

*Мех. № 145-64  
от 03.06.2020*

В диссертационный совет Д409.001.01  
на базе АО «НПП «Исток» им. Шокина»

### Отзыв

на автореферат диссертации Темнова Александра Михайловича «Гибридно-монолитные 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».

Повышение обороноспособности России невозможно без создания систем радиоэлектронного вооружения мирового уровня. В таких системах широко используются приемо-передающие модули и другие устройства, отвечающие жестким требованиям по электрическим и массогабаритным параметрам, параметрам надежности и устойчивости к воздействию внешних факторов. Поэтому тема диссертационной работы А.М. Темнова, посвященной созданию и развитию гибридно-монолитных интегральных схем (ГМИС) СВЧ сантиметрового диапазона длин волн (усилителей, преобразователей, генераторов и др.) с параметрами и характеристиками, удовлетворяющими требованиям высоконадежной бортовой радиоэлектронной аппаратуры систем вооружения, средств связи и космической техники мирового уровня, безусловно, **актуальна**.

Для создания современной бортовой аппаратуры оказались непригодны не только волноводные и коаксиальные конструкции, но и традиционные гибридно-интегральные схемы (ГИС) СВЧ, имеющие большие массогабаритные характеристики, высокую трудоёмкость изготовления и стоимость.

В начале 80-х годов казалось, что традиционные ГИС СВЧ будут быстро заменены малогабаритными монолитными интегральными схемами (МИС) СВЧ. Однако МИС СВЧ не являются конечным продуктом и требуют для своего включения

дополнительные ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) элементы, которые неизбежно приходится располагать на плате ГИС СВЧ.

Автором диссертации предложена концепция создания интегральных схем СВЧ диапазона нового типа – гибридно-монокристаллических интегральных схем (ГМИС) СВЧ, обеспечивающая их практическую реализацию и широкомасштабное промышленное производство. Концепция позволила повысить выход годных за счет отдельного изготовления пассивной и активной частей МИС СВЧ. В рамках этой концепции получены новые и значимые научные и практические результаты, состоящие в следующем.

- Разработана и применена на практике концепция создания ГМИС СВЧ с высокими СВЧ параметрами и надежностью, малыми массогабаритными характеристиками и низкой себестоимостью.
- Впервые в отечественной и зарубежной практике автором предложена оригинальная базовая конструкция ГМИС СВЧ на основе подвешенной копланарной линии и монокристаллической сапфировой платы, содержащей все сосредоточенные пассивные ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) элементы, межсоединения, выводы, обеспечивающая улучшение более чем в 3 раза массогабаритных характеристик по сравнению с аналогичными ГИС СВЧ.
- Оптимизированы процессы нанесения металлических и диэлектрических слоев  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  для формирования МДМ-конденсаторов и стабильных резисторов, разработаны и внедрены технологические процессы изготовления ГМИС СВЧ, обеспечивающие промышленное производство ГМИС СВЧ с процентом выхода порядка 70 %.
- Создан широкий функциональный ряд промышленных усилительных, преобразовательных и генераторных маломощных ГМИС СВЧ диапазона 0,4...20 ГГц с выходной мощностью до 100 мВт на кристаллах GaAs ПТШ, а также ряд ГМИС СВЧ мозаичной конструкции с выходной мощностью до 17 Вт на кристаллах GaAs и GaN ПТШ.
- Впервые в отечественной и зарубежной практике в соответствии с концепцией автором предложена конструкция ГМИС СВЧ на основе алмазной платы из поликристаллической алмазной пленки (ПАП), в том числе ГМИС СВЧ поверхностного монтажа. Разработан технологический процесс изготовления пассивной монокристаллической алмазной платы с металлизированными отверстиями

и объемной алмазной крышки по групповой планарной технологии, оптимизирован процесс плазмохимического травления отверстий и создан алмазный технологический базис для развития мощных ГМИС СВЧ.

**Теоретическое значение работы** определяется разработкой оригинального научно-методического подхода к созданию ГМИС СВЧ. Предложенная автором концепция решения актуальной проблемы обеспечила создание нового типа интегральных схем СВЧ - гибридно-монокристаллических интегральных схем (ГМИС) СВЧ, в которых все пассивные элементы схемы изготавливаются на монокристаллической плате, а навесными являются только кристаллы активных СВЧ компонентов.

**Практическая значимость** результатов работы подтверждается эффективным серийным производством ГМИС СВЧ (более 100 типов) с общим объемом выпуска порядка 100 000 шт./год и широким использованием разработанных ГМИС СВЧ в системах связи, радиолокации, радиопротиводействия, разрабатываемых и выпускаемых десятками предприятий радиоэлектронной промышленности России.

**Личный вклад** автора диссертации определяется тем, что он предложил оригинальную конструкцию ГМИС СВЧ на основе подвешенной копланарной линии и монокристаллической сапфировой платы и разработал технологию изготовления монокристаллических сапфировых плат, обеспечивающую высокие производственно-технические показатели.

**Достоверность** полученных научных результатов подтверждается полнотой анализа современного состояния исследований в области технических решений интегральных схем на активных СВЧ компонентах и оценки их надежности. Публикацией основных результатов исследований в научной печати, их положительной апробацией на научных конференциях и семинарах, результатами практической апробации основных положений в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, испытаниями и серийным выпуском ГМИС СВЧ. Сегодня ГМИС СВЧ наряду с ГИС и МИС СВЧ входят в широкоприменяемую номенклатуру отечественной электронной компонентной базы СВЧ.

**К недостаткам работы**, судя по содержанию автореферата, можно отнести следующие:

- широкое использование воздушных мостов усложняет технологию изготовления ГМИС СВЧ и может приводить к разбросу параметров схем;

