

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2024 году

**по проекту «Поиск и развитие методов непрерывной терагерцовой
фаза-контрастной визуализации неоднородностей композитов для развития
дефектоскопии материалов, получаемых аддитивной технологией»,
поддержанному Российским научным фондом**

Соглашение № 23-29-00895

Руководитель: Дорожкин Кирилл Валерьевич

Осуществлен выбор квазиоптической осевой схемы цифрового птихографа для реализации фаза-контрастного метода визуализации композиционных материалов в терагерцовом диапазоне частот. Результаты численного моделирования распределения пространственных компонент амплитуды напряжённости электрического поля за апертурой зондирующей диафрагмы в квазиоптическом тракте ТГц птихографа показало, что электромагнитное поле излучателя вблизи объекта не являются горизонтально поляризованным. Анализ результатов моделирования показал, что характер распределения амплитуды поля в плоскости диафрагмы зависит от её диаметра, а наибольшей интенсивности и наилучшей локализации излучения источника на поверхности объекта удаётся добиться при размещении образца на удалении не более 1 мм от поверхности диафрагмы.

Исходя из критериев (соотношение длины волны источника излучения с расстоянием между детектором и объектом, и область сканирования детектора) установлено оптимальное значение диаметра зондирующей диафрагмы (17 мм для частоты лампы обратной волны 222.1 ГГц и области перемещения объекта относительно диафрагмы 20x20 мм).

Установлено, что для сходимости метода ePIE необходимо обеспечить перекрытие зон сильной освещённости объекта равное не менее 60 %, что задаёт шаг смещения исследуемого объекта при регистрации дифракционных картин. Для перекрытия апертурой 92 % площади объекта выбран шаг его перемещения 2 мм. Высокие значения перекрытия определялось минимизацией количества дифракционных картин.

Установлено, что акустооптическая ячейка Голея, применяемая в спектрометре СТД-21, является точечным детектором, разрешающая способность которого полностью определяется диаметром входного окна (13 мм). Численное моделирование показало, что характерный размер элементов дифракционной картины имеют размеры не менее 7 мм. Для того, чтобы передать закон изменения зарегистрированного изображения были изготовлены элементы сужения входного отверстия ячейки Голея до диаметра 3 мм.

Разработанный алгоритм управления цифровым ТГц птихографом позволил реализовать перемещение объекта относительно зондирующей диафрагмы по заданной траектории путем последовательного управления двумя позиционерами и

осуществлять сканирование дифракционной картины путем трансляции детектора с фиксированным шагом.

Разработанный алгоритм с применением метода фильтрации шумов позволил проводить апостериорную компьютерную обработку ТГц птихографических изображений. Реализация итеративного алгоритма ePIE (extended Ptychography Iterative Engine) в среде программирования MatLab позволило осуществлять восстановление ТГц цифровых изображений. Результаты контрольного измерения распределения опорного электромагнитного излучения, фиксируемого в тракте психрографа в отсутствие объекта с целью подстройки, показали достаточность мощности излучения лампы обратной волны для регистрации диафрагмируемого на объекте излучения. Все наблюдаемые порядки дифракции поместились в область 20x20 см. В результате экспериментальной регистрации дифракционных картин от фазоконтрастных объектов в терагерцовом диапазоне частот методом цифровой птихографии получены двумерные распределения интенсивности прошедшего электромагнитного излучения для различных положений фазо-контрастного объекта с пространственным разрешением 500 мкм.

Анализ полученных экспериментальных результатов и сопоставление с численным моделированием показали, что размер главного порядка дифракции в натурном эксперименте совпал с полученными значениями при численном расчёте, однако распределение излучения в нём имеет явную периодичность вдоль горизонтальной оси картины и слабую вдоль вертикальной, что не наблюдалось при численном моделировании. Кроме того, было выявлено, что на экспериментально зафиксированных дифракционных картинах перемещение объекта повышает количество регистрируемых порядков дифракции в большей степени, чем это проявлялось на модельных данных. Полученные дифракционные картины были обработаны при помощи программы восстановления объектных изображений.

Таким образом, в ходе выполнения второго этапа проекта коллектив исполнителей освоил новое для него направление неразрушающего контроля, основанное на принципе цифровой ТГц птихографии. По результатам второго года выполнения проекта представлены научные доклады на 2х конференциях: 34-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (г. Севастополь, Республика Крым, Россия); XX международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы»: (п. Эльбрус, Россия); опубликованы 4 статьи (3 в журналах, входящих в БД «Scopus», 1 в РИНЦ).