



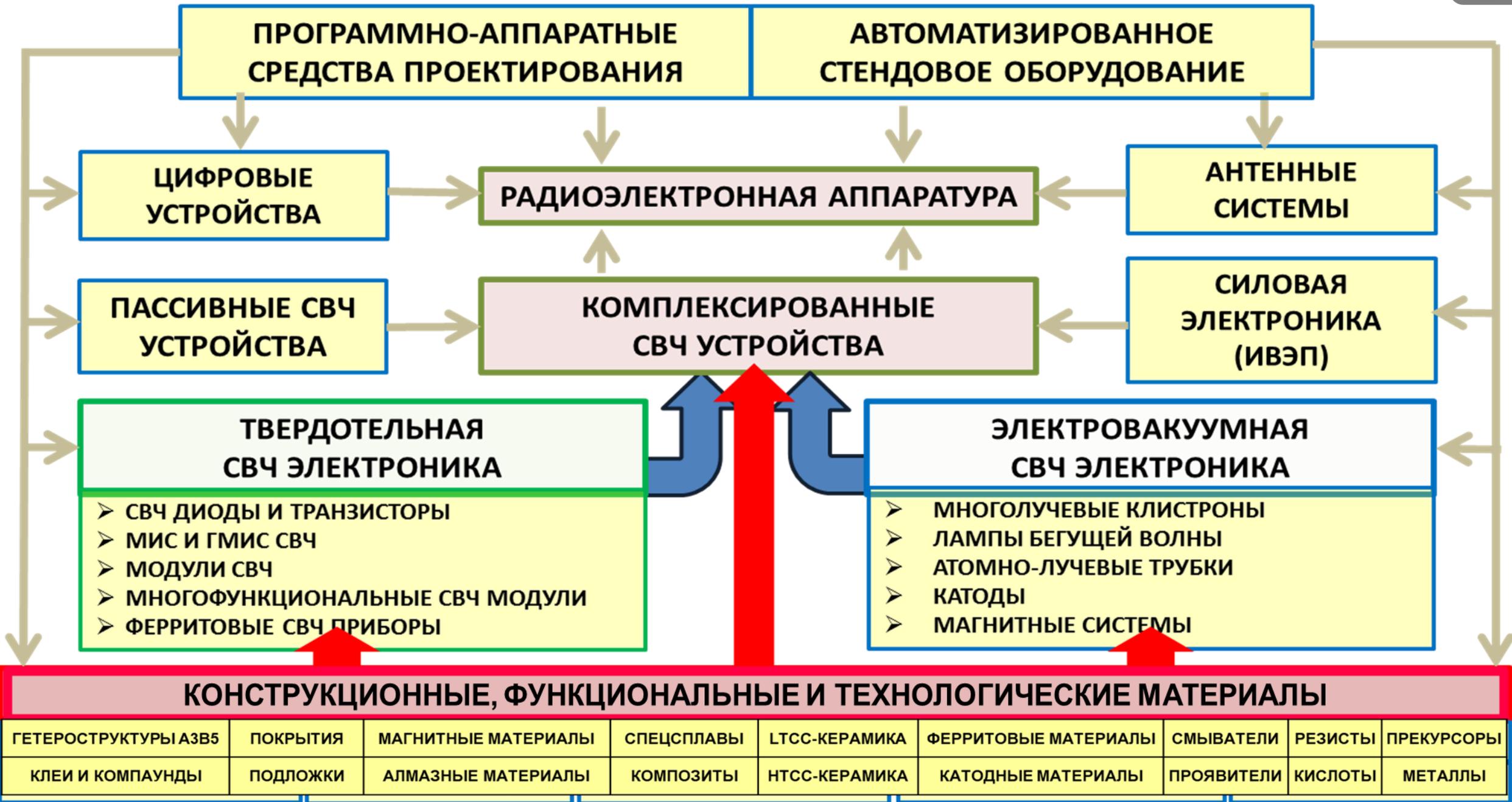
Проблемные вопросы обеспечения конструкционными, функциональными и технологическими материалами производства изделий СВЧ-электроники

к.т.н. ЩЕРБАКОВ

Сергей Владиленович

**Заместитель генерального директора –
директор по научной работе
АО «НПП «Исток» им. Шокина»**

02 июля 2025 года





1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	Применение
Магнетроны								АРГС, СФП
Клистроны отражательные								
Амплитроны								АРГС
Клистроны пролетные однолучевые								СФП, Ускорители
ЛБВ ЦСР								РЛС
ЛБВ спиральные широкополосные								РЭБ, Связь
ЛБВ космического применения								Космическая связь
Цепочки ЭВП СВЧ								РЛС, Связь
КИ СВЧ								РЛС, АРГС, СФП
ЭСУ, ЭСКУ								
ЦЗУ и ЦЗКУ								РЛС
Эндотроны								
Минитроны								
Гиро-приборы								Мощные мм-РЛС
Клистроны многолучевые мощные								РЛС, СФП
Клистроны многолучевые малогабаритные								АРГС

- Актуальное время

АРГС – Активная радиолокационная головка самонаведения
СФП – Средства функционального поражения

РЛС – Радиолокационная станция
РЭБ – Радиоэлектронная борьба

- Диапазоны температур при эксплуатации от -60 до +250 °С
- Высокие требования по ЛКТР
- Сочетание конструкционных и функциональных материалов
- Использование материалов высокой степени чистоты
- Широкая номенклатура различных материалов и сортамента
- Специальные технологии получения, обработки и нанесения
- Малотоннажное потребление

- Специальные материалы для резонаторных и замедляющих систем

- Более 300 деталей и узлов



- Более 50 типов разнотемпературных припоев

- Специальные катодные материалы и сплавы, в т.ч. на основе РМ и РЗМ

- Специальные тугоплавкие материалы и сплавы для коллекторов

- Металлы, сплавы и псевдосплавы для элементов конструкции

- Специальные виды керамики, поглотителей и других материалов

Вид материала	Марка	Назначение	Потребители	Среднегодовые объемы поставок, кг/год	
				потребителям	ВСЕГО
ПСЕВДОСПЛАВЫ Медь-Молибден	МД8,5 МД25 МД35 МД40	Изготовление деталей твердотельных и вакуумных приборов	НПП «Исток» АО «Российские космические системы», Москва АО «Светлана-ЭП», С-Петербург УПКБ «Деталь», Каменск-Уральский АО «Тайфун», Калуга АО «Компонент», Зеленоград	410,0	530,0
	МД50 МД80			120,0	
	Медь-Молибден-Никель			МД40Н	
Медь-Вольфрам	ВМ15				
КАТОДНЫЕ СПЛАВЫ Палладий-Барий	ПдБ2	Изготовление катодов ЭВП СВЧ	НПП «Исток» АО «НПП «Контакт», Саратов АО «РТИ-Радио», Саратов АО «Гранит», Ростов н/Д АО «Фаза», Ростов н/Д	0,5	5,1
	ПлБ2			4,6	
	Никель-Кальций				
	Иридий-Церий				
	Иридий-Церий-Вольфрам				
Иридий-Церий-Вольфрам	И-Ц-В1 И-Ц-В3				
ФОЛЬГА ИЗ МЯГКИХ ПРИПОЕВ на основе олова, свинца, индия с добавками серебра, кадмия, висмута, германия	ПОИн-50 ПОС-10 ПОС-61	Припои для пайки полупроводниковых приборов и микросхем	НПП «Исток» АО «Аксион-Холдинг», Ижевск АО «Сигнал», Ставрополь АО КНИРТИ, Протва	132,0	148,0
	ПСИн-12 ПИНС-40 ПОСК50-18 ПСРинГ-5-5 ПСрОС3-58 ПОСВи-22-28-50			16,0	
МНОГОСЛОЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ		Элементы оболочек ЭВП, керны оксидных катодов	НПП «Исток»	27,0	34,5
медь-константан-медь	МКМ				
медь-никель-медь	МНМ	Изготовление катодов ЭВП СВЧ	АО «Владыкинский механический завод», Москва	7,5	
никель-рений-кальций, плакированный никелем	НКР10Н				
ПРИПОИ	Лента свинцовая, плакированная припоем ПОИн-50	Пайка материалов с различными коэффициентами линейного температурного расширения			
ФОЛЬГА ИЗ ИНДИЯ	Фольга толщиной менее 50 мкм из индия ИН-00	Прокладки для создания контактов в твердотельных приборах	НПП «Исток» АО «Аксион-Холдинг», Ижевск АО КНИРТИ, Протва АО «Сигнал», Ставрополь	9,5	14,5
				5,0	
СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ МЕДИ	БРК-ВП МН-10 МН-25 ПМГ10Пд2 ПМГ9-ВП	Конструкционные элементы ЭВП СВЧ и твердые припои	НПП «Исток» АО «Гранит», Ростов н/Д	3,5	8,3
				4,8	

Всего 15 предприятий – 740,4 кг/год

Материалы	Технология	Потребители	Количество, шт. деталей/год	
Алюмооксидная керамика ВК94-1, А-995	Массоподготовка Формование Обжиг Алмазная шлифовка Металлизация	«НПП «Исток»	90 000 (66,9%)	134 500
		АО «Гранит», Ростов н/Д	27 000	
		АО «Фаза», Ростов н/Д	2 500	
		Другие (15 предприятий)	15 000	
Резонаторная керамика ЦТО, 2БТ-9, БЦНТ, БСТ	Массоподготовка Формование Обжиг Алмазная шлифовка Измерение параметров Доводка частоты	«НПП «Исток»	6 000 (97,5%)	6 150
		«Курский НИИ» Минобороны России	150	
Поглотительная керамика КТ-30, АНМКХ-2, ПКМ-35Ж, АН-50М	Массоподготовка Формование Термообработка Алмазная шлифовка	«НПП «Исток»	2 500 (87,7%)	2 850
		АО «НПП «Торий», Москва	150	
		НПО «ЛЭМЗ», Москва	200	
Нитридалюминиевая керамика ВНА-99-2	Массоподготовка Формование Термообработка Алмазная шлифовка Металлизация	«НПП «Исток»	225 (6,3%)	2 385
		Предприятия «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»	1 450	
		АО «ПКБ», Балахна	160	
		НПО «ЛЭМЗ», Москва	400	
		АО «ЦКБА», Тула	150	
Керамика низкотемпературного обжига и изделия из нее	Полный технологический цикл изготовления СКМ и СВЧ теплопроводных плат	НПП «Исток»	35 000	35 000

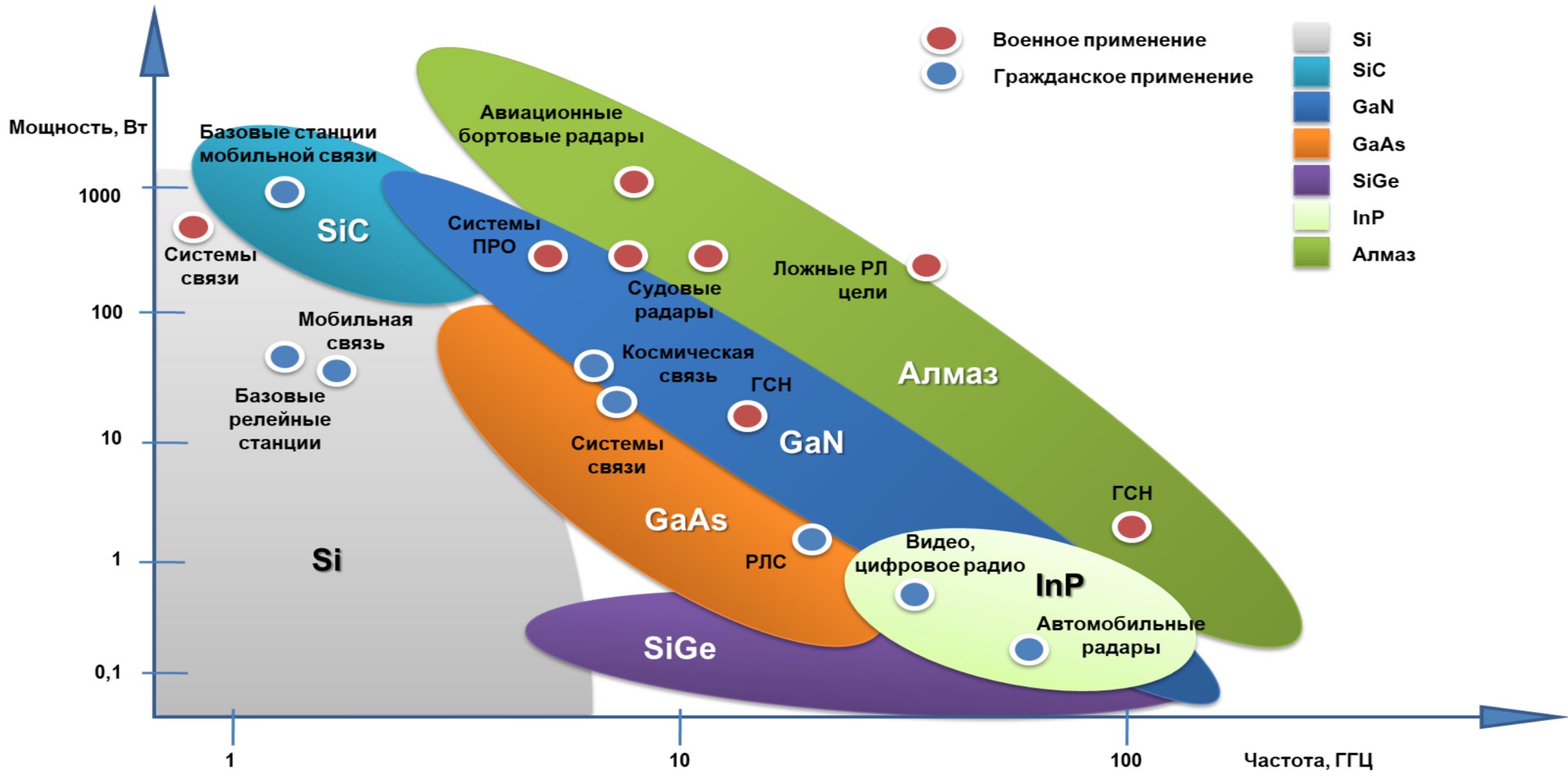
ИТОГО: 180 885 шт. деталей в год, в том числе «НПП «Исток» - 133725 шт. (73,9%)

Материалы вакуумной СВЧ радиоэлектроники



Материал	Изготовитель	Состояние
Бескислородная (вакуумная) медь (МВ, МВ-И)	Кольчугинский завод цветных металлов (Кольчугино, Владимирской обл.) АО «Промэлектроника» (Саратов)	Низкое качество
Бериллиевая керамика	ООО «Казметизпром» (Усть-Каменогорск, Казахстан)	Производство ограничено
Молибден (МЧВП)	ИФТТ РАН (Черноголовка, Московской обл.)	Производство ограничено
Медно-никелевые (МН19-ВП) полоса, лента, прутки	ООО «Мценскпрокат» (Мценск, Орловской обл.)	Производство ограничено
Сталь 10864-ВИ, 10860-ВИ, 10880-ВИ	ООО «ЗМЗ» (Златоуст, Челябинской обл.)	Производство ограничено
Пруток 42НА-ВИ (круг)	ООО «Ферромагنون» (Москва) ООО «Компания «Гвинн» (Зеленоград, Москва)	Производство ограничено
Тантал листы, фольга	АО «ЧМЗ» (Глазов, Удмуртия)	Производство ограничено
Проволока из драг. металлов	АО «МЗСС» (Москва)	Производство ограничено
Вольфрамовые порошки (ВА)	АО «Промэлектроника» (Саратов) АО «Победит» (Владикавказ, РСО)	Производство ограничено Низкое качество
Чистый молибден (МЧ) сплав ТСМ-7	ИФТТ РАН (Черноголовка, Московской обл.)	Производство ограничено
Нитрид бора	АО «Унихим с ОЗ» (Екатеринбург)	Производство ограничено
Самарий СММ-1 Эрбий ЭРМ-1 Гадолиний ГДМ-1	Уралпредмет, (Верхняя Пышма, Свердловской обл.) ИХМЗ (Усть-Каменогорск, Казахстан)	Производство в РФ прекращено (поставки из Китая)

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭКБ СВЧ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации до 2030 года



ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РАСПОРЯЖЕНИЕ

от 17 января 2020 г. № 20-р

МОСКВА

1. Утвердить прилагаемые:

Стратегию развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года (далее - Стратегия);
план мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года.

2. Минпромторгу России с участием заинтересованных федеральных органов исполнительной власти обеспечить мониторинг и контроль реализации положений Стратегии.

3. Рекомендовать органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органам местного самоуправления руководствоваться положениями Стратегии при разработке и реализации целевых программ и иных документов.

Председатель Правительства
Российской Федерации

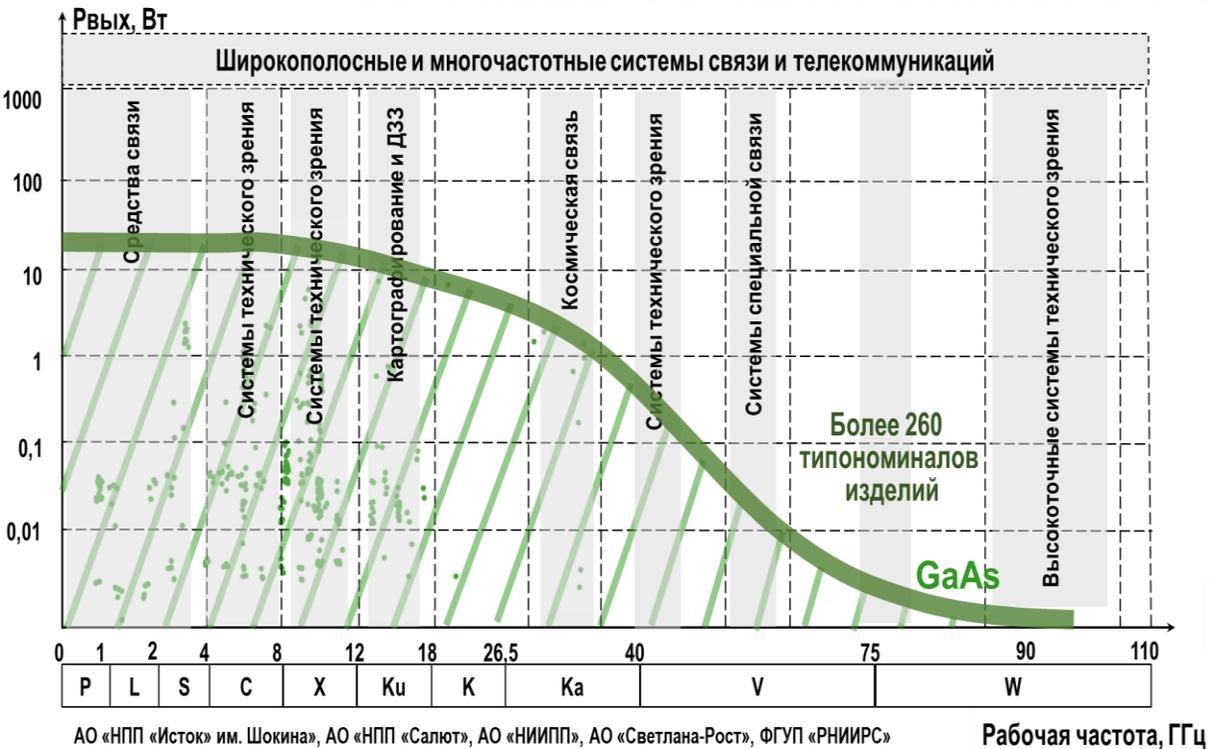
М.Мишустин

РАЗРАБОТАТЬ И ПРОМЫШЛЕННО ОСВОИТЬ:

- Технологии для производства электронной компонентной базы СВЧ-диапазона, в том числе технологии ... HEMT, pHEMT с топологической нормой 65-45 нм ...;
- Технологии и производство полупроводниковых материалов во всех необходимых формах ... гетероэпитаксиальных структур **A3B5** ... и других;
- Технологии производства СВЧ монолитных интегральных схем и полупроводниковых приборов на **A3B5**... и электронных модулей на их основе, включая технологии на **GaAs, ..., на GaN ...**

СОЗДАТЬ ПРОИЗВОДСТВА:

- **Фабрика ... с топологической нормой 65/45 нм для выпуска СВЧ электроники ...;**
- **Фабрика с технологией создания нанометровой ЭКБ, МИС, сложнофункциональных систем на кристалле SnK и систем радиоэлектроники в субмиллиметровом диапазоне до 1 ТГц на базе технологий GaN-on-SiC...;**
- **Производство фотошаблонов** в обеспечение производств нанометровой ЭКБ, МИС с необходимым топологическим уровнем;
- Производство подложек высокоомного кремния, **арсенида галлия, карбида кремния ...**



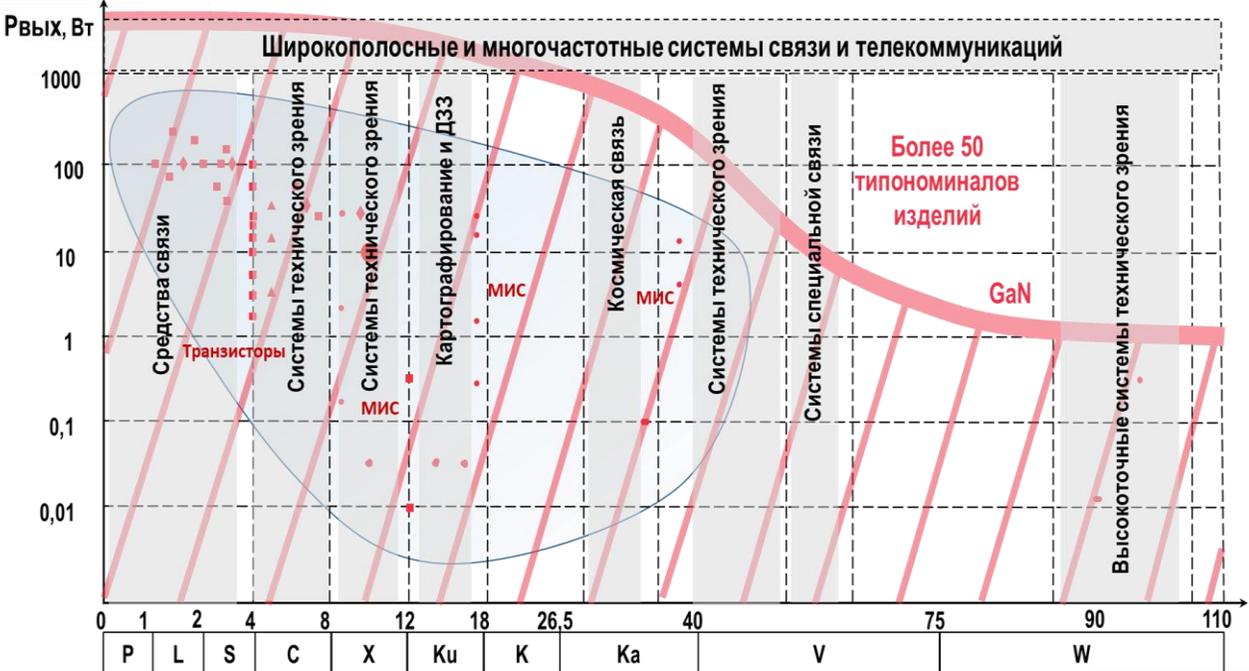
АО «НПП «Исток» им. Шокина», АО «НПП «Салют», АО «НИИПП», АО «Светлана-Рост», ФГУП «РНИИРС» Рабочая частота, ГГц

Серийное кристалльное производство отсутствует. В настоящее время в России годовое суммарное потребление СВЧ приборов импортного производства на основе нитрида галлия эквивалентно производству 1,3 - 1,5 тысяч пластин Ø150 мм на сумму более 30,0 млрд. рублей!

Имеющиеся в настоящее время российские кристалльные производства все вместе обеспечивают выпуск СВЧ приборов на основе арсенида галлия в объеме не более 6 тысяч пластин Ø 76 мм в год (25-30% при общем годовом потреблении эквивалентном 20-25 тыс. пластин).

Исток (3 тыс.), РНИИРС (600), Микран, Светлана-Рост, Планета, Салют, НИИПП (по 400), другие (400)

Остальное – кристалльное производство за рубежом



АО «НИИЭТ», АО «Светлана-Рост», ФГУП «РНИИРС», АО «НПП «Исток» им. Шокина», АО «НПП «Салют», АО «НИИПП» Рабочая частота, ГГц

Материалы СВЧ микроэлектроники



	РОССИЯ	ЗА РУБЕЖОМ
Гетероструктуры на основе GaAs	Green	Green
Гетероструктуры на основе GaN	Blue	Green
Алмазные приборные структуры	Red	Green
Особочистые вещества для получения полупроводниковых материалов (арсин, фосфин, аммиак)	Green	Green
Особочистые вещества для получения ферритовых материалов (оксиды редкоземельных металлов, железа, никеля)	Blue	Green
Алюмонитридная керамика	Blue	Green
LTCC - керамика	Green	Green
Подложки из полуизолирующего карбида кремния	Blue	Green
Бериллиевая керамика	Blue	Green
Подложки из монокристаллического арсенида галлия	Blue	Green
Термостабильные ферритовые материалы с повышенным порогом нестабильности спиновых волн	Red	Green
Ферритовые материалы оптической неоднородности	Red	Green
Полимерные припои (технология polysolder)	Red	Green
Припои и припойные пасты на основе золота-олова	Red	Green

- Серийное производство
- НИОКР
- Отсутствует

№/пп	Материалы	Количество типов/марок применяемых материалов	Страна изготовления применяемых материалов	Суммарное потребление
1	Фоторезисты (SPR700 1.2, AZ 7905 и др.)	8 марок	США, Германия	Более 4 500 литров/год
2	Электронные резисты (PMGI SF9, 950 PMMA C9 и др.)	6 марок	США	Более 2 000 литров/год
3	Проявители и сниматели (MF-24A, EBR PG, MIBK и др.)	6 марок	США, Швейцария	Более 30 000 литров/год
4	Химические материалы (NMP, IPA, HCl, HF и др. качества VLSI)	13 типов	США, Франция, Германия	Более 80 000 литров/год
5	Металлы (Au, Ti, Pt, Ni и др. чистотой 99,99% – 99,9995%)	8 типов	Япония	Более 200 кг/год
6	Специальные технологические газы (SiH ₄ , Cl ₂ , PH ₃ , SF ₆ и др. чистотой 99,999%)	12 типов	Германия, Франция	Более 90 баллонов/год
7	Металлорганические прекурсоры (TMGa, TMAI и др. качества VLSI)	4 типа	США, Франция	Более 6 литров/год

Среднегодовой объем потребления 455 позиций материалов импортного производства по всем технологическим переделам только АО «НПП «Исток» им. Шокина» составляет более 500 млн. руб.

Гетероструктура для процесса D01 с топологической нормой 0,1 мкм

Элемент структуры	Материал	Концентрация n, см ⁻³	Толщина, нм
контактный	GaAs	$5 \cdot 10^{18}$	60
конт. grad	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As \rightarrow Al_{0,01}Ga_{0,99}As$	$5 \cdot 10^{18}$	10
барьерный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	29
стоп-слой	$In_{0,51}Ga_{0,49}P$	н/лег.	2,5
барьерный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	10,5
донорный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	$7 \cdot 10^{18}$	5
спейсер	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	3
канал	$In_{0,26}Ga_{0,74}As$	н/лег.	10
спейсер	GaAs	н/лег.	4
донорный	GaAs	$7 \cdot 10^{18}$	2,5
буфер	GaAs	н/лег.	190
подложка	GaAs		

Гетероструктура для процесса EД02 с топологической нормой 0,2 мкм

Элемент структуры	Материал	Концентрация n, см ⁻³	Толщина, нм
контактный	GaAs	$4 \cdot 10^{18}$	54
барьерный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	23,5
донорный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	$2 \cdot 10^{18}$	22
спейсер	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	3
донорный	δSi	$9,6 \cdot 10^{11}$	0
канал	$In_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	10
буфер	GaAs	н/лег.	408
подложка	GaAs	SI	

Гетероструктура для процесса D025 с топологической нормой 0,25 мкм

Элемент структуры	Материал	Концентрация n, см ⁻³	Толщина, нм
контактный	GaAs	$3,7 \cdot 10^{18}$	60
контактный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As \rightarrow Al_{0,01}Ga_{0,99}As$	$3,7 \cdot 10^{18}$	10
барьерный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	28
стоп-слой	$In_{0,52}Ga_{0,48}P$	н/лег.	3
барьерный	GaAs	н/лег.	0,5
барьерный	$Al_{0,40}Ga_{0,60}As$	н/лег.	4
барьерный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	7,5
донорный	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	$4,7 \cdot 10^{18}$	5
донорный	δSi	$9,6 \cdot 10^{11}$	0
спейсер	$Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	3
спейсер	GaAs	н/лег.	0,5
канал	$In_{0,17}Ga_{0,83}As$	н/лег.	8,5
спейсер	GaAs	н/лег.	3,5
донорный	GaAs	$3,7 \cdot 10^{18}$	3,5
буфер	$Al_{0,37}Ga_{0,63}As \rightarrow Al_{0,22}Ga_{0,78}As$	н/лег.	9
буфер	$Al_{0,37}Ga_{0,63}As$	н/лег.	37
буфер	$Al_{0,01}Ga_{0,99}As \rightarrow Al_{0,37}Ga_{0,63}As$	н/лег.	28
буфер	3xGaAs	н/лег.	50
предэпитаксия			0
подложка	GaAs		

Параметры гетероструктур

Толщина слоёв	2 ÷ 1000 нм
Неоднородность по толщине	1,5%
Неоднородность по уровню легирования	3,0%
Подвижность при 77° K	не менее 80000 см ² /вс

Соединение	Формула	Квалификация
Арсин	AsH_3	99,99994 %
Фосфин	PH_3	99,99996 %
Аммиак	NH_3	99,99994 %
Моносилан	SiH_4	99,99994%
Дисилан	Si_2H_6	99,99 %
Триметил галлия	$\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$	99,99997 %
Триметил алюминия	$\text{Al}(\text{CH}_3)_3$	99,99996 %
Триметил индия	$\text{In}(\text{CH}_3)_3$	99,9998 %
Диэтилцинк	$\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$	99,99997 %
Мышьяк металлический	As	99,99999 %
Кремний четырёххлористый	SiCl_4	99,99994 %

**Департамент Химической промышленности
+ АО «МНТЦ МИЭТ»**



Согласование с потребителями ТЗ на НИОКР:

- постанова на производство фоторезиста
- постанова на производство снимателя для резиста
- тара для особо чистых веществ

**Департамент металлургии и материалов
+ ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт»**



- НИР «Расшифровка» - выполняется ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт»
- Для подготовки программы деятельности Головного центра компетенций направлены предложения по разработке технологий и освоению серийного производства материалов (НПП «Исток» + Дивизион СВЧ) в рамках импортозамещения и обеспечения технологической независимости

№ п/п	Наименование работы	Шифр	Объём финансирования, млн. руб.	Период реализации
1	Разработка технологии производства никель-кальциевых сплавов с заданными свойствами для изготовления ответственных деталей ЭВП СВЧ	«НИКА»	170	2025-2026
2	Разработка многослойных композитных материалов с повышенными теплофизическими свойствами для производства деталей СВЧ приборов	«Триметалл»	220	2025-2026
3	Разработка технологии и освоение производства феррит-диэлектрических структур для многослойных интегральных схем см- и мм-диапазона длин волн на основе керамики с низкой температурой обжига	«Фанта»	260	2025-2027
4	Разработка технологии изготовления гексагональных ферритовых материалов и подложек из них для полосковых ферритовых приборов миллиметрового диапазона длин волн	«Феррит»	180	2025-2028
5	Разработка технологии изготовления конденсаторной керамики с высоким значением диэлектрической проницаемости (ϵ до 10 000)	«Керамика-К»	150	2025-2027
6	Разработка технологии изготовления керамического материала, поглощающего СВЧ энергию для мощных ЭВП со стабильным уровнем поглощения в см и мм диапазонов длин волн на уровне 15-20 Вт/гр	«Поглотитель»	165	2025-2027
7	Разработка технологии изготовления керамического материала с $\epsilon \sim 24$ и на его основе сверхвысокочастотных (добротность $Q \geq 20000$ на частоте $F \sim 10$ ГГц) диэлектрических резонаторов для СВЧ приборов X...Ka диапазонов длин волн, для аппаратуры связи, радиолокации и телекоммуникационных систем	«Тантал»	180	2025-2027

СОГЛАСОВАНО

 Заместитель генерального директора -
директор по ГОЗ и производству

 А.С. Котов
" " " 2022 г.

Директор по снабжению

 Р.А. Зоз
" " " 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

 Временный генеральный директор
АО "НПП "Исток" им. Шокина"


В.С. Добров
" " " 2022 г.

Дополнение №1 к Плану мероприятий по подбору аналогов импортных материалов и их опробованию .				
"Детальный график по опробованию материалов по разделам "Фоторезисты" и "Проявители"				
№ этапа	Этап	Сроки выполнения	Исполнитель	Комментарии
I. Подбор аналогов и их опробование по разделу "Фоторезисты" и "Проявители"				
0	Подключение и запуск установки нанесения и проявления фоторезиста ACS200 GEN3M	23.05.2022 - 15.08.2022	ОТП, ОГМ	Данное оборудование требуется для опробования материалов без остановки текущего производства.
0	Поставка резистов и проявителей	15.07.2022 - 30.07.2022	ОМТС	
1	Построение кривых зависимости толщин резистов от скорости вращения центрифуги	18.08.2022 - 24.08.2022	НПК-4	
2	Анализ и обработка полученных в этапе №1 данных. Выбор толщин нанесения резистов	25.08.2022 - 31.08.2022	НПК-4	
3	Подбор времени экспонирования и проявления	01.09.2022 - 07.09.2022	НПК-4	
4	Анализ и обработка полученных в этапе №3 данных			
5	Отработка процесса формирования фоторезистивной маски под травление GaAs для формирования слоя «меза»			Процесс отработывается совместно с участком Технохимии и Отделом 220
	Отработка процесса формирования			

- **Минпромторгу России ускорить в 2025 году постановку НИОКР, направленных на импортозамещение и разработку новых материалов для СВЧ-электроники;**
- **Предусмотреть обязательное согласование ТЗ на планируемые к постановке НИОКР в части создания материалов для СВЧ-электроники с АО «НПП «Исток» им. Шокина»;**
- **Предусмотреть апробацию разработанных материалов на предприятиях отрасли и участие специалистов АО «НПП «Исток» им. Шокина» в комиссиях по приемке НИОКР;**
- **Проработать возможность «пакетного» подхода в постановках НИОКР в целях создания комплекса материалов, используемых в базовых технологических процессах.**