

Ле Динь Ви, В.И. Грицков, Е.А. Масленкова (БГУИР, Минск)  
Науч. рук. С.К. Лазарук, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ПИКОМ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЗЕЛЕННОЙ ОБЛАСТИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА**

После того, как эффективная фотолюминесценция в видимом диапазоне в пленках пористого кремния [1] была обнаружена Кэнхеном, появилась надежда разработки на основе этого материала достаточно эффективных светоизлучающих приборов [2]. Особого внимания заслуживает формирование пористого кремния (ПК) с пиком фотолюминесценции в зелено-голубой части видимого спектра, так как время ее нарастания и спада находится в наносекундном временном диапазоне [3].

Поэтому, целью данной работы является формирование пористого кремния с пиком фотолюминесценции в зеленой части видимого спектра и поиск методов пассивации ПК, обеспечивающих стабилизацию зеленой фотолюминесценции этого материала.

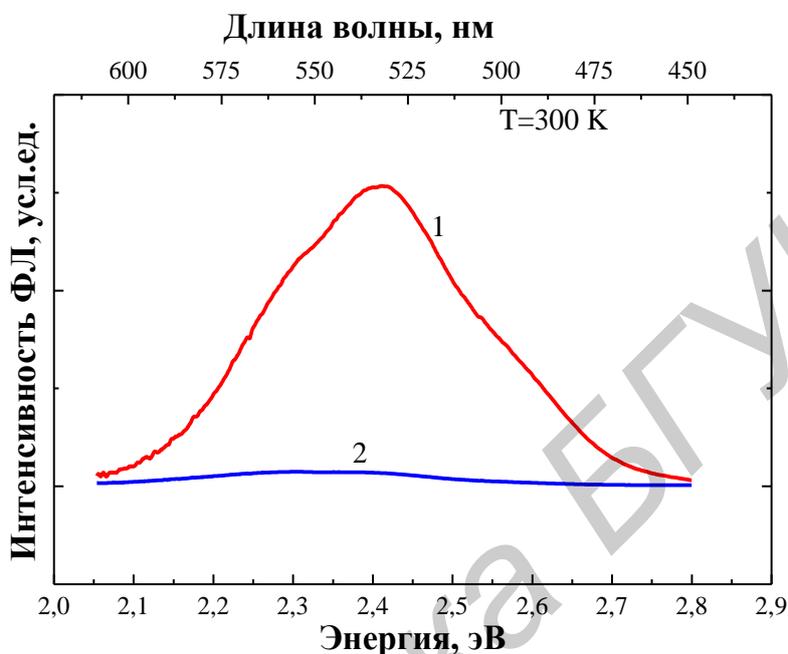
Для достижения поставленной цели были сформированы образцы ПК на кремниевых подложках КДБ-12. Анодирование проводили в 10 % водно-спиртовом растворе плавиковой кислоты, где концентрация этанола составляла 50 %. Плотность тока анодирования составляла 10 мА/см<sup>2</sup>, продолжительность анодирования – 15 минут. Образцы разделили на три группы: (#0) не выдерживались в электролите, а (#10) и (#30) выдерживались в электролите в течение, соответственно, 10 и 30 минут. Образцы #0, #10 и #30 после анодирования и после выдержки в электролите, промыли в деионизированной воде, а после хранили на воздухе.

Далее проводили возбуждение спектра фотолюминесценции пористого кремния с помощью излучения непрерывного гелий-кадмиевого лазера ГККЛ30УМ(И) с длиной волны 325 нм. Излучение регистрировалось полихроматором «Carl Zeiss» (монохроматор МДР6У). Далее сигнал поступал на ПЗС линейку Sony и персональный компьютер, где производился пересчет на спектральную чувствительность линейки.

В группе образцов (#0) наблюдали пики фотолюминесценции, лежащие в красной области видимого диапазона. Причем интенсивность люминесценции образцов незначительно падает при хранении от 1 до 5 суток на воздухе, и наблюдается незначительный сдвиг пика ФЛ в длинноволновую часть видимого спектра.

Для образцов группы (#10) сразу после промывки наблюдалась оранжевая фотолюминесценция. Через несколько минут цвет фотолюминесценции образцов изменился до зеленого, причем ее интенсивность визуально не изменялась. Образцы хранились на воздухе в течение

суток, после чего были измерены их фотолюминесцентные характеристики (рисунок 1, кривая 1). Спектр люминесценции этих образцов ПК имеет характерный вид с максимумом в зеленой части видимого спектра (530 нм). Таким образом, нами зарегистрировано коротковолновое смещение фотолюминесценции в пленках ПК при естественном окислении образцов на воздухе.



1 – хранение на воздухе в течение одних суток,  
2 – хранение на воздухе в течение пяти суток

Рисунок 1 – Спектры фотолюминесценции образцов группы #10:

Образцы (#10) продолжали выдерживать на воздухе 5 суток. Кривая 2 показывает спектр фотолюминесценции этих образцов. Видно, что интенсивность фотолюминесценции значительно уменьшается вплоть до уровня шума.

Образцы группы (#30) сразу после промывки излучали свет зеленого цвета, но через 3–5 минут интенсивность люминесценции значительно спадала и становилась полностью неразличимой глазом. А после суток хранения на воздухе не было обнаружено характерных для ПК спектров в видимом диапазоне.

Несколько образцов #10 были покрыты эпоксидной смолой после суток хранения на воздухе для стабилизации химического состава пленки ПК. В течение второго года они демонстрировали видимую для глаз интенсивную зеленую люминесценцию. На рисунке 2 приведены результаты измерения интегральной интенсивности фотолюминесценции образцов #10, #30, покрытых эпоксидной смолой.

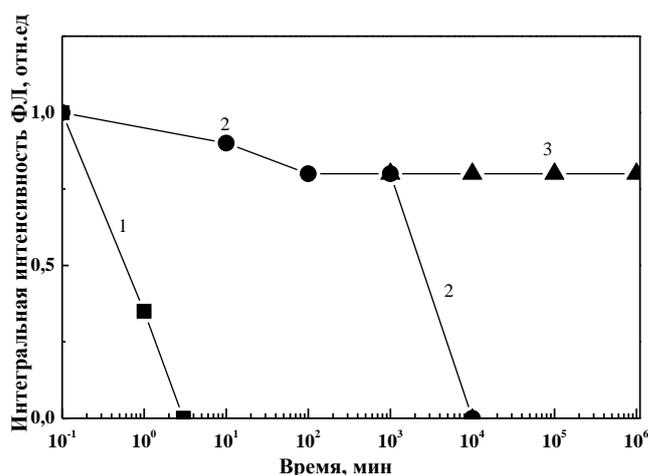


Рисунок 2 – Зависимость интегральной интенсивности фотолюминесценции образцов с пиком в зеленой области спектра от времени хранения: 1 – #30, 2 – #10, 3 – #10, покрытые эпоксидной смолой.

Таким образом, сформированные электрохимическим методом пленки ПК демонстрировали коротковолновое смещение пика фотолюминесценции при естественном окислении на воздухе. Полученная зеленая фотолюминесценция (пик 530 нм) сохраняла свои свойства на протяжении нескольких дней при хранении на воздухе. Измерение стабильности фотолюминесценции с двойной пассивацией не показали заметной деградации при хранении на воздухе в течение 2 лет.

Приведенные результаты открывают перспективы для использования исследуемого материала в кремниевой фотонике, в частности, для изготовления на их основе микродисплейных устройств и оптических межсоединений интегральных микросхем.

### Литература

1. Canham L.T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers / L.T. Canham // *Appl. Phys. Lett.* №57 (1990) – p.1046–1048.
2. Лазарук, С.К. Лавинные светодиоды на основе наноструктурированного кремния для внутричиповых оптических межсоединений / С.К. Лазарук, А.А. Лешок, В.В. Дудич, В.Е. Борисенко // *Сб. науч. тр. VII Международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники»* (12–13 октября 2016 г.). – Минск. Изд. Центр БГУ, 2016. – С. 258–261.
3. Mizuno, H. Oxide-free blue photoluminescence from photochemically etched porous silicon / H. Mizuno, H. Koyama, N. Koshida // *Appl. Phys. Lett.* – 1996. – Vol. 69 – P. 3779–3781.