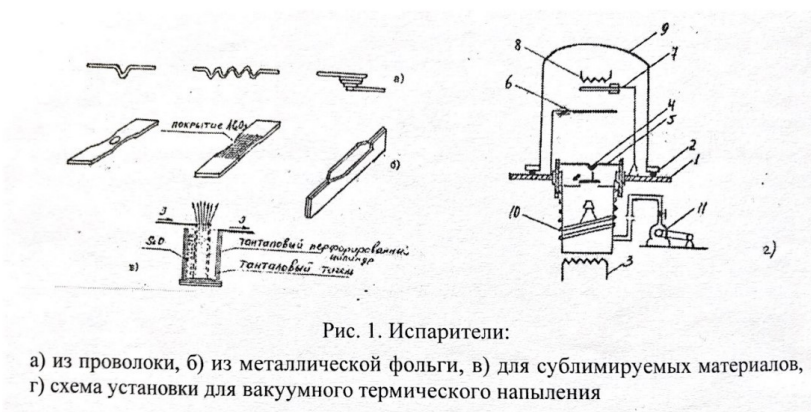
Оборудование: Испаритель (мощный блок питания, вольфрамовая проволока, металлические контакты); вакуумная камера (колпак, прорезиненная подложка (для устранения течей вследствие плохого контакта поверхности с колпаком), насос для предварительной откачки, форм-вакуумный насос; расходные материалы (проволока из алюминия, стекло); измерительные приборы (линейка, вакуумметр); прочее (стойка с "лапкой" для удерживания стеклышка, кушачки).

2 Экспериментальная установка

Атомы могут испаряться из жидкой фазы. Конкретная температура испарения подбирается такой, чтобы давление насыщенного пара у поверхности испарителя составило 10^{-2} мм рт.ст.

Конструктивно проще всего устроены резистивные испарители, температура которых поддерживается пропусканием электрического тока. Обычно это проволока из тугоплавкого материала, изогнутая в виде шпильки, на нижнем конце которой закрепляется навеска из испаряемого материала. При нагревании навеска плавится, собирается в каплю и удерживается на проволоке силами поверхностного натяжения (рис. 1а). Если испаряемый материал не требует расплавления или не смачивает испаритель, проволоку заменяют лодочкой или плетеной корзинкой (рис. 1б, в, г, ж).

На рисунке представлена схема простейшей вакуумной установки для нанесения пленок. Внутри колпака 9, установленного на плите 1 с герметизирующей прокладкой 2, расположен испаритель 5 с материалом для будущей пленки 4. Подложка 7 нагревается элементом 8 и при достижении заданных режимов испарения открывается заслонкой 6, обычно управляемой электромагнитом.



3 Теоретические сведения

При термическом методе испарения различных материалов предусматривается создание вакуума с остаточным давлением не менее $P = 10$ мм рт.ст. Для понимания механизма нанесения тонких пленок необходимо оценить длину свободного пробега атомных частиц остаточных газов, которая должна быть значительно больше расстояния R между испарителем и подложкой. Из кинетической теории газов следует

$$\lambda(\text{см}) = \frac{kT}{4\sqrt{2}\pi r^2 p} \gg R$$

где T - температура окружающего пространства, P - давление остаточных газов, r - средний радиус атомных частиц (для воздуха $r = 1,87 \cdot 10^{-8}$ см. При комнатной температуре для молекул воздуха получаем

$$\lambda = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{p \text{ мм рт. ст.}}$$

То есть в вакууме $P = 10$ мм рт. ст. длина свободного пробега составляет 50 см, что значительно больше расстояния испаритель-подложка (10 см).

Пользуясь сферической геометрией распределения испаряемых атомов из точечного источника можно вывести формулу зависимости толщины тонкой пленки в зависимости от массы испаряемого вещества и расстояние R_0 от источника до подложки.

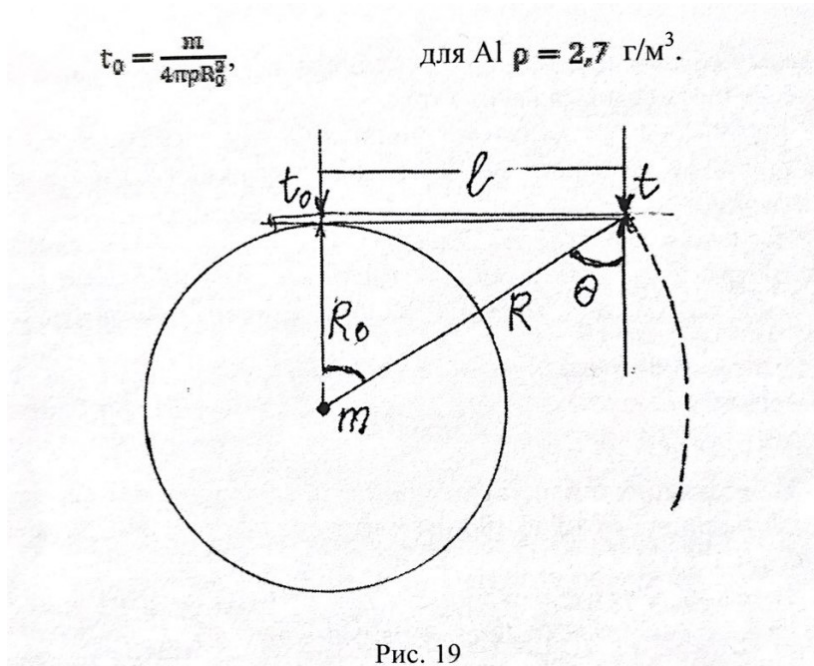


Рис. 19

4 Обработка результатов

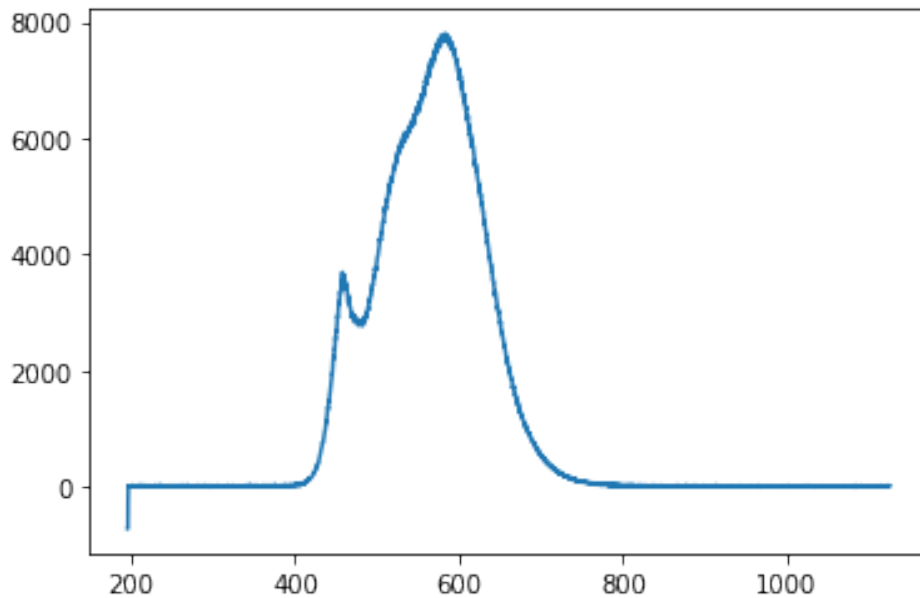
Рассчитаем t_0 и оценим погрешность. Используя метод частных производных:

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

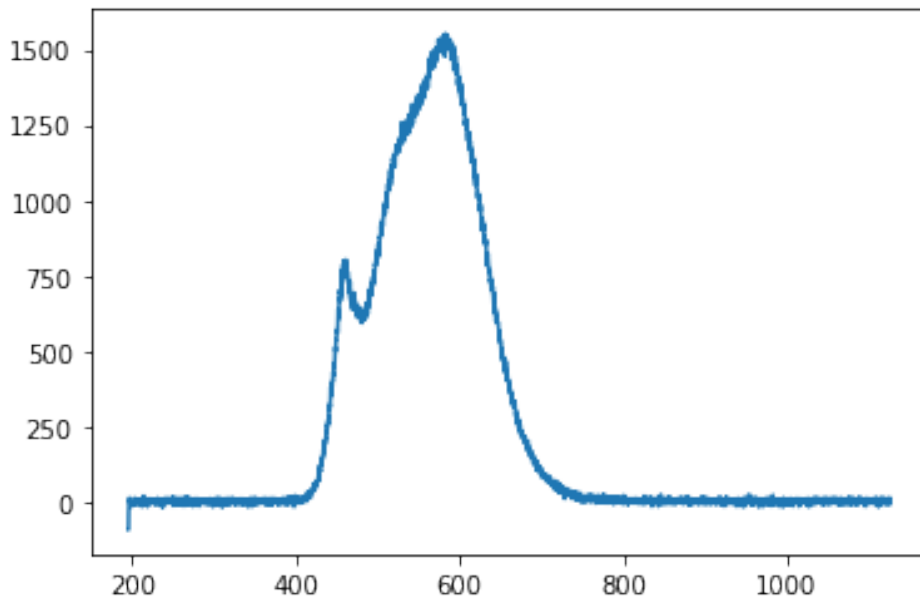
Подставив данные эксперимента получаем:

$$t_0 = 13 \pm 1 \text{ нм.}$$

Теперь оценим толщину, используя данные спектрометра:



Спектр освещения лампочки



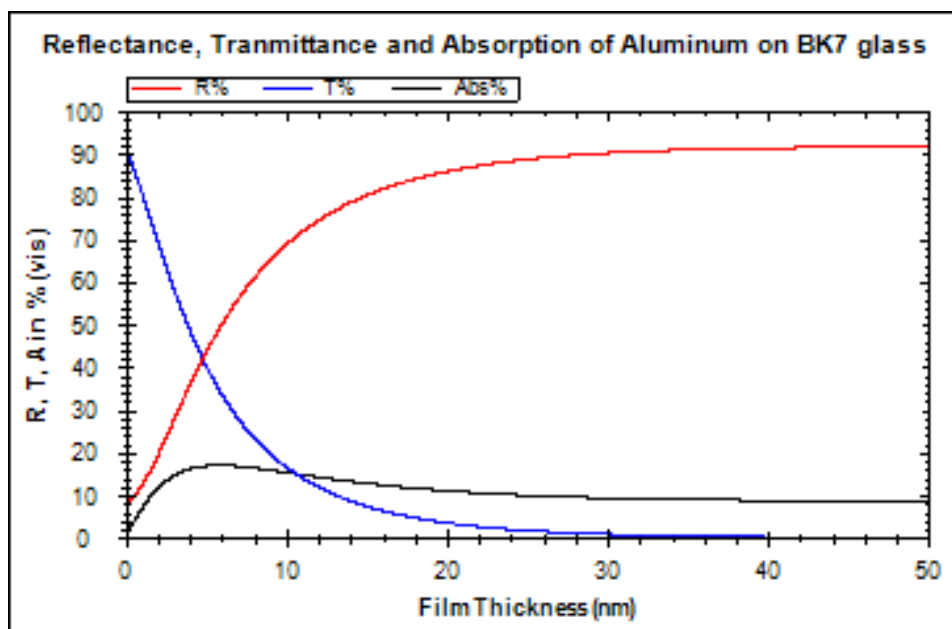
Спектр при просвечивании лампочки через стекло с нанесённым алюминиевым покрытием
 Проинтегрируем данные функции, чтобы получить полный поток:

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

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.

5 Вывод

В ходе работы была получена алюминиевая пленка с минимальной толщиной $t_{min} = 10,5 \pm 0,8$ нм.