



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призера II степени среди 10 классов

Название работы – **Материал для биосенсоров на основе пористого кремния.**

Автор – **Сидоров Владимир Дмитриевич (10 класс, МБОУ Школа № 148 г.о. Самара, г. Самара).**

Руководитель – **Латухина Наталья Виленовна, к.т.н, преподаватель кафедры полупроводниковой электроники и нанотехнологий Самарского национального исследовательского университета, г. Самара.**

Основная идея работы, цели, задачи

Цель: изучить возможность использования пористого кремния (далее ПК) с глюкозой как материала биосенсора.

Объект исследования: нанокompозиты на основе пористого кремния с раствором глюкозы.

Предмет исследования: зависимость свойств нанокompозита на основе пористого кремния с раствором глюкозы от содержания глюкозы в порах.

Задачи:

- Найти информацию о существующих биосенсорах глюкозы.
- Изучить информацию о ПК.
- Изучить возможность сбора данных о количестве глюкозы по анализу крови.
- Проверить теорию на практике.
- Провести анализ собранного материала.

Данная работа соответствует Перечню критических технологий Российской Федерации, а именно, технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.

Основные результаты

Биосенсоры

Биосенсор — это аналитический прибор, в котором для определения химических соединений используются реакции этих соединений, катализируемые ферментами, иммунохимические реакции или реакции, проходящие в органеллах, клетках или тканях. В биосенсорах биологический компонент сочетается с физико-химическим преобразователем.

Биосенсор состоит из следующих составных частей:

- Биорецептор,
- Преобразователь,
- Блок регистрации и обработки данных.

В настоящее время наибольшее число различных биосенсоров создано для определения глюкозы, что связано с необходимостью контроля над содержанием сахара в биологических жидкостях, например в крови, при диагностировании и лечении некоторых заболеваний, прежде всего сахарного диабета.

Пористый кремний

Пористый кремний – кремний, имеющий пористую структуру.

Пористый кремний – это материал не с фиксированными параметрами, а с изменяющимися разнообразными свойствами, зависящими от показателя пористости и морфологии пор. Известно, что поры принимают самые причудливые формы и могут иметь вид кактуса с отростками, зигзагообразного колодца, корневой системы дерева, цилиндрических колонн и т.д. Поэтому многообразие морфологии пор пористого кремния неизбежно приводит к многообразию оптических, электрических, механических характеристик материала.

Пористый кремний классифицируют по размеру пор:

- Микропористый кремний — $R < 2$ нм.
- Мезопористый кремний — $2 \text{ нм} < R < 50$ нм.
- Макропористый кремний — $R > 50$ нм.

Традиционным способом получения пористого кремния является электрохимическое травление пластин монокристаллического кремния (с-Si) в этаноловом растворе плавиковой кислоты HF. При положительном потенциале на кремниевом электроде (аноде) протекают многоступенчатые реакции растворения и восстановления кремния. Вторым электродом (катодом) обычно служит платиновая пластина. При подходящем выборе плотности электрического тока на поверхности с-Si происходит формирование пористого слоя.

Установлено, что толщина пленки пористого кремния практически линейно зависит от времени травления и может меняться от долей до сотен микрометров. В пористом кремнии, в основном, сохраняется порядок расположения атомов, унаследованный от подложки. Непосредственно после получения, поверхность кремниевого скелета образцов пористого кремния покрыта адсорбированным в различных формах водородом. Выдержка на воздухе, особенно сопровождающаяся освещением, приводит к значительному окислению материала.

Область применения пористого кремния:

- Светоизлучающие структуры
- Антиотражающие покрытия солнечных элементов
- Фотодетекторы
- Подложки для роста биотканей
- Датчики газов
- Биосенсоры

Примером применения пористого кремния является его использование как материала чувствительного слоя биосенсора. Адсорбция, то есть поглощение поверхностью пористого слоя биологических объектов, вызывает пропорциональное их концентрации изменение его электронных свойств. Это качество делает пористый кремний перспективным материалом для создания биосенсоров упрощенной конструкции, без использования ферментов или других биологических материалов в чувствительном слое.

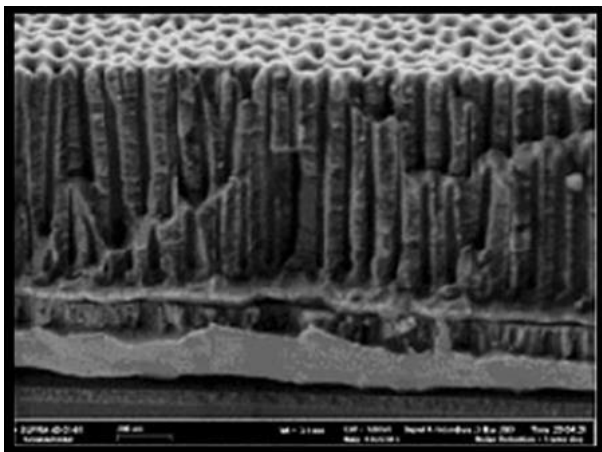


Рис. 1. «Вид сбоку» пористого кремния

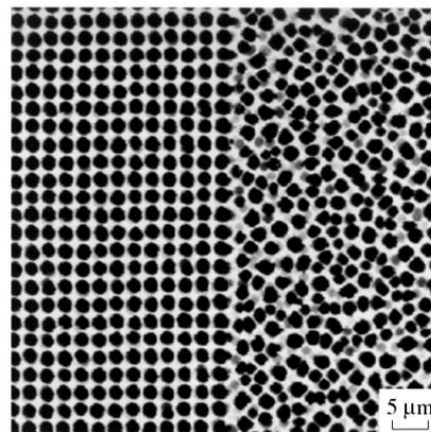


Рис. 2. «Вид сверху» пористого кремния

Сахар

Сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$, или свекловичный сахар, тростниковый сахар, в быту просто сахар — дисахарид, состоящий из двух моносахаридов: α -глюкозы и β -фруктозы.

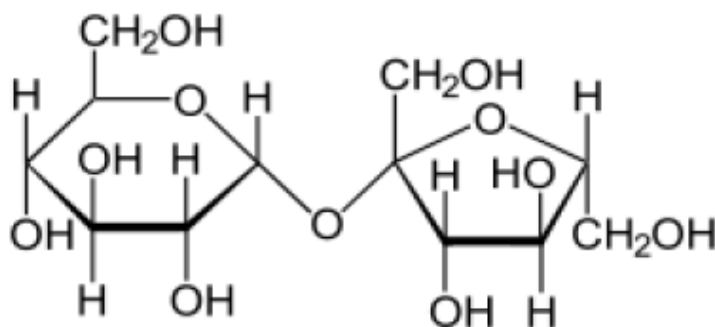


Рис. 3. Структура сахара

Сахар является весьма распространённым в природе дисахаридом, он встречается во многих фруктах, плодах и ягодах. Особенно велико содержание сахара в сахарной свёкле (превышает 20 %) и сахарном тростнике (18—21 %), которые и используются для промышленного производства пищевого сахара. Сахар имеет высокую растворимость. В химическом отношении сахар довольно инертен, так как при перемещении из одного места в другое почти не вовлекается в метаболизм. Иногда сахар откладывается в качестве запасного питательного вещества. Попадая в кишечник, он быстро гидролизует на глюкозу и фруктозу, которые затем всасываются в кровь. Сахар содержится в плазме крови.



Рис. 4. Количество сахара в крови

Практическая часть

Задачи:

- Получить образцы пористого кремния ПК, записать исходные параметры пластин.
- Приготовить глюкозосодержащие растворы, освоить методику расчета концентрации вещества в растворе. Приготовить образцы нанокompозита пористый кремний+глюкоза.
- Рассчитать электрическое сопротивление образцов нанокompозита кремний+глюкоза по данным измерения вольт-амперных характеристик образцов.
- Провести анализ полученных результатов. Построить графики зависимости электрического сопротивления от процентного содержания глюкозы в нанокompозите.
- Сделать выводы.

Методика расчета сопротивления

Сопротивление образцов рассчитывалось по результатам измерения напряжения и силы тока протекающего через образец. Установка для измерения указанных величин находится в лаборатории полупроводниковой электроники и нано технологий Самарского государственного университета, так для расчета сопротивления использовалась формула:

$$R = \frac{U}{I}$$

Для различных образцов таких как: кремний, глюкоза и кремний+глюкоза, использовались разные значения напряжения и измерялась различная сила тока: для кремния напряжение подавалось в диапазоне от 2 до 8,5 В, сила тока изменялась в интервале от 0 до 1мкА, для глюкозы напряжение подавалось в диапазоне от 0,1 до 1 В, сила тока изменялась в интервале от 1 до 7мкА, и для глюкозы+кремний напряжение подавалось в диапазоне от 2 до 8,5 В, сила тока изменялась в интервале от 1 до 7мкА. Так как мы брали по 8 случаев для каждого эксперимента, то в конце рассчитывали среднее значение по формуле:

$$R_{\text{среднее}} = \frac{R1 + R2 \dots R8}{8}$$

Обобщенные результаты представлены в таблице 1.

1. В лаборатории университета получены 4 образца ПК, изготовленные при различных режимах травления, то есть с разной степенью пористости.
2. Масса глюкозы для изготовления растворов измерялась на точных весах с погрешностью 0,0001мг.
3. Были изготовлены растворы глюкозы, содержащие 1 вес.%, 2 вес.%, 3 вес.% и 4 вес.% вещества.
4. Далее были произведены замеры вольтамперной характеристики и проведены расчеты электрического сопротивления глюкозы, кремния, а затем глюкозы вместе с кремнием.
5. На основе эксперимента были построены 4 графика зависимости сопротивления исследуемых параметров при отсутствии и наличии глюкозы.

Эксперимент 1.



Рис. 5. Точные весы для расчета массы глюкозы.



Рис. 6. Сухая глюкоза

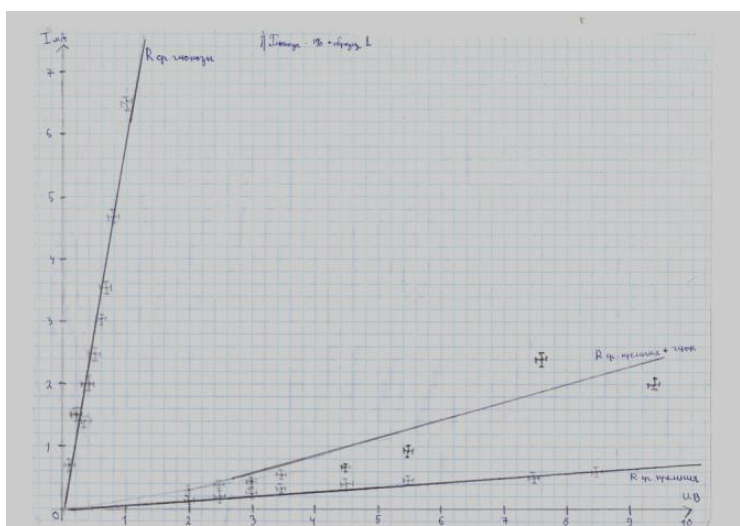


Рис.9. График зависимости тока от приложенного напряжения (вольт-амперная характеристика) исследуемых образцов (1% глюкозы).

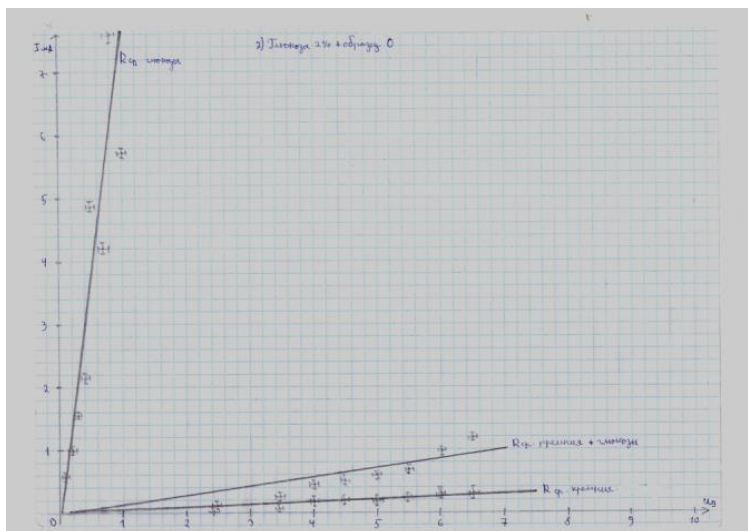


Рис.10. График зависимости тока от приложенного напряжения (вольт-амперная характеристика) исследуемых образцов (2% глюкозы).

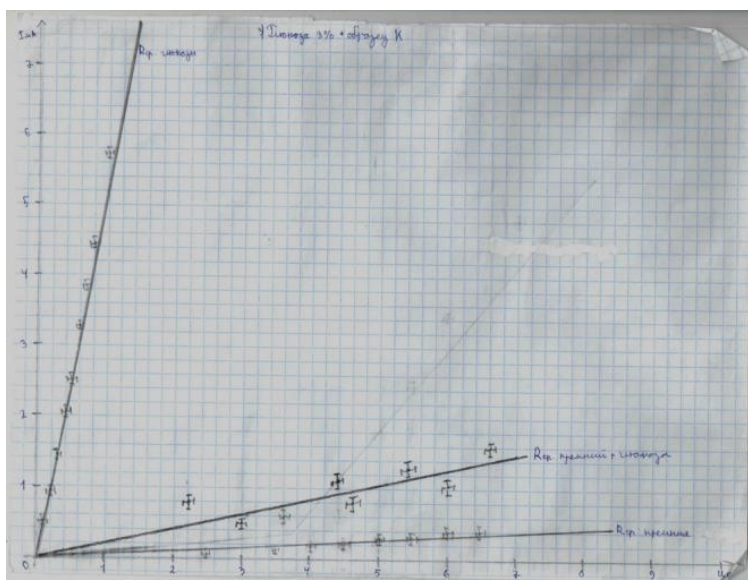


Рис.11. График зависимости тока от приложенного напряжения (вольт-амперная характеристика) исследуемых образцов (3% глюкозы).

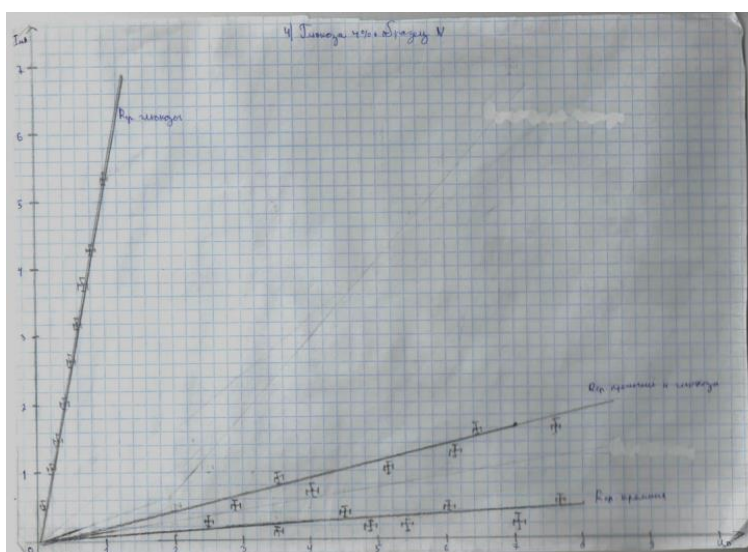


Рис.12. График зависимости тока от приложенного напряжения (вольт-амперная характеристика) исследуемых образцов (4% глюкозы).

Из графиков видно, что изменение концентрации глюкозы оказывает влияние на сопротивление нанокompозита кремний+глюкоза по сравнению с сопротивлением пористого кремния.

По результатам измерений и вычислений была составлена итоговая таблица 1 зависимости сопротивления образцов ПК от наличия в них определенного количества глюкозы.

Таблица 1.

Номер образца и концентрация глюкозы	Режим травления кремния	R глюкозы (кОм)	R кремния (кОм)	R глюкоза+ кремния (кОм)
№1 (1%)	20 мин + 80 мА	178,444	13222,5	4285,7
№2 (2%)	10 мин + 80 мА	181,744	10552,5	6431,25
№3 (3%)	30 мин + 80 мА	191,444	12756,250	1728,25
№4 (4%)	20 мин + 60 мА	186,822	8737,58	1209,125

По результатам таблицы построен график зависимости сопротивления биосенсора от процентного содержания глюкозы в растворе.

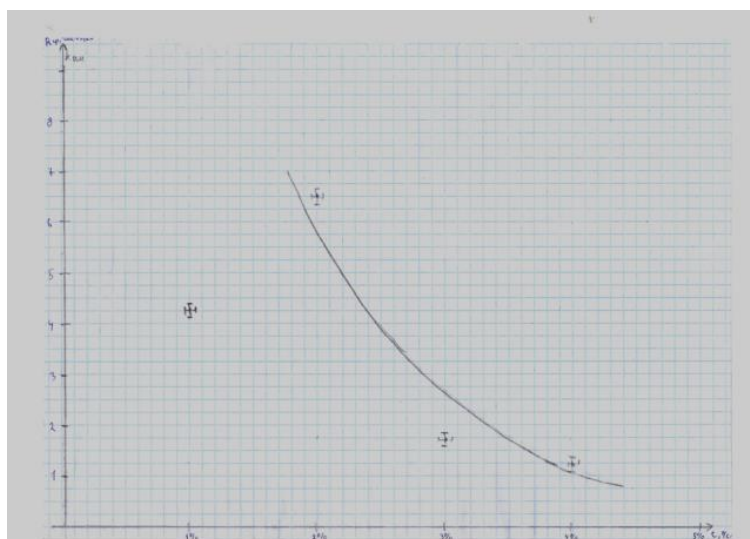


Рис.13 График зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в растворе.

Как видно из графика, сопротивление нанокompозита заметно зависит от концентрации глюкозы в растворе.

Эксперимент 2

Следующая серия исследований была связана с измерением зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в слезной жидкости (3% глюкозы, 6% глюкозы, 12% глюкозы). Технология приготовления раствора соответствует предыдущему пункту, а исследуемую слезную жидкость закупили в аптеках. Были использованы образцы кремния одинаковой пористости, и подавалось то же напряжение, что и в эксперименте 1.

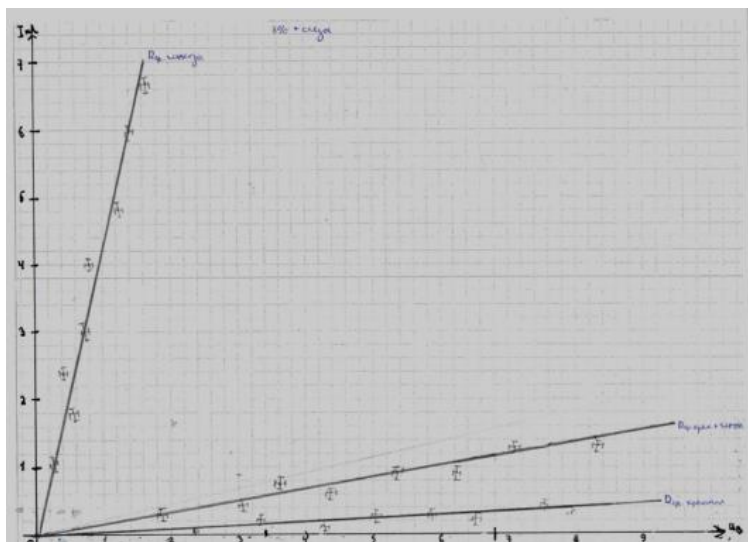


Рис.14. График зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в слёзной жидкости (3% глюкозы).

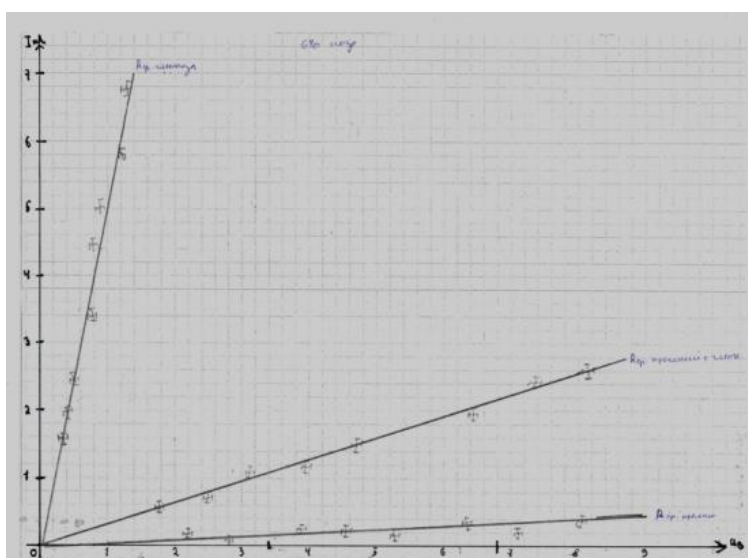


Рис.15. График зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в слёзной жидкости (6% глюкозы).

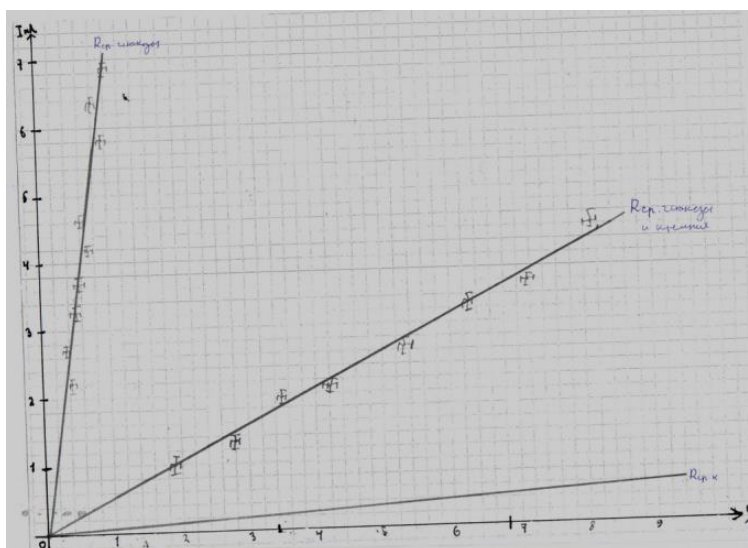


Рис.16. График зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в слёзной жидкости (12% глюкозы).

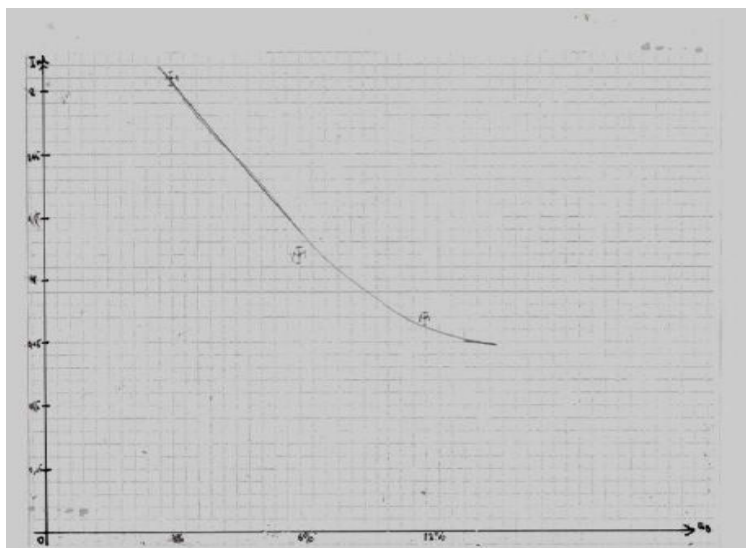


Рис.17. График зависимости сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза от процентного содержания глюкозы в растворе.

Как видно из графика, сопротивление нанокompозита кремний+глюкоза зависит от концентрации глюкозы в слезной жидкости. В итоге зависимость сопротивления нанокompозита кремний+глюкоза зависит как от концентрации глюкозы в растворе, так и в слезной жидкости. Причем графический вид зависимости практически не изменился.

Выводы, заключение, перспективы

В течение работы была изучена информация о ПК, о глюкозе и ее содержании в растворах. Путем экспериментов в лаборатории выяснено, что при попадании в поры кремния глюкозы его сопротивление меняется. Также, не смотря на то, что во втором эксперименте принимали участие образцы иной пористости, чем в первом, было изменено процентное содержания глюкозы в растворе, и была изменена среда, зависимость сопротивления от концентрации глюкозы сохранилась. Таким образом, можно сделать вывод, что пористый кремний возможно использовать в качестве материала для биосенсоров.

Задачи будущего исследования

1. Выявить более точную зависимость сопротивления нанокompозита от содержания в нем глюкозы, используя методы спектрального анализа.
2. Выявить временную зависимость сопротивления нанокompозита от содержания в нем глюкозы
3. Исследовать другие нанокompозиты с пористым кремнием, например с одинаковой степенью пористости, но разным процентным содержанием глюкозы
4. На основании проведенных исследования разработать оптимальную методику измерения процентного содержания глюкозы в растворе (крови).

Список цитированных источников

1. Балагуров Л.А. Пористый кремний: Получение, свойства, возможные применения. Материаловедение, 1998, вып. №1, с.50-56.
2. Кашкаров П.К. Необычные свойства пористого кремния. Соросовский Образовательный Журнал, 2001, вып. № 1, с.102-107.
3. Исследование структуры и состава кремниевых микроструктур. Авторы: Астрова Е. В., Ли Г. В., Парфеньева А. В.

4. Реакция молекул гемоглобина в пористом кремнии. Автор: Бескровная Е. В., Болотов В. В., Давлеткальдеев Н. А.
5. Пористый кремний — материал с новыми свойствами. Автор: Зимин С. П.
6. «Необычные свойства пористого кремния» Соросовский образовательный журнал, том 7, № 1, 2001 Автор: Кашкаров П.К.
7. Новые области применения пористого кремния в полупроводниковой электронике. Авторы: Бондаренко В.П., Борисенко В.Е., Глиненко Л.Н., Райко В.А.