

## КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

## Научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук

(10–11 мая 2000 г.)

10 и 11 мая 2000 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Попереченко Б.А.** (Московский энергетический институт, Опытнo-конструкторское бюро, Москва). *Высокоэффективные антенные системы для космической связи и радиоастрономии.*

2. **Пчеляков О.П.** (Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск). *Молекулярно-лучевая эпитаксия: оборудование, приборы, технология.*

3. **Эдельман В.С.** (Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Москва). *Низкотемпературная сканирующая туннельная микроскопия.*

4. **Комяк Н.И.** (Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург). *Приборы идентификации изотопного, элементного, фазового и структурного состава вещества. Современное приборостроение в ИАиП РАН.*

5. **Рахимов А.Т.** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики, Москва). *Автоэмиссионные катоды (холодные эмиттеры) на нанокристаллических углеродных и наноалмазных пленках (физика, технология, применение).*

6. **Бородин В.А.** (Институт физики твердого тела РАН, Экспериментальный завод научного приборостроения РАН, Черноголовка, Московская обл.). *Создание оборудования нового поколения для роста кристаллов из расплава. Развитие Экспериментального завода научного приборостроения РАН в новых экономических условиях.*

7. **Щелев М.Я.** (Институт общей физики РАН, Москва). *Фемтосекундная фотоэлектроника (прошлое, настоящее, будущее).*

8. **Уткин Г.И.** (Ассоциация научного приборостроения, Москва). *Опτικο-электронные методы и аппаратура поляризационной идентификации состава и структуры оптически анизотропных объектов и сред.*

9. **Сурков Ю.А.** (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва). *Развитие научного приборостроения в космических исследованиях.*

10. **Твердохлеб П.Е.** (Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск). *Трехмерные микро- и нанотехнологии: новые установки, приборы, элементы и их применение.*

Краткие содержания некоторых докладов публикуются ниже.

PACS numbers: 07.90.+c, 84.40.Ba, 95.55.-n, 95.55.Jz

### Высокоэффективные антенные системы для космической связи и радиоастрономии

Б.А. Попереченко

#### 1. Антенны и радиосвязь с ракетно-космическими аппаратами

Развитие ракетно-космических аппаратов повысило требования к их измерительным системам по дальности радиосвязи и экономичности бортовой аппаратуры. Проблемы реализации требований связаны с работой бортовых антенн через теплозащитные покрытия (ТЗП) и плазму, с нарушением электрической прочности антенн в плазме, с глубокой изрезанностью изотропных диаграмм направленности (ДН) на неориентированных аппаратах, с нарушением синхронизации в наземных приемниках при флуктуациях сигнала. При решении проблем разработаны теории антенн с ТЗП и щелевых резонаторных антенн; реализованы новые схемы антенн с некогерентным сложением полей от интерферирующих излучателей. Создана бортовая аппаратура для диагностики влияния ТЗП и плазмы, и разработана теория многомодовой импедансной диагностики неоднородной среды. Исследованы на стенде радиофизические параметры плазмы факела двигателя. Начато оснащение наземных станций большими следящими антеннами (1952–1975 гг.).

Созданы первые коллективные бортовые антенны для телеметрии, телевидения, связи и подачи команд. Для ориентированных аппаратов созданы антенны со специальной формой ДН и следящие антенны с игольчатой ДН. Создана большая складная антенна для локатора бокового обзора на автоматической межпланетной станции (АМС) "Венера-15, 16". Антенна исследована по радио- и механическим параметрам при экстремальных теплорадиационных воздействиях (1980–1986 гг.). Исследованы возможности бортовых гибридных зеркаль-

ных антенн (ГЗА) для спутниковой связи с управлением положением и формой их лучей и адаптацией их ДН к помехам (1985–1995 гг.).

## **2. Наземные большие зеркальные антенны (БЗА) диаметром 12–32 м**

Значительная стоимость БЗА, их большое количество и разнообразие потребовали оптимизации БЗА по радио- и экономическим параметрам, унификации их оборудования, ограничения его номенклатуры и освоения в серийном производстве.

В ряде БЗА совмещено до 2–3 диапазонов, увеличен коэффициент использования поверхности (КИП), снижена шумовая температура, введены системы поиска и автосопровождения (АС) по радиосигналу при недостаточной точности целеуказаний. Сделано более равномерным апертурное распределение поля путем синтеза оптимальных диаграмм облучения в однозеркальных антеннах и введения минимизированных коррекций профилей зеркал в двухзеркальных БЗА. Снижено дифракционное рассеяние в антеннах, и развиты методы более точных расчетов его парциальных составляющих. Сканирующие облучатели для БЗА с АС построены по многомодовой или многоэлементной структуре с малым отклонением фазового центра и малыми потерями усиления. Решена проблема частотной и поляризационной нестабильности пеленгационных характеристик. Используемые схемы АС проще моноимпульсных и имеют одноканальные приемники, обладая достаточной для информационных систем угловой точностью. Построены численными методами многолучевые БЗА для телепортов спутниковой связи и исследованы их структура и параметры.

Оборудование БЗА создано на отечественной проектной и технологической базе для эксплуатации в условиях от Крайнего Севера до тропиков в составе БЗА широкого применения и в уникальных 64- и 32-метровых радиотелескопах. Сюда относятся: следающие электроприводы с оригинальной структурой и пониженными ошибками; 17- и 20-разрядные угловые датчики на основе индуктосинов; большое разнообразие СВЧ-приборов. По техническим заданиям ОКБ Московского энергетического института в смежных организациях созданы первые отечественные малощумящие усилители с замкнутым циклом охлаждения водородного уровня (Киев, Омск, 1970–1976 гг.), 12-метровые зеркальные системы (ЗС) и их опорно-поворотные устройства (ОПУ) (Н. Новгород) и др. Антенны ТНА-57 системы "Орбита" стали первыми большими антеннами широкого применения и базовой модификацией для ряда других БЗА. Эти антенны экономично обеспечили спутниковую связь в стране и за рубежом.

Экономические данные, полученные при создании более 200 БЗА различных размеров, обобщены с учетом степени подобия и оптимальности их конструкций и позволяют достаточно точно (10–20 %) прогнозировать стоимость БЗА. Прогноз подтвердился при сооружении 12-метровых антенн ТНА-57 и 64-метровых радиотелескопов ТНА-1500. Обоснована технико-экономическая эффективность многолучевых БЗА.

Для исследований БЗА проведены аэродинамические продувки, геодезические и радиоголографические измерения весовых и тепловых деформаций на 64-метровом радиотелескопе и натурные вибромеханические и дина-

мические прочностные испытания. Результаты исследований и опыт создания БЗА позволили разработать эскизные проекты новых 128- и 64-метровых радиотелескопов и на их основе создать новые 32-метровые радиотелескопы в составе интерферометрического комплекса "Квазар" Института прикладной астрономии РАН и новые 12-метровые антенны ТНА-82.

Созданные БЗА используются в более чем 20 различных системах, разработанных в ОКБ МЭИ и других организациях, в том числе в "Единой системе спутниковой связи", в системах "Интерспутник", космического мониторинга, телеметрии, радиоастрономии и др.

## **3. Универсальные следающие 64-метровые радиотелескопы в пунктах Медвежьего озера и Калязин (1958–2000 гг.)**

Радиотелескопы создавались как универсальные инструменты для космической связи и радиоастрономии. Проект радиотелескопов принят в 1968 г. межведомственной комиссией и в свое время превосходил по техническому уровню аналогичные действующие зарубежные радиотелескопы первого поколения. Первый радиотелескоп введен в эксплуатацию в п. Медвежье озера в 1980 г., второй — в п. Калязин в 1993 г. В радиотелескопах реализован ряд оригинальных решений: система углового отсчета положения оси радиотелескопа с исключением влияния деформаций ОПУ; высокоточные 20-разрядные угловые датчики и мощные следающие электроприводы; безлюфтовые силовые передачи; гомологическая ЗС с корректированными профилями зеркал и системой фокусной компенсации; ряд нетрадиционных технологических решений, существенно сокративших стоимость инструментов.

На первом радиотелескопе в 80-е годы принят большой объем уникальной научной радиолокационной информации с АМС "Венера-15, 16", а также с АМС "Вега-1,2" и "Фобос-1,2". В течение 1979–1989 гг. исследована солнечно-вспышечная активность по программам Института прикладной геофизики и Ленинградского государственного университета на аппаратурном комплексе ОКБ МЭИ. В программу входили: двухчастотное картографирование Солнца; поляризационное просвечивание его короны и исследование тонкой временной структуры радиовсплесков и источников альфеновских волн. В ИПГ усовершенствованы методы прогноза солнечно-вспышечной активности.

На обоих радиотелескопах развиваются наблюдения по перспективным проектам: наземно-космические системы радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) "Радиоастрон" и VSOP (Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (АКЦ ФИАН)); проект "Астрокомплекс", включающий построение сверхстабильной пульсарной шкалы времени и пульсарную РСДБ-астрометрию (Пушинская радиоастрономическая обсерватория (ПРАО) АКЦ ФИАН); низкочастотные РСДБ-исследования тонкой пространственно-временной структуры солнечно-вспышечной активности (НИРФИ, АКЦ ФИАН). На радиотелескопах планируются: РСДБ-исследования фундаментальной астрогодезической системы (Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии); РСДБ-локация планет и астероидов (Институт радиотехники и электроники РАН и РНИИ космического приборостроения). Подготавливаются аппаратурные

комплексы для запусков космических аппаратов (КА) серии "Спектр", для бистатической радиолокации космического мусора и др.

Для более полного использования радиотелескопы модернизируются без остановки наблюдений. Модернизация предусматривает увеличение числа рабочих диапазонов на каждом инструменте до восьми в интервале длин волн 1–100 см для поочередной и совместной работы диапазонов; достижение предельной точности ЗС (~0,6 мм), точности системы наведения (СН) (5–7") и чувствительности радиотелескопа (50–200 Ян) во всех рабочих диапазонах; дальнейшее повышение уровня автоматизации; завершение отработки метрологического комплекса по точностям; дооснащение полномасштабными аппаратурными комплексами.

Многодиапазонная схема радиотелескопов основана на едином большом ( $6 \times \varnothing 2$  м) сильно расфазированном рупорном облучателе. Многодиапазонные наблюдения реализуются с незначительной потерей чувствительности и минимумом переделок на радиотелескопах. Возможно расширение диапазона радиотелескопов и до миллиметровых волн при планируемом повышении точностей ЗС и СН и некотором ограничении погодных условий. Экспериментальные наблюдения на волне 1,35 см при ширине луча менее 1' подтвердили высокую устойчивость СН и уточнили первоочередные меры по повышению чувствительности. Многодиапазонный облучатель с расширенным диапазоном разработан совместно с кафедрой "Антенны" МЭИ на основе численного решения строгой электродинамической задачи с учетом производственных допусков и полос частот.

При поэтапной радиологической юстировке ЗС в п. Медвежьего озера (совместно с Научно-исследовательским радиофизическим институтом) достигнута суммарная точность измерений и регулировок 0,2–0,25 мм. Ранее для юстировки при любых наклонах рефлектора был создан лазерный дальномерный профилометр (1980–1986 гг.). Для измерений на крупных антеннах в 1974–1984 гг. создана первая лазерная станция с наносекундными импульсами, контролирующая координаты летательного аппарата с радиорефером. Для повышения степени гомологичности ЗС исследуются и компенсируются ее весовые, тепловые и ветровые деформации. В 1980–1985 гг. исследована эффективность фотограмметрического и радиодальномерного контроля деформации рефлектора.

Точность угловой юстировки СН в полусфере доведена до 2". Исследуются остаточные угловые погрешности и условия их компенсации. Завершена автоматизация слежения и многократных быстрых переходов с объекта на объект при круглосуточной работе и ведется автоматизация тестовых, метрологических и вспомогательных режимов.

Создан и модернизируется прецизионный автоматизированный метрологический комплекс в составе радиометрической, радиологической, радиопеленгационной, геодезической систем и соответствующих технологий.

Радиотелескопы регулярно и эффективно работают в международных сетях РСДБ, чем повышают их общую чувствительность и увеличивают диапазон пространственных частот. На радиотелескопах получены новые результаты наблюдений. Институт космических исследований РАН получил радиоизображение джета радио-

галактики 3С274 и мазера в газопылевом комплексе W51. По проекту "Астрокомплекс" ПРАО АКЦ ФИАН исследует тонкую структуру флуктуаций времени и направления прихода импульсов радиоизлучения миллисекундных пульсаров в режимах тайминга и РСДБ. АКЦ ФИАН получил радиоизображение квазара 3С147 с повышенным разрешением в режиме наземно-космического интерферометра с участием КА HALCA (Япония). Радиотелескопы образуют уникальную по сочетанию чувствительности, точности, универсальности, надежности и экономичности приборную базу коллективного пользования.

#### 4. Заключение

Научные результаты являются составной частью решения ОКБ МЭИ (с участием ряда научных и производственных организаций) комплексной научно-технологической проблемы создания и широкого использования крупных оптимизированных антенн и радиотелескопов с их оборудованием для космических и радиоастрономических систем.

PACS numbers: 07.07.-a, 81.15.Hi, 85.30.-z

## Молекулярно-лучевая эпитаксия: оборудование, приборы, технология

О.П. Пчеляков

### 1. Введение

Синтез полупроводниковых тонкопленочных композиций из молекулярных пучков в сверхвысоком вакууме заявил о себе как о новом методе в полупроводниковом материаловедении после первых успешных экспериментов Артура и Чо в конце шестидесятых годов [1, 2]. Этот метод, наиболее часто называемый молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ) по аналогии с английским названием Molecular Beam Epitaxy, стал быстро развиваться благодаря разработкам уникальных приборов микро-, нано- и оптоэлектроники на структурах со сверхрешетками, квантовыми ямами и квантовыми точками, принцип действия которых (в отличие от традиционных приборов микроэлектроники) основан на волновой природе электрона. Это, в первую очередь, полупроводниковые лазеры и чувствительные фотодетекторы с квантовыми ямами, сверхрешетками и квантовыми точками в активной области, транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале, нанотранзисторы, туннельно-резонансные диоды, одноэлектронные приборы и т.п. В настоящее время дополнительный импульс как исследовательским, так и технологическим работам по МЛЭ придают идеи и перспективы создания элементной базы для квантовых компьютеров. Параллельно и так же интенсивно развивается научное приборостроение в этой области вакуумной техники и аналитического оборудования.

Промышленная реализация и развитие метода МЛЭ убедительно показали, что он незаменим при получении многослойных эпитаксиальных структур с атомной гладкостью границ, прецизионно заданными толщинами слоев, составом и профилем легирования. Применение высокочувствительных электронно-зондо-