

**Российская конференция и школа молодых ученых  
по актуальным проблемам  
полупроводниковой фотоэлектроники**

# **ФОТОНИКА 2023**

**4-8 сентября 2023 г., Новосибирск**

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**НОВОСИБИРСК  
2023**

## Электрически перестраиваемые метаструктуры миллиметрового диапазона на основе жидких кристаллов

С.А. Кузнецов<sup>1</sup>, В.И. Лапаник<sup>2</sup>, С.Н. Тимофеев<sup>2</sup>, В.С. Сутормин<sup>3,4</sup>, В.Я. Зырянов<sup>3</sup>, С.Б. Глыбовский<sup>5</sup>, В.В. Суриков<sup>5</sup>, Д.А. Овсов<sup>5</sup>, А.Д. Саянский<sup>5</sup>, К.В. Лемберг<sup>3</sup>, Н.А. Николаев<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, Пирогова, 2

<sup>2</sup> Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Шевченко БГУ, Минск, 220045, ул. Ак. Курчатова, 7, Республика Беларусь

<sup>3</sup> Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, 660036, Академгородок, 50, с. 38

<sup>4</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, 660041, пр. Свободный, 79

<sup>5</sup> Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, 197101, Кронверкский пр., 49

<sup>6</sup> Институт автоматизации и метрологии СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Ак. Коптюга, 1  
тел: +7 (383) 363-42-95, эл. почта: sakuznetsov@nsu.ru

DOI 10.34077/RCSP2023-69

Технологическое освоение миллиметрового диапазона длин волн относится к приоритетным задачам научных исследований в Российской Федерации. В прикладном отношении область частот 75–300 ГГц ( $\lambda \approx 1\text{--}4$  мм) представляет особенный интерес для беспроводных систем передачи данных, включая радиорелейные линии и мобильные сети нового поколения типа 6G, ввиду значительно более высокой информационной емкости в сравнении с СВЧ диапазоном, а также возможности получения более узкой диаграммы направленности излучения для антенных устройств. Кроме того, мм-волны удачно сочетают приемлемые значения пространственного разрешения и проникающей способности при визуализации оптически-непрозрачных объектов, что делает их перспективными для досмотровых систем безопасности и неразрушающего контроля, альтернативных рентгеновским сканерам.

На настоящий момент создание эффективных методов динамического управления электромагнитными характеристиками пучков мм-излучения (локальной фазы, амплитуды, поляризации волнового фронта) с промышленным внедрением подобных разработок является нерешённой задачей. В настоящем докладе рассмотрен перспективный подход к созданию электрически перестраиваемых мм-устройств, основанный на использовании планарных метаструктур специального дизайна, интегрированных с тонким (5–80 мкм) слоем жидких кристаллов. В работе использовались уникальные нематические ЖК-композиции на основе п-кватерфенильных и п-квинквифенильных смесей, отличающиеся высокой оптической анизотропией (0,3–0,4) и низкими диэлектрическими потерями ( $<0,002$ ) на мм-волнах, с промышленной реализацией финальных устройств на заключительном этапе. Ключевыми достоинствами ЖК-метаструктур являются их высокая функциональность, относительно невысокая себестоимость матричного изготовления, совместимая с технологиями серийного промышленного производства ЖК-дисплеев/индикаторов, а также возможность работы в режиме реального времени переключения пикселей (10–1000 Гц).

Представлены отражательные решётки на основе высокоимпедансных метаповерхностей с рабочим полем  $70 \times 70$  мм, реализованные в формате «пассивной» ЖК матрицы с числом метапикселей  $70 \times 70$ , управляемыми в 1D и 2D. Для структур, оптимизированных на поддиапазоны 110–150 ГГц и 280–300 ГГц, продемонстрировано два режима работы: 1) с непрерывной перестройкой фазы до 600 градусов; 2) с перестройкой амплитуды  $>30$  дБ. Дополнительно, представлен прототип бинарной фазовой решетки на перестраиваемых линиях задержки на поддиапазон 81–86 ГГц. Кроме этого, рассмотрена антенна вытекающей волны на частоты 76,5–77,5 ГГц с электрически регулируемой фазовой скоростью распространения, а также управляемый вращатель линейной поляризации на основе двуслойной ЖК-структуры.

Обсуждается применение разработанных устройств для электронного управления мм-лучом в «умных» антеннах беспроводной связи, а также для генерации пространственных паттернов в однопиксельных субТГц-визуализаторах. Рассмотрены особенности изготовления ЖК-метаструктур и спектральной характеристики ЖК смесей в тестовых ячейках.

Авторы выражают признательность ЦКП «ВТАН» НГУ и ЦКП «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН за инструментальную и технологическую поддержку.