

17 - Радиофизика. Электроника

Алибай Темирулан Талгатулы, аспирант
Нур-Султан, Евразийский национальный университет им. Гумлева, Башкирский государственный университет,
Физико-технический институт

Сканирующая туннельная микроскопия гомонуклеотидов

Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.

e-mail: temirulanlibay@gmail.com стр. 143

Ахметов Рамиль Ранисович, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Исследование зависимости времени прогрева раствора ДНК на качество получаемых АСМ-изображений

Шарипов Талгат Ишмухаметовича, к.ф.-м.н.

e-mail: ramil.akhmetov@mail.ru стр. 144

Бармин Никита Михайлович, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Изучение систем и моделирование абонентской станции спутниковой связи Ku диапазона

Кобрин Константин Васильевич, к.ф.-м.н.

e-mail: niki.barmin@yandex.ru стр. 145

Гаптрахманова Виктория Андреевна, магистрант 2 года обучения

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Полосно-пропускающий волноводный фильтр: способ реализации фильтра на тонких резонансных окнах со сложной апертурой

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

e-mail: gaptr@yandex.ru стр. 147

Исхакова Виктория Шамилевна, 3 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Изучение поверхности пиролитического графита с использованием сканирующего туннельного микроскопа

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

e-mail: yikaishakova235@yandex.ru стр. 148

Кузьмин Георгий Вадимович, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, Физико-технический институт

Разработка устройства сбора и передачи данных с датчиков температуры и влажности на ЖК дисплей

Шарипов Талгат Ишмухаметович, к.ф.-м.н.

e-mail: georgkuz2000@mail.ru стр. 149

Лазарева Анна Эдуардовна, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Результаты исследования вариаций критических частот по данным вертикального зондирования

Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.

e-mail: anna.anla.lazareva@mail.ru стр. 151

Михайлов Максим Александрович, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающего фильтра выполненного по SIW-технологии

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

e-mail: mikhailov.maksim.r@mail.ru стр. 152

Некрасова Татьяна Вячеславовна, 4 курс

Уфа, Башкирский государственный университет, радиофизики

Исследование зависимости размеров кластеров асфальтенов от концентрации асфальтенового раствора

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

e-mail: drakon2000bel@gmail.com стр. 154

Нестеров Вадим Юрьевич, аспирант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Волноводный частотный разветвитель на основе отбора отражённой волны
Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: Vadnesterov@sfedu.ru стр. 155

Панова Анастасия Владимировна, 3 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Радиоизлучение пьезокерамики ЦТСЛ
Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.
e-mail: nastya.shaprinskaya@mail.ru стр. 156

Сдобнова Варвара Павловна, 4 курс
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Электродинамический анализ и синтез метаволноводного полосно-пропускающего фильтра
Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.
e-mail: sdobnova@sfedu.ru стр. 158

Сканирующая туннельная микроскопия гомонуклеотидов

²Алибай Темирулан Талгатулы

¹Шарипов Талгат Ишмухамедович

¹Кудояров Данил Шамилевич

¹Муллагалиев Ильнур Наилевич

²Нурахметов Турлыбек Нурахметови

¹Бахтизин Рауф Загидович

¹Башкирский государственный университет

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н.

temirulanalibay@gmail.com

В настоящее время в мире активно развивается область микро- и наноэлектроники. Активно исследуется применение дезоксирибонуклеиновых (ДНК) нанопроводов в микроэлектронике. До сих пор не ясно, какие электрические свойства присущи молекулам ДНК. Перенос заряда вдоль молекул ДНК привлекает внимание исследователей вот уже более пятидесяти лет.

Нами методами сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) были исследованы три разновидности синтезированных ДНК-последовательностей, называемых гомонуклеотидами, каждый из которых состоял из двенадцати нуклеотидов только одного вида: из тимина (dT_{12}), из цитозина (dC_{12}) и из аденина (dA_{12}). Эти гомонуклеотиды были синтезированы в Институте биохимии и генетики УФИЦ РАН.

Гомонуклеотиды наносились на подложку в виде капли раствора. В качестве подложек применяли серебро, термически напыленное в вакууме на поверхность слюды на вакуумной установке ВУП-5. СТМ исследования проводили в атмосфере воздуха при комнатной температуре на приборе Solver P47 (производство ОАО «НТ-МДТ Спектр Инструментс, г. Зеленоград, Россия) в режиме постоянного туннельного тока. Для сканирования использовался вольфрамовый зонд, острие которого получено методом травления в растворе NaOH. На рисунке 1 показано изображение острия зонда, полученное оптическим микроскопом. Сначала с помощью СТМ исследовали поверхность напыленного серебра и получили СТМ-изображение (рисунок 2). Затем в режиме сканирующей туннельной спектроскопии была получена вольтамперная характеристика (ВАХ) серебряной пленки (рисунок 3).

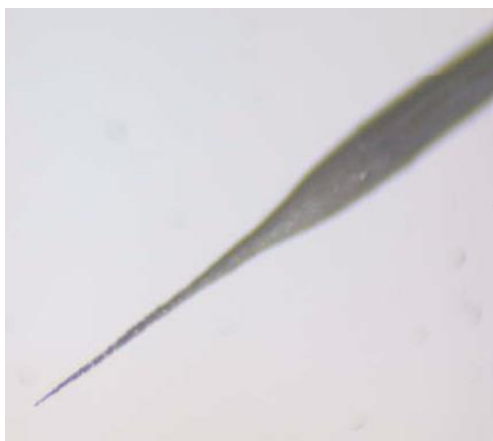


рис.1. Изображение острия вольфрамового зонда, полученное оптическим микроскопом.

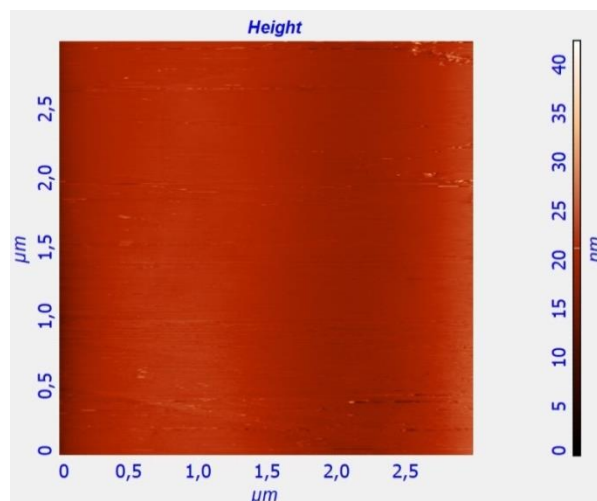


рис.2. СТМ-изображение поверхности серебра, напыленного на слюдяную подложку.

На поверхности серебра наносили капли растворов гомонуклеотидов dA_{12} , dC_{12} и dT_{12} , сушили на воздухе и приступали к сканирующей туннельной спектроскопии. На рисунке 4 показана кривая ВАХ гомонуклеотидов dA_{12} . Из кривой видно, что в целом проводимость гомонуклеотида по сравнению с проводимостью серебряной пленки значительно ниже. На следующем рисунке представлена ВАХ гомонуклеотидов dC_{12} (рисунок 5). По сравнению с ВАХ dA_{12} характер кривой тока существенно изменился. Наблюдается плато с силой тока близкой к нулю мА в диапазоне напряжений от $-0,9$ В до $+1,3$ В.

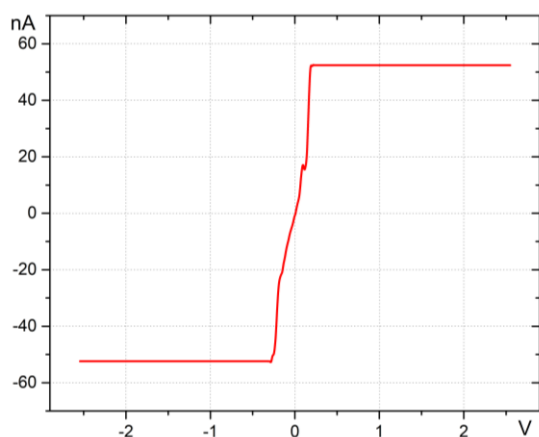


рис.3. ВАХ серебряной пленки

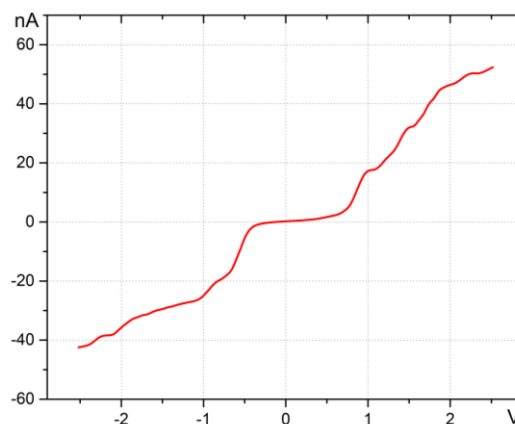


рис.4. ВАХ гомонуклеотидов dA12

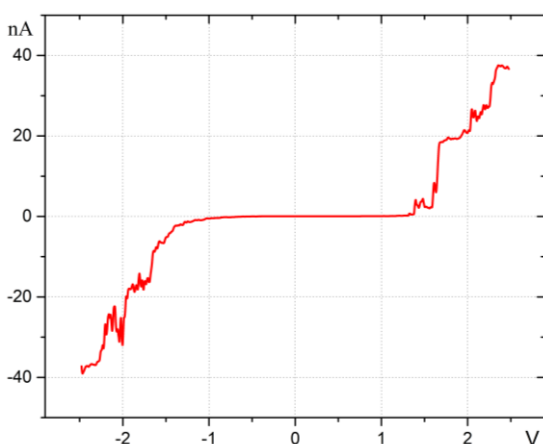


рис.5. ВАХ гомонуклеотидов dC12

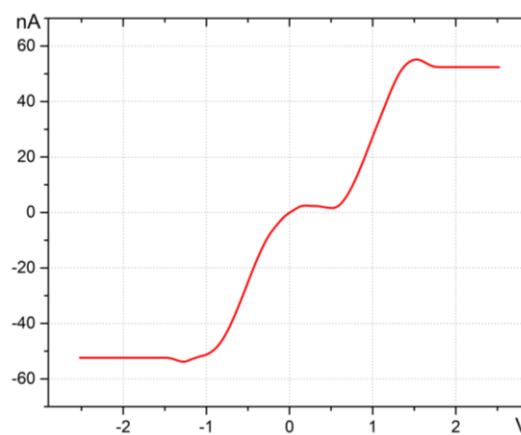


рис.6. ВАХ гомонуклеотидов dT12

На рисунке 6 представлена ВАХ гомонуклеотидов dT₁₂. Общий характер кривой ВАХ для dT₁₂ показывает сходство с ВАХ для dA₁₂. Однако, проводимость гомонуклеотидов dT₁₂ видимо выше, чем у dA₁₂, поскольку наблюдается ненулевая сила тока уже при обратных напряжениях чуть больше нуля вольт, а также кривая имеет более крутой характер как в области обратных, так и прямых напряжений. Заметим, что микроскоп позволяет измерять ток в диапазоне от 50 мА до -50 мА. В связи с этим, не стоит рассматривать плато, которое наблюдается (рисунок 6) при значениях силы тока 50 мА и -50 мА, как насыщение тока.

Полученные ВАХ по всем трем видам гомонуклеотидов пока имеют низкую воспроизводимость и не дают нам возможность с уверенностью делать какие-либо выводы.

Исследование зависимости времени прогрева раствора ДНК на качество получаемых АСМ-изображений

Ахметов Рамиль Ранисович

Шарипов Талгат Ишмухаметович

Башкирский государственный университет

Шарипов Талгат Ишмухаметович, к.ф.-м.н.

ramil.akhmetov@mail.ru

В настоящее время атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одним из основных методов исследований в нанопизике. Она позволяет выполнять экспериментальные исследования на наномасштабном уровне. АСМ позволяет исследовать топографию различных объектов, в том числе наноструктур [1, 2], а также изучать их свойства [3]. Объектами могут служить как твердотельные материалы, так и биологические объекты различной природы, а именно от биополимерных молекул до клеток, вирусов и бактерий.

Одним из важнейших и, возможно, наиболее часто исследуемых биомолекул являются молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Молекулы ДНК являются одним из перспективных материалов для

нанoeлектроники, поскольку могут играть роль нанопроводов благодаря своим уникальным размерам: при диаметре всего 2 нм их длина может достигать несколько единиц микрон. Для изучения физических свойств молекулы ДНК, а именно электропроводности, необходимо научиться осаждать отдельные молекулы на поверхность гладкой подложки в единичном состоянии с тем, чтобы была возможность беспрепятственно подвести электрические контакты к концам исследуемой молекулы и пропустить через нее электрический ток. Поэтому перед нами ставилась первоначальная задача - получить качественное изображение молекул ДНК, осажденных на подложку из слюды.

В работе исследовалось два образца, отличающихся способом приготовления. Образец №1 был приготовлен следующим образом. Мы взяли раствор ДНК с концентрацией $23,7 \cdot 10^{-5}$ М и разбавили его бидистиллированной водой milli-Q до получения концентрации $23,7 \cdot 10^{-7}$ М. После этого эппендорф с раствором встряхивали для перемешивания и прогревали в течение 45 сек при температуре 80 °С с целью деглобулизации. Затем 12 мкл полученного раствора наносили на свежий скол слюды. И сушили в атмосфере воздуха в течение 90 мин. После чего исследовали на атомно-силовом микроскопе NtegraPrima в полуконтактном режиме с кантилевером жесткостью 11,5 Н/м.

Образец №2: эппендорф с раствором ДНК в той же концентрации, что и образец №1, прогревали теперь в течение 90 сек. Затем 12 мкл полученного раствора наносили на свежий скол слюды, сушили в атмосфере воздуха в течение 120 мин. После чего исследовали на атомно-силовом микроскопе при тех же условиях.

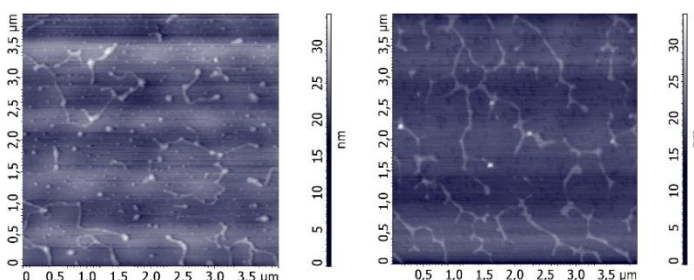


рис. 1. АСМ-изображение образца №1 (а) и образца №2 (б).

На полученных АСМ-изображениях отчетливо визуализируются как глобулы, так и отдельные «ниточки» молекул ДНК. Поверхностная плотность глобул на АСМ-изображении образца №2 (рис. 1б) значительно меньше, чем на АСМ-изображении образца №1 (рис. 1а). На АСМ-изображении образца №2 форма молекул имеет резкие изломы (вместо изгибов «нитей» образца №1) и прямолинейные участки. Объяснения этому пока найти не удалось.

Список публикаций:

- [1] T I Sharipov, S. Santer, A. Kopyshv, I T Amangulova, R Z Bakhtizin. Scanning probe microscopy/spectroscopy of oligonucleotides with a homonucleotide sequence. // Fifth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, Vladivostok, Russia, July 30 – August 03, 2020: Proceedings. – Vladivostok : Dalnauka Publishing, 2020. – p.46.
- [2] Шарипов Т.И., Гарафутдинов Р.Р., Бахтизин Р.З. Исследование одноцепочечных ДНК с повторяющейся нуклеотидной последовательностью методами сканирующей зондовой микроскопии. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Том 84. № 5. С. 675-678. DOI: 10.31857/S0367676520050336.
- [3] D. Porath, A. Bezryadin, S. de Vries and C. Dekker, Direct measurement of electrical transport through DNA molecules, Nature 403 (2000) 635-638

Изучение систем и моделирование абонентской станции спутниковой связи

К_ц диапазона

Бармин Никита Михайлович

Южный федеральный университет

Кобрин Константин Васильевич, к.ф.-м.н.

niki.barmin@yandex.ru

Основным способом реализации глобальной и региональных сетей связи стало применение спутниковых систем связи (ССС). СССР имеют определенное преимущество при обеспечении универсального широкополосного доступа в Интернет, а также при теле- и радиовещании в малонаселенных районах. Системы на основе низкоорбитальных и геостационарных спутников обеспечивают альтернативное средство подвижной связи для абонентов из любой точки Земли.

Целью данной работы было изучить основы спутниковой связи и разработать модель абонентской станции спутниковой связи (АССС) на базе программы для 3D моделирования «Компас-3D».

В соответствии с [1], в спутниковом телевидении используется K_u диапазон - диапазон сантиметровых длин волн, простирающийся от 10,7 до 18 ГГц. Поэтому необходимо выбрать из большого выбора производителей соответствующую аппаратуру, предназначенную для модуляции и демодуляции сигнала в этом диапазоне.

В состав абонентской станции входят компоненты: 1) VSAT – терминал спутниковой связи с антенной небольшого размера, менее 2500 мм. 2) Приёмопередающее оборудование, состоящий из полупроводниковый усилитель-передатчик (BUC) и малошумящий усилитель-конвертер (LNB), а также облучатель и полосовой фильтр. 3) Спутниковый модем. 4) Персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ).

Все эти компоненты были смоделированы в системе автоматизированного проектирования работ «Компас-3D», советско-российской разработки.

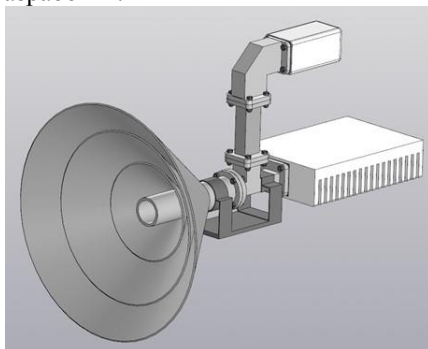


рис 1. Приём-передающее устройство

На рисунке 2 представлен расчет параболического зеркала VSAT со следующими параметрами: диаметр параболы 1800 мм, глубина 200 мм, угол раскрыва 95,85°, фокусное расстояние 1012,5 мм.

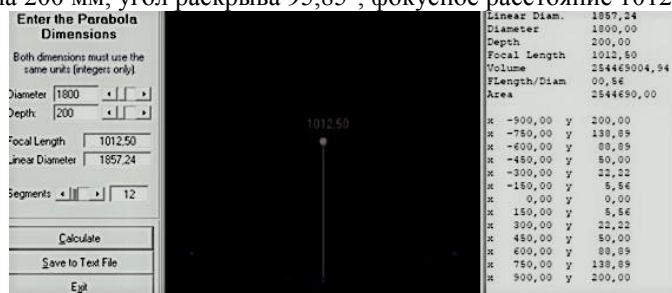


рис.2. Расчет параболического зеркала

Итогом данной работы стало комплексное моделирование и сбор компонентов в единую сборку (рис.3.).

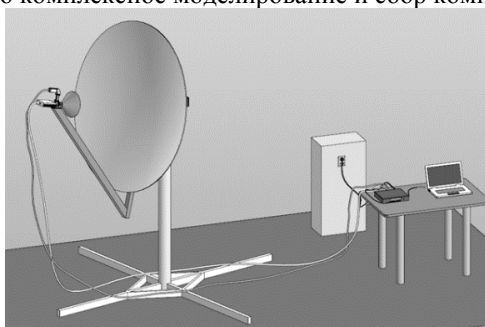


рис.3. Модель станции спутниковой связи

Основой станции является спутниковый модем, модулирующий и демодулирующий радиосигнал, а также преобразующий его в данные компьютерной сети Ethernet. Параболическая антенна фокусирует радиосигналы от спутника на рупор антенно-волноводного тракта. LNB преобразует полученный радиосигнал из K_u -диапазона в L-диапазон и передает по кабелю в модем. Из модема сигнал передается по кабелю в BUC, в котором преобразуется из L-диапазона в K_u -диапазон, передается по волноводному тракту в рупор и отражаясь от поверхности антенны на спутник связи. Для управления приема и передачи данных используется ПЭВМ (ноутбук), также смоделированный в программе 3D-моделирования.

В результате проделанной работы был:

1. Осуществлен расчёт параболического зеркала с помощью программы.
2. Были разработаны 3D-модели составных частей в программе «Компас-3D».
3. Собрана 3D-модель АССС.

Список публикаций:

- [1] Сомов А. М. // *Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов.* – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 244 с.: ил
- [2] Усатенко С. Т., Каченюк Т. К., Терехова М. В. // *Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник* – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.:ил.
- [3] К. Ротхаммель // *Антенны. Том 1.: Пособие* – М.: «Алоиз Кришке», 2005–412 с.:ил.

Полосно-пропускающий волноводный фильтр: способ реализации фильтра на тонких резонансных окнах со сложной апертурой

Гаптраханова Виктория Андреевна

Черных Каролина Олеговна

Южный федеральный университет

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

gaptr@yandex.ru

Волноводные фильтры находят широкое применение в современных системах локации, навигации и различных видах связи. Преимуществом такая реализация фильтров являются малые потери при достаточно большой передаваемой мощности.

Для решения проблемы излишней габаритности волноводных фильтров используется переход от классических объемных резонаторов к плоско-поперечным резонаторам. Представленные в работе резонансные окна, позволяют создать компактный и лёгкий фильтр, с несколькими полюсами затухания. Данная реализация позволяет обойтись без каких-либо дополнительных структур[1].

Для построения волноводного фильтра взята сложная структура резонансных диафрагм, в основе которой лежит прямоугольное окно в металлическом экране. Такие окна можно получить путем построения колебательного контура [2]. Резонансные диафрагмы выполнены путем нанесения металлизации на диэлектрическую подложку размером 35x15 мм. Однако, такая реализация вносит дополнительные потери в полосу пропускания от каждой фильтрующей диафрагмы. [3,4].

На рис.1. представлена апертура тонкой металлической резонансной диафрагмы для волновода WR137.

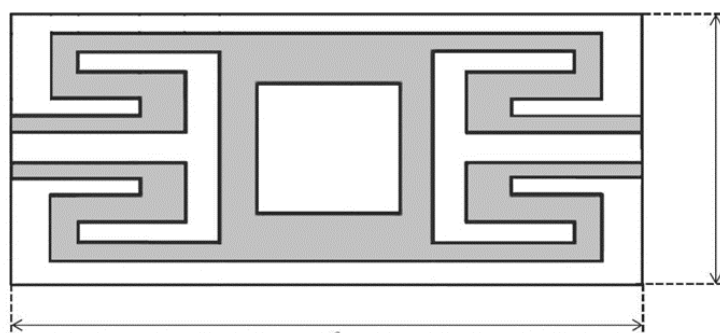


рис.1. Топология резонансной диафрагмы.

Был проведен электродинамический анализ одиночной резонансной диафрагмы и выявлены зависимости параметров диафрагмы от частоты. Резонансные диафрагмы связаны друг с другом четвертьволновыми участками, так что волноводы между резонансными окнами работают как идеальный инвертор [5-9].

Анализ одиночных резонансных диафрагм позволяет спроектировать волноводный фильтр. На рис. 2. приведены результаты моделирования (АЧХ) фильтра третьего порядка в диапазоне частот 5-8 ГГц, на центральной частоте $f=6.6$ ГГц.

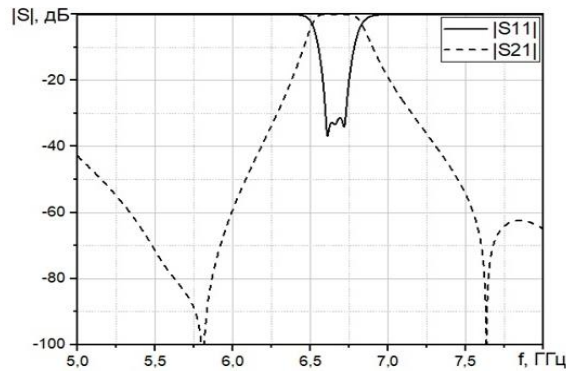


рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика волноводного фильтра третьего порядка.

В данной работе был проведен электродинамический анализ волноводного фильтра, построенного на основе трех металлических резонансных диафрагм, которые имеют резонансную характеристику с двумя полюсами затухания по обе стороны полосы пропускания. Существует возможность дальнейшего развития исследования путем усложнения формы резонансной диафрагмы и увеличения их количества.

Список публикаций:

- [1] *Proceedings of the 36th European Microwave Conference: Masataka Ohira, Hiroyuki Deguchi, and Mikio Tsuji «A Novel Resonant Window Having Dual-Behavior Resonance for Pseudo-Elliptic Waveguide Filter».* 2020.
- [2] Лебедев И. В. *Техника и приборы СВЧ т.1. Изд. Высшая школа, 1970.-440с.*
- [3] M. Ohira, H. Deguchi, M. Tsuji, and H. Shigesawa, "Novel waveguide filters with multiple attenuation poles using dual-behavior resonance of frequency-selective surfaces," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 11, pp. 3320–3326, Nov. 2005.
- [4] M. Ohira, H. Deguchi, M. Tsuji, and H. Shigesawa, "Circuit synthesis for compact waveguide filters with closely-spaced frequency selective surfaces," *10th Int. Symp. on Microwave and Optical Tech., Fukuoka, Japan, Aug. 2005, pp.811–814.*
- [5] C. Quendo, E. Rius, and C. Person, "Narrow bandpass filters using dual-behavior resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 51, no. 3, pp. 734–743, Mar. 2003.
- [6] C. Quendo, E. Rius, and C. Person, "Narrow bandpass filters using dualbehavior resonators based on stepped-impedance stubs and differentlength stubs," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 52, no. 3, pp. 1034–1044, Mar. 2004.
- [7] Заргано Г.Ф., Земляков В. В., Крутиев С. В., Клеценков А. Б. *Волноводный квазиэллиптический фильтр на сложных резонансных диафрагмах // Физические основы приборостроения. 2019. Т. 8, № 1. С. 47–54.*
- [8] Земляков В.В., Заргано Г.Ф., Крутиев С.В., Тяглов М.Ю. *Электродинамический анализ и синтез эллиптического фильтра на сложных резонансных диафрагмах в прямоугольном волноводе // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2018. Т. 61, № 12. С. 1130–1139.*
- [9] Krutiev, S.V., Zemlyakov, V.V., Lonkina, D.V. *Electrodynamics analysis of a band-pass waveguide filter on thin metal complex resonant diaphragms // 2020 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2020, 24 September 2020, Pages 190-193*

Изучение поверхности пиролитического графита с использованием сканирующего туннельного микроскопа

Исхакова Виктория Шамилевна
Шаринов Талгат Ишмухамедович
Башкирский государственный университет
 Шаринов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.
vikaishakova235@yandex.ru

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) всё чаще привлекает внимание ученых. Ведь появление СЗМ открыло новые возможности для исследования объектов в самых различных областях науки [1].

Высоко ориентированный пиролитический графит (ВОПГ) был выбран объектом нашего исследования, поскольку является одним из немногих образцов, изображение поверхности которого в нанометровом масштабе можно достаточно легко получить даже начинающим ученым в области зондовой микроскопии. А также работать с ВОПГ полезно для получения навыков работы на СЗМ.

В данной работе одним из методов СЗМ, а именно, сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), была исследована поверхность ВОПГ. Принцип работы СТМ основан на явлении туннелирования электронов через

узкий потенциальный барьер между металлическим зондом и проводящим образцом во внешнем электрическом поле.

На поверхности графита часто наблюдаются полосы с высотой 1 – 2 Å и шириной до 100 нм, которые соответствуют рядам частичных дислокаций с вектором Бюргера, лежащим в плоскости графитовых слоев. Полная дислокация в графите расщепляется на две частичных, между которыми образуется дефект упаковки. При сканировании игла может оказывать значительное давление на поверхность, особенно, если процесс сканирования происходит при большом токе (> 1 нА) и маленьком напряжении (< 40 мВ). Под силовым воздействием иглы дислокационные полосы могут перемещаться вдоль поверхности графита [2].

После проведения СТМ-исследований мы получили СТМ-изображения топографии поверхности высоко ориентированного пиролитического графита. На них хорошо идентифицируются специфичные для данного материала поверхностные особенности: ступени и террасы (рис.1). Ступени образуются на поверхности исследуемого образца графита в результате его скола. На поверхности графита наблюдаются многочисленные ступени, высота которых несколько единиц или десятков атомных слоев графита.

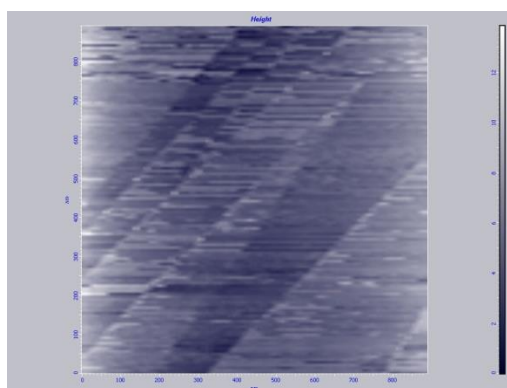


рис. 1. СТМ-изображение фрагмента поверхности ВОПГ.

В результате выполненной работы были получены необходимые навыки работы на микроскопе SolverP47 и изучена топография поверхности ВОПГ. Измерены некоторые геометрические параметры ступеней и террас.

Список публикаций:

[1] Т. Шарипов, А. Копышев, С. Лёбнер, Й. Йелкен, М. Соколовский, П. Арья, Р. Бахтизин, С. Сантер. Влияние условий приготовления образца на структурирование длинных молекул // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании : тезисы докладов XI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 11-14 ноября 2020 г.)* - Уфа: НИЦ «АЭРЕРНА», 2020. - с. 105-106.

[2] В. Синецына, Г.Б. Мешков, О.И. Киселева, И.В. Яминский. *Визуализация атомной решетки графита.*

Разработка устройства сбора и передачи данных с датчиков температуры и влажности на ЖК дисплей

Кузьмин Георгий Вадимович

Шарипов Талгат Иимухаметович

Башкирский государственный университет

Шарипов Талгат Иимухаметович, к.ф.-м.н.

georgkuz2000@mail.ru

Разрабатывая данное устройство, собирающее и передающее данные, получаем простую схему, называющуюся метеостанция. Больше всего эта система подходит под домашнюю метеостанцию.

Домашняя метеостанция — это современный измерительный прибор, который следит за изменением микроклимата в помещении и погодой за окном. Устройство состоит из двух отдельных блоков, синхронизированных друг с другом. Основной блок — сама плата и дисплей. На экране отображается информация о температуре и влажности воздуха. Основной блок всегда устанавливают внутри помещения. Второй блок — внешний датчик. Его следует устанавливать снаружи, так как он отвечает за сбор данных.

Для вывода температуры на LCD дисплей с датчика DHT11, мы использовали плату Arduino UNO. И собрали схему, которая показана ниже (рис.1).

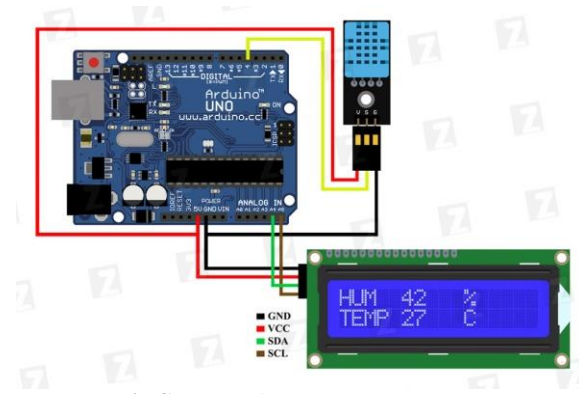


рис.1. Схема подключения устройства

После сборки схемы, загрузили в микроконтроллер скетч.

Скетч - это программа, написанная для платформы Arduino и имеющая определенную структуру (рис.2). Скетч обязательно содержит 2 функции: функцию **setup** и функцию **loop**.

Прошивка Arduino при включении вызывает функцию setup. Функция setup вызывается лишь раз, при каждом запуске платы. Это место идеально подходит для инициализации (задания начальных значений) переменных, установки режимов пинов (ввод/вывод), задания соответствия подключенных датчиков/сервоприводов/прочего с пинами. После выполнения функции setup идет циклический вызов функции loop (т.е. сразу после выхода из функции setup, выполняется функция loop, после выхода из неё, она же вызывается снова. Процесс продолжается пока питание не будет отключено.)

```
#include <Wire.h> // Добавляем необходимые библиотеки
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN A0 // к какому пину будет подключен сигнальный выход датчика
//выбор используемого датчика
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
//#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
//#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
//инициализация датчика
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
byte degree[8] = // кодируем символ градуса
{
  0x00111,
  0x00101,
  0x00111,
  0x00000,
  0x00000,
  0x00000,
  0x00000,
  0x00000,
};
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Задаем адрес и размерность дисплея
void setup()
```

рис.2. Скетч

Мы рассмотрели, как сделать простую домашнюю метеостанцию на Arduino UNO с жидкокристаллическим дисплеем 1602a и датчиком температуры и влажности воздуха DHT11. Данную разработку можно доработать, добавив к схеме еще больше датчиков для анализа метеоусловий. Также можно сделать беспроводную метеостанцию на Arduino UNO, используя Bluetooth или радио-модули для передачи информации на расстояние.

Список публикаций:

- [1] Подключение датчика DHT11 к Arduino UNO. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://tsarevstudio.ru/blog/hobby/humidity_and_temp_with_dht11_and_arduinouno.html
- [2] Плата Arduino UNO R3: схема, описание, подключение устройств <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno/>
- [3] Структура скетчей. [Электронный ресурс] http://zelectro.cc/what_is_sketch/

Результаты исследования вариаций критических частот по данным вертикального зондирования

Лазарева Анна Эдуардовна
Южный федеральный университет
Радио Любовь Петровна, к.ф.-м.н.
anna.anla.lazareva@mail.ru

Одним из наиболее распространённых и эффективных инструментов мониторинга ионосферы является вертикальное зондирование. На основе данных вертикального зондирования можно судить об электронной концентрации ионизированного слоя и его высоте. Одной из главных характеристик ВЗ является критическая частота слоя F2 (f_0F2) - максимальная частота, отражающаяся от слоя F2.

Целью данной работы являлась оценка наблюдаемых вариаций критической частоты f_0F2 на основе экспериментальных данных, оценка эффективности прогнозирования критической частоты f_0F2 с помощью Международной справочной модели ионосферы IRI-2016. [1, 2] Используемая база экспериментальных данных – ионограммы вертикального зондирования в пункте Торы (51.81N 103.08E). Продолжительность наблюдения составила 11 дней. Солнечная активность $W=11$. Ионограммы снимались круглосуточно с интервалом 15 минут. Объём экспериментальных данных составил 1056 ионограмм. Все ионограммы обрабатывались вручную, что позволяет исключить возможные ошибки автоматической обработки, а, следовательно, увеличивает статистическую значимость полученных результатов исследования.

Результаты измерений обрабатывались в следующей последовательности. Для каждого дня на плоскость «время суток – f_0F2 » наносились все полученные из ионограмм значения f_0F2 (для каждого часа снималось 4 значения f_0F2). Таким образом были получены суточные ходы для наблюдаемых дней. Для фиксированных моментов времени находились средние значения f_0F2 . Полученные значения соединялись сплошной кривой, которая представляет собой усреднённый за месяц суточный ход критической частоты слоя F2 (рис. 1). Точками отмечены все измеренные значения f_0F2 за каждый день, а сплошной линией - среднее значение f_0F2 за все дни. По данным такой обработки можно судить о наличии быстрых и медленных флуктуаций, а также оценить вариации f_0F2 ото дня ко дню. Обработка во всех случаях велась без исключения возмущённых условий распространения на трассе.

Для последующей обработки суточные сеансы были разбиты на интервалы по 4 часа каждый: 00:00–04:00, 06:00–10:00, 12:00–16:00, 19:00–23:00. Исходя из обработанных данных, вычислялось скользящее среднее значений f_0F2 с окном 2 ч и шагом следования 15 мин., относящееся к 4-часовому интервалу. На следующем этапе находились среднеквадратичные отклонения (СКО) мгновенных значений f_0F2 от усреднённых f_0F2 со скользящим средним за 2 ч. Среднее значение среднеквадратичных отклонений за 4-часовые интервалы за все дни представлены в таблице:

Временной интервал		00:00-04:00	06:00-10:00	12:00-16:00	19:00-23:00
Среднее значение СКО	МГц	0.02	0.1	0.1	0.02
	%	0.7	2.2	1.3	1.2
Разброс значений f_0F2 (вариации ото дня ко дню)	МГц	2.5	3.9	2.5	2.5
	Среднее значение СО	0.6	0.6	0.4	0.3
	%	25.9	20.9	7.1	10.7

По результатам зондирования был найден разброс значений f_0F2 , определяемый как разность между максимальным и минимальным за 4 временных интервала значениями f_0F2 за весь период зондирования. Данные также отражены в таблице.

Далее представляла интерес оценка эффективности прогнозирования критической частоты на базе модели IRI-2016. СО – среднее абсолютное отклонение между значениями f_0F2 после усреднения с окном 2 часа и прогнозом МПЧ (рис. 2). Прогноз выполнялся по данным Международной справочной модели IRI-2016 [1,2]. В таблице приведены значения среднего отклонения (СО) измеренных значений f_0F2 от прогнозируемых со скользящим средним за 2 часа. Эти данные позволяют оценить отклонение прогноза от наблюдаемых значений f_0F2 . Среднее значение отклонения прогнозных значений от наблюдаемых в дневные часы составило 7.1% (0.4 МГц) за все наблюдаемые дни. Максимальная погрешность прогноза наблюдалась в ночное время (25.9%). Минимальные значения (от 2.1 до 14.8 %) приходились на полуденные часы.

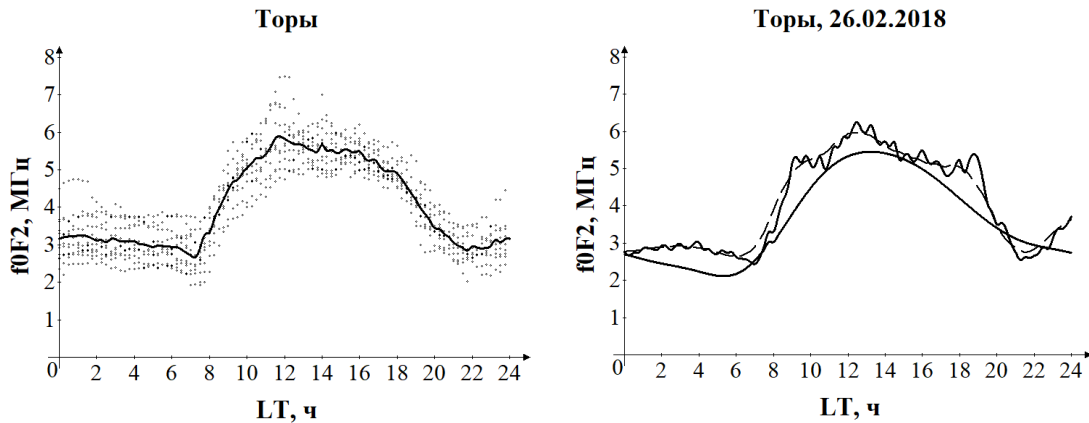


рис.1 Среднемесячный суточный ход; рис.2 Пример суточного хода f_0F_2 (f_0F_2 - тонкая линия, усреднение с окном 2 часа - пунктирная линия, прогноз по IRI-2016 - жирная линия)

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Получены по экспериментальным данным суточные зависимости критической частоты f_0F_2 .
2. Оценены быстрые и медленные вариации f_0F_2 . Отклонения (СКО) мгновенных значений f_0F_2 от усредненных f_0F_2 со скользящим средним за 2 ч составили для ночного времени 0.7%, для дневного-1.3%, для заходного-1.2% и для восходного-2.2% от среднего значения.
3. Вариации ото дня ко дню в пункте вертикального зондирования Торы в дневные часы достигали 2.5 МГц (около 47% от среднего значения).
4. Проведена оценка эффективности использования модели IRI-2016 для прогнозирования критической частоты. Среднее значение отклонения прогнозных значений от наблюдаемых в дневные часы составило 7.1% (0.4 МГц).

Список публикаций:

- [1] *International Reference Ionosphere – IRI (2016)*. URL: https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php.
 [2] D. Bilitza, *IRI the International Standard for the Ionosphere*, Adv. Radio Sci., 16, 1-11, <https://doi.org/10.5194/ars-16-1-2018>, 2018.

**Электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающего фильтра,
 выполненного по SIW-технологии**
 Михайлов Максим Александрович
 Южный федеральный университет
 Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.
mikhailov.maksim.r@mail.ru

Нынешние технологии производства и проектирования интегральных микросхем продолжают открывать способы интегрирования в свою структуру различных трехмерных элементов, таких как прямоугольных волноводов и объемных резонаторов на их основе. Данная технология носит название SIW-технология (Substrate Integrated Waveguides - встроенный в подложку волновод), которая представляет из себя волноподобную структуру, созданную двумя рядами металлических цилиндров, соединяющих две металлические пластины, ограничивающих диэлектрическую подложку.

Особенность SIW-структур заключается в том, что они сохраняют большую часть преимуществ классических волноводов, а именно: большая передаваемая мощность, малые потери, высокая добротность резонаторов, малые размеры и вес, низкая стоимость производства. Важнейшим преимуществом SIW-технологии является возможность интегрировать все компоненты на одной подложке.

В данной работе был проведен электродинамический анализ полосно-пропускающего фильтра и его элементов, выполненного по SIW-технологии в среде CST Studio Suite 2021. Как видно из амплитудно-частотной характеристики фильтр обладает высокой избирательностью, коэффициент прямоугольности по уровню -20дБ составляет 0,5.

На рис. 2 изображен внешний вид полосно-пропускающего фильтра, данный фильтр выполнен на диэлектрике Rogers с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=2.5$, толщина слоя 0,76мм, толщина металла 35мкм. Габаритные размеры фильтра 45x24мм.

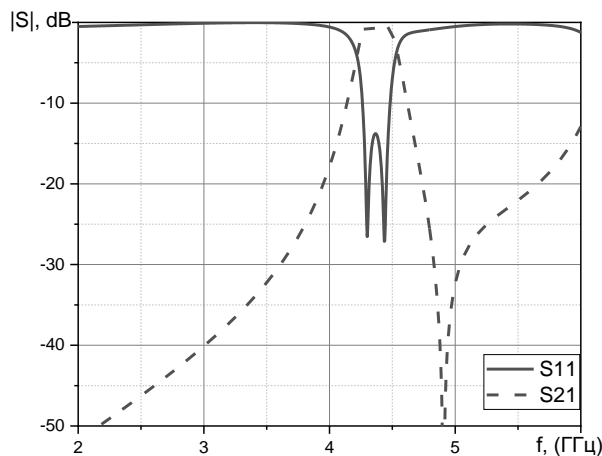


рис.1. Зависимость модуля коэффициента отражения от частоты

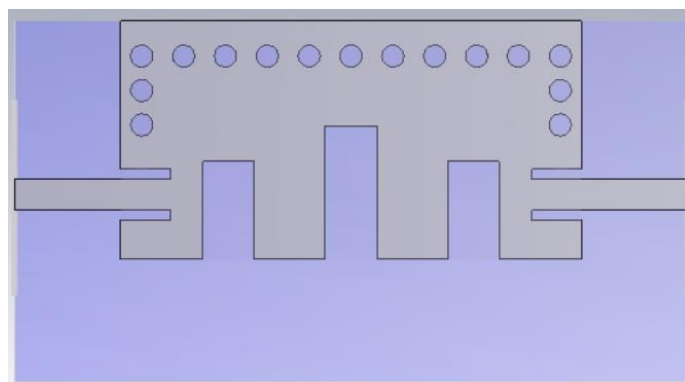


рис. 2. Внешний вид полосно-пропускающего фильтра

Список публикаций:

- [1] D. Dastanides and K. Wu, "Single-substrate integration technique for planar circuits and waveguide filters." *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, Vol. 51, No. 2, pp. 593-596, Feb. 2003.
- [2] M. Bozzi, A. Georgiadis, and K. Wu, "Review of Substrate Integrated Waveguide (SIW) circuits and antennas," *JET Microwave Antennas Propag.*, Vol. 5, No. 8, pp. 909-920, June 2011.
- [3] X. Chen and K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide Filter: Basic Design Rules and Fundamental Structure Features," *Microwave Mag.*, Vol. 15, No. 5, pp. 108-116, Jul/Aug. 2014.
- [4] N. Grigoropoulos, B.S. Izquierdo, and P-R. Young, "Substrate Integrated Folded Waveguides (SIFW) and Fillers," *JEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 12, pp. 829-831, Dec. 2005.
- [5] W. Hong et al., "Half Mode Substrate Integrated Waveguide: A New Guided Wave Structure for Microwave and Millimeter Wave Application," *Proc. Joint 31st International Conference on Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics*, p. 219, Shanghai, China, Sept. 18-22, 2006.
- [6]. Гаджиева, А.А., Заргано, Г.Ф., Земляков, В.В., Крутиев, С.В. SIW-технологии, история создания, современное состояние и перспективы развития // *Физические основы приборостроения*, 2012. Т. 1. № 4. С. 4-13.
- [7]. Гаджиева А.А., Земляков В.В., Крутиев С.В. Полосно-пропускающий СВЧ-фильтр на волноводах сложного сечения, интегрированный в многослойную микросхему с применением SIW-технологии // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 1 (24).
- [8] Zemlyakov V.V., Zargano G.F., Krutiev S.V., Tyaglov M.Y. Electrodynamical Analysis and Synthesis of an Elliptic Filter Based on Complex Resonant Irises in a Rectangular Waveguide // *Radiophysics and Quantum Electronics*, DOI 10.1007/s11141-019-09947-0, Том 61, Выпуск 12, Страницы 915 - 923, 15 June 2019

Исследование зависимости размеров кластеров асфальтенов от концентрации асфальтенового раствора

Некрасова Татьяна Вячеславовна

Шарипов Талгат Ишмухамедович

Башкирский государственный университет

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

drakon2000bel@gmail.com

Асфальтены – твердые высокоплавкие хрупкие вещества черного цвета. Их молекулярный вес колеблется в диапазоне 500-2000 г/моль. Содержание асфальтенов в нефтях колеблется от 1 до 20%. Молекулы асфальтенов легко растворяются в толуоле, бензоле, а также в сероуглероде.

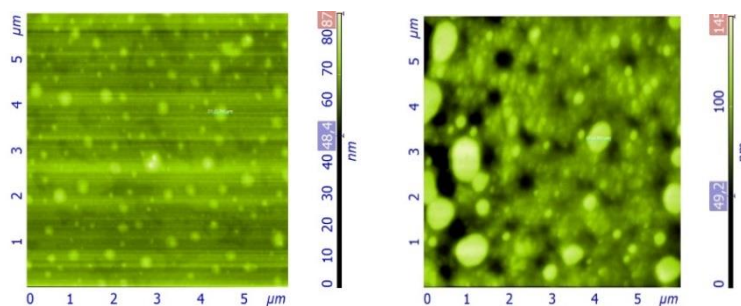
Самым распространенным методом исследования поверхности кластеров асфальтенов является сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Этот метод уникален тем, что он позволяет со сверхвысоким разрешением наблюдать надмолекулярную структуру различных объектов.

В ходе работы была исследована поверхность структуры асфальтенов с помощью атомно–силового микроскопа. Целью исследования является получение и сравнение кластеров асфальтенов в образцах, полученных при двух разных концентрациях.

Для эксперимента были взяты растворы асфальтенов исходного вакуумного остатка висбрекинга КИШ 42 (№ 3) с концентрациями 0,1 г/л и 0,5 г/л. Метод получения тонкой пленки асфальтенов на слюдяной подложке заключался в следующем: в дистиллированную воду опускали подложку, затем на поверхность воды наносили 15 мкл раствора асфальтенов в толуоле. После образования на поверхности воды пленки подложку медленно извлекали из жидкости через слой асфальтенов. Дальше ее помещали в чашку Петри и сушили 90 минут до полного высыхания. После чего полученный образец исследовали на атомно – силовом микроскопе.

На полученных АСМ–изображениях (Рис. 1) можно наблюдать различные объекты. На поверхности имеются скопления светлых пятен, называемые кластерами асфальтенов.

Измерив один из кластеров первого изображения, находим его высоту, равную 0,33 мкм, и ширину, равную 0,35 мкм. Точно также получаем размеры для кластера второго изображения, где высота равна 0,60 мкм, а ширина – 0,55 мкм.



АСМ-изображение асфальтенов с концентрациями 0,1 г/л (слева) и 0,5 г/л (справа)

Можно увидеть, что скопление объектов при концентрации 0,5 г/л значительно превосходит по количеству скопление объектов при 0,1 г/л.

На основании проделанного эксперимента можно сделать вывод, что размер кластера напрямую зависит от концентрации асфальтенового раствора. В частности, кластеры с концентрацией 0,1 г/л имеют меньшие размеры по сравнению с кластерами при концентрации 0,5 г/л.

Список публикаций:

[1] T.I. Sharipov, G.F. Gilyazova, R Z Bakhtizin. AFM visualization of asphaltenes surface structure. // Fifth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, Vladivostok, Russia, July 30 – August 03, 2020 : Proceedings. – Vladivostok: Dalnauka Publishing, 2020. – p.64.

Волноводный частотный разветвитель на основе отбора отражённой волны

Нестеров Вадим Юрьевич

Царегородцев Олег Владимирович

Южный федеральный университет

Крутиев Сергей Владимирович

vadnesterov@sfedu.ru

Ввиду необходимости непрерывного обмена информацией между космическими аппаратами, находящимися на орбитах различного типа, и объектами на поверхности Земли, удалёнными на большие расстояния друг от друга, использование приёмо-передающих спутниковых систем связи приобретает массовый характер. Особенной популярностью пользуются малоапертурные антенны (1,2 – 2,4 м), что налагает ограничения на массогабаритные характеристики облучающей системы. В связи с постоянно растущим числом абонентов информационная загруженность всех используемых диапазонов стремительно повышается, причём наименее свободным является С-диапазон. По этой причине необходимо задействовать всю выделенную полосу частот для каналов приема и передачи с относительными рабочими полосами частот 21% и 16% соответственно. Также для работы с отечественными и иностранными станциями связи необходима возможность работы с сигналами круговых и линейных ортогональных поляризаций, что подразумевает высокий уровень кросс-поляризационной развязки.

Для обеспечения этих целей используются приёмо-передающие антенно-волноводные устройства (АВУ), содержащие облучатель и устройства поляризационной и частотной селекции, возможные схемы построения представлены в [1]. Существующие АВУ не сочетают в себе одновременно широкополосность, компактность и удовлетворительные электрические параметры. Снижение массы и габаритов облучающей системы достигается минимизацией входящих в неё частей. Наиболее громоздкими в приёмопередающих АВУ являются элементы, обеспечивающие частотное разделение каналов.

В данной работе был синтезирован волноводный разветвитель на основе отбора отражённой волны, что является противоположностью наиболее распространённой схеме последовательного отбора частотных диапазонов в порядке увеличения частоты. Ключевыми элементами этого устройства являются двухполяризационный осесимметричный фильтр нижних частот на основе четырёхгребневого волновода, и устройство отбора отражённых от фильтра волн. 3D модель рассчитанного устройства представлена на рис. 1.

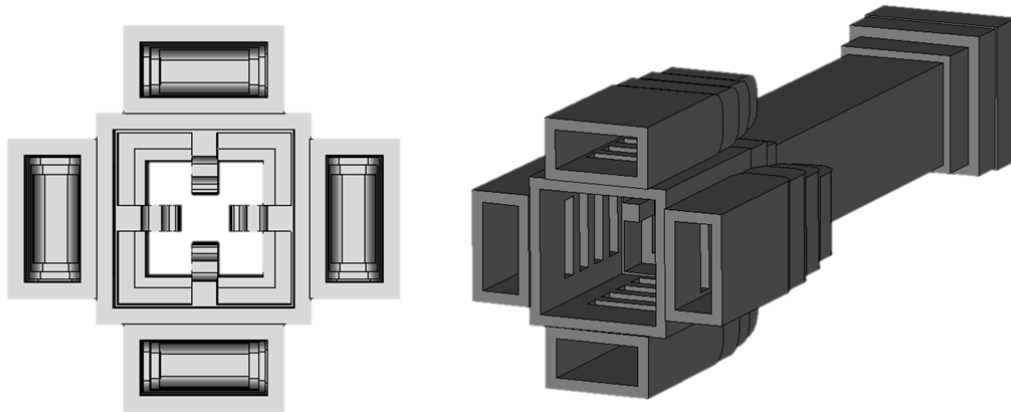


Рис. 1. 3D модель волноводного разветвителя

В ходе работы был проведён анализ существующих схем построения АВУ и используемых в них методов частотной селекции, определены технические решения для построения разветвителя, синтезированы и смоделированы устройство отбора и фильтр, входящие в разветвитель. Фильтр представляет собой четырёхгребневой волновод с участками регулярного сечения. Методика расчёта фильтра представлена в [2]. Произведена композиция в единую модель, проведена многопараметрическая оптимизация, и просчитаны электрические характеристики. Для обоих диапазонов значение потерь на отражение не превышает 0.05 дБ, коэффициент отражения менее -20 дБ, частотная развязка более 34 дБ в диапазоне приёма и более 47 дБ в диапазоне передачи, полученные данные представлены на рис. 2.

Улучшение массогабаритных характеристик можно продемонстрировать, рассчитав при прочих равных условиях изменение массы и размеров благодаря использованию волноводных плеч и сумматора, которые обеспечивают распространение волн передающего вместо приёмного диапазона. Тогда масса устройства разветвления снижается на 37%, а поперечный габарит снижается на 41%.

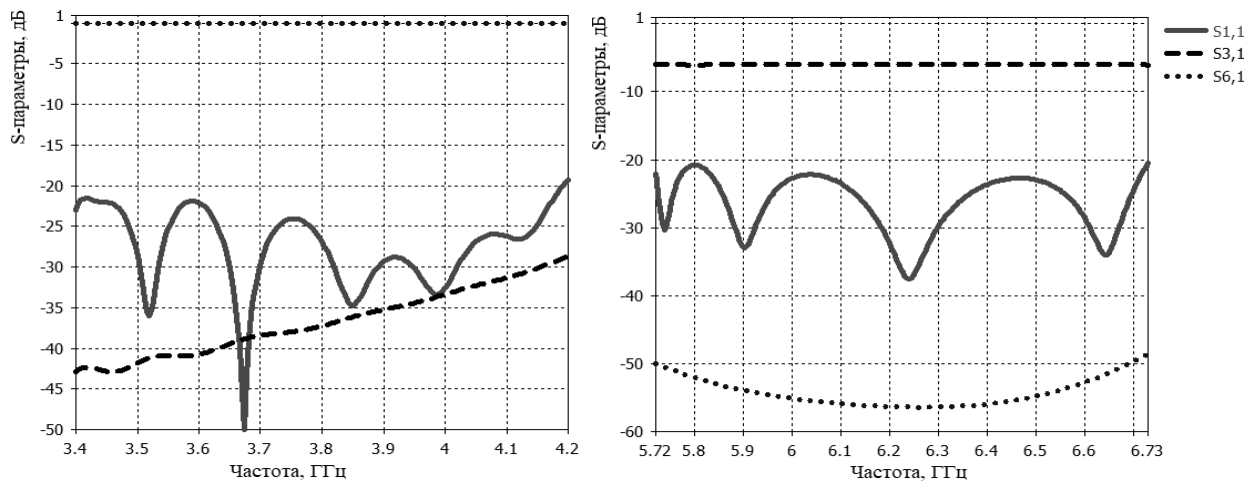


рис.2. S-параметры волноводного разветвителя

Результаты работы позволяют сделать вывод о том, что полученный разветвитель в волноводном исполнении может быть использован в качестве ключевого элемента антенно-волноводного тракта с уменьшенными массогабаритными параметрами и обеспечивающего качественную работу с сигналами ортогональных круговых и линейных поляризации.

Список публикаций:

- [1] Cecchini P., Mizzoni R. Wideband diplexed feed chains for FSS+BSS applications.// IEEE, 2005. – P. 3095-3099.
 [2] Земляков В.В. Проектирование широкополосных полосно-пропускающих фильтров на гребневых волноводах. // Электромагнитные волны и электронные системы. Вып 6, 2012 г. 71-75 с.

Радиоизлучение пьезокерамики ЦТСЛ

Панова Анастасия Владимировна

Сабурова Валерия Сергеевна

Южный федеральный университет

Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.

nastya.shaprinskaya@mail.ru

Изучены экспериментально радиоизлучающие свойства прозрачной пьезокерамики цирконата — титаната свинца — лантана (ЦТСЛ-керамики) состава 8/65/35. Известно, что ЦТСЛ-керамика в температурном интервале от 20 до 150 °С имеет размытый частотно зависимый фазовый переход, и для нее характерны различные аномальные свойства. Так в переменном низкочастотном электрическом поле в ней формируется двойная петля гистерезиса. В керамике наблюдается температурный гистерезис диэлектрической проницаемости. ЦТСЛ-керамика имеет дисперсию диэлектрической проницаемости. Сильная частотная зависимость свойств этой керамики указывает на важную роль релаксационных процессов, которые имеют аномально широкий спектр времен релаксации [1].

В данной работе в области частот (3,1 - 5,6) ГГц исследована излучающая способность резонатора из ЦТСЛ-керамики, размещенного на поверхности микрополосковой линии. Известно, что микрополосковая линия с диэлектрическим резонатором образуют диэлектрическую резонаторную антенну. Так как электромагнитная волна, распространяющаяся в диэлектрике, имеет длину волны в $\sqrt{\epsilon}$ раз меньшую, чем в свободном пространстве, то размеры диэлектрических антенн во столько же раз меньше антенн, изготовленных из металлических проводников. Поэтому, в настоящее время простые компактные диэлектрические резонаторные антенны с диэлектриками различной формы и с разными значениями диэлектрической проницаемости ϵ широко применяются в мобильной радиоаппаратуре связи [2].

При снятии спектров интегрального излучения электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля в качестве индикаторов поля использованы штыревая и петлевая антенны. Исследуемый керамический образец без электродов толщиной 0,4 мм располагался на центральном проводнике микрополосковой линии. Постоянная составляющая детектированного СВЧ диодом сигнала U

измерялась цифровым вольтметром. Измеренные значения \sqrt{U} рассматривались как величины, пропорциональные напряженности электрического (E^*) или индукции магнитного (B^*) поля [3].

На рисунке 1 представлены спектры интегрального излучения напряженности электрического (E^*) и индукции магнитного (B^*) поля, полученные при комнатной температуре на различных высотах от поверхности исследуемого образца. Вид этих спектров характеризует исследуемую систему как диэлектрическую частотно-избирательную антенну.

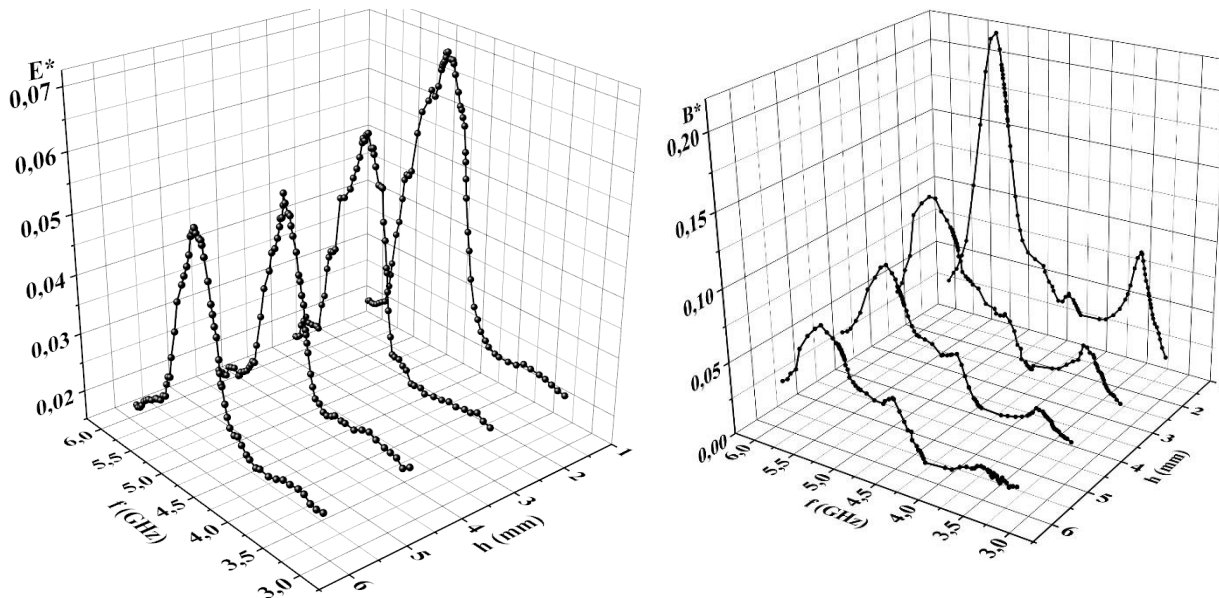


рис.1. Спектры интегрального излучения напряженности электрического (E^*) и индукции магнитного (B^*) поля на различной высоте от поверхности пьезокерамического ЦТСЛ образца

В спектрах независимо от высоты в области частот (5,1-5,3) ГГц наблюдаются максимумы излучения энергии, величины которых уменьшается при удалении от поверхности образца. Максимальная высота, на которой еще фиксировалось поле с помощью петлевой антенны равна 10 см.

Используем приближенную формулу расчета резонансной частоты для волны типа TE_{016} цилиндрической диэлектрической резонаторной антенны:

$$f_0 = \frac{34}{r\sqrt{\epsilon}} \left(3,45 + \frac{r}{h} \right).$$

Из эксперимента и полученных зависимостей $E^*(f)$ и $B^*(f)$ имеем: $f_0=5,2$ ГГц, $r=4$ мм, $h=0,4$ мм. Тогда рассчитанная на этой частоте величина диэлектрической проницаемости пьезоэлектрического ЦТСЛ резонатора равна 485.

Таким образом, экспериментально полученные спектры излучения позволяют оценить величину СВЧ диэлектрической проницаемости релаксора ЦТСЛ. Метроволновая дисперсия релаксационного типа и СВЧ диэлектрическая дисперсия резонансного типа, в результате чего в сегнетоэлектриках наблюдаются большие диэлектрические потери, уменьшают более чем в 10 раз диэлектрическую проницаемость керамики ЦТСЛ [4].

Список публикаций:

- [1] Смоленский Г.А. Крайник Н.Н. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики – Л.: Наука, 1971. – 476 с.
- [2] Слюсар В.И. Диэлектрические резонаторные антенны // Электроника: НТБ, 2007, № 2. С. 28-37
- [3] Sidorenko E.N., Privalov E.E., Demchenko A.A., Kabirov Yu.M., Chebanova E.M., Nathan I.I. // *Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. 2019. P. 464-467
- [4] Sidorenko E.N., Chan Thi Beat Ngoc, Prikhodko G.I., Natkhin I.I., Shloma A.V., Kharchenko D.G. // *Journal of Advanced Dielectrics Vol. 10, No. 01n02, 2060020* (2020)

Электродинамический анализ и синтез метаволноводного полосно-пропускающего фильтра

Сдобнова Варвара Павловна
Крутиев Сергей Владимирович
Южный федеральный университет
Крутиев Сергей Владимирович
sdobnova@sfedu.ru

Волноводные фильтры являются идеальным решением для космических приложений благодаря низким потерям энергии и возможности обработки большой мощности без ограничения частоты. Основным недостатком волноводных фильтров является их большой объем и большой вес из-за размеров образующих их волноводных полостей, которые напрямую зависят от рабочей длины волны. Для уменьшения размеров стали использовать коаксиальные комбинированные фильтры и фильтры на волноводе соответственно с коаксиальным и волноводным интерфейсами. Комбинированные фильтры имеют уменьшенные размеры, поскольку в них используются параллельно соединенные коаксиальные полости, где каскадные коаксиальные полости реализуют цепочку ТЕМ-мод, соединенных с само- и взаимемкостями. Цель исследования - продемонстрировать возможность разработки и производства сверхмалых волноводных метаматериальных фильтров (метафильтров), малые размеры которых в значительной степени не зависят от рабочей частоты, используя сильные нелокальные взаимодействия, возможные в метаматериалах.

В исследовании привлечен электродинамический анализ группы штырей.

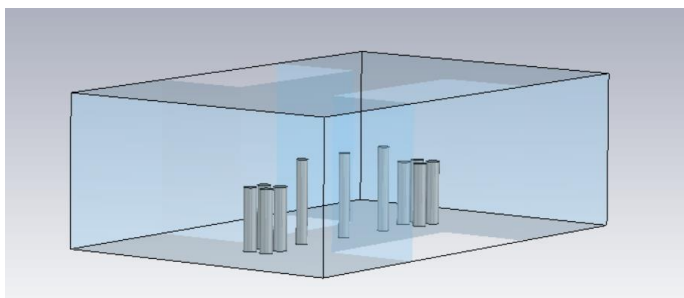


рис.1. Вид фильтра с группой штырей

На основании электродинамического анализа свойств одиночного штыря и группы штырей, был синтезирован полосно-пропускающий фильтр на волноводе. На рис.2 представлены амплитудно-частотные характеристики синтезированного фильтра:

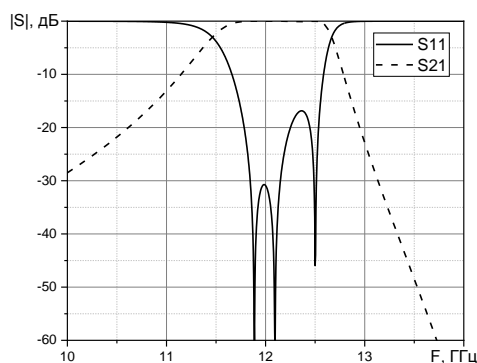


рис.2. S-параметры для фильтра с тремя штырями

Список публикаций:

- [1] Subwavelength Metawaveguide Filters and Metaports Maliheh Khatibi Moghaddam and Romain Fleury
- [2] V. E. Boria and B. Gimeno, Waveguide filters for satellites
- [3] G. L. Matthaei, B. Schiffman, E. Cristal, and L. Robinson, Microwave Filters and Coupling Structures (1963).
- [4] Zemlyakov V.V., Zargano G.F., Krutiev S.V., Tyaglov M.Y. Electrodynamic Analysis and Synthesis of an Elliptic Filter Based on Complex Resonant Irises in a Rectangular Waveguide // Radiophysics and Quantum Electronics, DOI 10.1007/s11141-019-09947-0, Том 61, Выпуск 12, Страницы 915 - 923, 15 June 2019
- [5] Krutiev S.V., Zemlyakov V.V., Lonkina D.V. Synthesis Of Band-Pass Filters On Rectangular H-Plane Cavities // Moscow Workshop On Electronic And Networking Technologies, Mwent 2020 -Proceedings 2020, Doi: 10.1109/Mwent47943.2020.9067425