

НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

№ 12(137) ✧ 2011

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал выпускается при научно-методическом руководстве Отделения нанотехнологий
и информационных технологий Российской академии наук

Журнал включен в перечень научных и научно-технических изданий ВАК России
и в систему Российского индекса научного цитирования

Издается с 1999 г.

Главный редактор
Мальцев П. П.

Зам. гл. редактора
Лучинин В. В.

Редакционный совет:

Аристов В. В.
Асеев А. Л.
Волчихин В. И.
Гапонов С. В.
Захаревич В. Г.
Каляев И. А.
Квардаков В. В.
Климов Д. М.
Ковальчук М. В.
Нарайкин О. С.
Никитов С. А.
Сауров А. Н.
Серебряников С. В.
Сигов А. С.
Стриханов М. Н.
Чаплыгин Ю. А.
Шахнов В. А.
Шевченко В. Я.

Редакционная коллегия:

Абрамов И. И.
Андривский Р. А.
Антонов Б. И.
Арсентьева И. П.
Астахов М. В.
Быков В. А.
Горнев Е. С.
Градецкий В. Г.
Гурович Б. А.
Кальнов В. А.
Карякин А. А.
Колобов Ю. Р.
Кузин А. Ю.
Мокров Е. А.
Норенков И. П.
Панич А. Е.
Панфилов Ю. В.
Петросьянц К. О.
Петрунин В. Ф.
Путилов А. В.
Пятышев Е. Н.
Сухопаров А. И.
Телец В. А.
Тимошенко С. П.
Тодуа П. А.
Шубарев В. А.

Отв. секретарь

Лысенко А. В.

Редакция:

Григорин-Рябова Е. В.
Чугунова А. В.

Учредитель:
Издательство
"Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Галлерин В. А., Павлов А. А., Поломошнов С. А., Шаман Ю. П., Шаманаев А. А. Исследование электрофизических характеристик структур на основе топологических массивов углеродных нанотрубок . . . 2
Басаев А. С., Галлерин В. А., Павлов А. А., Цыганцов А. В., Шаман Ю. П., Шаманаев А. А. Влияние окисления катализатора на рост углеродных нанотрубок . . . 6
Галиев Г. Б., Васильевский И. С., Климов Е. А., Пушкарёв С. С., Рубан О. А. Использование метаморфной технологии для получения МНЕМТ-наногетероструктур InAlAs/InGaAs на подложках GaAs и InP с различным содержанием InAs в активной области . . . 8
Сеничкин А. П., Бугаев А. С., Ячменев А. Э. Вольт-амперные характеристики системы нанонитей из атомов олова, встроенных в кристалл арсенида галлия 11

КОНСТРУИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МНСТ

Вернер В. Д., Луканов Н. М., Сауров А. Н. Принципы конструирования биполярных СВЧ структур с предельно узкими эмиттерными областями Пономарев Д. С., Васильевский И. С., Галиев Г. Б., Климов Е. А., Хабибуллин Р. А., Кульбачинский В. А. Моделирование зонной диаграммы и расчет эффективной массы электронов в составных квантовых ямах InGaAs с нанослоями GaAs/InAs . . . 16
Козлов А. В., Королев М. А., Поломошнов С. А., Тихонов Р. Д., Черемисинов А. А., Шаманаев С. В. Конструктивные и схемотехнические способы повышения чувствительности биполярных магнитотранзисторов для прецизионного контроля перемещений микромеханических элементов . . . 19
Хабибуллин Р. А., Васильевский И. С., Пономарев Д. С., Галиев Г. Б., Кульбачинский В. А. Подвижность электронов в комбинированно-легированных транзисторных наногетероструктурах Al/GaAs/GaAs/InGaAs/GaAs/AlGaAs с высокой концентрацией электронов: моделирование и эксперимент . . . 21

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МНСТ

Сигов А. С., Лазарев А. П., Абрамов А. В., Битюцкая Л. А., Богатиков Е. В., Тучин А. В. Спиновые состояния нанокластеров силицидов переходных металлов . . . 25

Громов Д. Г., Козьмин А. М., Поломошнов С. А., Шулятьев А. С., Шаманаев С. В. Оптимизация условий формирования тонких пленок ZnO для использования в интегральных МЭМС-устройствах . . . 27
Троян П. Е., Данилина Т. И., Гребнева Ю. Ю., Кулинич И. А. Изготовление МДМ-катодов с наноострийным нижним электродом . . . 31

ЭЛЕМЕНТЫ МНСТ

Амеличев В. В., Касаткин С. И., Поломошнов С. А., Решетников И. А., Тихонов Р. Д., Черемисинов А. А., Шаманаев С. В. Микросистема контроля двух компонент вектора магнитной индукции на основе наноразмерных магниторезистивных структур . . . 33
Суханов В. С., Панков В. В., Годовицын И. В., Михайлов Ю. А., Данилова Н. Л., Земляничников Н. С. Тензорезистивный кремниевый МЭМС-преобразователь давления мембранного типа . . . 36
Уваров И. В., Морозов О. В., Козин И. А., Постников А. В., Амиров И. И., Кальнов В. А. Динамические характеристики чувствительного элемента микроакселерометра с повышенным фактором демпфирования . . . 38
Чуйко О. В., Кузнецов А. Е. Исследование кремниевых наноструктур в качестве pH-чувствительных элементов . . . 40
Козин И. А., Постников А. В., Морозов О. В. Исследование динамики микроэлектромеханических устройств с нанесенной металлизацией . . . 43
Уваров И. В., Наумов В. В., Аминов М. К., Куприянов А. Н., Амиров И. И. Исследование резонансных характеристик металлических микро- и нанобалок . . . 45
Прокофьев И. В., Тихонов Р. Д. Нано- и микросистемы для мониторинга параметров движения транспортных средств . . . 48

СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ

Матвеев О. С., Гнатюк Д. Л., Галиев Р. Р. Интегрированные антенны на наногетероструктурах арсенида галлия . . . 50

БИОЭЛЕКТРОНИКА

Амеличев В. В., Гаврилов Р. О., Касаткин С. И., Резнев А. А., Решетников И. А., Сауров А. Н. Профилированный магниторезистивный микрочип биосенсорного устройства регистрации магнитных меток . . . 52
Contents . . . 55

Аннотации на русском и английском языках с 1999 г. по настоящее время находятся в свободном доступе на сайтах журнала (<http://novtex.ru/nmst/>, <http://www.microsystems.ru>) и научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>). Электронные версии полнотекстовых статей расположены на сайте журнала: с 1999 г. по 2010 г. в разделе "АРХИВ".

ПОДПИСКА:

- по каталогу Роспечати (индекс 79493);
- по каталогу "Пресса России" (индекс 27849)
- в редакции журнала (тел./факс: (499) 269-55-10)

Адрес для переписки:

197073 Москва, Стромьинский пер., д. 4
тел./факс 8-499-269-55-10

e-mail: nmst@novtex.ru

шением два линейных наклона могут использоваться аддитивным образом. При таком варианте топологии перемена точек подключения источника питания к узлам моста Уитстона позволяет определять магнитное поле ортогональной направленности.

Представляет большой интерес изготовление совмещенных систем определения ориентации магнитного поля и инерциальных систем микрогироскопов или акселерометров. Например, система uPoint (Honeywell) [5] позволила увеличить точность определения азимутального угла с 1,0 до 0,5° только за счет комплексирования датчика напряженности магнитного поля и микрогироскопа. В сенсорном модуле LSM303DLH фирмы STMicroelectronics используется 3-координатный акселерометр и 3-координатный магнетометр.

Как следует из [6], совместно с магниторезисторами можно изготовить микрогироскопы по технологии объемной микромеханики. Но особый интерес представляет возможность изготовления микрогироскопа с магнитным считыванием и управлением [7]. Связано это с тем, что обычно применяемый емкостной метод считывания и электростатический способ управления реализуются при малых зазорах между подвижными и неподвижными частями. Для таких структур характерно наличие эффекта залипания. Бесконтактное управление и считывание магнитным полем дает значительно большую свободу разработчику и обеспечивает надежное функционирование прибора. При этом можно использовать энергию постоянных магнитов, реализуемую в конструкции альтернаторов [8].

Современные микрогироскопы с емкостными связями разрабатываются для автономных систем [9] для замены систем управления, основанных на GPS, так как микромеханические системы более надежны в условиях, когда спутниковые системы могут быть выведены из строя.

Можно утверждать, что автономные системы, построенные по принципу мультиагентов на магниторезисторах и микрогироскопах, имеют важное значение для создания систем контроля и управления подвижными объектами. Согласно прогнозам, в ближайшие годы будет иметь место существенный рост объемов продаж электроники потребительского назначения с улучшенными функциями навигации на местности и улучшенными до интуитивного уровня возможностями пользовательского интерфейса.

Список литературы

1. Rzeyski G. On Conceptual Design of Intelligent Mechatronic Systems // Mechatronics. 2003. N 13. P. 1029–1044.
2. Sylvain V., Carole B., Pierre G. Toward a Self-adaptive Multi-Agent System to Control Dynamic Processes // Second International Conference, ICAART 2010, Valencia, Spain, January 22–24, 2010.
3. Юдинцев В. Н. МЭМС-датчики: нанотехнологии наступают // Наука. Технология. Бизнес. 2006. № 8. С. 26–30.
4. Honeywell Sensor Products AN211 / Solid State Electronics Center. URL: www.magneticsensors.com.
5. Honeywell Sensor Products uPoint / Solid State Electronics Center. URL: www.magneticsensors.com.
6. Горнев Е. С., Зайцев Н. А., Равилов М. Ф., Романов И. М., Ранчин С. О. Обзор микрогироскопов, сформированных по технологии поверхностной или объемной микромеханики // URL: http://www.microsystems.ru/files/publ/461.htm.
7. Weiping Zh., Zhongrong Zh., Wenyuan Ch., Wu L. Dual-mode anti-magnetic rotor inductive rotating microgyroscope // China Patent 200710042303.
8. Максимов В. С. Генераторы тока на энергии магнитного поля. URL: http://www.electricsite.net
9. DARPA заменит GPS микрогироскопом // RUVSA — Russian Unmanned Vehicle Systems Association. URL: http://ruva.com.5.10.2011.

СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ

УДК 621.375.4

О. С. Матвеев, канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,

Д. Л. Гнатюк, мл. науч. сотр.,

e-mail: dgnatyuk@yandex.ru,

Р. Р. Галиев, мл. науч. сотр.,

Учреждение Российской академии наук Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН, Москва.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АНТЕННЫ НА НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Поступила в редакцию 30.09.2011

В настоящее время наблюдается ускоренное развитие исследований и разработок с технологическим освоением производства малогабаритных СВЧ приборов на основе интегральных активных антенных элементов. Данные устройства лежат в основе систем передачи данных, навигации, связи, а также позволяют создавать разнообразные миниатюрные сенсоры и датчики для систем охранной сигнализации, определения положения и скорости перемещения объектов и т. д.

Настоящая работа посвящена разработке активных антенных элементов со встроенными малошумящими усилителями для частот 5 ГГц и 10...12 ГГц на основе PHEMT гетероструктуры с квантовой ямой типа AlGaAs/InGaAs/GaAs.

Ключевые слова: PHEMT, квантовая яма, антенна, малошумящий усилитель

PHEMT-структуры с псевдоморфно напряженной квантовой ямой (КЯ) типа AlGaAs/InGaAs/GaAs обладают большей подвижностью μ_e и большей концентрацией n_S двумерного электронного газа по сравнению с традиционными структурами типа n -GaAs/ i -GaAs или n -AlGaAs/GaAs. Они более конструктивно сложные и продуманные и широко применяются в устройствах СВЧ техники. Концентрация и подвижность электронов определяют ток стока транзистора, а толщина широкого барьера (расстояние от КЯ до поверхности или затвора транзистора) определяет крутизну вольт-амперной характеристики транзистора.

После проведенных исследований и оптимизации по толщине барьерного слоя $Al_xGa_{1-x}As$, уровню δ -легирования кремния, составу и ширине канала $In_yGa_{1-y}As$ нами была выращена приборная гетероструктура, по-

перечное сечение и параметры которой представлены ниже:

n^+ GaAs(Si) ($6 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$)	43,0 нм
i -Al _{0,24} Ga _{0,76} As	17,0 нм
δ - Si	
i -Al _{0,24} Ga _{0,76} As спейсер	5,2 нм
i -In _{0,19} Ga _{0,81} As	11,5 нм
i -GaAs буфер 2	0,35 мкм
AlGaAs/GaAs сверхрешетка	26,0 нм
i -GaAs буфер 1	41,0 нм
GaAs substrate (100)	

Электрофизические параметры полученной гетеро-структуры:

- при $T = 300 \text{ К}$
подвижность $\mu_e = 8480 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
концентрация $n_S = 1,29 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$;
- при $T = 77 \text{ К}$
подвижность $\mu_e = 27900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
концентрация $n_S = 1,28 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Нашей задачей являлась разработка активных антенн для частот 5 и 10...12 ГГц. От формы и размеров излучателя антенны зависят диаграмма направленности коэффициента стоячей волны (КСВ) и диапазон принимаемых частот. Длина излучателя обратно пропорциональна резонансной частоте и корню квадратному из диэлектрической проницаемости [1]. Таким образом, высокая диэлектрическая проницаемость материала позволяет уменьшить размеры кристаллов со встроенными антеннами. Мы остановили свой выбор на РНЕМТ-структурах, так как их использование открывает возможность изготавливать интегрированную антенну со встроенным маломощным усилителем компактных размеров.

Конструкция антенны выбиралась среди решений с возможностью планарной реализации. Мы остановились на антеннах двух типов: антенны типа Вивальди и прямоугольной микрополосковой антенны, каждый тип в двух вариантах: для частот 5 и 10...12 ГГц. Для того чтобы антенный элемент с наибольшей эффективностью передавал падающую электромагнитную волну на усилитель, импедансы антенны и усилителя должны быть комплексно сопряженными. Чтобы не включать отдельную согласующую цепь, мы подбирали импеданс антенны под импеданс усилителя, изменяя параметры микрополосковой линии.

Электромагнитный расчет ожидаемых СВЧ параметров маломощного усилителя (МШУ) выполнялся в САПР ADS (*Advanced Design System*) с помощью метода Momentum. Для расчета антенных элементов использо-

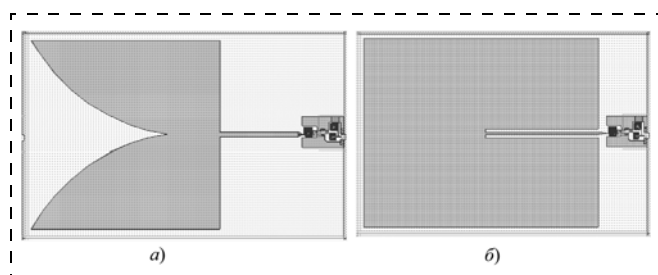


Рис. 1. Топология интегрированных антенных элементов для частоты 5 ГГц:

a — антенна типа Вивальди; b — прямоугольная антенна

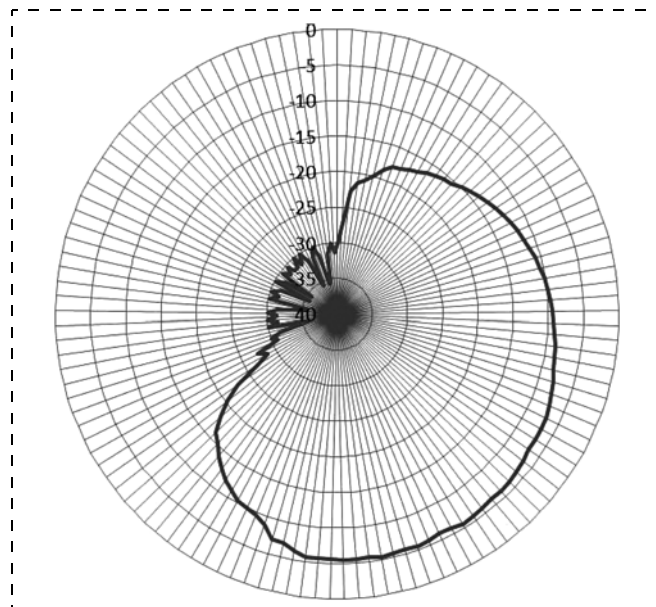


Рис. 2. Измеренная диаграмма направленности прямоугольного антенного элемента

вался метод расчета FEM (*Finite Element Method*). Расчетные характеристики МШУ:

- коэффициент усиления ~ 18 – 24 дБ ;
- коэффициент шума менее 1 дБ ;
- КСВ по входу и по выходу $< 2 \text{ дБ}$.

Размеры кристаллов антенных элементов с МШУ составили $6,4 \times 10,1 \text{ мм}$ (антенна типа Вивальди) и $6,4 \times 5,4 \text{ мм}$ (прямоугольная антенна) для частоты 5 ГГц (рис. 1). Кристаллы для диапазона 10...12 ГГц имеют более компактные размеры: $1,89 \times 6,77 \text{ мм}$ (антенна типа Вивальди) и $6,4 \times 9,4 \text{ мм}$ (прямоугольная антенна) [2–4]. Толщина подложки GaAs: 0,6 мм. Потери отражения антенных элементов типа Вивальди: от -20 до -35 дБ в диапазоне 10...12 ГГц и -17 дБ для 5 ГГц; для прямоугольных антенных элементов: от -10 до -15 дБ в диапазоне 10...12 ГГц и -15 дБ для 5 ГГц. Максимальная интенсивность излучения антенных элементов: $0,036 \text{ Вт/ср}$. Максимальное усиление: 0,93.

На данный момент нам удалось измерить характеристики одного антенного элемента — прямоугольного для 5 ГГц. Коэффициент отражения составил около -13 дБ на частоте 5,5 ГГц. Диаграмма направленности представлена на рис. 2.

Работа выполнена в рамках контракта 01.426.11.0019 от 18 мая 2010 года по заказу Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. John Dr., Volakis L. Antenna engineering handbook. New York: The McGraw-Hill Companies, 2007.
2. Мальцев П. П., Федоров Ю. Ф., Матвеев О. С., Гнатюк Д. Л. Топология ИМС "Интегральный антенный элемент со встроенным маломощным усилителем для диапазона 5 ГГц", регистрационное свидетельство № 2011630058 от 05.05.2011 г.
3. Мальцев П. П., Федоров Ю. Ф., Матвеев О. С., Гнатюк Д. Л. Топология ИМС "Интегральный антенный элемент со встроенным маломощным усилителем для диапазона 10–12 ГГц", регистрационное свидетельство № 2011630059 от 05.05.2011 г.
4. Федоров Ю. Ф., Гнатюк Д. Л. Топология ИМС "Широкополосный маломощный усилитель", регистрационное свидетельство № 2011630032 от 04.02.2011 г.