

Пористый кремний

Электронные и оптические свойства кремния можно значительно изменить, формируя наноструктуры в виде пространственно разделённых кристаллических участков с минимальными размерами несколько нанометров (нанокристаллы). Кремниевые нанокристаллы могут быть получены простым способом электрохимического травления кристаллического кремния (c-Si) в растворе плавиковой кислоты (HF), как схематично показано на рис.1. (Объясните, как это происходит, **2 балла**) При этом из объема исходного материала селективно удаляется (вытравливается) вещество и формируется плотная сеть мельчайших пор, разделяющих непротравленные участки, где атомы кремния занимают те же места, что и в исходном кристалле c-Si. В результате получается так называемый пористый кремний (ПК). На рис.2 показано изображение участка ПК в просвечивающем электронном микроскопе.

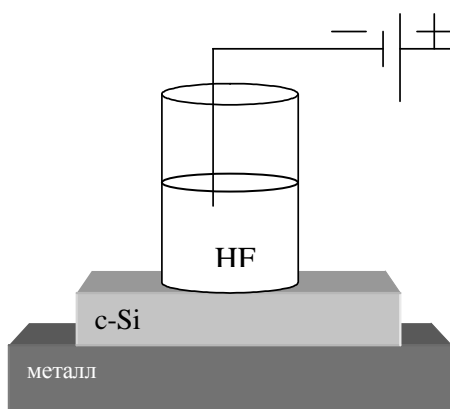


Рис. 1

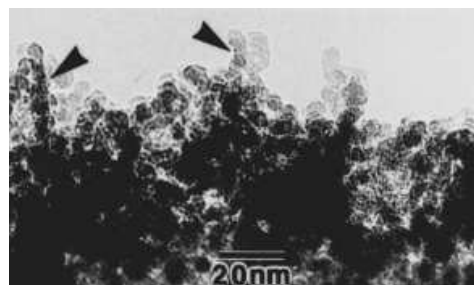


Рис. 2

Важнейшей характеристикой ПК является так называемая **пористость** (P), определяемая как отношение объема пор (объема удаленного при травлении вещества) к полному объему пористого слоя (исходному геометрическому объему до травления): $P = V_{\text{пор}} / V$. Иногда пористость выражают в процентах: $P = (V_{\text{пор}} / V) \cdot 100\%$, что подчеркивает ее значение как меры удаленного при травлении объема вещества. При этом, очевидно, справедливо равенство: $V = V_{\text{пор}} + V_{\text{Si}}$, где V_{Si} - суммарный объем кремниевых нанокристаллов в ПК. В случае достаточно высокой пористости (обычно $P > 0,6-0,7$) оставшиеся кремниевые «остатки» имеют нанометровые размеры и являются сетью нанокристаллов, в которых носители заряда приобретают специфические свойства вследствие квантового размерного эффекта (Что это за свойства? (**1 балл**)). Это приводит к изменению электронных и оптических свойств материала. В частности, ПК становится оптически более прозрачным и менее электропроводящим, чем исходный кристаллический кремний. При оптическом или электрическом возбуждении в ПК наблюдается эффективная люминесценция в видимом диапазоне спектра, спектральные характеристики которой позволяют судить о размерах кремниевых нанокристаллов, составляющих ПК (люминесцирует ли «объемный кремний» или только ПК, и почему? **2 балла**).

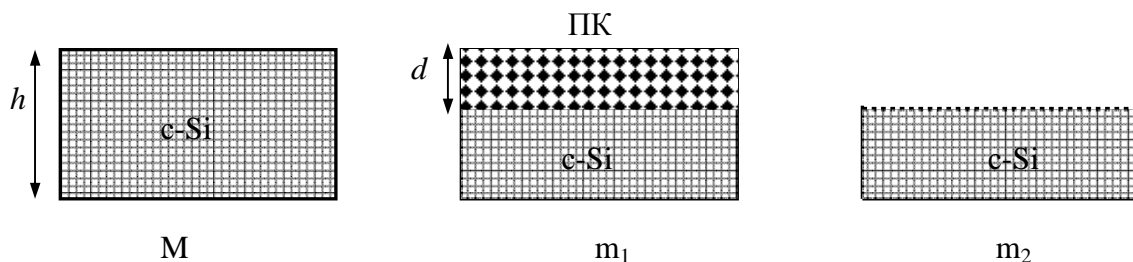


Рис. 3

Зная параметры исходной кремниевой пластины, используемой для получения ПК, а также результаты взвешиваний пластины после формирования пористого слоя, можно определить важные характеристики полученных наноструктур. Так, рассмотрим исходную пластину кристаллического кремния (плотность равна 2 г/см^3) в форме диска толщиной $h=1 \text{ мм}$ и массой $M=10 \text{ г}$. В процессе электрохимического травления часть пластины стала пористой (Рис.3). Масса пластины после формирования на ней слоя ПК составила $m_1=6 \text{ г}$, а после удаления данного слоя она оказалась равна $m_2=5 \text{ г}$.

Какова величина пористости P получившегося ПК (**2 балла**)?

Предполагая, что ПК представляет собой слой на поверхности оставшейся кремниевой пластины, определить его толщину d (**2 балла**).

Предполагая, что ПК состоит из слабо связанных сферических нанокристаллов с радиусом $R=2 \text{ нм}$, определить их число в получившемся пористом слое (**1 балл**) и полную площадь их поверхности (**1 балл**).