

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НА МОНОЛИТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ GaN В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ 4–8 И 8–12 ГГц

Собраны и испытаны усилители на монокристаллических микросхемах GaN в диапазонах частот 4–8 и 8–12 ГГц; соответственно NC11634C-408P25 и NC11650C-812P25 китайской фирмы METDA. В непрерывном режиме при КПД 40% в диапазоне частот 4–8 ГГц получена максимальная выходная мощность 30 Вт, на частотах 8–12 ГГц – 20 Вт. Реализована технология низкотемпературной сборки кристаллов микросхем в модули.

ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени модули усилителей мощности СВЧ собирали по гибридно-интегральной технологии на корпусных и бескорпусных полевых транзисторах, выполненных на основе арсенида и нитрида галлия.

В настоящее время достигнут значительный прогресс в производстве монокристаллических интегральных схем (МИС) на основе нитрида галлия [1–3]. Основные параметры зарубежных GaN МИС в С- и Х-диапазонах частот представлены в таблице.

Эти данные показывают, что МИС китайской фирмы METDA не уступают МИС американских фирм.

В настоящей работе собраны и испытаны усилители мощности в непрерывном режиме в диапазонах частот 4–8 и 8–12 ГГц на основе МИС NC11634C-408P25 и NC11650C-812P25 фирмы METDA. Усилители мощности предназначены для использования в технологических стендах прогона циклотронных защитных устройств для стабилизации тока катода под воздействием СВЧ-мощности.

Разработка технологии сборки кристаллов МИС в усилителе являлась самостоятельной задачей. Площадь кристалла МИС на порядок больше площади кристалла транзистора, что создает проблему качественной пайки МИС на основание. Кроме того, производитель установил максимальную рабочую температуру каналов транзисторов не более +200 °С. Поэтому важно было при конструировании обеспечить наименьшую рабочую температуру МИС.

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МИС

В МИС NC11650C-812P25 все три каскада усиления вместе с пассивными элементами сосредоточены

Таблица. Основные параметры зарубежных GaN МИС в С- и Х-диапазонах частот

Производитель	Наименование GaN МИС	Диапазон частот, ГГц	Выходная мощность, Вт	КПД, %	Размеры кристалла, мм
CREE, США	CMPA5585030D	5,5–8,5	30	40	3,6×4,7×0,1
CREE	CMPA0060025D	1–6	25	30	4×2,3×0,1
CREE	CMPA601C025D	6–12	25	30–40	4,3×6×0,1
QORVO, США	QPA1011D	7,9–11	25	37	2,7×3,1×0,1
QORVO	QPA1019D	4,5–7	10	40	2,8×1,6×0,1
METDA, Китай	NC11634C-408P25	4–8	25	36	3,5×4,1×0,1
METDA	NC11650C-812P25	8–12	25	30	3,1×2,15×0,1

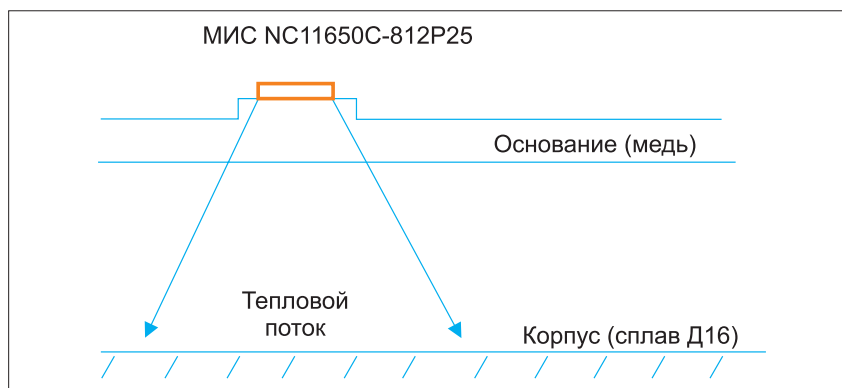
на кристалле размером 3,1×2,15 мм. Для снижения рабочей температуры МИС основание было изготовлено из меди, имеющей самый высокий коэффициент теплопроводности, равный 380 Вт/м·К. Традиционный сплав медь-молибден (соответственно, 30 и 70%) имеет вдвое меньший коэффициент теплопроводности [4]. Корпус модуля выполнен из сплава Д16 на основе алюминия, имеющего коэффициент теплопроводности, равный 120 Вт/м·К.

Таким образом, поперечное сечение модуля в месте монтажа МИС имеет следующий вид (рис. 1).

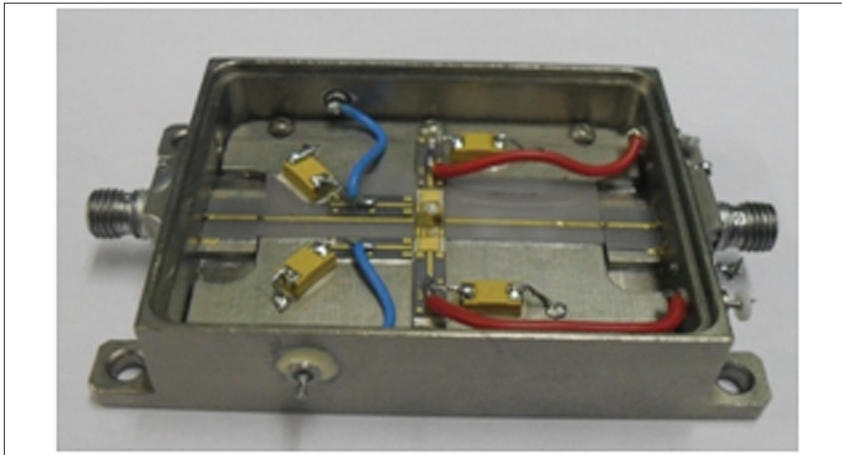
Используя стационарное одномерное уравнение теплопроводности, можно оценить перепад температур между теплоотводящей плитой и МИС. При температуре корпуса +60 °С температура под МИС составит +95 °С. Далее рассчитаем температуру каналов транзисторов, входящих в МИС, по формуле:

$$T_{\text{канал}} = T_{\text{мис}} + R_{\text{т}} \cdot P_{\text{расс}}$$

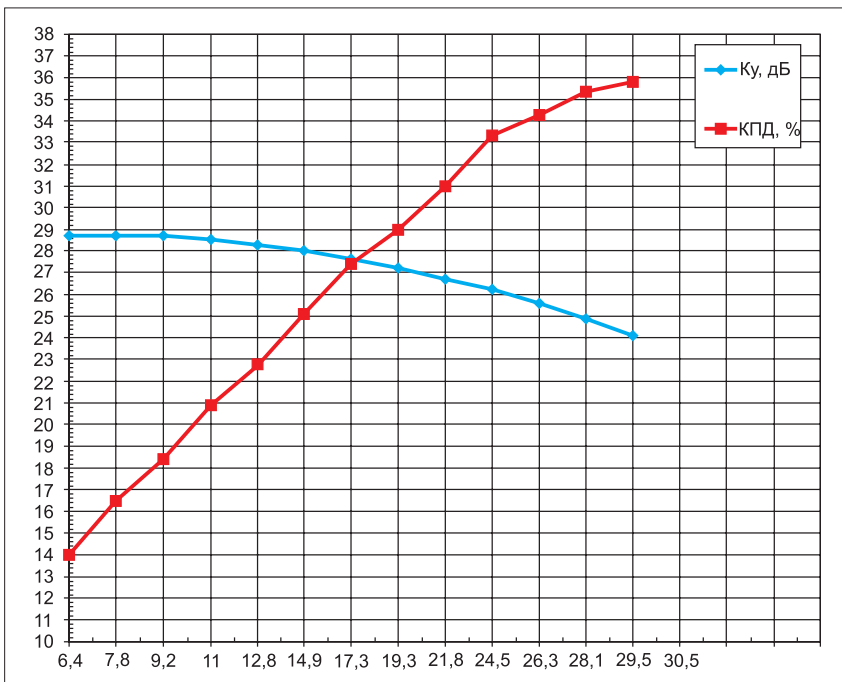
где $T_{\text{мис}}$ — температура МИС, равная +95 °С; $P_{\text{расс}}$ — мощность рассеяния, равная 35 Вт; $R_{\text{т}}$ — тепловое сопротивление МИС.



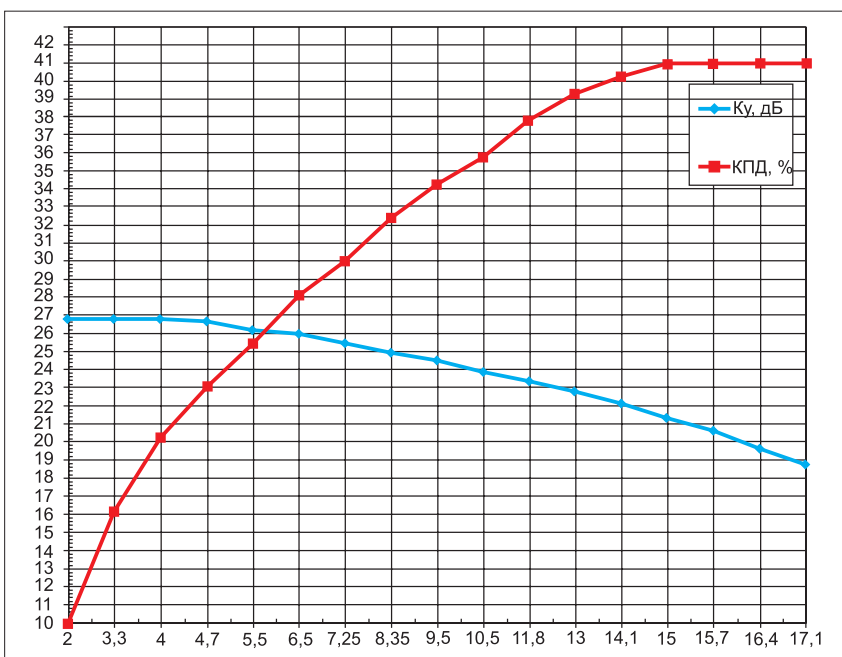
▲ Рис. 1. Поперечное сечение в месте установки МИС



▲ Рис. 2. Внешний вид модуля



▲ Рис. 3. Зависимости коэффициента усиления и КПД от выходной мощности на частоте 7 ГГц



▲ Рис. 4. Зависимости коэффициента усиления и КПД от выходной мощности на частоте 10 ГГц

Тепловое сопротивление МИС неизвестно. Примем его равным 2 °С/Вт, что характерно для непрерывного режима работы МИС фирмы CREE [1], аналогичных по мощности, размерам и материалам. Получим рабочую температуру каналов транзисторов, равную +165 °С, что ниже максимально допустимой рабочей температуры +200 °С.

Производитель рекомендует выполнять пайку МИС сплавом золото-олово при температуре +300 °С кратковременно на близкое по КТР основание. Обычно основание изготавливают из сплава медь-молибден. Предложено альтернативное решение: основание выполнить из меди, а пайку МИС на медное основание произвести чистым индием при температуре +156 °С. При этом расчет показывает, что разность температурного расширения МИС и основания в обоих вариантах близка и составляет 4–5 мкм, что создает небольшое напряжение сдвигания.

Для предотвращения диффузии индия в медь необходимо никелировать медное основание для создания барьера, при этом скорость диффузии уменьшается при снижении рабочей температуры [5].

Подвод питания к МИС: –2,5 и 28 В, а также 50-Ом полоски на поликоре ко входу и выходу СВЧ выполнены по стандартной технологии. Внешний вид модуля усилителя представлен на рис. 2.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

Для МИС NC11634C-408P25 в диапазоне частот 4–8 ГГц получена выходная мощность 30 Вт при КПД до 40%. На рис. 3 представлены зависимости коэффициента усиления и КПД от выходной мощности на частоте 7 ГГц.

Для МИС NC11650C-812P25 в диапазоне частот 8–12 ГГц получена выходная мощность 17 Вт при КПД 40%. На рис. 4 представлены зависимости коэффициента усиления и КПД от выходной СВЧ-мощности на частоте 10 ГГц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Параметры усилителей мощности соответствуют данным, заявленным производителем. При этом установлено, что микросхемы фирмы METDA соответствуют мировому уровню. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. CMPA5585030D, CMPA0060025D, CMPA601C025D. www.cree.com
2. QPA1011D, QPA1019D. www.qorvo.com
3. NC11634C-408P25, NC11650C-812P25. www.metdac.com
4. Боднар Д. Металлические и композитные теплопроводящие материалы для мощных полупроводниковых корпусов // Компоненты и технологии. 2014. № 12.
5. Indium/Copper Intermetallics. www.indium.com