

Сведения о выполненных работах в 2021 году  
по проекту **«Разработка альтернативной технологии создания перспективных  
компонентов терагерцовой электроники на основе магнитных жидкостей»**,  
поддержанному Российским научным фондом  
Соглашение № 18-19-00268

Руководитель Черепанов Виктор Николаевич, д-р физ.-мат. наук

Исследованы спектры пропускания (0.2-1.4 ТГц) фильтров, на базе порошков сплава 5БДСР различного размера и масла 80W-90, в зависимости от массовой концентрации магнитных частиц 5БДСР. Установлено, что эффективность жидкостных фильтров зависит от количества магнитных частиц в единице объёма, а также имеет нелинейную зависимость по частоте. Установлено, что оптимальной концентрацией частиц для получения затемнения во всем спектральном диапазоне можно считать концентрацию порядка 2 масс. %, а коэффициент затухания порядка 1 к 15, дальнейшее увеличение концентрации частиц приводит к значительному снижению начального пропускания фильтра ТГц излучения. При использовании фильтров с концентрацией частиц <1 % эффективного затемнения не происходит. Использование частиц более крупной фракции позволяет сдвинуть максимум затемнения в область 0,7-0,8 ТГц.

Добавлением нематических жидких кристаллов в активную среду ТГц фильтра были получены композитные растворы с различными концентрациями. При исследовании композитных растворов в ТГц области спектра было обнаружено, что при высокой концентрации жидких кристаллов, начальное пропускание фильтра критически снижается. В то же время при снижении концентрации, при воздействии внешнего магнитного поля, какого-либо значительного влияния на работу фильтра обнаружено не было. Следующим этапом исследования композитных растворов является исследование влияния электрического поля в ТГц диапазоне.

Для определения параметров метаматериалов в широком спектральном диапазоне был собран лабораторный экспериментальный ТГц спектрометр с временным разрешением, расширяющий возможности измерения по сравнению с коммерчески доступными образцами (например, спектрометр T-Spec 1000 (Expla, Литва)). Использование ТГц оптики большего диаметра (2 дюйма, против 1 дюйма у стандартного коммерческого) позволило получить лучший сигнал в области низких частот (<0,2 ТГц), использование мощного твердотельного лазера в экспериментальной установке для возбуждения ТГц излучения в многополосовой антенне позволяют получать хорошо разрешаемые по пикам водяного пара спектры до частоты 2,4 ТГц (против ~1,6 ТГц в коммерческом спектрометре). Использование вакуумной камеры или нагнетание азота в камеру с прибором может позволить записывать спектры с высоким соотношением сигнала к шуму до частот порядка 3 ТГц.

По результатам проведенных исследований на прошлом этапе проекта (2018-2020) по изучению затвора ТГц излучения, был разработан портативный жидкореологический аттенюатор/затвор. Разработанный портативный жидкореологический аттенюатор/затвор, включает отсек для кюветы с магнитной

жидкостью, катушки Гельмгольца с максимальной индукцией магнитного поля 25 мТл, при токе 800 мА.

Использование в качестве среды магнитных фильтров смеси циклогексана с полистиролом (ПС) позволило увеличить начальное пропускание таких фильтров по сравнению с представленными ранее масляными. Были измерены значения динамической вязкости, и пропускания в ТГц области, для некоторых из растворов с содержанием полистирола от 3 до 30 масс. %. Динамическая вязкость растворов изменялась от 1,66 до 24,8 мПа·с. Пропускание растворов на длине волны 0,8 ТГц оставалось высоким – 65 % пропускания в 1 см кювете, для 5 % концентрации ПС, и ~60 % для 30 % концентрации.

В результате проведенных работ была разработана схема управления ТГц фильтром с возможностью смены режимов работы и автоматическим восстановлением раствора методом механического перемешивания. Цифровая схема управления позволяет плавно регулировать степень затемнения фильтра и значительно повышает повторяемость результатов эксперимента за счет поддержания активного раствора в рабочем состоянии.

Значения пропускания фильтра с неориентированными частицами, при перемешивании, в зависимости от времени начала регистрации спектра, достаточно сильно изменяются: разброс составляет ~20 %. Разброс в пропускании фильтра во включенном состоянии, когда магнитном поле поддерживается постоянным, значительно меньше и не превышает 5 %. Причём разброс характеристик пропускания ниже в закрытом состоянии фильтра, когда магнитное поле максимально. Стоит отметить, что величина пропускания фильтра в изначальном состоянии (неориентированные частицы) и в открытом состоянии (частицы ориентированы ортогонально вектору поляризации поля) очень близка. При этом, в открытом состоянии воспроизводимость результатов значительно возрастает, относительно неориентированных частиц. Такое поведение объясняется большей упорядоченностью частиц в пространстве при наличии магнитного поля.

Были исследованы фильтры на основе частиц 5БДСР с различным распределением по фракциям. Использование растворов с частицами разных фракций на практике практически не повлияло на эффективность изготовленных фильтров. При одинаковой концентрации магнитных частиц фильтры показали схожую эффективность работы. Частицы, полученные седиментацией, с большей фракцией, показывают несколько большее начальное пропускание. Однако, учитывая, что внешнее магнитное поле, создаваемое катушками, было одинаковым для всех фракций, можно отметить схожую эффективность работы фильтров в закрытом состоянии.

В проекте предложен и разработан новый эффективный метод на основе закона Ампера-Максвелла для расчета полной силы магнитно-индуцированного тока в молекулах и определения их типа ароматичности. Метод позволяет существенно увеличить скорость расчета токов в больших циклических органических молекулах. Показана малая погрешность рассчитываемых значений полных сил токов ~0.0087 нА/Т. Установлена связь между плотностью магнитно-индуцированных токов, полным магнитно-индуцированным током и тензором ядерно-независимых химических сдвигов.