

Сведения о выполненных работах и  
полученных научных результатах в 2023 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

Определен тип лампы обратной волны (О-тип), рабочий частотный диапазон (150-250 ГГц) на основании сопоставления размеров неоднородностей в объектах аддитивного производства. На основании данных об измерение временной стабильности лампы обратной волны установлено, что стандартное отклонение от среднего по амплитуде 0,1 мВ при среднем значении 1,57 В, что достаточно для применения лампы обратной волны в квазиоптической схеме регистрации голограмм в растровом режиме путем механического перемещения одноточечного детектора (ячейки Голея), определено оптимальное время сканирования.

Проведён расчёт параметров и изготовлены методом фотополимерной 3D печати коллимирующие диэлектрические линзы для квазиоптического тракта системы цифровой ТГц голографии, обеспечивающие необходимые параметры (равномерное распределение амплитуды излучения в апертуре ТГц пучка).

Собрана квазиоптическая система регистрации цифровых голограмм в терагерцовом диапазоне и проведена юстировка оптических элементов. Проведена экспериментальная оценка расхождения квазиоптического пучка опорной волны от расстояния между коллимирующей линзой и плоскостью расположения исследуемого объекта.

Разработана технология создания фаза-контрастных тестовых элементов с межслоевым расположением фигур и элементов, изготовленных методом 3D печати с использованием электропроводящего полимера. Для получения неоднородных включений с разной локализацией и геометрией применялось аддитивное производство, основанное на методе послойного наплавления композиционных полимеров. В качестве контрастного полимера (с высокими диэлектрическими потерями) использовался промышленный композиционный филамент стандартного диаметра 1,75 мм на основе акрилонитрилбутадиенстирола и углеродосодержащих нановолокон.

Методом сканирующей электронной микроскопии проведена оценка размеров включений углеродных волокон в филаменте, используемого в качестве сильнопоглощающего материала при создании фаза-контрастных тестовых объектов методом двухкомпонентной 3D-печати. Установлено, что размеры углеродных включений в электропроводящем филаменте для FDM 3D печати не превышают 5 мкм.

Анализ результатов регистрации цифровых голограмм фаза-контрастного образца с двумя электропроводящими полосами в разных плоскостях на частоте источника 200 ГГц показал возможность получения отдельных изображений неоднородностей исследуемого объекта, расположенных вблизи лицевой и тыльной поверхностей объекта. На восстановленном распределении можно отчётливо различить область залегания дефекта в объекте, определить её размеры и координаты. Изображение ближней к детектору линии оказалось более расплывчатым и имеет меньший контраст по сравнению с дальней. Данный факт объясняется неравномерным распределением интенсивности в фронте опорной волны и большими размерами объекта в сравнении с шириной падающего на объект квазиоптического пучка.

При помощи метода углового спектра удалось с ошибкой в 3 мм определить положение первой композиционной неоднородности в образце и координату на области сканирования. На расстоянии 8 мм был обнаружен второй объект в виде протяжённой тёмной линии, что соответствует ожидаемому. При этом поперечный зазор между полосками был оценён с ошибкой 1,5 мм. Стоит отметить, что на каждом из представленных двумерных распределениях амплитуды видно пост-изображение объекта, находящегося вне фокуса. Наблюдаемый менее контрастный объект имел размытые границы и искажённую геометрию. На основании полученных данных были предложены пути повышения точности разработанного метода цифровой терагерцовой голографии.

Таким образом, в ходе выполнения проекта коллектив исполнителей освоил новое для него направление неразрушающего контроля, основанное на принципе цифровой субмиллиметровой голографии.

По результатам первого года выполнения проекта представлены научные доклады на 2х конференциях: 33-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (г. Севастополь, Республика Крым, Россия), международной научно-технической молодежной конференции «Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения» (г. Томск, Россия); опубликованы 2 статьи: в журнале «Russian Physics Journal», входящем в БД «Scopus» (Q3) и в журнале «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», входящем в РИНЦ.

Полученные результаты были применены при написании диссертации исполнителя проекта на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, которая была успешно защищена в ноябре 2023 года.