

УДК 621.382.323; 621.382.233; 621.3.049.774

А.Ю. Ющенко, Г.И. Айзенштат, В.Г. Божков, Е.А. Монастырёв

Разработка элементной базы для создания СВЧ-модулей

Приведены результаты разработки дискретных приборов и отдельных устройств функционального ряда монолитных интегральных схем для СВЧ-модулей, включая рiп-диоды, транзисторы с высокой подвижностью электронов, коммутаторы и ограничители мощности.

Ключевые слова: транзистор с высокой подвижностью электронов, рiп-диод, монолитная интегральная схема, защитное устройство, коммутатор мощности.

Современный уровень развития элементной базы позволяет перейти к разработке миниатюрных многоканальных систем передачи и приёма информации в системах радиолокации, навигации и связи нового поколения [1]. Существенный прогресс в реализации СВЧ-устройств с требуемым набором параметров связан с разработкой интегральных схем на гетероструктурах. В настоящей работе решались задачи по созданию функционального ряда интегральных схем для СВЧ-модулей, в том числе для систем АФАР, включающего следующие схемы: защитные устройства, коммутаторы СВЧ-мощности, фазовращатели, аттенюаторы и маломощные усилители. На первом этапе разрабатывались и исследовались дискретные приборные структуры, а на втором – создавались отдельные монолитные интегральные схемы (МИС).

МИС указанного функционального ряда обычно строятся с использованием рiп-диодов и полевых транзисторов на основе арсенида галлия.

Рiп-диоды. Рiп-диоды создавались на гетероструктурах AlGaAs/GaAs, выращенных в ИФП СО РАН г. Новосибирска. Бескорпусные диоды изготавливались с балочными выводами. Фотография диода показана на рис. 1. СВЧ-характеристики диодов измерялись непосредственно на пластинах при включении их в разрыв 50-омной линии.

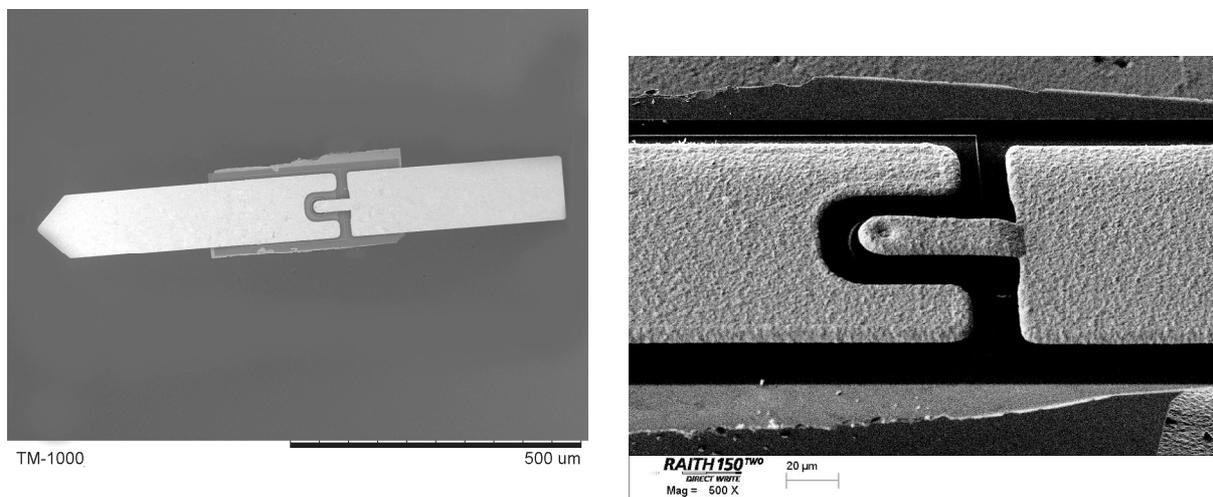


Рис. 1. Фотографии разработанного рiп-диода и его фрагмента

На рис. 2, а показаны измеренные характеристики вносимых потерь диода в диапазоне частот от 0,1 до 40 ГГц. Диоды на основе гетероструктур имели потери порядка 0,3–0,35 дБ при прямом токе $I_F = 10$ мА, что соответствует эквивалентному сопротивлению диода $R_s = 3,5\text{--}4$ Ом.

Отметим, что на гомоструктурных диодах из арсенида галлия с идентичной геометрией эти потери были выше на 0,2 дБ. На рис. 2, б представлена развязка закрытого диода в зависимости от частоты. Развязка диода соответствует эквивалентной ёмкости 30 фФ.

Было установлено, что рiп-диоды в рабочем режиме являются источниками инфракрасного излучения [2]. С использованием экспериментальных данных о длине волны излучения было определено тепловое сопротивление диода, равное $R_T \approx 1200$ °С/Вт.

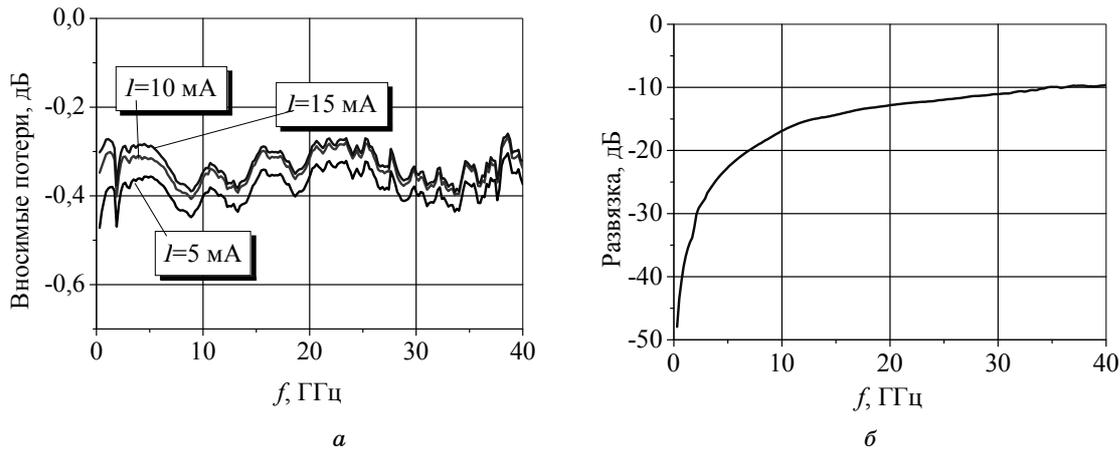


Рис. 2. Частотные зависимости вносимых потерь при разных прямых токах (а) и развязка закрытого рin-диода (б)

РНЕМТ-транзисторы. РНЕМТ-транзисторы изготавливались на гетероструктурах AlGaAs/InGaAs/GaAs. Длина затвора транзистора составляла 0,3 мкм. На рис. 3, а показаны вольт-амперные характеристики (ВАХ) разработанного транзистора с шириной затвора 160 мкм. Максимальная крутизна полученных транзисторов равнялась 50–60 мСм. На рис. 3, б также показаны частотные зависимости коэффициента передачи S_{21} и максимально устойчивого коэффициента усиления MSG (б).

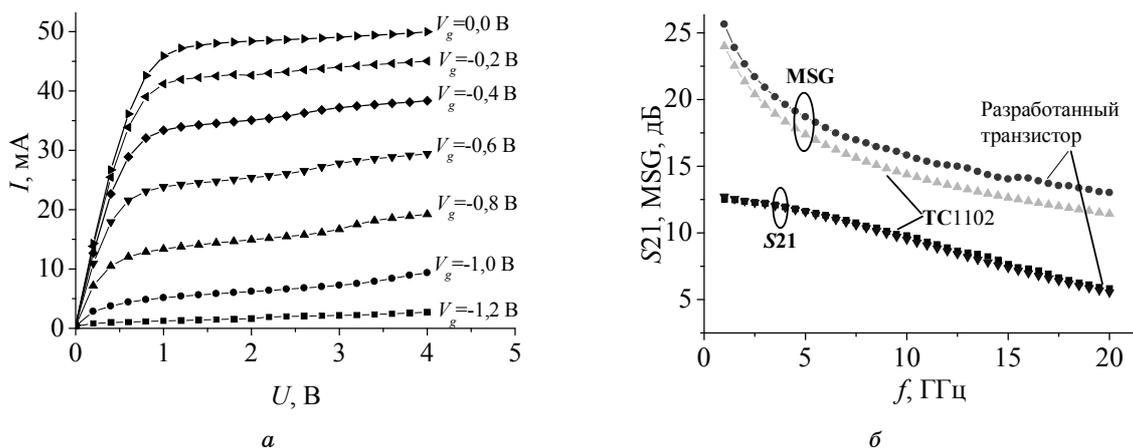


Рис. 3. ВАХ (а) и частотные зависимости S_{21} и MSG (б) разработанного рНЕМТ-транзистора

Частотные зависимости коэффициентов усиления даны в сравнении с характеристиками транзистора TC1102 (160 мкм) фирмы TRANSCOM [3]. Видно, что данные параметры сравниваемых транзисторов достаточно близки, при этом и остальные S -параметры также совпадают.

Монолитные интегральные схемы коммутаторов на рin-диодах. Основными параметрами СВЧ-коммутатора являются вносимые потери, развязка между каналами и обратные потери в рабочем диапазоне частот. Для достижения требуемых параметров использовалась схема, представленная на рис. 4. СВЧ-коммутаторы разрабатывались для С- и Х-диапазонов частот. Топология монолитной интегральной схемы Х-диапазона представлена на рис. 4 (топологии коммутаторов С- и Х-диапазонов похожи).

Размер кристалла МИС составляет 2,5×1,7 мм. Схемы изготавливались на гетероструктурах AlGaAs/GaAs. Наряду с технологическими процессами изготовления рin-диодов, технология МИС включала процессы, связанные с формированием резисторов из силицида вольфрама, конденсаторов на основе Ta₂O₅, сквозных отверстий химическим травлением с последующей металлизацией обратной стороны пластины и разделением пластины на кристаллы методом дисковой резки.

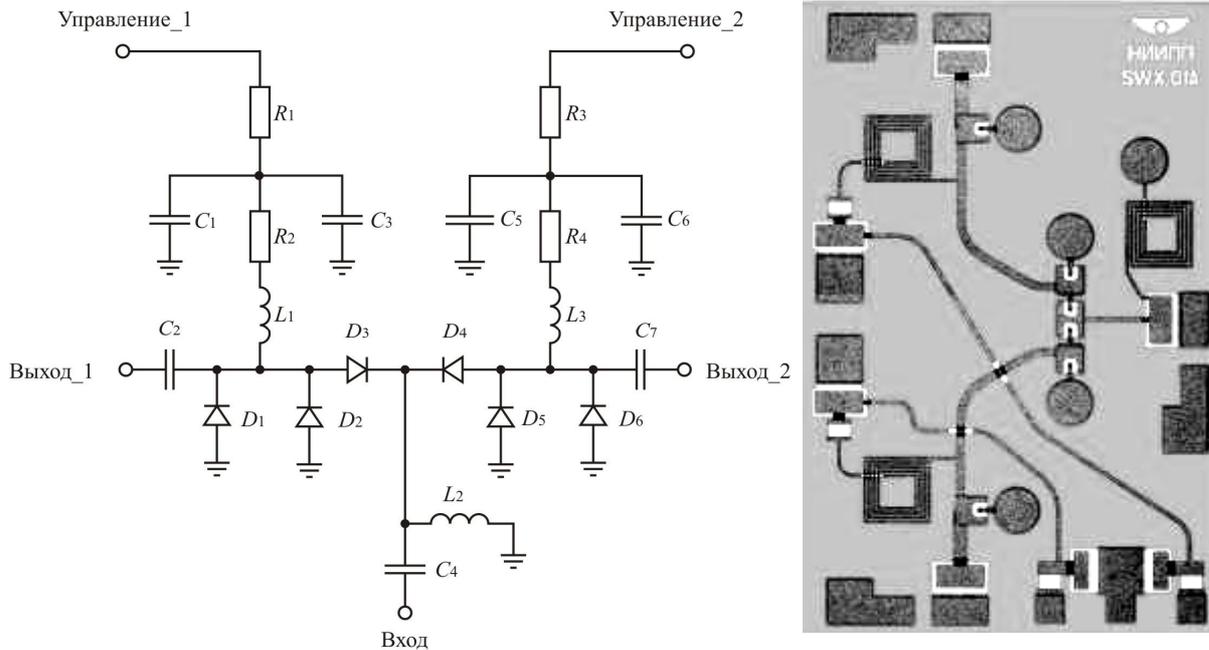
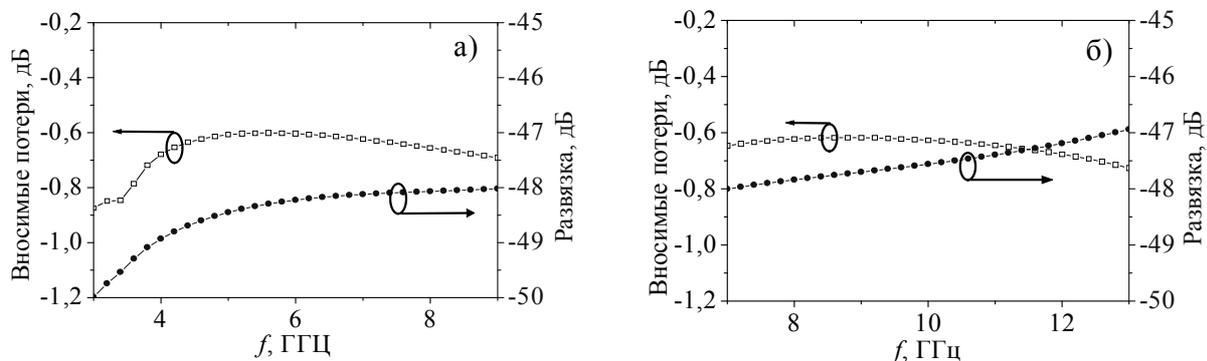


Рис. 4. Принципиальная схема и топология МИС коммутатора

Параметры МИС S - и X -диапазонов приведены на рис. 5. Вносимые потери разработанных схем не превышают 0,7 дБ, а развязка между каналами – не хуже 47 дБ в рабочем диапазоне частот. Наряду с описанными схемами были также разработаны МИС СВЧ-коммутаторов на два канала.

Рис. 5. Параметры коммутаторов S - (а) и X - (б) диапазонов частот

На рис. 6 представлены топологии МИС коммутаторов X -диапазона на два канала (подобную конструкцию имеют и МИС S -диапазона).

Монолитная интегральная схема ограничителя мощности на рpn-диодах. Фотография разработанной МИС показана на рис. 7. В схеме использовались рpn-диоды с площадью электрода 715 мкм^2 , выполненные в виде овальной мезаструктуры. Емкости диодов при нулевом смещении равнялись 55 фФ.

Размер кристалла МИС составляет $1,1 \times 1,2 \text{ мм}$. Малосигнальные параметры изготовленной МИС (рис. 8, а) измерялись непосредственно на пластине. Мощностные характеристики (рис. 8, б) измерялись в 50-омном микрополосковом тракте. Разработанное защитное устройство характеризуется низкими вносимыми (не более 1 дБ) и обратными (не более -15 дБ) потерями в частотном диапазоне 2–20 ГГц (см. рис. 8, а), мощностью просачивания не более 16,5 дБм (45 мВт) и обладает стойкостью к воздействию непрерывной СВЧ-мощности до 37 дБм (5 Вт).

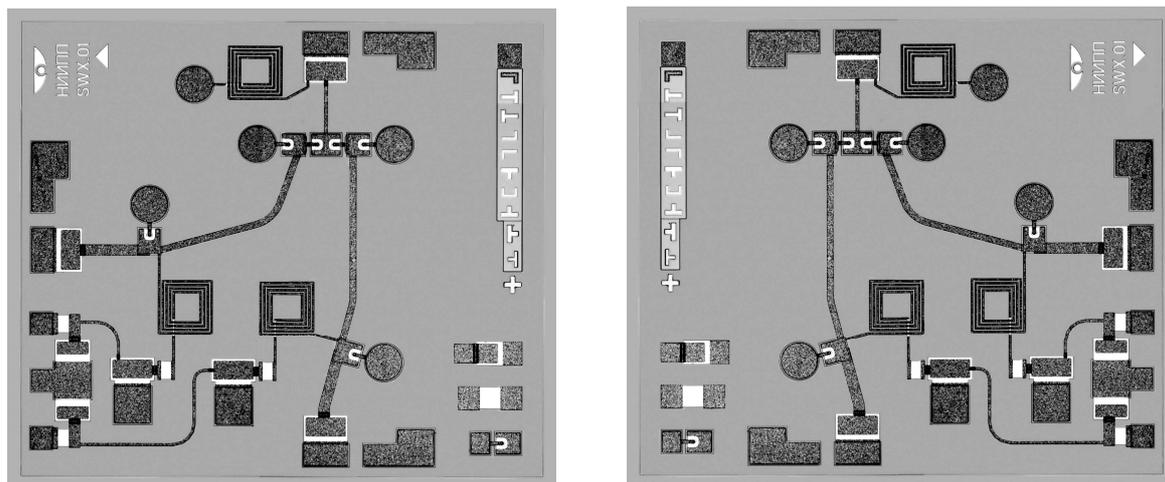


Рис. 6. Топологии разработанных МИС коммутаторов X-диапазона

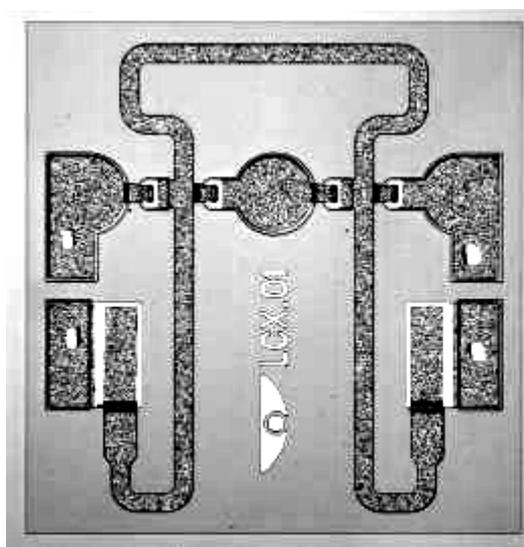


Рис. 7. Топология МИС ограничителя мощности

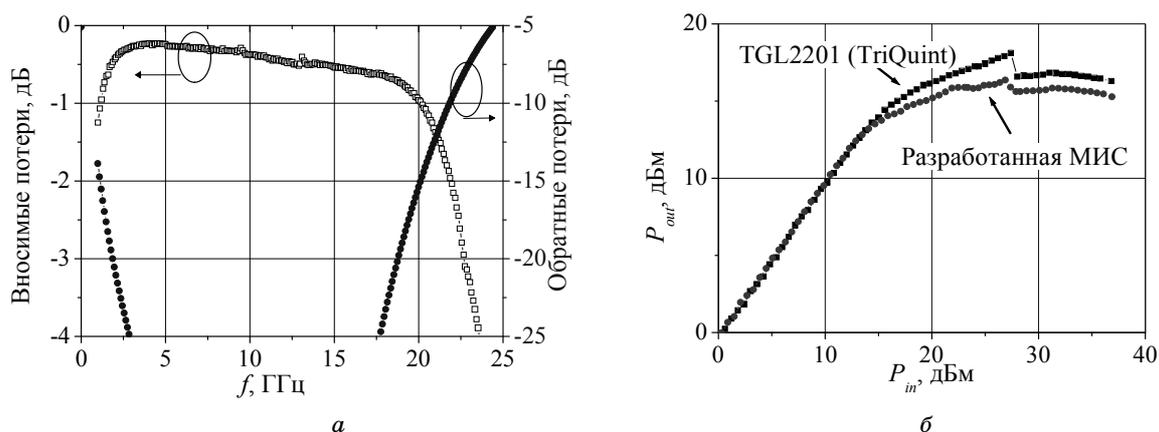


Рис. 8. Малосигнальные параметры (а) и ограничительная характеристика (б) изготовленной МИС

Заключение. На основе разработанной технологии для дискретных гетероструктурных приборов спроектированы и созданы некоторые монолитные интегральные схемы функционального ряда специализированных схем для построения СВЧ-модулей, в том числе систем АФАР нового поколения. Экспериментально показано, что созданные приборы и схемы по своим характеристикам не уступают зарубежным аналогам.

Литература

1. Воскресенский Д.И. Активные фазированные антенные решётки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
 2. Айзенштат Г.И. Рекомбинация носителей заряда в арсенид-галлиевом pin-диоде / Г.И. Айзенштат, А.Ю. Ющенко, С.М. Гуцин и др. // Физика и техника полупроводников (Москва). – 2010. – Т. 44, № 10. – С. 1407–1410.
 3. Каталог дискретных полевых транзисторов. Официальный сайт фирмы TRANSCOM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.transcominc.com.tw/English/fet-chips.htm>, свободный (дата обращения: 12.07.2010).
-

Ющенко Алексей Юрьевич

Аспирант ТУСУРа, науч. сотрудник ОАО «НИИПП»

Тел.: (382-2) 48-82-48

Эл. почта: ayzen@mail.tomsknet.ru**Айзенштат Геннадий Исаакович**

Д-р техн. наук, нач. лаб. ОАО «НИИПП»

Тел.: (382-2) 48-82-48

Эл. почта: ayzen@mail.tomsknet.ru**Божков Владимир Григорьевич**

Доктор техн. наук, проф., нач. отд. ОАО «НИИПП»

Монастырев Евгений Александрович

Нач. отд. ОАО «НИИПП»

Yushenko A.Y., Ayzenshtat G.I., Bozhkov V.G., Monastyrrev E.A.

The basic devices development for microwave modules

The designing results of discrete devices and some monolithic integrated circuits for microwave modules, including pin-diodes, HEMT transistors, switches and limiters, are presented.

Keywords: high electron mobility transistor, pin-diode, monolithic integrated circuit, limiter, switch.
