

Решение

Оптические свойства пористого кремния

Задача 1. Зная значение порядка интерференции m максимума или минимума интерференции на некоторой длине волны λ показатель преломления пленки, спектр которой показан на Рис.1, можно выполнить по следующим формулам (соответственно для максимальных или минимальных значений интенсивности):

$$n = \frac{m \cdot \lambda}{2d} \quad (\text{макс}); \quad n = \frac{(m + \frac{1}{2}) \cdot \lambda}{2d} \quad (\text{мин}) \quad (1)$$

Т.к. волновое число $\nu = 1/\lambda$, то (1) можно представить в виде:

$$n \cdot 2d \cdot \nu = m \quad (2)$$

(ограничимся условием для максимумов интенсивности).

Тогда, используя рисунок, возьмем $\nu_i = 4000 \text{ см}^{-1}$, положим $m_i = m_0$, $\nu_k = 5000 \text{ см}^{-1}$, $m_k = m_0 + 3$, тогда можно записать конечную формулу для показателя преломления:

$$n = \frac{m_k - m_i}{2d(\nu_k - \nu_i)} \quad (3).$$

Подставляя в (3) значения всех известных величин, имеем:

$$n = \frac{3}{2 \cdot 10^{-3} \text{ см} \cdot 1000 \text{ см}^{-1}} = \frac{3}{2} = 1.5$$

Итак, получаем показатель преломления пленки пористого кремния $n=1.5$. Данный показатель преломления значительно меньше значения для объемного кристаллического кремния, которое в анализируемом спектральном интервале равно примерно 3.5. Уменьшение значения показателя преломления пористого кремния связано главным образом с тем, что он состоит как из кремниевых остатков, так и из пустот (пор), показатель преломления которых равен 1. Результирующий нанокompозитный материал, очевидно, имеет промежуточное значение показателя преломления, которое может быть рассчитано по теории эффективной среды.

Задача 2. Биения в спектре на рис.2 получаются за счет сложения интерференционных спектров с различными периодами осцилляций интенсивности прошедшего света. Известно, что вследствие преимущественного травления (образования пор) в кремнии в кристаллографических направлениях $\{100\}$, в пористых слоях, выращенных на кремниевых пластинах с ориентацией поверхности (110) возникает сильная оптическая анизотропия (двулучепреломление). При этом,

оптическая ось лежит в плоскости слоя и обычно совпадает с кристаллографическим направлением [001]. Тогда для падающего по нормали неполяризованного света возникает разделение на обыкновенную и необыкновенную волны, которые распространяются в одном направлении, но с разными скоростями. В результате интерференции в тонкой пленке каждая из волн формирует интерференционную картину в спектре пропускания, подобную той, что показана на рис.1. Однако, периоды такой интерференционной картины несколько отличаются для каждой из волн. Сложение двух картин с близкими периодами приводит к появлению биений, как показано на рис.2. Из анализа малого и большого периодов биений можно получить показатель преломления для обыкновенной и необыкновенной волн.

Задача 3. При термическом окислении пленки пористого кремния ее показатель преломления уменьшается. Это связано с образованием оксида кремния SiO_2 сначала на поверхности, а затем (при высокотемпературном продолжительном отжиге) и в объеме нанокристаллов. Так как для SiO_2 , например, аморфного кварца, показатель преломления в анализируемой области прозрачности составляет около 1.4, то с учетом сохранения нанокомпозитности и вклада оставшихся пустот (пор) с показателем преломления 1, результирующий показатель преломления может быть в диапазоне от 1 до 1.4.