

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чекушкина Артема Михайловича  
«Матрицы планарных кольцевых антенн с СИНИС-детекторами и матрицы криогенных фильтров»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика.

Диссертационная работа Чекушкина А.М. посвящена исследованию матриц планарных кольцевых антенн с СИНИС-детекторами а также разработке криогенных фильтров для экспериментального исследования таких структур. Тема работы актуальна по целому ряду причин, имеющих как научное, так и прикладное значение. Разработка подобных приемных систем продиктована необходимостью повышения максимальной поглощаемой мощности в условиях высокой фоновой нагрузки для текущих задач наземной радиоастрономии.

### *Основные результаты диссертационной работы:*

1. Разработаны, изготовлены и измерены квазиоптические фильтры для криогенных электромагнитных измерений: полосно-пропускающие, перестраиваемый на основе интерферометра Фабри-Перо, капиллярные матричные фильтры. Полосно-пропускающие фильтры имеют полосу пропускания 10-90 ГГц и ослабление вне полосы порядка 10 дБ. Перестраиваемый фильтр способен работать при криогенных температурах и в полосе частот 100-500 ГГц с шириной полосы пропускания 4 ГГц. Волноводные фильтры с характерным диаметром волновода 0,54 мм имеют пропускание выше 350 ГГц на уровне 40%. Затухание на частотах ниже 200 ГГц более 40 дБ.

2. Разработана и успешно использована методика изготовления матриц планарных кольцевых антенн, с интегрированными СИНИС-детекторами, в которых убран слой «тонкого золота». Это позволило упростить технологическую карту изготовления образцов, улучшить теплоотвод финальной структуры за счет более толстого слоя нормального металла, используемого для формирования массивов антенн (200 нм против 35 нм ранее).

3. Разработаны, изготовлены матрицы планарных кольцевых антенн для приема внешнего электромагнитного излучения диапазона 345 ГГц с интегрированными в них СИНИС-детекторами. МЭШ разработанных структур не хуже  $10^{-17}$  Вт/Гц<sup>-1/2</sup>

4. Измерен оптический и спектральный отклик на внешнее электромагнитное излучение матриц параллельно и последовательно соединенных коль-



цевых антенн с характерным диаметром 300 мкм. Для последовательной матрицы из 25 антенн с детекторами чувствительность по напряжению на излучение черного тела достигает  $3 \cdot 10^9$  В/Вт; мощность насыщения превышает 5 пВт. Токовая чувствительность для матрицы из 25 параллельно соединенных антенн с детекторами составляет  $2 \cdot 10^4$  А/Вт.

5. Экспериментально измерены спектральные характеристики матриц кольцевых антенн с СИНИС-детекторами. Ширина полосы пропускания превышает 100 ГГц. Исследовано влияние расположения образца на однородность и мощность приема сигнала при облучении: с обратной стороны подложки, со стороны антенн.

6. Разработана, изготовлена и экспериментально исследована приемная матрица электрически малых антенн с СИНИС-детекторами, характерный диаметр кольца антенны 54 мкм. Измерен оптический и спектральный отклик. Экспериментально получена вольт-ваттная чувствительность выше  $10^9$  В/Вт, динамический диапазон более 30 дБ, полоса пропускания более 130 ГГц. Использование матрицы кольцевых антенн типа метаматериала позволило увеличить полосу пропускания в сравнении с матрицей полуволновых кольцевых антенн.

Практическая значимость работы заключена в возможности использования матрицы кольцевых антенн на наземных радиотелескопах. Использование кольцевых антенн с характерным размером существенно меньше, чем длина волны, (электрически малые антенны или в конфигурации метаповерхности) за счет более плотной компоновки СИНИС детекторов, увеличивает допустимую приемную мощность. Разработанные и использованные фильтры могут быть полезны как в научных исследованиях, так и в прикладных задачах по газоспектроскопии или медицинской диагностике.

Диссертация А.М. Чекушкина представляет законченный результат добротной и актуальной работы, имеющей большое значение для развития высокочувствительных приёмных систем на основе отечественных детекторов. Важное достоинство работы – наличие экспериментального исследования разрабатываемых структур, выносимые на защиту положения доказаны экспериментальными результатами и их сопоставлением с существующими теоретические моделями.

Результаты диссертационной работы Чекушкина А.М. опубликованы в журналах высокого международного уровня и многократно представлялись на всероссийских и международных конференциях. Материалы диссертации представлены в 55 работах, из которых: 28 статей в ведущих рецензируемых



научных журналах, определенных ВАК при Минобрнауки России и индексируемых в РИНЦ, в том числе 23 публикаций в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Web of Science и Scopus и 22 публикаций в сборниках трудов конференций.

Однако, по автореферату есть ряд замечаний:

1. Недостаточно подробно раскрыта методика моделирования основных характеристик разрабатываемых матриц планарных антенн, далекая от стандартных подходов пакета, по сути являющаяся оригинальным авторским вкладом и это радиофизика.
2. Избыточно подробно представлена технология изготовления разрабатываемых структур (приемных матриц и перестраиваемых фильтров). Это уже далеко от радиофизики.
3. Недостаточно детально описаны экспериментальные установки для оценки спектрального отклика и вольт ваттной чувствительности, на основании которой желающие могли бы повторить и проверить эксперимент.
5. В автореферате не представлены сравнительные характеристики разработанных структур с приемными системами, разработанными другими авторами и используемыми на современных наземных обсерваториях.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы. Диссертационная работа А.М. Чекушкина полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, советуем выбранной специальности 1.3.4 – «Радиофизика», а её автор – Чекушкин Артём Михайлович, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук.

**Отзыв составил:**

Вдовин Вячеслав Фёдорович

д.ф.-м.н., главный научный сотрудник ИПФ РАН.

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.

Рабочий телефон: 8(831) 416-46-49.

e-mail: [vdovin@ipfran.ru](mailto:vdovin@ipfran.ru)



ПОДПИСЬ Вдовина В. Ф.

ОТДЕЛУ ДОСТОВЕРЯЮ  
КАДРОВ ЗАМ. ЗАВ. ОТДЕЛОМ

О. А. ЖИЖИНА

24.05.2022

24.05.2022