

зеркала 3 и 10.

Рассчитанная полуширина профилей пятен рассеяния на всем поле не превышает 20 мкм. При продольном смещении плоскости изображения (дефокусировке) в пределах ± 50 мкм от оптимального положения полуширина не превышает 22 мкм. Эффективное число разрешаемых пространственных элементов составляет порядка 8×10^5 . Моделирование подтвердило выполненные теоретические оценки ширины выделяемой спектральной полосы для точки объекта, в частности, при ширине отверстия в маске 1 мм она равна 2,4 нм (теоретическое значение 2,5 нм). Минимально достижимая ширина спектральной полосы определяется требованиями к ширине общего спектрального диапазона всех точек изображения при одновременном снимке.

Для устранения засветки детектора использованы два светопоглощающих экрана: прямоугольник 5 размером $13,6 \times 10,8$ мм, расположенный вблизи центра объектива 4, и прямоугольник 8 размером $6 \times 18,4$ мм над апертурным отверстием плоского зеркала 10. Потери света на них в среднем по полю не превышают 21%, что эквивалентно фактической апертуре не менее 0,087.

УДК 57.086.8:621.317.321

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ IN VIVO

Гусев О.К.¹, Жарин А.Л.¹, Цедик Л.В.², Тявловский А.К.¹, Свистун А.И.¹, Дубаневич А.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Привлекательность метода контактной разности потенциалов (метода Кельвина) для биохимических исследований определяется возможностью выполнения измерений при нормальных условиях без использования высоких температур, вакуума, воздействия на образец ионизирующим излучением или пучком заряженных частиц, что позволяет производить исследования *in vivo*. Особенный интерес представляет исследование взаимодействия клеток и органических молекул (ДНК, РНК, нуклеотидов, антител и т.д.) с различными субстратами, поскольку такое взаимодействие чаще всего происходит с участием сил Кулона и, таким образом, связано с перераспределением электрического заряда в системе биохимический образец – субстрат. Существующие электрометрические зонды обеспечивают чувствительность к изменению потенциала поверхности на уровне 1 мВ при поперечных размерах зонда до 1 мкм и менее, что позволяет регистрировать и исследовать взаимодействие с субстратом отдельных клеток. В то же время, несмотря на появление в последнее время соответствующих разработок

Моделирование показало, что благодаря близкому к аксиально-симметричному прохождению светового потока внеосевые aberrации в такой схеме существенно меньше, чем в схеме, предложенной в [2]. В совокупности с широким входным отверстием и средней числовой апертурой это позволяет использовать схему в качестве основы для построения монохроматора изображения. Система обладает небольшими габаритными размерами (оценочно не более $350 \times 300 \times 280$ мм) и пригодна для создания мобильных устройств, ориентированных на полевые применения. Технологичная элементная база – сферические зеркальные объективы, плоские зеркала, плоская отражательная дифракционная решетка – делает ее перспективной для массовых недорогих приборных решений мультиспектральной съемки.

1. Borengasser M., Hungate W., Watkins R. *Hyperspectral remote sensing: principles and applications*. – Boca Raton, CRC Press, 2007. – 128 p.
2. Гулис И.М., Купреев А.Г., Костюкевич А.Г. Двойной монохроматор изображения с вычитанием дисперсии // *Вестн. Беларус. дзярж. ун-та. Сер. 1.* – 2011. – №2. – С. 19-23.

[1], практическое применение метода контактной разности потенциалов в биологии сдерживается сложностью интерпретации получаемых результатов. Выходной сигнал зонда Кельвина пропорционален не собственно электрохимическому потенциалу биологического образца, а разности потенциалов образца и электрометрического зонда – так называемая контактная разность потенциалов (КРП). Вследствие этого результаты измерений, выполненных с использованием различных зондов либо при различных условиях, будут различными. Обеспечить сопоставимость результатов измерений можно при реализации сканирования поверхности образцов непосредственно в процессе воздействия биологического препарата на субстрат при неизменных внешних условиях. При этом желательно, чтобы в одном сканировании были проанализированы все состояния субстрата от исходного (без препарата) до конечного с максимальной концентрацией препарата на поверхности субстрата. При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать, что

знак изменения КРП противоположен знаку изменения электрохимического потенциала, т.е. увеличение КРП соответствует уменьшению электрохимического потенциала, и наоборот.

В исследованиях для отображения различных стадий воздействия биологического препарата использовались три одинаковых подложки (субстрата), первая из которых имела чистую поверхность, на вторую был нанесен физиологический раствор без клеточного препарата (начальные условия, нулевая концентрация клеток), на третью – физиологический раствор с живыми базовыми клетками. Измерения выполнялись в режиме двухкоординатного сканирования с заданной разрешающей способностью (для сокращения времени измерений) 1,5 мм. Сканирование производилось построчно (направление движения зонда на восстановленном изображении слева направо, порядок считывания строк снизу вверх).

Результаты сканирования поверхности трех указанных образцов из силикатного стекла, выполненного непосредственно после нанесения на два образца физиологического раствора и биологического препарата, показаны на рисунке 1.

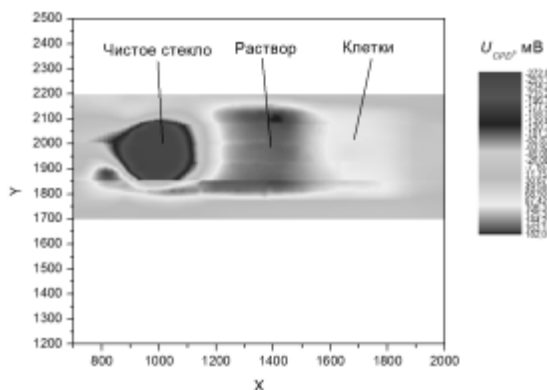


Рисунок 1 – Визуализация изменений электрохимического потенциала поверхности силикатного стекла при воздействии биологического препарата

При сканировании непосредственно после нанесения препарата были получены следующие результаты:

- Среднее значение КРП на свободной поверхности стекла (чистое стекло) $U_1 = -263$ мВ.
- Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором без клеток $U_2 = 160$ мВ.
- Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором с клетками $U_3 = 87$ мВ.

Разности измеренных значений КРП позволяют количественно охарактеризовать изменение электрохимического потенциала, вызванное воздействием на поверхность (в данном случае, нанесением раствора):

- Разность раствор - стекло составляет 423 мВ.

- Разность раствор с клетками – чистый раствор составляет –73 мВ.

При сканировании через 1 ч после нанесения препарата (время, достаточное для высыхания раствора) была получена картина распределения КРП, визуализация которой приведена на рисунке 2. Количественные параметры распределения КРП после высыхания раствора и биологического препарата следующие:

- Среднее значение КРП на свободной поверхности стекла (чистое стекло) $U_1 = -215$ мВ.
- Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором без клеток $U_2 = 112$ мВ.
- Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором с клетками $U_3 = 40$ мВ.
- Разность раствор - стекло составляет 327 мВ.
- Разность раствор с клетками – чистый раствор составляет –72 мВ.

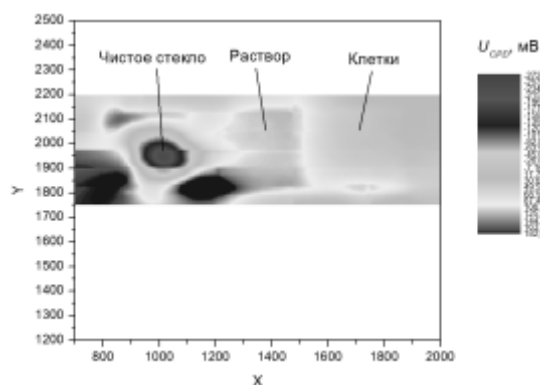


Рисунок 2 – Визуализация изменений электрохимического потенциала поверхности силикатного стекла после высыхания биологического препарата

Для удобства сопоставления визуализированные изображения были приведены к одной условной яркостной шкале. Видно, что для чистого стекла увеличение среднего значения КРП с -263 до -215 мВ обусловлено уменьшением размеров «пятна» с большими отрицательными значениями КРП. Учитывая высокое удельное сопротивление стекла, можно предположить, что исходное «пятно» связано с наведенным (например, в результате трибоэлектризации) зарядом, а его уменьшение отражает процесс постепенного стекания заряда с поверхности стеклянной пластины, расположенной на заземленном проводящем основании. Поверхности, смоченные соевым раствором (без биологического препарата и с биологическим препаратом) имеют более высокую проводимость и потому не способны накапливать электрический заряд. В процессе высыхания испаряется только непроводящий растворитель, тогда как соли остаются на поверхности стекла, вследствие чего при высыхании наблюдается сравнительно небольшое изме-

нение КРП приблизительно на 50 мВ, причем в сторону уменьшения, а не увеличения, как в случае чистого стекла. Обращает на себя внимание практически одинаковое изменение КРП как для поверхности, смоченной раствором без клеток, так и для поверхности, покрытой биологическим препаратом (до высыхания разность средних значений КРП этих двух поверхностей составляет минус 73 мВ, после высыхания минус 72 мВ).

Проведенные исследования позволили выявить некоторые закономерности изменения электрофизических свойств субстрата (силикатного стекла) при воздействии на него биологического препарата. Можно сделать вывод, что присутствие в растворе живых клеток повышает значение биохимического потенциала поверхности, на которую нанесен раствор. Величина повышения может быть определена путем сравнения КРП поверхности, покрытой раствором с биологическим препаратом с КРП поверхности, покрытой чистым раствором. Сравнение с чистой (не покрытой раствором) поверхностью диэлектрика затруднено из-за возможного присутствия на непроводящей поверхности электриче-

ского заряда. Аналогичные исследования с использованием полимерного субстрата на основе полиакрила показали высокую склонность полимера к электризации и накоплению заряда, препятствующую получению достоверных и стабильных результатов с помощью электрометрического зонда. В процессе исследований непосредственный контакт электрометрического зонда с раствором, содержащим биологический препарат, отсутствовал, зонд оставался стерильным, все измерения выполнялись при нормальных условиях. Таким образом, исследования изменений электрохимического потенциала биологических препаратов методом КРП могут выполняться *in vivo*, при этом для субстрата должны использоваться материалы, не склонные к электризации.

1. Scanning Kelvinmicroprobe system and process for biomolecule microassay: United States patent No. US 2004/0029131 A1, Int. Cl. G12Q 1/68. / Michael Thompson, Larisa-Emilia Cheran, Mark McGovern. – Filed: May 18, 2001. – Date of patent: Feb 12, 2004.

УДК 535.24

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ И СВЕТОДИОДОВ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ 250 ДО 900 НМ

Данильчик А.В., Длугунович В.А., Ждановский В.А., Крейдич А.В.,
Липлянин А.А., Луценко Е.В., Никоненко С.В., Ржеуцкий М.В.

*Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

В последнее время существенно расширилась область применения твердотельных источников излучения (ТТИИ), в частности источники излучения в ультрафиолетовой (УФ) области спектра на основе компактных и долговечных лазерных диодов (ЛД) и светоизлучающих диодов (СИД). Качество, и особенно безопасность, изделий созданных на основе ЛД и СИД во многом, определяются точностью измерения их характеристик. К сожалению, в настоящее время на международном уровне еще не разработаны не только убедительные методики измерений оптических характеристик СИД, но даже номенклатура измеряемых параметров и характеристик не нормирована. Те не менее, использование СИД и лазерной техники, особенно работающей в УФ диапазоне, не имеющей подтверждения оптических характеристик метрологическими органами, может привести к отрицательным последствиям как на качестве работ, проводимых с такой техникой, так и представлять угрозу человеческому здоровью.

В Институте физики НАН Беларуси разработан и создан комплекс для измерений спектрора-

диометрических характеристик излучения лазерных диодов и светодиодов в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм (рис. 1, 2). Комплекс предназначен для измерений на основе рекомендаций Международной комиссии по освещению (СIE) [1] силы света, усредненной силы света, пространственного распределения силы света, спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) излучения СИД и СИД изделий, а также создаваемой ими освещенности и спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО). Комплекс также обеспечивает измерения средней мощности, плотности мощности и пространственного распределения плотности мощности излучения ЛД. Следует отметить, что на комплексе также можно испытать другие источники излучения, например лампы.

Исследуемые источники излучения *I* (рис. 1) крепятся к поворотной площадке, диапазон изменения угла поворота которой в вертикальной плоскости составляет 360°. В свою очередь эта площадка закреплена на площадке, позволяющей изменять угол поворота в горизонтальной плос-