

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Темнова Александра Михайловича "Гибридно-монокристалльные интегральные схемы СВЧ", представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах"

Разработка и организация промышленного производства ЭКБ СВЧ и приборов на их основе для радиоэлектронной бортовой аппаратуры с высокими СВЧ параметрами и надежностью, и приемлемыми массогабаритными характеристиками является важной стратегической задачей.

Диссертационная работа Темнова Александра Михайловича, оценке автореферата которой посвящен настоящий отзыв, носят комплексный характер. Представленные разработки объединены единой концепцией, предложенной им впервые в отечественной и зарубежной практике в 1978 г.. Они реализованной в виде гибридно-монокристалльных СВЧ схем (ГМИС) различного функционального назначения, отвечающих требованиям со стороны бортовых радиоэлектронных систем.

Это определило **актуальность** как предложенной Темновым А.М. концепции, так и развиваемых в рамках её технических направлений. В основу их развития **поставлена цель** - создать гибридно-монокристалльные интегральные схемы сантиметрового диапазона удовлетворяющие требованиям бортовой радиоэлектронной аппаратуры высокой надежности, и приемлемые по массогабаритным характеристикам и стоимости. **Объектом исследований** являются ГМИС СВЧ различного функционального назначения, а завершались исследования разработкой базовых конструкций, технологий и функциональных схем.

Решаемый автором **комплекс научно-технических задач** включал:

- предложение концепции ГМИС СВЧ с высокими СВЧ параметрами и надежностью, с приемлемыми массогабаритными характеристиками и стоимостью; анализ и разработку научных основ концепции; предложение возможных научно-технических решений по реализации ГМИС конкретного функционального назначения; оценку предельных характеристик и надежности схем;
- выбор конструкции ГМИС СВЧ на монокристалльной сапфировой плате, обеспечивающей достижение цели и преимуществ, по сравнению с ГИС СВЧ;
- оптимизация базовых промышленных техпроцессов и техмаршрута формирования пассивной монокристалльной сапфировой платы ГМИС с использованием групповой микроэлектронной технологии;
- разработка и изготовление полнофункционального ряда промышленных СВЧ ГМИС на монокристалльной сапфировой плате с активными схемами на GaAs ПТШ с малой и средней выходной мощностью; разработка ГМИС СВЧ на монокристалльной сапфировой плате с активными схемами на GaN ПТШ с выходной мощностью ~ 10 Вт;
- предложение и проверка концепции на монокристалльной алмазной плате; разработка подходов к технической реализации идеи, разработка техпроцессов формирования монокристалльной алмазной платы с использованием групповой микроэлектронной технологии;
- анализ предельных характеристик развитых подходов, и рекомендации по реализации.

В процессе решения перечисленного комплекса задач, автором впервые получен ряд принципиально важных результатов, имеющих **научную новизну**.

В частности, автором:

1. Впервые предложена и реализована концепция создания ГМИС СВЧ, включающей пассивные компоненты в монокристалльном исполнении и активные компоненты в

навесном исполнении, и обеспечивающие ГМИС параметры сравнимые с аналогичными ГИС СВЧ;

2. Предложена и реализована оригинальная конструкция ГМИС СВЧ на основе КЛ и монолитной сапфировой платы с пассивными элементами и межсоединениями, обеспечивавшая высокие СВЧ параметры и надежность по сравнению с аналогичными ГИС СВЧ;

3. Оптимизированы техпроцессы формирования пассивных компонентов в рамках монолитных ГМИС СВЧ; создан сапфировый технологический базис для производства ГМИС СВЧ;

4. Предложена конструкция ГМИС СВЧ на монолитной алмазной плате и подходы к её реализации; разработаны усилительные ГМИС на алмазе;

5. Проведены оценки предельных параметров, и показана перспективность приемно-передающих модулей АФАР на алмазе в архитектуре 3D, на ГМИС и МИС СВЧ.

Полученные результаты имеют **практическая ценность:**

1. Создан полнофункциональный ряд промышленных ГМИС на GaAs ПТШ и МИС СВЧ, с функциями усилителей, преобразователей и генераторов для частотного диапазона 0,4...20 ГГц с выходной мощностью до 100 мВт;

2. Создан ряд усилительных ГМИС на GaAs ПТШ и МИС частотного диапазона 1...20 ГГц с выходной мощностью до 0,6 Вт, а также ГМИС СВЧ на GaN ПТШ с выходной мощностью до 17 Вт;

3. Созданы мощные усилительные ГМИС СВЧ; разработаны конструкция, базовые техпроцессы и техмаршрут формирования пассивной монолитной алмазной платы с металлизированными отверстиями;

4. Базовые технологии и конструкции обеспечили технологический базис промышленных ГМИС СВЧ для отечественной ЭКБ СВЧ;

5. Создан полнофункциональный ряд промышленных ГМИС с GaAs ПТШ различного функционального назначения для частотного диапазона 0,4...20 ГГц, с выходной мощностью до 100 мВт; на GaAs ПТМ и МИС СВЧ создан ряд промышленных усилительных и преобразовательных схем частотного диапазона 2...20 ГГц с выходной мощностью до 0,7 Вт, и усилительные ГМИС СВЧ мозаичной конструкции на GaN ПТШ, на частоты до 12 ГГц и выходные мощности до 17 Вт.

На защиту **выносятся следующие научные положения:**

1. Решение проблемы создания ЭКБ для построения высоконадежной бортовой СВЧ аппаратуры сантиметрового диапазона длин волн достигается реализацией концепции гибридно-монолитных интегральных схем;

2. Создание усилительных, преобразовательных и генераторных ГМИС частотного диапазона 0,4...20 ГГц обеспечивается оригинальной конструкцией, на основе подвешенной копланарной линии и пассивной монолитной сапфировой платы с навесными кристаллами активных компонентов.

3. Оригинальная технология формирования резисторов и МДМ- конденсаторов с диэлектрическими слоями SiO<sub>2</sub> и Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> обеспечили создание сапфирового технологического базиса для промышленного производства ГМИС СВЧ.

4. Создание мощных усилительных ГМИС СВЧ, в том числе поверхностного монтажа, обеспечивается использованием пассивной монолитной алмазной платы с металлизированными отверстиями и объемной алмазной крышки, а также конструкцией и технологией изготовления на основе плазмохимического процесса травления.

При выполнении исследований использованы приоритетные программные продукты и специализированные экспериментальные методы исследований.

Результаты исследований и разработок использованы в ряде ОКР проводимых в АО "Исток" и на других предприятиях. ГМИС СВЧ составили основу ЭКБ систем вооружений бортового, наземного и морского базирования. Основные результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих индексируемых и рецензируемых журналах.

**По изложению материала в автореферате имеются замечания**

В разделе автореферата, посвященном результатам восьмой главы диссертации, утверждается перспективность МИС на основе алмаза, что сомнительно в силу состояния электронного качества существующего материала (синтетического алмаза); наличие большой концентрации структурных дефектов и примеси в материале неизбежно приведет к длинно-временным релаксациям тока, к значительной дисперсии рабочих параметров по пластине и к эффектам паразитного управления.

Высказанное замечание не снижает значимости настоящей работы, и не влияет на ее высокую оценку. Работа является комплексной и цельной, содержит научную и техническую новизну, выполнена на высоком научно-техническом уровне.

**Заключение**

Материал, представленный в автореферате диссертации Темнова Александра Михайловича "Гибридно-монокристалльные интегральные схемы СВЧ", является законченным научно-техническим исследованием, результаты разработок важны для производства ЭКБ радиоэлектронных систем стратегического назначения, работа соответствует специальности 05.27.01 "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах". Результаты представленные в автореферате позволяют квалифицировать диссертационную работу как безусловно, удовлетворяющую всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах".

Доктор физико-математических наук,  
начальник лаборатории НИЛФЭ МИЭТ



/Ильичёв Э.А.

Входные данные для связи:  
е mail: edil44@mail.ru  
сот. 89035941858



Подпись Ильичёва Э.А. заверяю,  
начальник отдела кадров ИИЭТ



/С.В.Заболотный/

Ильичёв Эдуард Анатольевич, доктор физико-математических наук, ДК 001984, решение от 11.02.2000 г., № 5Г/26, д. ф.-м. н.. Специальность - 05.27.2001, твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника