

# МАГНИТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

## ОАО "НИИ "ФЕРРИТ-ДОМЕН" НЕ СДАЕТ СВОИХ ПОЗИЦИЙ

ОАО "НИИ "Феррит-Домен" был и остается единственной в России научно-исследовательской организацией, занятой разработкой и выпуском прецизионных марок магнитомягких и микроволновых ферритов, а также ферритовых микроволновых приборов различного назначения, сердечников из магнитомягких металлических порошков, технологического и магнитометрического оборудования. По разнообразию классов и типов выпускаемых микроволновых приборов и суперкомпонентов, предназначенных для работы в различных частотных диапазонах и при разных уровнях мощности передаваемых сигналов, "Феррит-Домен" не имеет равных в мире.

Магнитоэлектронные приборы выполняют в технических системах функции усиления сигналов, их преобразования, запоминания, ограничения (ограничители), переключения каналов и т.д. Электронная компонентная база магнитоэлектроники включает в себя также индуктивные элементы (микроиндуктивности, антенны, трансформаторы), магниторезистивные датчики и многое другое.

НИИ "Феррит-Домен" разрабатывает и производит микроволновые материалы и приборы для систем связи, радиолокации, объектов вооружения и авиационно-космического назначения, ускорительной техники и промышленных систем сушки, нагрева и дистанционного измерения различных параметров производственных процессов (рис.1).

Основные тенденции развития магнитоэлектронной компонентной базы – это миниатюризация, повышение удельных рабочих мощностей, совершенствование электрических и механико-климатических характеристик при всевозрастающих требованиях по широкополосности и быстродействию.

Расширение номенклатуры приборов – одна из важнейших тенденций. Здесь необходимо отметить некоторую особенность этого процесса. Множество областей применения в различных отраслях промышленности и разнообразие выполняемых функций обуславливают рост требований, предъявляемых к собственным характеристикам при-

Б.Лебедь, д.т.н., Н.Милевский, к.т.н.,  
В.Петров, д.т.н., Ю.Яковлев, д.т.н.

боров. Чтобы удовлетворить эти требования, необходимо проектировать и производить большое число функционально различных приборов и громадное число типонималов этих приборов – в зависимости от конкретных требований различных аппаратурных систем (число это измеряется тысячами). Вместе с тем, потребность в каждом отдельном типе приборов, как правило, относительно невелика. Поэтому ферритовые СВЧ-приборы выпускаются небольшими сериями при большом числе товарных позиций. Лишь отдельные их типы (например, фазовращатели и изделия для различных видов средств связи) могут быть объектом крупносерийного производства.

НИИ "Феррит-Домен" ведет разработки и мелкосерийное производство большого числа ферритовых приборов (рис.2, 3, 4). Их серийное и крупносерийное производство осуществляется другими предприятиями магнитоэлектроники.

По назначению все ферритовые приборы можно разделить на три группы.

- Развязывающие (невзаимные) приборы: фазовые циркуляторы для волноводных трактов высокой и сверхвысокой мощности; Y-циркуляторы (для волноводных, коаксиальных и микрополосковых трактов высокого (ВУМ) и низкого (НУМ) уровней мощности; вентили фарадеевского типа для широкополосного согласования волноводных трактов НУМ в коротковолновой части миллиметрового диапазона; резонансные вентили для волноводных, коаксиальных и микрополосковых трактов ВУМ и НУМ в метровом и дециметровом диапазонах.

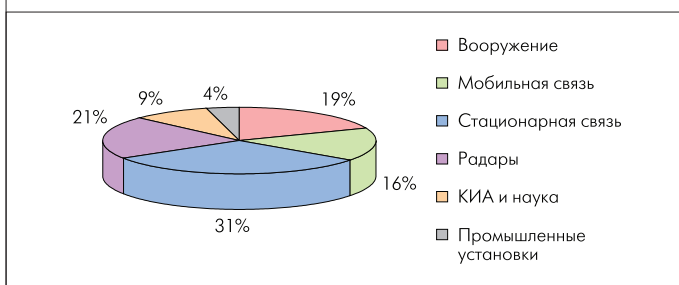


Рис. 1. Основные области, в которых используются магнитоэлектронные компоненты



**Рис.2. Микрополосковые и встраиваемые вентили и циркуляторы**

- Приборы для управления амплитудой СВЧ-сигнала: переключатели резервирования на базе фазового циркулятора для волноводных трактов высокой и сверхвысокой мощности; переключатели резервирования на базе Y-циркулятора с внешней памятью для волноводных трактов ВУМ; быстродействующие переключатели с внутренней памятью для волноводных трактов ВУМ и НУМ; микрополосковые переключатели; быстродействующие аттенюаторы на базе Y-циркулятора с внутренней памятью; фарадеевские вращатели поляризации.
  - Фазовращатели: фарадеевские взаимные фазовращатели сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн; двухмодовые взаимные фазовращатели; тороидальные невзаимные фазовращатели ВУМ; микрополосковые фазовращатели; управляемые преобразователи поляризации для ФАР и АФАР.
- Некоторые виды приборов рассмотрим подробнее.

### Невзаимные ферритовые приборы

Выпускаемые НИИ "Феррит-Домен" вентили и циркуляторы работают в верхней части ВЧ-диапазона и на всех ис-



**Рис.3. Коаксиальные вентили и циркуляторы**



**Рис.4. Волноводные вентили и циркуляторы низкого уровня мощности миллиметрового диапазона волн**

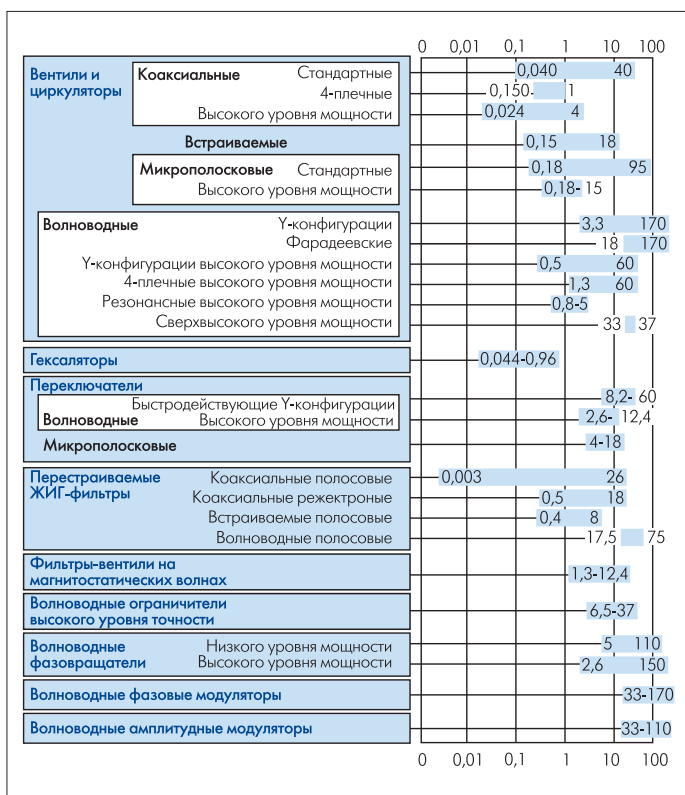


Рис.5. Номенклатура приборов и частотные диапазоны

пользуемых участках СВЧ- и КВЧ-диапазонов от 30 МГц до 190 ГГц. Макетные образцы вентиля и переключателя на квазиоптических (сверхразмерных) волноводах реализованы на частоты до 500 ГГц.

Ферритовые микроволновые приборы выпускаются с использованием всех типов стандартных линий передачи: на коаксиальных, полосковых и микрополосковых линиях, на прямоугольных, круглых и сверхразмерных квазиоптических волноводах, на диэлектрических, Н- и П-образных волноводах, на волноводно-щелевых линиях и микрополосковых линиях на подвешенной подложке.

Наибольшую часть номенклатуры приборов составляют микроволновые приборы на коаксиальном волноводе. НИИ "Феррит-Домен" поставляет вентили, циркуляторы, переключатели, работающие в диапазонах от 30 МГц до 50 ГГц. Уровень средней рабочей мощности коаксиальных приборов – до 150 кВт, импульсной – до 1 МВт. Минимальный достигнутый уровень прямых потерь на коаксиальных вентилях и циркуляторах – 0,1 дБ. На микрополосковой линии реализованы приборы в диапазоне частот от 200 МГц до 100 ГГц с рабочей полосой частот до 66% и прямыми потерями от 0,3 дБ, работающие со средней мощностью до 100 Вт и импульсной – до 2 кВт. Габариты микрополосковых ферритовых вентилях – от 2×2 мм.

На коаксиальных микрополосковых линиях и на прямоугольных волноводах в диапазоне от 1 до 190 ГГц созданы невзаимные ферритовые приборы, работающие в диапазоне температур от 4 до 373К.

Сегодня НИИ "Феррит-Домен" остается единственным в России разработчиком и промышленным производителем новых типов микроволновых ферритовых приборов высокого уровня мощности (ВУМ). Эта продукция активно продвигается на мировой рынок, где перспективным сегментом являются приборы ВУМ для ускорителей научно-исследовательского и промышленного назначения.

Быстродействующие переключатели на базе циркуляторов для микрополосковой линии имеют полосу частот 66% и скорость переключения 60-100 мкс, а волноводные переключатели в полосе частот 10-15% – скорость переключения 1 мкс.

### Приборы частотной селекции. Ферритовые резонаторы

Гиромангнитные ферритовые резонаторы – базовые элементы построения широкодиапазонных перестраиваемых резонансных контуров. Их малые габариты (сферы диаметром 0,25-0,8 мм) и высокая собственная добротность обеспечивают им бесспорное преимущество перед прочими частотно-избирательными элементами в области построения устройств частотной селекции.

Наиболее распространенными и оптимальными по функционально-стоимостным характеристикам являются четырехзвенные коаксиальные полосно-пропускающие фильтры с многооктавной перестройкой в диапазоне частот от 0,5 до 50 ГГц, с типичной полосой пропускания 20-50 МГц, загораждением вне полосы не менее 80 дБ и диапазоном рабочих температур 0-50°C или от -40 до 160°C. Кроме того, НИИ предлагает широкодиапазонные перестраиваемые двух- и четырехзвенные полоснозаграждающие фильтры на диапазон 0,5-18 ГГц.

Для быстрой перестройки резонансной частоты ферритовых резонаторов разработаны специальные магнитные системы, которые позволяют производить широкодиапазонную (в пределах октавы) перестройку со скоростью 0,5 ГГц/мс, а в пределах полосы 0,1 ГГц – со скоростью 40 ГГц/мс.

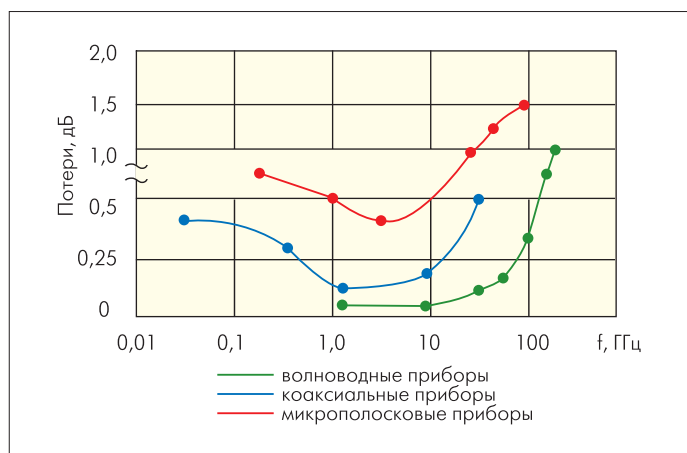
НИИ "Феррит-Домен" также выпускает высокодобротные резонаторы на базе плотных керамик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=37\pm 2; 76\pm 2; 90\pm 2$  и  $110\pm 2$ .

Номенклатура и частотные диапазоны приборов производства ОАО "НИИ "Феррит-Домен" представлены на рис.5, а зависимость потерь от частоты – на рис.6.

По собственным параметрам (как правило, это вносимые потери, быстродействие, развязки, ширина рабочей полосы, допустимый уровень импульсной и средней мощности и др.) приборы соответствуют лучшим мировым достижениям в этой области.

### МАТЕРИАЛЫ МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКИ

Основой развития магнитоэлектроники являются магнитные и функциональные диэлектрические материалы различных



**Рис. 6. Зависимость потерь вентиляй и циркуляторов от частоты**

типов. Разработаны параметрические ряды трех групп ферритовых материалов: феррогранатов, феррошпинелей, гексаферритов – как поликристаллических, так и монокристаллических – и одной группы диэлектрических материалов.

Сегодня важнейшие направления материаловедческих разработок института таковы: микроволновые ферриты и компоненты для СВЧ-техники; магнитомягкие ферриты и компоненты для техники радиочастот и телевидения; магнитотвердые ферриты и магнитные системы; монокристаллы и эпитаксиальные структуры для СВЧ- и оптоэлектроники; функциональная керамика.

Номенклатура разработанных и поставляемых на сегодняшний день поликристаллических материалов представлена в табл. 1, монокристаллических – в табл. 2, а на рис. 7, 8 – сердечники из магнитомягких материалов и высокодобротная керамика.

Все указанные в табл. 1 и 2 материалы выпускаются ОАО "НИИ "Феррит-Домен" и частично – заводами "Магнетон" и "Ферроприбор".

Освоено производство практически всех типов ферритов и СВЧ-керамики, являющихся аналогами материалов, выпускаемых ведущими зарубежными производителями.

**Таблица 1. Поликристаллические материалы**

Структура материала	Параметрические ряды по намагниченности	Намагниченность насыщения, Гс	Число марок	
Гранаты	Y-Al	2001–500	13	
	Y-Gd	490–780	7	
	Y-Ca	520–1900	6	
	Y-Gd,In	400–1380	9	
	Y-Re	330–1780	6	
Шпинели	СВЧ	Ni	2300–5000	10
		Ni, hot-pressed	2300–5000	6
		Li	1550–4750	8
Радиочастотные	Ni-Zn	3400–4500	6	
		Mn-Zn	4500	14
Гексаферриты	Ba	1700–3400	23	
Перовскиты	Ba-Sr-Ti	диэлектрическая прониц., отн. ед. 7,5–140	14	



**Таблица 2. Монокристаллические материалы**

Структура материала	Параметрические ряды по намагниченности	Намагниченность насыщения, Гс	Поле магнитной кристаллографической анизотропии, $H_A$ , Э	Число марок
Гранаты	Y-Ga, Sc Ca-V, In, Nb, Ge	1200–1850 90–820	10–45	11
Шпинели	Li	3600–4500	200–320	2
Гексаферриты	Ba	4200–4700	11000–22000	3

Номенклатура микроволновых ферритов разработки института соответствует номенклатуре материалов ведущих зарубежных фирм.

На основе этих материалов могут быть разработаны все известные типы приборов (циркуляторы, вентили, фазовращатели, фильтры, генераторы гармоник и др.), работающие практически во всем диапазоне длин волн, от радиочастотного до оптического.

В настоящее время как ОАО "НИИ "Феррит-Домен", который остается одним из мировых лидеров, так и другие предприятия магнитоэлектроники, наиболее успешно работают в секторе мирового рынка по СВЧ-компонентам и материалам, поставляя продукцию во многие страны – в США, Германию, Францию, Китай, Индию и др.



**Рис.7. Сердечники из магнитомягких материалов**

**Микроволновые ферритовые и диэлектрические материалы**

НИИ "Феррит-Домен" производит более 50 марок феррогранатов, феррошпинелей, гексаферритов и микроволновых керамических диэлектриков. Современные материалы охватывают диапазон намагниченностей от 200 до 1900 Гс (феррогранаты) и от 230 до 5000 Гс (феррошпинели).

Портфель марок микроволновых ферритов разработки НИИ "Феррит-Домен" соответствует номенклатуре материалов ведущих зарубежных фирм Trans-Tech и Amprex (США), Tekelec-TEMEX (Франция) и др.

Разработка и производство сильноанизотропных магнитных материалов (гексаферритов), которые перекрывают интервал полей анизотропии от 6 до 35 кЭ, позволит создать новые компоненты и приборы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн.

**Немагнитные керамические диэлектрики**

Эти материалы выполняют функции высокочастотных диэлектрических резонаторов, согласующих элементов трактов или диэлектрических элементов твердотельных схем. В связи с бурным развитием средств связи резко возросла потребность в фильтрующих элементах микроволнового диапазона, в которых предполагается использование специальных керамических материалов с различными значениями диэлектрической проницаемости и малой величиной тангенса диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta_\epsilon \leq 1 \cdot 10^{-4}$ ). Для удовлетворения этих потребностей разработаны ряды керамических материалов общего применения с диэлектрической проницаемостью в диапазоне от 4,5 до 150 с высокой добротностью ( $\text{tg}\delta_\epsilon \leq 3 \cdot 10^{-4}$ ). Параметры материалов соответствуют аналогам фирм Trans-Tech, EDO, Elektro-Ceramic Production (США), Murata (Япония) и др.

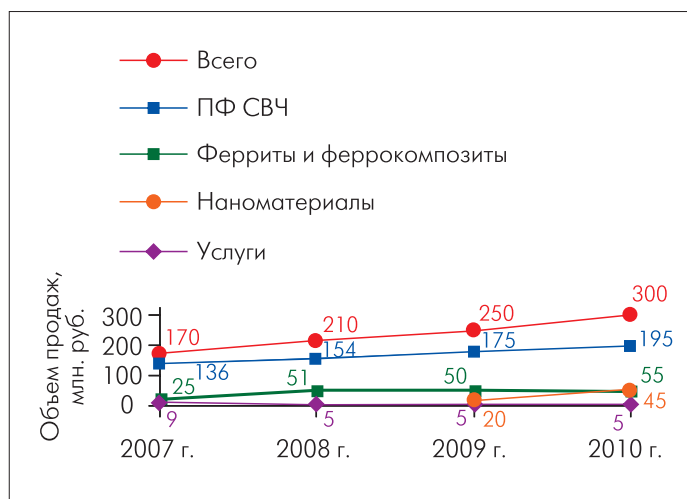
Перспективные направления разработок магнитных материалов на ближайшие 3–5 лет таковы: феррогранаты с экстремально малыми магнитными потерями ( $\Delta H \leq 4$  Э) для мобильной телефонии устройств связи малой мощности; литиевые феррошпинели с ППГ для фазовращателей с магнитной памятью; материалы с повышенным порогом нестабильности спиновых волн для устройств высокого уровня мощности; монокристаллические ферритовые материалы с предельно высокой магнитной добротностью для СВЧ-приборов, работающих в диапазоне от метровых до миллиметровых длин волн и высоким удельным фарадеевским вращением для устройств магнитооптики; поглощающие материалы и покрытия на их основе для широкого диапазона длин волн – от метровых до миллиметровых.



**Рис.8. Высокодобротная керамика**

**ПРОГНОЗ РЫНКА ПРОДУКЦИИ И ДИНАМИКИ ПРОИЗВОДСТВА**

В последние два года наметилась четкая тенденция повышения спроса на продукцию направления нашего НИИ на внутреннем рынке, обусловленная общим подъемом промышленности страны. Последнее иллюстрируется прогнозируемым объемом продаж продукции НИИ "Феррит-Домен" (рис.9).



**Рис.9. Прогнозируемый объем продаж по основным направлениям деятельности НИИ "Феррит-Домен" до 2010 года**

Удовлетворение растущих потребностей внутреннего рынка должно сопровождаться соответствующей динамикой развития производственных мощностей. Для динамичного развития производства необходима не только полная замена всего нынешнего технологического оборудования, но и резкое увеличение его объемов. От этого в сильнейшей степени будет зависеть формирование новых рыночных ниш.

Для успеха на внешнем рынке продукции магнитоэлектронного направления необходимо обеспечить ее высокое качество и разнообразие. Суммарный объем экспортных поставок магнитоэлектронных компонентов и материалов в долларовом исчислении устойчиво составляет 1,5–2,0 млн. долл. Экспортные поставки продукции нашего направления могли бы быть увеличены, так как спрос превышает нынешние производственные возможности направления. По оценкам зарубежных специалистов, конкурентная способность России по качественным показателям позволяет довести объем экспортной продукции до 10–15 млн. долл. (в год), но этот рост ограничивается возможностями производственной базы направления.

Наряду с НИИ "Феррит-Домен" в подотрасли магнитоэлектроники работает ряд заводов: "Магнетон", "Ферроприбор", а также малые предприятия: ОАО "Аргус-ЭТ", НПО "Феррит", ЗАО "Феррит-Квазар" (г. Санкт-Петербург).

Широкое творческое участие в исследованиях и разработках магнитоэлектронных компонентов внесли институты Академии наук и вузы: ИРЭ РАН (г. Москва), ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), Институт физики СО РАН (г. Красноярск), Государственный политехнический университет, Электротехнический университет (г. Санкт-Петербург), Энергетический университет, МГУ, Инженерно-технический университет (г. Москва) и др.