

УДК 535.339; 621.317

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОЛИТ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Романов И.А., Комаров Ф.Ф., Власукова Л.А., Пархоменко И.Н.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

На протяжении многих лет ученых привлекает идея создания светоизлучающего диода совместимого с технологией производства кремниевых интегральных схем. Наиболее перспективными материалами активных сред разрабатываемых светоизлучающих структур на основе кремния являются оксид (SiO_x), нитрид (SiN_x) и оксинитрид (SiO_xN_y) кремния. Спектроскопия электролюминесценции (ЭЛ) является ключевой методикой, позволяющей определить пригодность разрабатываемых структур для создания на их основе приборов кремниевой оптоэлектроники. Метод ЭЛ обладает высокой чувствительностью к наличию дефектов и примесей и позволяет получать не только информацию о составе, строении и структурных особенностях диэлектрических слоев, но и оценивать влияние дефектов и примесей на процессы переноса носителей заряда под действием электрического поля [1].

Для исследования ЭЛ, электрофизических параметров и фотопроводимости диэлектрических слоев, сформированных на кремниевых подложках, необходимо создавать диодные структуры, обеспечивающие максимальный квантовый выход. Наиболее простым и распространенным методом создания тестовых структур является формирование прозрачных проводящих контактов на поверхности диэлектрических слоев. Электрофизические и свето-излучающие свойства создаваемых тестовых структур во многом определяются их топологией, материалом и типоразмерами контактов. Наиболее распространенными материалами для формирования прозрачных и полупрозрачных электродов являются легированный поликристаллический кремний, оксид индия-олова, тонкие пленки металлов (Al, Au), жидкий электролит (водный раствор Na_2SO_4 , KNO_3) [1]. Применение электролита в качестве прозрачного контакта к диэлектрическому слою имеет ряд особенностей, позволяющих значительно расширить возможности метода ЭЛ, повысить его точность и информативность. Среди основных преимуществ системы электролит-диэлектрик-полупроводник (ЭДП) при исследовании ЭЛ структур SiN_x/Si , SiO_x/Si и $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ можно выделить следующие:

- возможность создания в диэлектрическом слое более сильных электрических полей по сравнению с системой МДП;
- возможность измерения спектрального распределения ЭЛ при послойном стравливании

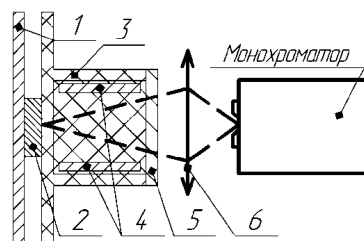
диэлектрического слоя, что позволяет получить распределение излучающих центров по глубине диэлектрического слоя;

- высокая спектральная прозрачность электролита;
- простота нанесения и удаления полевого электрода.

Для реализации метода ЭЛ в системе ЭДП на кафедре физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета создана установка, позволяющая регистрировать спектры электролюминесценции в диапазоне 250–1000 нм.

В состав установки входит: электрохимическая ячейка, источник питания Б5-50, стабилизаторы тока и напряжения, многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) В-380, монохроматор МДР-23, фотоэлектронный умножитель ФЭУ-100, охлаждаемая кремниевая ПЗС линейка, регистрирующая система «Spectralink» с компьютером.

На рисунке 1 представлена оптическая схема разработанной экспериментальной установки.



1 – анод, 2 – образец, 3 – электрохимическая ячейка, 4 – катоды, 5 – кварцевое стекло, 6 – кварцевая линза

Рисунок 1 – Оптическая схема экспериментальной установки для регистрации спектров электролюминесценции в системе ЭДП, вид сверху

Электрохимическая ячейка представляет собой ёмкость, изготовленную из PLA пластика методом трехмерной печати. Внутренний объем ячейки – 4 см³. Катоды изготовлены из химически инертного сплава. Исследуемый образец помещается между анодом и отверстием в электрохимической ячейке, которое обеспечивает электрический контакт образца с электролитом и служит для вывода излучения.

На рисунке 2 представлена структурная электрическая схема установки для возбуждения ЭЛ в системе ЭДП.

В представленной установке реализована возможность проведения измерений при посто-

яном токе в диапазоне 1 мкА..20 мА с шагом 1 мкА или постоянном напряжении в диапазоне 1..300 В с шагом 0,5 В на исследуемом образце. Входящий в состав установки многоканальный АЦП позволяет осуществлять контроль напряжения и тока, а так же записывать временные зависимости тока, напряжения и заряда протекающего через образец в процессе регистрации спектра. Сопоставление полученных временных зависимостей напряжения и тока со спектрами ЭЛ позволяет определить влияние степени заполнения электронных и дырочных ловушек на спектральный состав и интенсивность полос ЭЛ, определить наиболее эффективный режим возбуждения ЭЛ, оценить величину напряжения пробоя исследуемого образца.

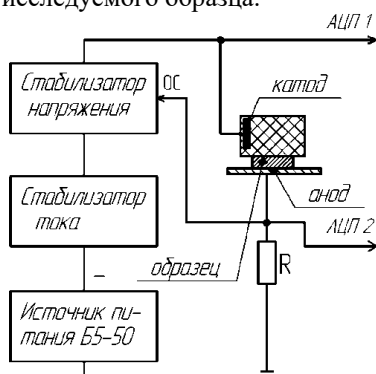


Рисунок 2 – Структурная электрическая схема установки для возбуждения электролюминесценции в системе ЭДП

Установка была апробирована на структурах Si/SiO_2 , $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$. На рисунке 3 представлены спектры ЭЛ образцов $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{SiN}_{0,9}/\text{SiO}_2$, зарегистрированные при различных плотностях протекающего тока. Диэлектрические слои оксида и нитрида кремния сформированы методом химического осаждения из газовой фазы на кремниевой пластине р-типа. Общая толщина диэлектрических слоев составляет 140 нм. Спектры ЭЛ зарегистрированы при анодной поляризации кремниевой подложки.

Спектры ЭЛ характеризуется полосами с энергиями в красной (1,9 эВ), зеленой (2,3 эВ) и синей (2,7 эВ) области, причем последняя по-

лоса имеет наибольшую интенсивность. Полоса в красной области спектра ЭЛ связана с наличием в слоях SiO_2 силанольных групп (Si-OH). ЭЛ в зеленой области объясняется внутрицентровыми переходами в атомах трехкоординированного кремния в слоях SiO_2 . Интенсивная полоса ЭЛ с максимумом при 2,7 эВ характерна для излучательной релаксации силиленовых центров [2]. Наличие этих центров присуще слоям оксинитрида кремния, что позволило сделать заключение о формировании таких слоев на границах оксида и нитрида кремния. Установлено, что интенсивность свечения этой полосы обладает наибольшей устойчивостью к воздействию сильных электрических полей после протекания через образец заряда 1-3 Кл/см².

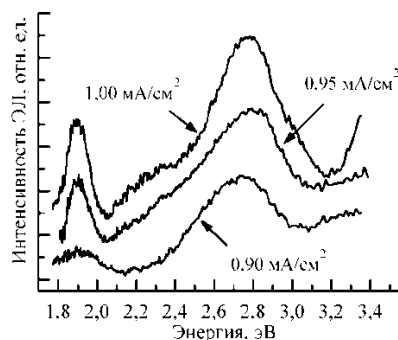


Рисунок 3 – Спектры электролюминесценции образца p-Si/SiO₂/SiN_{0,9}/SiO₂

Таким образом, реализованный метод электролюминесценции позволяет изучить состав, структурные особенности, определить концентрацию центров люминесценции, исследовать деградацию диэлектрических слоев в результате воздействия сильного электрического поля.

Литература

1. Барабан, А. П. Электроника слоев SiO_2 на кремнии / А.П. Барабан, В.В. Булавинов, П.П. Коноров. – Л. : Изд. ЛГУ, 1988. – 304 с.
2. Baraban, A.P. Electroluminescence of Si-SiO₂-Si₃N₄ structures / A.P. Baraban [et al.] // Technical Physics Letters. – 2002. – Vol. 28, № 12. – P. 978–980.

УДК 681.7.068

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТИПА

Ксенофонов М.А.¹, Поляков А.В.², Сырель А.В.²

¹НИУ «Институт прикладных физических проблем им.А.Н.Севченко БГУ», Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Непрерывное развитие самостоятельного направления в индустрии – кислородной промышленности – обуславливает все возрастающие требования к точности и динамизму измерений при производстве и использовании кислорода. В

результате ведутся интенсивный поиск и исследования физических принципов построения различных сенсорных устройств, способных удовлетворить этим требованиям. Кислород является самым распространённым окислителем на