

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ СВЧ-ДИАПАЗОНА

В.А. Иовдальский

Н.В. Ганюшкина

А.И. Панас

К.В. Дудинов

teh.buro208@gmail.com

algan07@mail.ru

aipanas@istokmw.ru

dudinov@mirea.ru

**АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино, Московская обл.,
Российская Федерация**

Аннотация

Предложена новая конструкция гибридной интегральной схемы усилителя мощности СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов монокристаллических интегральных схем усилителей мощности лицевыми сторонами друг к другу и непосредственным соединением однофункциональных балочных выводов кристаллов между собой, а также с проводниками входа и выхода микрополосковой печатной платы. Теплоотвод от верхнего кристалла монокристаллической интегральной схемы усилителя мощности в двухъярусной гибридной интегральной схеме осуществляется через пластину из хорошо теплопроводящего материала, края которой выступают за пределы кристалла и соединяются с выступами теплоотводящего основания. Цель создания новой конструкции гибридной интегральной схемы усилителя мощности — улучшение электрических и массогабаритных характеристик. В результате расчетов тепловых возможностей для кристаллов монокристаллических интегральных схем из арсенида галлия и нитрида галлия выявлено, что при постоянной мощности кристаллов монокристаллических интегральных схем (10 Вт) обеспечивается эффективный теплоотвод, позволяющий добиться одинаковой температуры нагрева обоих кристаллов. Расчеты выполнены для различных значений теплопроводности теплоотводящей пластины (250...2000 Вт/(м·К)) и толщины пластины (0,2...0,5 мм). Сравнение электрических характеристик двухъярусной конструкции гибридной инте-

Ключевые слова

Гибридная интегральная схема, кристалл монокристаллической интегральной схемы, усилитель мощности, двухъярусная конструкция, электрические характеристики, массогабаритные характеристики, теплопроводность

гральной схемы усилителя мощности и одноярусной схемы подтверждает улучшение электрических параметров. Двухъярусная конструкция обеспечивает существенное уменьшение площади (на 36 %), занимаемой схемой, при незначительном увеличении высоты (на 0,3 мм). Это подтверждает улучшение массогабаритных характеристик. Доказана перспективность предлагаемой конструкции усилителя мощности СВЧ-диапазона

Поступила 24.09.2024

Принята 13.11.2024

© Автор(ы), 2024

Введение. Резкое увеличение потребности в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) СВЧ-диапазона бортового аэрокосмического и наземного базирования для систем специального и народно-хозяйственного назначения привело к ее функциональному и конструктивному усложнению и, как следствие, к необходимости значительного улучшения электрических и массогабаритных характеристик РЭА и ее составных частей. В связи с этим важным направлением становится совершенствование техники твердотельных усилителей мощности (УМ), так как именно характеристики УМ являются определяющими при проектировании важнейших частей РЭА. В настоящее время к улучшению характеристик УМ предъявляются жесткие требования [1–9].

Совершенствование конструкции УМ. Поскольку РЭА СВЧ-диапазона базируется на гибридных интегральных схемах (ГИС), то улучшение массогабаритных и электрических характеристик РЭА за счет совершенствования конструкции и технологии ГИС является актуальной задачей.

Однако увеличение мощности в ГИС УМ, связанное с использованием большого числа кристаллов транзисторов, не позволяет улучшать массогабаритные характеристики УМ. Это привело к появлению конструкции ГИС с двухъярусным расположением кристаллов транзисторов в УМ [10–12]. Необходимость исследования их характеристик и преимуществ [13], совершенствование конструкции внутрисхемных соединений [14] стимулировали разработку монолитных интегральных схем (МИС) УМ СВЧ-диапазона [15–17]. В кристаллах таких МИС УМ транзисторы формировались в виде последовательных каскадов усиления. Кристаллы МИС УМ стали использоваться в качестве компонентов в однослойных ГИС. Такой кристалл МИС УМ приведен на рис. 1.

На кристалле МИС сформирована схема УМ, состоящая из нескольких каскадов усиления. В каждом каскаде суммируется мощность нескольких транзисторов [14]. Появление МИС УМ на некоторое время

решило проблему улучшения электрических и массогабаритных характеристик.

Однако вскоре потребовалось дальнейшее улучшение характеристик бортовой РЭА и, соответственно, ее составных частей. Это привело к появлению ГИС УМ, в которых для увеличения мощности потребовалось суммирование мощности нескольких МИС УМ, поэтому МИС УМ стали применять в ГИС УМ в качестве комплектующих компонентов. Гибридная интегральная схема УМ СВЧ-диапазона, в которой суммируются мощности двух МИС УМ¹, приведена на рис. 2. Каждая МИС УМ представляет собой трехкаскадный УМ. В первом входном каскаде усиления содержится два транзистора, во втором промежуточном каскаде — восемь

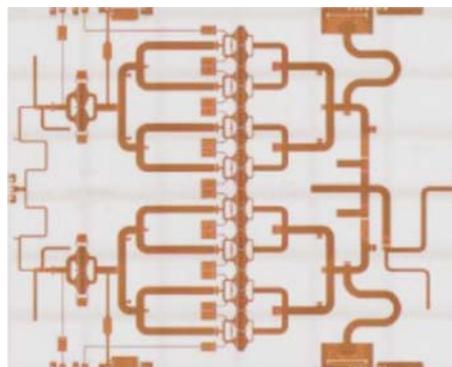


Рис. 1. Кристалл МИС УМ СВЧ-диапазона

содержится два транзистора, во втором промежуточном каскаде — восемь

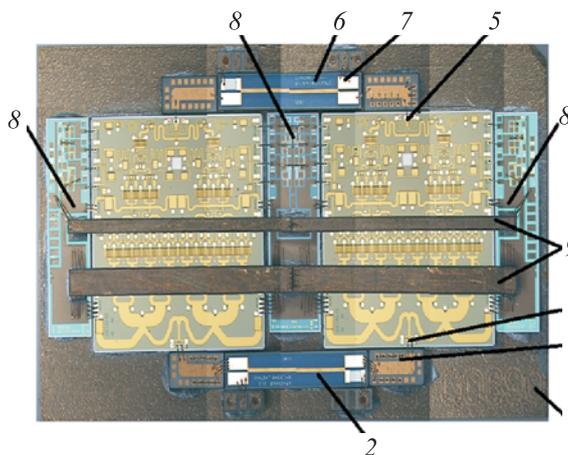


Рис. 2. Гибридная интегральная схема УМ СВЧ-диапазона с двумя МИС, расположенными на теплоотводящем основании:

1 — металлическое теплоотводящее основание; 2, 6, 8 — платы делителя мощности, суммирования мощности, питания соответственно; 3, 7 — выходы делителя и сумматора мощности; 4, 5 — вход и выход кристалла МИС УМ; 9 — металлические планки

¹ Заднепрная Н.И. ТП на ОКР «Разработка и освоение серийного производства двух литер сверхвысокочастотных усилителей мощности с полосами не более 1 октавы в диапазоне частот 8–12 ГГц с выходной мощностью 4 и 12 Вт с повышенным коэффициентом полезного действия до 35 %». М., Исток, 2018.

транзисторов и в третьем выходном каскаде усиления — 16 транзисторов. Характерно, что сечение проводников каскадов в МИС УМ увеличивается пропорционально увеличению мощности проходящего сигнала, что необходимо для предотвращения выгорания проводников МИС.

Гибридная интегральная схема УМ состоит из металлического теплоотводящего основания $14,5 \times 8,1 \times 0,3$ мм, изготовленного из сплава Al-SiC. На входе усилителя на основании установлена плата делителя мощности сигнала — мост Ланге. К выходам делителя мощности подключены входы кристаллов МИС УМ, установленных на металлическом основании, а к выходам двух МИС УМ подключена плата суммирования мощности сигнала — мост Ланге, также установленная на основании, выход которой является выходом ГИС УМ. С внешних боковых сторон МИС и между ними на металлическом основании установлены платы питания, часть контактных площадок которых соединена металлическими планками для выравнивания потенциалов между цепями с одинаковыми функциями.

Входной сигнал, требующий усиления, подается на вход ГИС УМ и делится на две части платой делителя мощности сигнала — мостом Ланге, далее подается для усиления на входы двух МИС УМ. Каждая часть сигнала усиливается в первом входном каскаде, затем во втором промежуточном и третьем выходном каскадах. Усиленные части сигналов поступают на входы каждой МИС УМ, затем на сумматор мощности, где мощности сигналов складываются, и далее — на выход ГИС УМ. Такой УМ СВЧ-диапазона серийно выпускается одним из отечественных предприятий и используется в бортовой РЭА аэрокосмического назначения.

Двухъярусное расположение МИС УМ в ГИС СВЧ-диапазона. Учитывая назначение РЭА с УМ, постоянным и необходимым является улучшение ее характеристик. Дальнейшее ужесточение требований к улучшению электрических и массогабаритных характеристик РЭА заставило специалистов задуматься над возможностью суммирования мощностей отдельных МИС УМ и вернуться к конструкции ГИС УМ с двухъярусным расположением полупроводниковых кристаллов. Так появилась конструкция УМ с двухъярусным расположением кристаллов МИС УМ в ГИС УМ (рис. 3) с улучшенными электрическими и массогабаритными характеристиками [17]. Конструкция ГИС УМ приведена на рис. 3.

Предлагаемая конструкция ГИС УМ [17] с двухъярусным расположением МИС УМ содержит диэлектрическую подложку с топологическим рисунком на лицевой и экранной заземляющей металлизации на обратной стороне, расположенную обратной стороной на теплоотводящем основании и соединенную с ним заземляющей металлизацией. Два кристалла

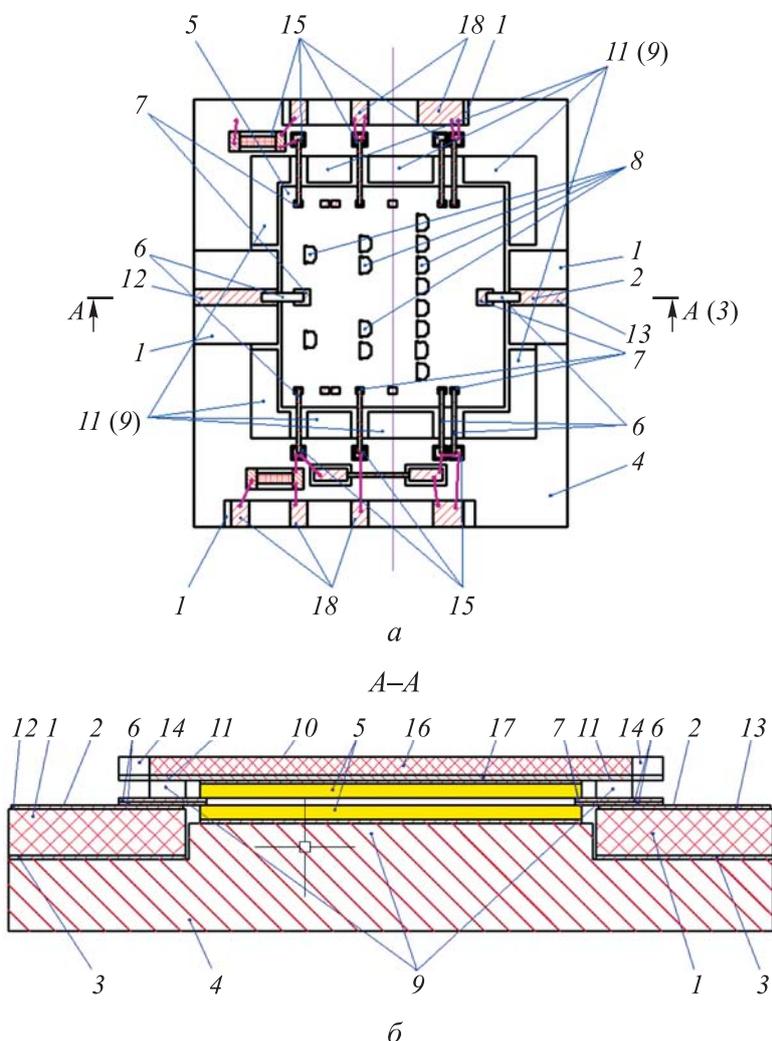


Рис. 3. Конструкция ГИС УМ с двухъярусным расположением МИС УМ:
а — ГИС без МИС верхнего яруса и пластины из электро- и теплопроводящего материала; *б* — разрез ГИС по А-А; 1 — диэлектрическая подложка; 2 — топологический рисунок слоя металлизации; 3 — экранная заземляющая металлизация; 4 — металлическое теплоотводящее основание; 5, 7 — кристалл и контактные площадки кристалла полупроводникового прибора (МИС УМ); 6 — плоские балочные выводы; 8 — транзисторы; 9 — выступы на металлическом теплопроводящем основании 4; 10 — пластина из электро- и теплопроводящего материала; 11 — монтажные площадки на верхней плоскости выступа 9 металлического основания; 12, 13 — входная и выходная линии передачи; 14 — выборки на краях пластины 10 из электро- и теплопроводящего материала; 15 — дополнительные компоненты; 16 — диэлектрик с теплопроводностью большей, чем у металлов; 17 — слой металлизационного покрытия пластины из диэлектрика; 18 — контактные площадки для соединения с внешними устройствами

МИС УМ с плоскими балочными выводами соединены как с контактными площадками на их лицевой стороне, так и между собой. Каждый кристалл МИС включает в себя транзисторы. На теплоотводящем основании (см. рис. 3), где установлен один кристалл МИС, выполнен выступ высотой, обеспечивающей расположение лицевой стороны кристалла в одной плоскости с лицевой стороной диэлектрической подложки. Часть балочных выводов соединена с топологическим рисунком металлизации. Верхний кристалл МИС соединен обратной стороной с пластиной, выполненной из электро- и теплопроводящего материала. Края пластины выступают за пределы второго кристалла МИС. На верхней плоскости выступа основания с двух сторон нижнего кристалла МИС выполнены монтажные площадки. Кристаллы МИС расположены лицевыми сторонами друг к другу. На одной части диэлектрической подложки расположена входная линия передачи входного СВЧ-сигнала, а на другой — выходная линия передачи выходного СВЧ-сигнала. Толщина теплопроводящей пластины 0,1...0,5 мм, ее края фиксируются на монтажных площадках, размеры которых варьируются в пределах $0,3 \times 0,3 \dots 3,0 \times 5,0$ мм. Эти площадки располагаются по периметру кристалла МИС. Высота выступа металлического основания в местах расположения монтажных площадок увеличена до краев пластины. На краях электро- и теплопроводящей пластины, в местах расположения балочных выводов, в местах входной и выходной линий передачи СВЧ-сигнала, выполнены выборки глубиной до кристаллов МИС УМ. На металлическое основание с двух сторон от кристаллов МИС УМ установлены дополнительные компоненты, образующие цепи их питания, электрически соединенные с балочными выводами кристаллов МИС и между собой.

Результаты тепловых исследований двухъярусной конструкции ГИС. Результаты численных тепловых расчетов для этой конструкции, выполненные с использованием программы трехмерного моделирования [18, 19], при выделении мощности с поверхности каждого кристалла по 10 Вт приведены в таблице.

Пластина из электро- и теплопроводящего материала (см. рис. 3) рассматривалась в различных вариантах: толщина пластины менялась от 0,2 до 0,5 мм, теплопроводность варьировалась в пределах 250...2000 Вт/(м · К), что соответствует МД-50 с теплопроводностью 250 Вт/(м · К) и алмазам различной теплопроводности (500, 750, 1000 и 2000 Вт/(м · К)) [20]. В таблицу сведены значения максимальной температуры для верхнего и нижнего кристаллов, приведенных в двух вариантах: с МИС из GaAs и GaN. Тепловыделяющие поверхности кристаллов направлены друг на друга.

Значения максимальной температуры (°C) для верхнего (знаменатель) и нижнего (числитель) кристаллов GaAs и GaN в зависимости от толщины и теплопроводности пластины (10, см. рис. 3)

Толщина пластины из теплопроводящего материала, мм	Теплопроводность, Вт/(м · К)				
	250	500	750	1000	2000
<i>Кристалл из GaAs</i>					
0,20	3,85/24,99	3,83/15,22	3,81/11,68	3,79/9,02	3,76/7,00
0,35	3,83/17,05	3,79/10,78	3,78/8,55	3,75/7,38	3,73/6,05
0,50	3,81/13,67	3,76/8,92	3,75/7,31	3,74/6,68	3,71/5,64
<i>Кристалл из GaN</i>					
0,20	3,34/22,56	3,29/10,05	3,27/7,93	3,26/6,80	3,25/6,31
0,35	3,31/15,80	3,28/10,05	3,26/7,93	3,25/6,80	3,22/4,99
0,50	3,29/12,76	3,27/8,29	3,25/6,66	3,24/5,81	3,20/4,53

Температурный перепад максимальных значений на верхнем и нижнем кристаллах из GaAs и GaN для различных значений толщины пластины (0,2, 0,3, 0,5 мм) и теплопроводности 250...2000 Вт/(м · К) приведен на рис. 4. Заметное уменьшение температурного перепада существенно при увеличении теплопроводности пластины до 1000 Вт/(м · К), дальнейшее увеличение ее теплопроводности снижает температурный перепад в меньшей степени.

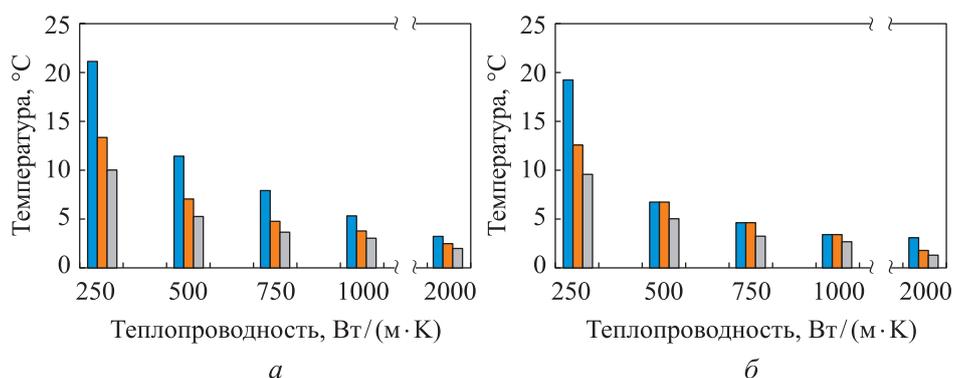


Рис. 4. Температурные перепады максимальных значений на верхнем и нижнем кристаллах из GaAs (а) и GaN (б) для пластин (10, см. рис. 3) толщиной 0,2 (■), 0,35 (■) и 0,5 мм (■) с теплопроводностью 250...2000 Вт/(м · К)

Температура нижней поверхности основания равна нулю, что позволяет интерпретировать полученные значения температуры как температурный перепад относительно нижнего основания.

Поле температур конструкции ГИС с МИС УМ для кристаллов из GaAs и пластины из электро- и теплопроводящего материала МД-50 толщиной 0,5 мм приведено на рис. 5, показано поле половины части конструкции, центральная плоскость которой проходит по местоположению максимальной температуры на нижнем и верхнем кристаллах. В этом варианте максимальная температура верхнего кристалла составила 13,67 °С, нижнего — 3,81 °С, перепад составил 9,86 °С (см. точку, соответствующую высоте серого столбика для теплопроводности 250 Вт/(м · К), на рис. 4, а). Пластина из электро- и теплопроводящего материала МД-50 толщиной 0,5 мм в 2 раза снижает перепад температур кристаллов по сравнению с пластиной толщиной 0,2 мм. Однако при такой теплопроводности охлаждение верхнего кристалла намного хуже, чем нижнего.

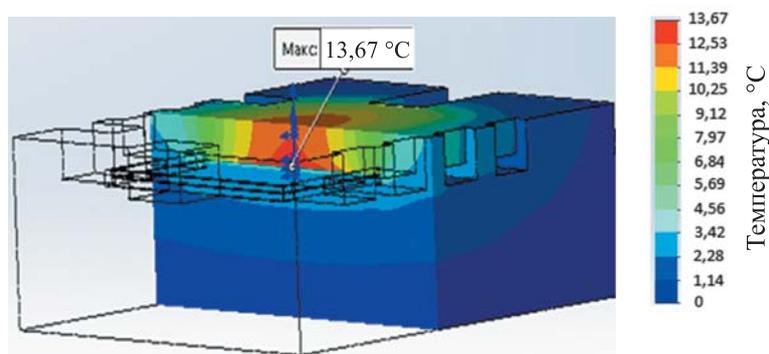


Рис. 5. Поле температур конструкции ГИС с МИС УМ для кристаллов из GaAs и пластины из электро- и теплопроводящего материала МД-50 толщиной 0,5 мм

Увеличение теплопроводности пластины из электро- и теплопроводящего материала путем замены ее материала на алмаз приводит к лучшему охлаждению верхнего кристалла.

Результаты. Анализируя конструкцию ГИС УМ с двухъярусным расположением кристаллов МИС УМ выявили, что кристаллы обращены тепловыделяющими поверхностями друг к другу, это создает условия, при которых верхний кристалл с большей температурой может нагревать нижний кристалл. Однако из расчетов следует, что это не так. Максимальная разность температур $24,99 - 3,85 = 21,14$ °С между верхним и нижним кристаллами МИС УМ наблюдается при установке пластины из материала МД-50 толщиной 0,2 мм, состоящей из кристаллов GaAs (см. рис. 4 и таблицу). Минимальная разность температур $4,53 - 3,2 = 1,33$ °С между верхним и нижним кристаллами МИС УМ — при установке пластины из МД-50

толщиной 0,5 мм, состоящей из алмаза с теплопроводностью 2000 Вт/(м · К) и кристаллов МИС GaN (см. рис. 5 и таблицу).

Очевидно, что нагреву нижнего кристалла препятствуют воздушный зазор между кристаллами, равный примерно суммарной толщине двух балочных выводов кристаллов МИС, т. е. 16 мкм, и сравнительно небольшая разность температур кристаллов, которую можно уменьшить за счет увеличения толщины пластины, а главное, увеличения до 2000 Вт/(м · К) ее теплопроводности.

Увеличение теплопроводности пластины из электро- и теплопроводящего материала вызывает уменьшение в 3–4 раза максимальной температуры верхнего кристалла, что ведет к существенному сокращению разности максимальных температур верхнего и нижнего кристаллов. Максимальная температура нижнего кристалла уменьшается очень незначительно — на сотые доли градуса, это свидетельствует о том, что условия теплоотвода для нижнего кристалла практически не изменяются, т. е. нет теплового влияния верхнего кристалла на нижний. В то же время для надежной работы УМ важно равенство мощностей каждого кристалла МИС как в случае однослойного расположения кристаллов, так при двухслойном расположении. Как правило, для этого используются кристаллы МИС УМ, изготовленные на одной полупроводниковой пластине за один технологический процесс. Такой отбор кристаллов обеспечивает равенство сопротивлений кристаллов МИС, следовательно, и равенство мощностей сигналов, протекающих по кристаллам при равенстве температуры их нагрева.

Расчетная оценка улучшения характеристик для импульсного УМ с однослойным расположением кристаллов (см. рис. 2) по сравнению с двухслойной конструкцией разработанного УМ (см. рис. 3) показала некоторое увеличение до 22 дБ коэффициента усиления и от 20 до 22 Вт выходной импульсной мощности. Следовательно, улучшены электрические характеристики за счет исключения из схемы на входе сигнала делителя и на выходе — сигнала сумматора мощности, а также массогабаритные характеристики, а именно уменьшение с 117,4 до 75,33 мм² (36 %) занимаемой площади при незначительном на 0,3 мм увеличении высоты, при толщине теплоотводящей пластины из алмаза, равной 0,5 мм. Расчеты проведены при условии, что площади теплоотводов обоих кристаллов равны, т. е. площадь нижнего кристалла равна сумме площадей всех монтажных площадок на верхней плоскости выступа металлического основания, контактирующих с пластиной (диэлектрик имеет теплопроводность больше, чем у металлов) из алмаза толщиной 0,5 мм.

Заключение. Применение новой конструкции ГИС УМ СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов МИС УМ лицевыми сторонами друг к другу и электрическим соединением их однофункциональных балочных выводов между собой, а также с организацией теплоотвода от верхнего кристалла МИС через теплоотводящую алмазную пластину толщиной 0,5 мм позволяет улучшить электрические характеристики за счет исключения делителя сигнала на входе УМ и сумматора на его выходе. Кроме того, такая конструкция по отношению к аналогичной с одноярусным расположением кристаллов, серийно выпускаемой в настоящее время, позволила существенно уменьшить (на 36 %) площадь, занимаемую ГИС УМ, при незначительном увеличении (на 0,3 мм) высоты конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сечи Ф. Мощные твердотельные СВЧ-усилители. М., Техносфера, 2016.
- [2] Исаев С.А., Кищинский А.А., Логинов Г.Л. и др. Мы делаем то, что умеем делать лучше всех. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 2009, № 4, с. 10–16.
EDN: SAMJH
- [3] Бочкарёв Д.В., Никитин Д.В., Кищинский А.А. и др. Широкополосный усилительный модуль в диапазоне 2–4 ГГц с выходной мощностью 35 Вт. *Матер. 19-й Крымской конф. «КрыМиКо»*. Т. 1. Севастополь, СевГУ, 2009, с. 94–95.
EDN: XXSXNT
- [4] Кищинский А.А. Широкополосные транзисторные усилители мощности СВЧ-диапазона: смена поколений. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 2010, № 2, с. 60–67. EDN: OCAOAJ
- [5] Roberg M., Zhang J., Flynt R., et al. A 50 W CW 1–6 GHz GaN MMIC power amplifier module with greater than 30 % power added efficiency. *IEEE/MTT-S IMS*, 2022, pp. 426–428. DOI: <https://doi.org/10.1109/IMS37962.2022.9865433>
- [6] Гармаш С.В., Кищинский А.А., Геворкян В.М. Двухканальный волноводный сумматор мощности в X-диапазоне длин волн. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2016, № 3, с. 81–87. EDN: UYSQHW
- [7] Armagan G., Burak O.Y., Ömer C., et al. X-band GaN based MMIC power amplifier with 36.5 dBm P1-dB for space applications. *Proc. EuMIC*, 2018, pp. 234–236.
DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2018.8541703>
- [8] Memioglu O., Karakuzulu O., Alper Gündel A., et al. Design and implementation of an encapsulated GaN X-band power amplifier family. *Proc. EuMIC*, 2018, pp. 89–92.
DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2018.8539902>
- [9] Kazan O., Koçer N., Civi O. An X-band robust GaN low-noise amplifier MMIC with sub 2 dB noise figure. *Proc. EuMIC*, 2018, pp. 1313–1316.
DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2018.8539909>

- [10] Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Лапин В.Г. и др. Мощная гибридная интегральная схема СВЧ-диапазона. Патент РФ 2298255. Заявл. 12.08.2005, опубл. 27.04.2007.
- [11] Иовдальский В.А. Новая концепция сложения мощности кристаллов ПТШ в ГИС усилителей мощности СВЧ-диапазона. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2006, № 1, с. 44–51.
- [12] Иовдальский В.А., Лапин В.Г., Пчелин В.А. Двухъярусная транзисторная сборка для усилителей мощности СВЧ-диапазона. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2009, № 4, с. 38–41. EDN: MNHFYN
- [13] Иовдальский В.А., Пчелин В.Г., Лапин В.Г. и др. Улучшение характеристик ГИС выходного каскада усилителя мощности СВЧ-диапазона. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2015, № 4, с. 63–67. EDN: XILKAN
- [14] Иовдальский В.А., Манченко Л.В., Давронов С.К. Совершенствование геометрии плоских выводов кристаллов компонентов ГИС СВЧ-диапазона. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2015, № 4, с. 67–69. EDN: XILKBB
- [15] Perm J., Moore G. Review the basic of VVIC design. *Microwaves and RF*, 2001, no. 6, pp. 55–70.
- [16] Санников Е.С., Кобякин В.П., Елисеев В.А. и др. Монолитный двухваттный усилитель мощности X-мощности частот. *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника*, 2003, № 1, с. 103–104.
- [17] Иовдальский В.А., Дудинов К.В., Ганюшкина Н.В. Мощная гибридная интегральная схема СВЧ-диапазона. Патент РФ 2817537. Заявл. 19.12.2023, опубл. 16.04.2024.
- [18] Алямовский А.А. SOLIDWORKS Simulation. Инженерный анализ для профессионалов. Задачи, методы, рекомендации. М., ДМК Пресс, 2015.
- [19] Алямовский А.А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология. М., ДМК Пресс, 2019.
- [20] Васильев А., Данилин В., Жукова Т. Новое поколение полупроводниковых материалов и приборов. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 2007, № 4, с. 68–76. EDN: NXAPXF

Иовдальский Виктор Анатольевич — д-р техн. наук, доцент, начальник лаборатории отдела качества АО «НПП «Исток» им. Шокина» (Российская Федерация, 141190, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а, корп. 1).

Ганюшкина Нина Валентиновна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «НПП «Исток» им. Шокина» (Российская Федерация, 141190, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а, корп. 1).

Панас Андрей Иванович — д-р физ.-мат. наук, профессор, заместитель директора по научной работе АО «НПП «Исток» им. Шокина» (Российская Федерация, 141190, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а, корп. 1).

Дудинов Константин Владимирович — заместитель начальника отделения АО «НПП «Исток» им. Шокина» (Российская Федерация, 141190, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а, корп. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Иовдальский В.А., Ганюшкина Н.В., Панас А.И. и др. Новая конструкция усилителя мощности СВЧ-диапазона. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2024, № 4 (149), с. 41–55. EDN: VDATYD

A NEW DESIGN OF THE MICROWAVE POWER AMPLIFIER

V.A. Iovdalskiy
N.V. Ganyushkina
A.I. Panas
K.V. Dudinov

teh.buro208@gmail.com
algan07@mail.ru
aipanas@istokmw.ru
dudinov@mirea.ru

JSC “NPP “Istok” im. Shokina”, Fryazino, Moscow Region, Russian Federation

Abstract

The article presents an innovative design of a hybrid integrated circuit of a microwave power amplifier, characterized by a two-tier arrangement of crystals of monolithic integrated circuits of power amplifiers with direct contact of the front sides of the crystals with each other. The single-function beam terminals of the crystals are connected to each other and to the input and output conductors of the multilayer printed circuit board. The heat sink from the upper crystal of a monolithic integrated circuit of a power amplifier in a two-tier hybrid integrated circuit is carried out through a plate made of a highly heat-conducting material, the edges of which protrude beyond the crystal and connect to the heat-removing projections of the base. The purpose of creating a new design of a hybrid integrated circuit of a power amplifier is to improve the electrical and mass-dimensional characteristics of the device. Calculations of the thermal characteristics of crystals of monolithic integrated circuits made of gallium arsenide and gallium nitride at a constant power of 10 W allowed us to establish that effective heat dissipation is provided, which contributes to achieving the same heating temperature of both crystals. Calculations were performed for various values of the thermal conductivity of the heat sink plate

Keywords

Hybrid integrated circuit design, monolithic integrated circuit crystal, power amplifier, two-tier design, electrical characteristics, weight and size characteristics, thermal conductivity

in the range from 250 to 2000 W/(m · K) and plate thickness from 0.2 to 0.5 mm. A comparison of the electrical characteristics of the two-tier design of a hybrid integrated circuit of a power amplifier with similar characteristics of a single-tier circuit confirms the improvement in electrical characteristics. The two-tier design allows you to significantly reduce the area of the circuit by 36 % with a slight increase in height by 0.3 mm, which indicates an improvement in weight and size characteristics. These results confirm the prospects of the proposed design of a microwave power amplifier

Received 24.09.2024

Accepted 13.11.2024

© Author(s), 2024

REFERENCES

- [1] Sechi F., Bujatti M. Solid-state microwave high-power amplifiers. Artech House Publishers, 2009.
- [2] Isaev S.A., Kishchinskiy A.A., Loginov G.L., et al. We do what we do best. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 2009, no. 4, pp. 10–16 (in Russ.). EDN: CAMJH
- [3] Bochkarev D.V., Nikitin D.V., Kishchinskiy A.A., et al. [Broadband amplifier module in the range of 2-4 GHz with output power]. *Mater. 19-y Krymskoy konf. "KryMiKo". T. 1* [Proc. 19th Crimea Conf. "KryMiKo". Vol. 1]. Sevastopol, SevGU, 2009, pp. 94–95 (in Russ.). EDN: XXSXNT
- [4] Kishchinskiy A.A. Wideband microwave transistor amplifiers: generation changes. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 2010, no. 2, pp. 60–67 (in Russ.). EDN: OCAOAJ
- [5] Roberg M., Zhang J., Flynt R., et al. A 50 W CW 1–6 GHz GaN MMIC power amplifier module with greater than 30 % power added efficiency. *IEEE/MTT-S IMS*, 2022, pr. 426–428. DOI: <https://doi.org/10.1109/IMS37962.2022.9865433>
- [6] Garmash S.V., Kishchinskiy A.A., Gevorkyan V.M. Two-channel waveguide power combiner in X-band wavelengths. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2016, no. 3, pp. 81–87 (in Russ.). EDN: UYSQHW
- [7] Armagan G., Burak O.Y., Ömer C., et al. X-band GaN based MMIC power amplifier with 36.5 dBm P1-dB for space applications. *Proc. EuMC*, 2018, pp. 234–236. DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMC.2018.8541703>
- [8] Memioglu O., Karakuzulu O., Alper Gündel A., et al. Design and implementation of an encapsulated GaN X-band power amplifier family. *Proc. EuMIC*, 2018, pp. 89–92. DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2018.8539902>
- [9] Kazan O., Koçer N., Civi O. An X-band robust GaN low-noise amplifier MMIC with sub 2 dB noise figure. *Proc. EuMIC*, 2018, pp. 1313–1316. DOI: <https://doi.org/10.23919/EuMIC.2018.8539909>

- [10] Iovdalskiy V.A., Pchelin V.A., Lapin V.G., et al. Moshchnaya gibridnaya integralnaya skhema SVCh-diapazona [High-power hybrid microwave integrated circuit]. Patent RU 2298255. Appl. 12.08.2005, publ. 27.04.2007 (in Russ.).
- [11] Iovdalskiy V.A. A new concept of PTC crystal power addition in GIS microwave power amplifiers. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2006, no. 1, pp. 44–51 (in Russ.).
- [12] Iovdalskiy V.A., Lapin V.G., Pchelin V.A. Double-level transistor assembling for microwave power amplifiers. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2009, no. 4, pp. 38–41 (in Russ.). EDN: MNHFYN
- [13] Iovdalskiy V.A., Pchelin V.G., Lapin V.G., et al. The improvement of HIC output stage characteristics of a microwave power amplifier. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2015, no. 4, pp. 63–67 (in Russ.). EDN: XILKAH
- [14] Iovdalskiy V.A., Manchenko L.V., Davronov S.K. The improvement of flat leads geometry of microwave hic component chips. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2015, no. 4, pp. 67–69 (in Russ.). EDN: XILKBB
- [15] Perm J., Moore G. Review the basic of VVIC design. *Microwaves and RF*, 2001, no. 6, pp. 55–70.
- [16] Sannikov E.S., Kobaykin V.P., Eliseev V.A., et al. Monolithic dual watt X-power frequency amplifier. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tekhnika*, 2003, no. 1, pp. 103–104 (in Russ.).
- [17] Iovdalskiy V.A., Dudinov K.V., Ganyushkina N.V. Moshchnaya gibridnaya integralnaya skhema SVCh-diapazona [High-power microwave hybrid integrated circuit]. Patent RU 2817537. Appl. 19.12.2023, publ. 16.04.2024 (in Russ.).
- [18] Alyamovskiy A.A. Solid Works Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendatsii [SOLIDWORKS simulation. Engineering analysis for professionals. Tasks, methods, recommendations]. Moscow, DMK Press Publ., 2014.
- [19] Alyamovskiy A.A. SOLIDWORKS simulation i FloEFD. Praktika, metodologiya, ideologiya [SOLIDWORKS simulation and FloEFD. Practice, methodology, ideology]. Moscow, DMK Press Publ., 2019.
- [20] Vasilyev A., Danilin V., Zhukova T. Semiconductor materials and devices new generation. *Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 2007, no. 4, pp. 68–76 (in Russ.). EDN: NXAPXF

Iovdalskiy V.A. — Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of the Laboratory of the Quality Department, JSC “NPP “Istok” im. Shokina” (Vokzalnaya ul. 2a, korp. 1, Fryazino, Moscow Region, 141190 Russian Federation).

Ganyushkina N.V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Theoretical Department, JSC “NPP “Istok” im. Shokina” (Vokzalnaya ul. 2a, korp. 1, Fryazino, Moscow Region, 141190 Russian Federation).

Panas A.I. — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Deputy Director for Research, JSC “NPP “Istok” im. Shokina” (Vokzalnaya ul. 2a, korp. 1, Fryazino, Moscow Region, 141190 Russian Federation).

Dudinov K.V. — Deputy Head of the Department, JSC “NPP “Istok” im. Shokina” (Vokzalnaya ul. 2a, korp. 1, Fryazino, Moscow Region, 141190 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Iovdalskiy V.A., Ganyushkina N.V., Panas A.I., et al. A new design of the microwave power amplifier. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2024, no. 4 (149), pp. 41–55 (in Russ.). EDN: VDATYD