

Атомно-слоевое осаждение

Атомно-слоевое осаждение (АСО) – процесс контролируемого выращивания тонких пленок с возможностью управления толщиной осаждаемого слоя на атомарном уровне ($\sim 0,1 \text{ \AA}$). Изначально метод был предложен профессором С.И. Кольцовым из Ленинградского технологического института в начале 1960-х годов и носил название "Молекулярное наслаивание". В настоящее время АСО-технология (в англ. литературе ALD – Atomic Layer Deposition) используется в процессе производства солнечных элементов, плоских панельных дисплеев, микропроцессоров, головок чтения для жестких дисков, и т.д. Тонкие пленки, полученные методом АСО характеризуются высокой однородностью, прецизионным контролем толщины и практически полным отсутствием дефектов, что, однако, определяет и основной недостаток метода – относительно низкую скорость роста пленок.

В лаборатории на двух установках по атомно-слоевому осаждению на кремниевые подложки наносят тонкие пленки оксида алюминия (Al_2O_3) и диоксида титана (TiO_2) одинаковой толщины, равной $h = 31,5 \text{ \AA}$. Сначала лаборант-технолог запускает процесс роста слоя Al_2O_3 на первой установке, а затем переходит на вторую и запускает осаждение пленки TiO_2 . При этом, наблюдая за ходом обоих процессов на едином пункте управления, он замечает, что окончание процессов роста произошло одновременно. Определить продолжительность (в минутах) осаждения пленки Al_2O_3 , если известно, что время между последовательными запусками процессов на первой и второй установках составляет $\Delta t = 2$ минуты, а скорость роста диоксида титана на $\Delta v = 0,02 \text{ нм/с}$ больше, чем скорость роста оксида алюминия (2 балла). Оценить, какое время (в часах) понадобится для получения пленки диоксида титана толщиной 1 мкм? (1 балл).

Решение:

Пусть время роста пленки Al_2O_3 равно t , скорость роста Al_2O_3 – v_1 , а скорость роста TiO_2 : $v_2 = v_1 + \Delta v$. Тогда, учитывая, что на рост диоксида титана ушло на Δt секунд меньше времени, запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} h = v_1 t \\ h = v_2 (t - \Delta t) \end{cases} \text{ или } \begin{cases} v_1 = h/t \\ h = (v_1 + \Delta v)(t - \Delta t) \end{cases}.$$

Решая систему, получаем: $t_{1,2} = \frac{\Delta v \Delta t \pm \sqrt{(\Delta v \Delta t)^2 + 4 \Delta v h \Delta t}}{2 \Delta v}$, откуда, подставляя числовые значения, получаем единственный имеющий смысл корень:

$$t = 210 \text{ с} = 3,5 \text{ минуты}$$

Для ответа на второй вопрос найдем скорость роста TiO_2 : $v_2 = \frac{h}{t - \Delta t} = 0,35 \frac{\text{ \AA}}{\text{с}} = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ мкм/с}$. Т.о. для осаждения пленки толщиной 1 мкм понадобится время ~ 28571 секунд или около 8 часов.