

УДК 681.4 + 519.85

© В. С. Аблязов, В. В. Абрамов, А. С. Бажанов, И. Е. Балыков,
Л. З. Посошенко, В. И. Татаринев, А. А. Халдин

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОМ КОНСТРУКТОРСКОМ БЮРО ИНСТИТУТА РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ РАН (ФГУП СКБ ИРЭ РАН)

Представлен краткий обзор основных направлений работ СКБ ИРЭ РАН в области научного приборостроения. Приведены основные результаты работ, выполненных в 1993–2000 гг. в области измерительной техники миллиметрового диапазона волн, оптической сканирующей микроскопии, радиолокации, подповерхностного зондирования по программам научного приборостроения Ассоциации приборостроительных организаций "Академприбор".

1. КРАТКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАБОТ СКБ ИРЭ ЗА ПЕРИОД 60–80 ГГ.

СКБ Института радиотехники и электроники РАН было создано в августе 1958 г. решением Президиума Академии наук по инициативе тогдашнего директора ИРЭ РАН академика В.А. Котельникова. Основной задачей СКБ была определена разработка и изготовление нестандартных приборов и оборудования для обеспечения экспериментальных исследований ИРЭ РАН. Актуальность постановки такой задачи определялась тематикой ИРЭ РАН — института общефизического профиля с широким диапазоном задач, предъявляющих высокие требования к техническим средствам научных экспериментов.

Однако вскоре стало очевидным, что СКБ ИРЭ в состоянии без ущерба для ИРЭ обеспечить выполнение разработок в области радиоэлектронного научного приборостроения в интересах других институтов Академии наук и промышленности. К этому времени относятся решения руководства Академии наук о развитии научного приборостроения, организации работ по ведомственным и межведомственным Программам разработки и производства приборов для научных исследований и средств автоматизации, координации взаимодействия академических СКБ, заводов научного приборостроения.

Участие СКБ в ведомственных Программах научного приборостроения началось с ОКР по созданию нескольких моделей импульсных радиоспектрометров ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР), что позволило выпустить с 1960 по 1985 г. свыше 50 приборов 8 типов и провести в Институте элементоорганических соединений

им. А.Н. Несмеянова (ИНЭОС) и ряде других академических институтов пионерские работы по изучению динамики кристаллической решетки и фазовых переходов в сегнетоэлектрических кристаллах, изучению электрических и магнитных спектров ЯКР.

Значительный вклад СКБ ИРЭ внесло в создание технических средств для автоматизации научных исследований. В соответствии с Распоряжением Президиума АН СССР СКБ ИРЭ совместно с другими академическими организациями и заводами было поручено начиная с 1977 г. создание опытных образцов и производство аппаратуры в международном стандарте КАМАК. За полтора десятка лет было разработано свыше 80 наименований изделий КАМАК, организовано производство аппаратуры по документации СКБ на заводах, разработано несколько моделей проблемно-ориентированных систем для автоматизации научных исследований.

Большими успехами отмечено участие СКБ в разработке аппаратуры для космических исследований, создании уникальных образцов измерительной техники миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн, разработке и изготовлении локальных информационных сетей высокой надежности на основе волоконно-оптических и других кабельных систем.

2. НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ С 90-Х ГГ.

Начало 90-х гг. положило конец ясной и предопределенной заранее обеспеченности деятельности СКБ. Начавшаяся перестройка в экономике, смена приоритетов заставили искать новые спосо-

бы использования инженерного и производственного потенциала СКБ. Отметим развитие и жизненность следующих форм работы:

— поиск зарубежных заказчиков и осуществление контрактных поставок научного оборудования за рубеж, в первую очередь в развивающиеся страны. Наибольший интерес заказчиков проявляется к измерительной технике в диапазонах 3, 4 и 8 мм, а также СВЧ и ВЧ-устройствам сантиметрового и метрового диапазонов волн систем радиосвязи, радиолокации;

— сохранение и развитие руководством Российской академии наук в рамках Ассоциации "Академприбор" работ по научному приборостроению для обеспечения актуальных задач радиофизики и электроники: разработки опытных образцов научных приборов, перспективных для малосерийного производства, в том числе и для снятия необходимости закупок дорогого оборудования зарубежного производства. Руководством ИРЭ РАН в связи с общим недостатком средств была проведена политика концентрации на приоритетных направлениях, и в результате за последние 10 лет в программах научного приборостроения РАН СКБ ИРЭ в основном выполняло работы, связанные с созданием измерительной аппаратуры 3 мм диапазона волн, а также выполнило разработку нескольких моделей измерительных лазерных микроскопов для работ в области микроэлектроники;

— использование имеющегося задела в области разработки и изготовления элементов волоконно-оптических и кабельных локальных сетей для проведения крупномасштабных работ по созданию сетей стандарта Ethernet в Администрации Президента России, Доме правительства России, Госдуме, ряде федеральных ведомств и других организациях и предприятиях;

— использование производственного потенциала СКБ в интересах различных промышленных и хозяйственных организаций московского мегаполиса. Среди этих работ значительное место занимает изготовление сверхвысоковакуумных исследовательских и технологических установок для тонкопленочной микроэлектроники.

3. ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТОК СВЧ-АППАРАТУРЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Среди наиболее значительных научно-технических достижений в области измерительной аппаратуры миллиметрового диапазона волн за последнее десятилетие следует отметить такие, как:

— разработка методов численного анализа од-

но- и двухзеркальных внеосевых антенн, позволяющих существенно сократить время вычислений по сравнению с существующими методами без потери точности;

— разработка методов синтеза оптимальной поверхности контррефлектора для внеосевых короткофокусных антенн Кассегрена, на основе которых было создано оригинальное программное обеспечение для расчета внеосевых зеркальных антенн произвольной конфигурации и изготовлен ряд антенн 3 мм диапазона волн, обладающих уникальными характеристиками;

— разработка методов численного анализа и расчета многолучевых диэлектрических антенн миллиметрового диапазона волн, предназначенных для создания систем радиовидения и многолучевой связи; на основе этих разработок создан ряд антенн 3 мм диапазона волн с веерообразными диаграммами, обладающих уникальными характеристиками;

— разработка оригинального программного обеспечения, реализующего метод FDTD (Finite Differences Time Domain) для анализа и расчета пассивных электродинамических структур произвольной формы. На основе этой методики и расчетов создан ряд новых волноводных элементов 3 мм диапазона волн, предназначенных для применения в системах связи, радиолокации и радиовидения (балансный смеситель, ферритовый переключатель со встроенным модулятором, разделитель поляризаций, фазовый модулятор, первичные эталоны шумовых сигналов и др.).

4. РАБОТЫ ПО ПРОГРАММАМ НАУЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РАН ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

В работах по планам научного приборостроения РАН после их возобновления в 90-х гг. СКБ ИРЭ РАН совместно с другими организациями, входящими в Ассоциацию "Академприбор", начало участвовать с 1993 г. За прошедший период выполнялись работы по 7 ОКР, 4 из которых уже завершены, а выполнение 2 завершается.

4.1. Разработки в области миллиметровой измерительной техники

В области 3 мм измерительной техники завершена разработка пассивной одноканальной сканирующей радиометрической системы для формирования изображений объектов по их собственному радиотепловому (диапазон 92–96 ГГц) излучению. Общий вид системы приведен на рис. 1.

Система имеет следующие основные технические характеристики:

- ширина диаграммы направленности, рад — 0.007;
- диаметр апертуры, мм — 600;
- сектор обзора по азимуту и углу места, ° — ± 20;
- флуктуационная чувствительность приемника при $\tau = 1$ с, К — 0.06.

В настоящее время разрабатывается многоканальная радиометрическая система радиовидения, принимающая одновременно сигнал по 16 лучам. Создание систем радиовидения высокой чувствительности и геометрического разрешения имеет значительный научный интерес с точки зрения разработки методик применения в области радиолокации, радионавигации, медицины, биологии и т.д.

4.2. Разработки в области оптической сканирующей микроскопии

Для СВЧ-электроники нового поколения, а также для исследования полупроводниковых материалов и изделий микроэлектроники в СКБ ИРЭ и ИРЭ активно развиваются современные микроскопические методы исследований. В 1996–2000 гг. СКБ была проведена разработка лазерного сканирующего конфокального микроскопа, получившего название ЛСМ6. В настоящее время завершаются работы по созданию установки субмикронной микроскопии потенциалов и токов полупроводниковых СВЧ-устройств методами фотоиндуцированных токов (μ -ФИТ).

Лазерные сканирующие микроскопы позволя-

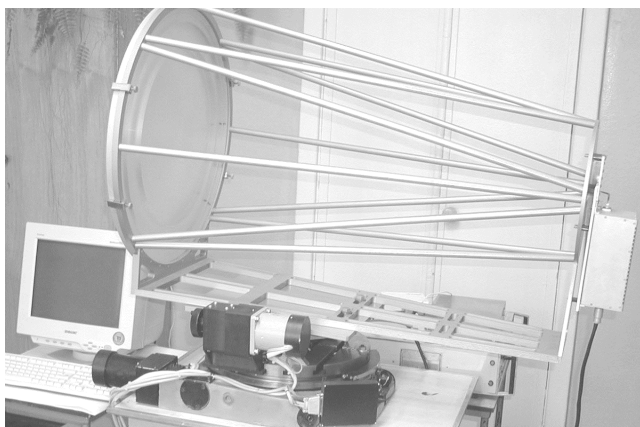


Рис. 1. Внешний вид пассивной одноканальной сканирующей радиометрической системы для формирования изображений объектов по их собственному радиотепловому излучению

ют решать многие актуальные задачи микроэлектроники:

- измерение геометрических параметров структур в микронном и субмикронном диапазонах;
- бесконтактное измерение пространственного распределения потенциалов с высоким разрешением;
- обнаружение и исследование электрически активных дефектов в полупроводниковых структурах;
- исследование механизмов деградации полупроводниковых структур, видов, причин и механизмов отказов полупроводниковых приборов.

Конфокальные лазерные сканирующие микроскопы, в отличие от обычных оптических микроскопов, предоставляют уникальную возможность исследования неоднородностей встроенных потенциальных барьеров на гетерограницах в структурах с барьером Шоттки, системах с двумерным электронным газом на основе гетеропереходов, структурах с квантовыми ямами и сверхрешетками с микронным и субмикронным пространственным разрешением.

Оптические сканирующие микроскопы, широко распространенные в мировой практике научных исследований и технологических применений и выпускаемые такими известными фирмами США и Германии, как "Opton", "Meridian Instruments", "Wild Leitz", "Carl Zeiss", как правило, недоступны российским исследователям из-за их высокой стоимости. ЛСМ6, не уступая им по основным параметрам, имеет стоимость примерно на порядок меньше.

На рис. 2 показан внешний вид ЛСМ6.

На рис. 3 показаны полученные на ЛСМ6 изображения фрагмента СВЧ-полевого транзистора с барьером Шоттки.

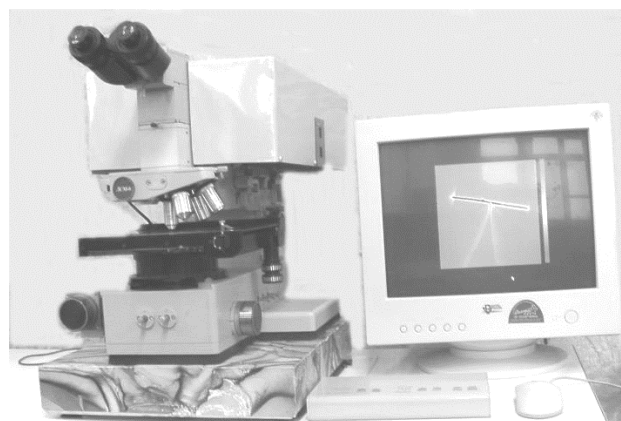


Рис. 2. Внешний вид конфокального лазерного сканирующего микроскопа ЛСМ6

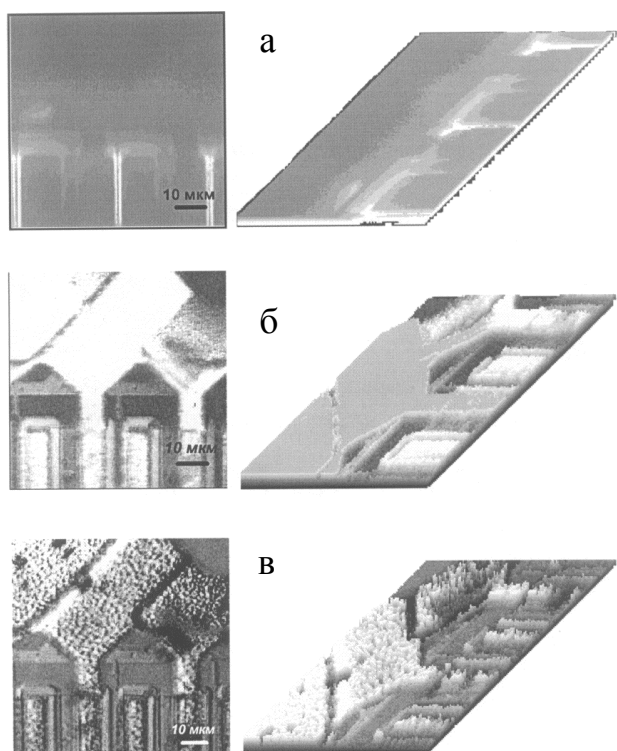


Рис. 3. Изображения фрагмента СВЧ-полевого транзистора с барьером Шоттки, полученные на ЛСМ6 в различных режимах ($\lambda=0.63$ мкм, микрообъектив с $NA = 0.85$):

а — фотоиндуцированных токов (ОВИС);
 б — в отраженном свете;
 в — в отраженном свете с дифференциальным поляризационным контрастом

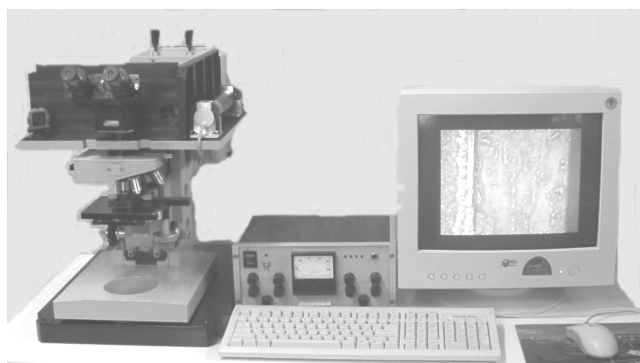


Рис. 4. Внешний вид оптического сканирующего микроскопа "μ-ФИТ"

ЛСМ6 имеет следующие технические характеристики:

- максимальное латеральное (X, Y) разрешение, мкм — 0.4;
- максимальное сагитальное (Z) разрешение, мкм — 0.5;
- чувствительность в режиме измерения тока, наведенного лазерным лучом, $A/\Gamma c^{1/2} — 10^{-10}$;
- диапазон перемещения координатного стола X, Y , мм — 100×100 ;
- минимальный шаг XU -перемещения, мкм — 10;
- диапазон перемещения по оси Z , мкм — 450;
- минимальный шаг Z -перемещения, мкм — 0.1.

ЛСМ6 является базовой моделью для создания конфокальных лазерных сканирующих микроскопов для медико-биологических исследований в клеточной биологии, неврологии, генетике, фармакологии.

На базе ЛСМ6 могут быть созданы образцы сканирующих оптических микроскопов для исследований и измерений тепловых и механических параметров, напряженно-деформированного состояния сложных композиционных изделий из металлов, полупроводников и диэлектриков, дефектоскопии склеек и сварных соединений.

ЛСМ6 введен в опытную эксплуатацию в ИРЭ РАН, и в настоящее время на нем отрабатываются методики физико-технологических исследований материалов и изделий микроэлектроники, в том числе СВЧ-полевых транзисторов.

Разрабатываемая в настоящее время установка субмикронной микроскопии — оптический сканирующий микроскоп "μ-ФИТ" (его внешний вид приведен на рис. 4) — представляет собой новое устройство для локальной диагностики и исследования деградационных механизмов СВЧ-полупроводниковых приборов миллиметрового диапазона волн. Установка конкурентоспособна, прямые аналоги за рубежом отсутствуют.

Микроскоп "μ-ФИТ" отличается от ЛСМ6:

- неразрушающим характером измерений, связанным с невысокими плотностями оптического излучения на поверхности исследуемых структур даже при очень высоких степенях фокусировки вплоть до дифракционного предела;
- более высоким латеральным и сагитальным разрешениями;
- конструкцией и схемными особенностями оптико-механического устройства, системы обработки информации, позволяющими наращивать (расширять) информационные возможности микроскопа, связанные с реализацией новых методик измерений свойств полупроводниковых структур;
- более высокой чувствительностью измерений фотоиндуцированных токов (на два порядка);
- введением дополнительных режимов (мод),

таких как:

- ◆ микроскопия на отражение в светлом и темном поле с цифровой фотокамерой;
- ◆ поляризационная микроскопия на отражение в светлом поле с цифровой фотокамерой;
- ◆ конфокальная лазерная сканирующая микроскопия на отражение с дифференциальным контрастом;
- ◆ исследование фотолюминесценции и электролюминесценции;
- ◆ модуляционная фотоёмкостная спектроскопия.

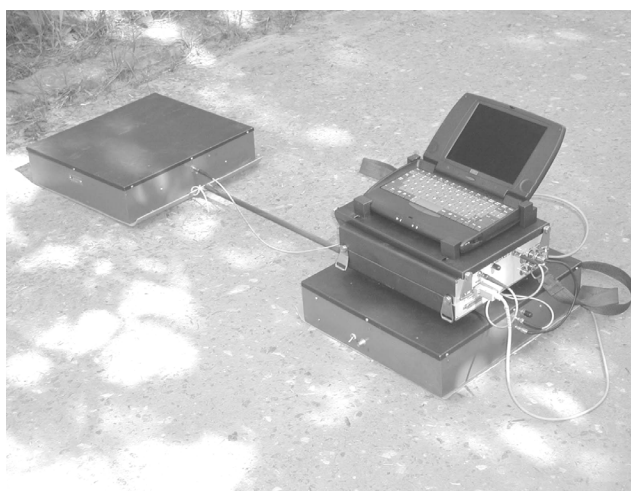


Рис. 5. Внешний вид георадара "Герад-3"

4.3. Разработка радиолокатора подповерхностного зондирования

Среди других работ, выполненных СКБ ИРЭ в последние годы по академическим программам научного приборостроения, следует отметить разработку радиолокатора подповерхностного зондирования — георадара "Герад-3", проведенную совместно с ИРЭ по договору с Институтом геоэкологии РАН.

Разработка георадара является реализацией перспективных научных идей геофизического приборостроения, основанных на современном уровне развития систем сбора и обработки информации и новых возможностей создания радиоэлектронных систем. Георадар "Герад-3"

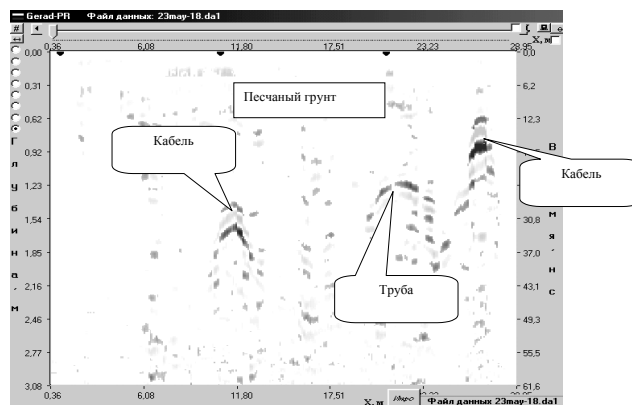


Рис. 7. Поиск местонахождения подземных коммуникаций с помощью георадара "Герад-3"

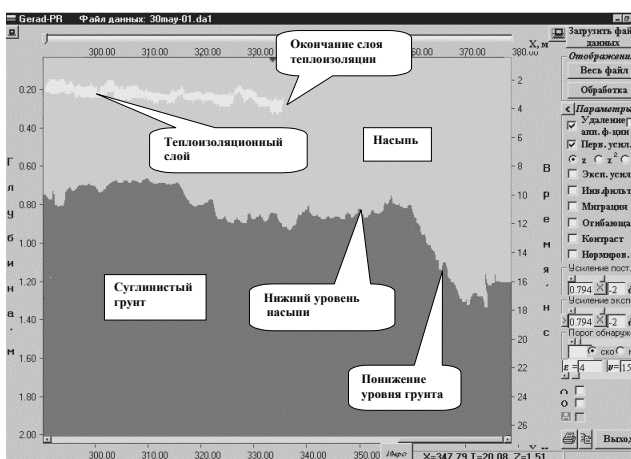


Рис. 6. Обследование состояния железнодорожного полотна с помощью георадара "Герад-3"

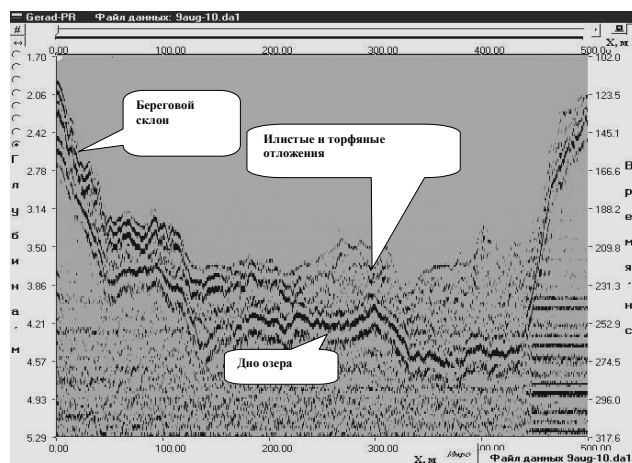


Рис. 8. Обследование дна водоема с помощью георадара "Герад-3"

(внешний вид — на рис. 5) представляет радар с ударным возбуждением электрическим импульсом передающей антенны и последующими аналого-цифровой обработкой и анализом сигнала, отраженного от подземных объектов и принятого приемной антенной. Он предназначен для решения задач инженерной геологии и геоэкологии, таких как:

- картографирование геологических структур;
- определение зон техногенных загрязнений подпочвенного слоя земли;
- обследование инженерных сооружений.

В состав георадара входят антенные системы двух типов А-70 и А-200. Антенная система А-70 построена по принципу нагруженного диполя и обеспечивает глубину зондирования до 20–30 м при разрешении до 30 см. Антенная система А-200 — экранированная, щелевая и предназначена для зондирования до глубин 3–5 м с разрешением до 10 см.

Георадар проходил апробацию при обследовании состояния железнодорожного полотна (рис. 6), поиске местонахождения подземных коммуникаций (рис. 7), обследовании дна водоемов (рис. 8).

Георадар "Герад-3", не уступая по основным параметрам георадарам, выпускаемым зарубеж-

ными фирмами SIR SYSTEM, RAMAC/GPR, Pulse Ekko, имеет более низкую стоимость.

В настоящее время идет проработка новой модели георадара, предназначенной для детального обследования строительных конструкций и верхнего слоя почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя результаты работ за последние десять лет, мы делаем вывод, что сохранить инженерно-технологический потенциал СКБ ИРЭ удалось благодаря прежде всего востребованности устройств систем радиолокации и радиосвязи миллиметрового, сантиметрового и метрового диапазонов волн, а также благодаря постоянной финансовой поддержке научного приборостроения по программам, формируемым Ассоциацией приборостроительных организаций РАН "Академприбор".

ФГУП СКБ ИРЭ РАН, г. Фрязино

Материал поступил в редакцию 20.12.2001.

SCIENTIFIC INSTRUMENT ENGINEERING AT THE SPECIAL DESIGN BUREAU OF THE INSTITUTE OF RADIO ENGINEERING AND ELECTRONICS OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (FSUE SDB IRE RAS)

**V. S. Abliazov, V. V. Abramov, A. S. Bazhanov, I. E. Balykov,
L. Z. Pososhenko, V. I. Tatarinov, A. A. Haldin**

FSUE SDB IRE RAS, Fryazino

A brief review of main directions of SDB IRE RAS activities in the field of scientific instrument making is presented. Major results of work on the development of millimeter wave range measurement equipment, optical scanning microscopy, ground penetrating radar obtained during 1993–2000 in accordance with the programs of the AKADEMPRIBOR Association are presented.