

Предлагаю вашему вниманию опыт, с помощью которого демонстрируется как изменение размера влияет на свойства материала. В данном опыте демонстрируется как при уменьшении размера кремния он начинает светиться.

Известно, что обычный кристаллический кремний в силу своей непрямой электронной структуры не излучает свет. Однако, пористый кремний, который содержит нанокристаллы кремния размером порядка нескольких нанометров, обладает хорошей фотолюминесценцией в видимом диапазоне спектра. Дело в том, что при уменьшении размеров происходит спрямление зон, кремний становится более прямозонным и вероятность испустить фотон увеличивается по сравнению с исходным образцом кристаллического кремния.

При облучении светом в кремнии рождаются связанные электронно-дырочные пары, называемые экситонами, которые являются квазичастицами. Как всякая квазичастица, экситон живёт конечный промежуток времени после чего распадается (рекомбинирует). Есть два варианта рекомбинации экситона: безызлучательный и излучательный с испусканием фотона. В результате излучательной рекомбинации экситона наблюдается фотолюминесценция в видимом диапазоне спектра. Причём при уменьшении размера наночастиц в пористом кремнии происходит сдвиг спектра в коротковолновую область. Данное явление связано с квантовым размерным эффектом, в результате которого при уменьшении размера наночастиц происходит уширение запрещённой зоны кремния и соответственно увеличение энергии экситонов. Зная положение спектра можно оценить размеры нанокристаллов, а по сдвигу спектра - изменение их размеров.

Описание эксперимента.

Для начала возьмём обычную кремниевую пластину (p-тип, 100, 1-10 Ом*см) и поднесём её к азотному лазеру с длиной волны 337 нм. На пластине ничего не увидим, т.к. свет от неё полностью отразится (рис.1). После этого в специальной ячейке с помощью электрохимического травления в растворе плавиковой кислоты и этилового спирта в соотношении 1:1 получаем пористый кремний (рис.2-3). Время травления от нескольких минут до 40 минут. Достаточно небольшого слоя пористого кремния для получения ожидаемого эффекта. Если теперь пластину с протравленным участком поднести под луч азотного лазера, то невооружённым глазом можно увидеть красноватое свечение пористого кремния (протравленного участка)(рис.4). Максимум спектра лежит в диапазоне от 700 до 750 нм в зависимости от условий травления. Это говорит о том, что свет поглощается в образце и переизлучается на больших длинах волн, т.е. на меньших энергиях, что вполне логично. Причём если приготовить несколько образцов, меняя плотность тока, время травления и т.д., можно получить разные спектры как по интенсивности, так и по положению. Сдвиг спектра будет говорить о том, какие размеры нанокристаллов присутствуют в пористом слое. Уменьшению размеров нанокристаллов отвечает сдвиг спектра в коротковолновую область, что связано с квантовым размерным эффектом.

Тем самым можно наглядно убедиться как уменьшение размеров объекта может изменить его свойства. Если обычный кристаллический кремний не

светится, то нанокристаллы кремния обладают стабильной и сильной фотолюминесценцией.

История.

Первые сообщения о возможности излучения видимого света в пористом кремнии, полученном электрохимическим методом, датируются 1960г., когда было обнаружено его заметное свечение. В 1984 г. Была зафиксирована и исследована фотолюминесценция в пористом кремнии, охлаждённом до температуры жидкого гелия. Однако интенсивные исследования этого явления тогда не проводились, что возможно, было связано с отсутствием ясной физической идеи, объясняющей данные факты.

В конце 1990 г. В науке о полупроводниках произошла настоящая сенсация. Доктор Л. Кэнхэм (L. Canham) из Великобритании сообщил о наблюдении эффективной красно-оранжевой фотолюминесценции из пористого кремния при комнатной температуре. Практически одновременно о сходных результатах информировала группа исследователей из Франции. Авторы этих работ прямо связывали наблюдаемую люминесценцию с квантовым размерным эффектом в наноструктурах пористого слоя.

Canham L.T., "Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of water", Appl. Phys. Let., 1990, v.57, № 10, p. 1046-1048

Bsiesy A., Vial J.C., Gaspard F. et al, "Photoluminescence of high porosity and of electrochemical oxidized porous silicon layers", Surface science, 1991, v.254, № 1, p. 195-200.

Иллюстрации.

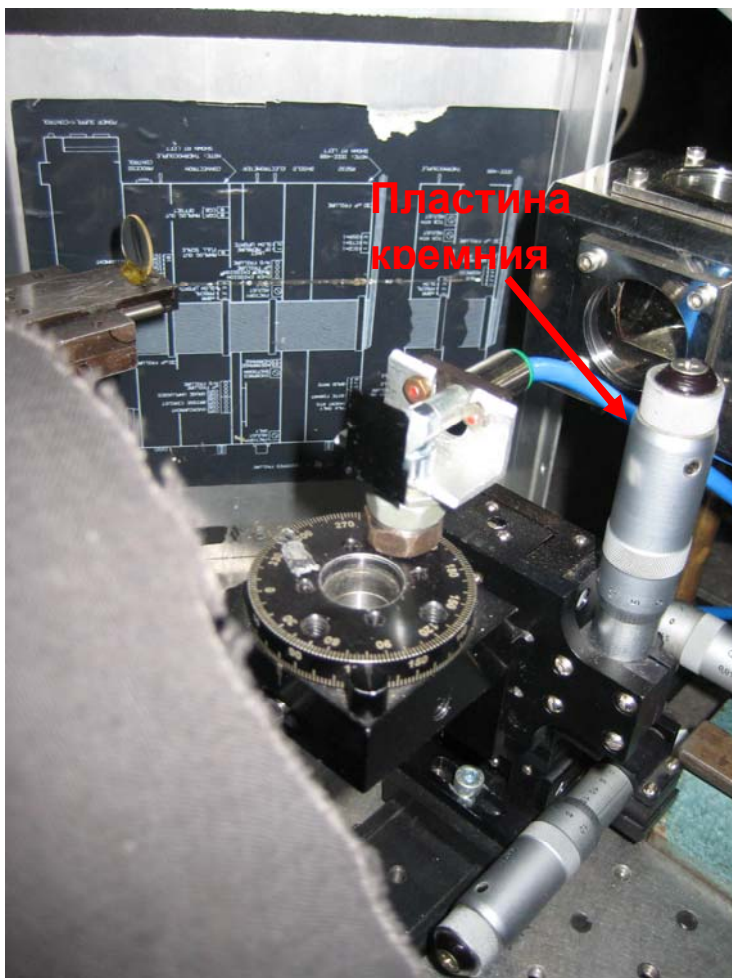


Рис.1 Облучение лазером непротравленной пластины кремния.

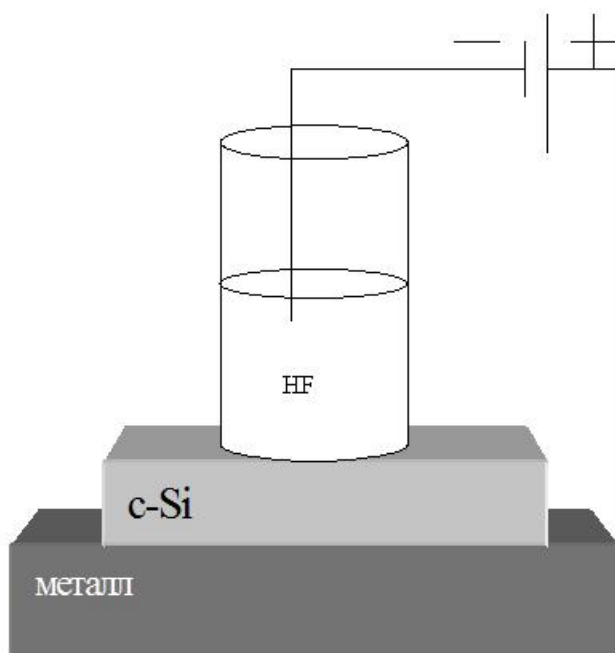


Рис.2 Схематическое изображение ячейки для травления пористого кремния.



Рис.3 Фотография ячейки для травления пористого кремния.

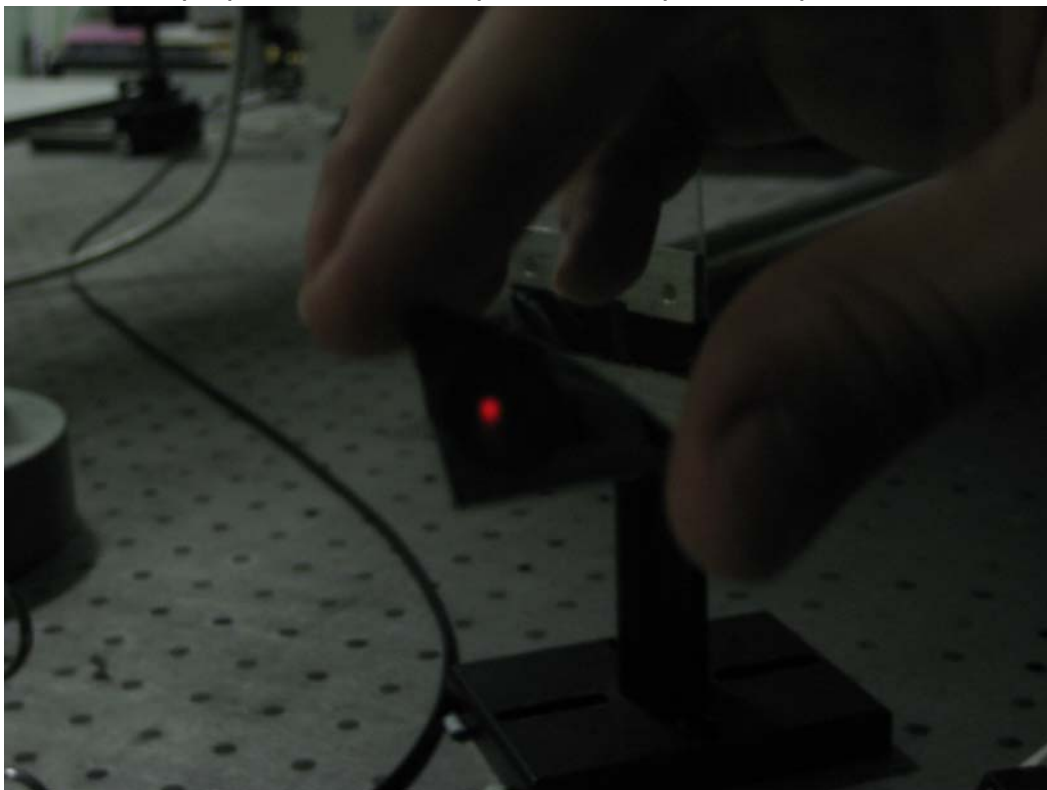


Рис.4 Облучение лазером протравленной пластины кремния. Красная точка-свечение пористого кремния.