

*Куликова И.В., Пашковский А.Б., Приступчик Н.К.
АО НПП «Исток» им. Шокина»*

Тепловые режимы мощных полевых транзисторов с донорно-акцепторным легированием

Исследованы тепловые режимы мощных полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно – акцепторным легированием. С помощью численного эксперимента определены основные факторы, обуславливающие перегрев активных областей таких гетероструктур. Определены критические удельные мощности, при которых можно использовать стандартные методы отвода тепла. Показана необходимость проведения независимых расчетов при различных температурах корпуса, обусловленная температурной зависимостью коэффициентов теплопроводности материалов. Установлено, что малые значения коэффициента теплопроводности GaAs приводят к ярко выраженной локализации максимумов температуры активных областей.

Ключевые слова: Распределение температуры, СВЧ транзисторы, численный эксперимент.

Одним из важных механизмов ограничения СВЧ мощности полупроводниковых приборов на основе GaAs является их большое тепловое сопротивление. В мощных полевых транзисторах из-за плохой теплопроводности основной вклад в сопротивление дает подложка GaAs. С одной стороны, температура активной области растет при увеличении толщины подложки и уменьшении расстояния между пальцами транзистора, что ведет к падению подвижности электронов и как следствие уменьшению протекающего через транзистор тока и соответственно коэффициента усиления и выходной мощности. С другой стороны, при разработке мощных СВЧ усилителей и полевых транзисторов для продвижения вверх по частотному диапазону и улучшения их характеристик часто требуется максимальная плотность упаковки прибора (минимальное расстояние между пальцами транзистора), которая ограничена максимальной температурой канала при превышении которой начинаются интенсивные деградационные процессы (обычно её принимают равной 150 С). Поэтому во многих, применяемых в настоящее время конструкциях приходится утончать кристалл до 25-30 мкм, а для сохранения механической прочности - наращивать снизу толстый слой золота (~30 мкм). Многие годы при работе в X – диапазоне и выше удельная выходная мощность современных гетероструктурных полевых транзисторов из-за многочисленных физических и технологических ограничений не превосходила существенно величину 1 Вт/мм, а конструкции транзисторов на основе арсенида галлия были ориентированы на соответствующее тепловыделение. Однако, с появлением гетероструктур с донорно – акцепторным легированием [1-3] эта величина выросла в разы, что сделало режимы работы таких приборов гораздо более напряженными.

Целью данной работы является исследование тепловых режимов таких приборов на примере двух типов серийных транзисторов с периодами (расстоянием между пальцами затвора) 14 мкм и 28 мкм (рис. 1), отличающихся параметрами структуры подложки. Подложка состоит из пластины GaAs, на которую нанесено гальваническое золото и припой, соединяющий кристалл с медной пластиной. В первом случае толщина GaAs пластины равна 25 мкм, а толщина гальванического золота – 30 мкм. Во втором случае толщина GaAs пластины равна 100 мкм, а толщина гальванического золота – 5 мкм.

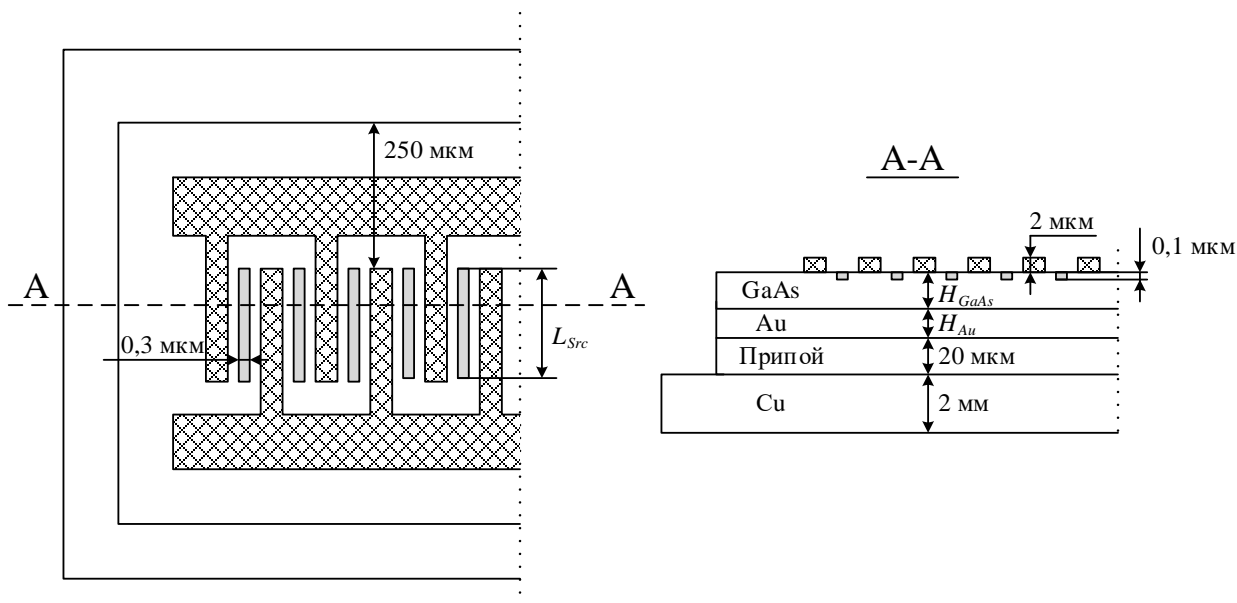


Рис. 1. Схематическая структура транзистора используемая для тепловых расчётов.

Рассматривалось два варианта исполнения транзистора длины «пальцев» ($L=50$ мкм и $L=100$ мкм). Общая ширина затвора, таким образом, составляла 1.2 и 2.4 мм, соответственно. Область тепловыделения [4] выделена на рис. 1 серым цветом, заштрихованная область – контакты из золота.

Структура содержала области с сильно изменяющимися градиентами температуры, поэтому геометрическая модель была разбита на подобласти, и сетка настраивалась для каждой области отдельно.

На рис. 2 приведено распределение температуры, рассчитанное по разработанной модели.

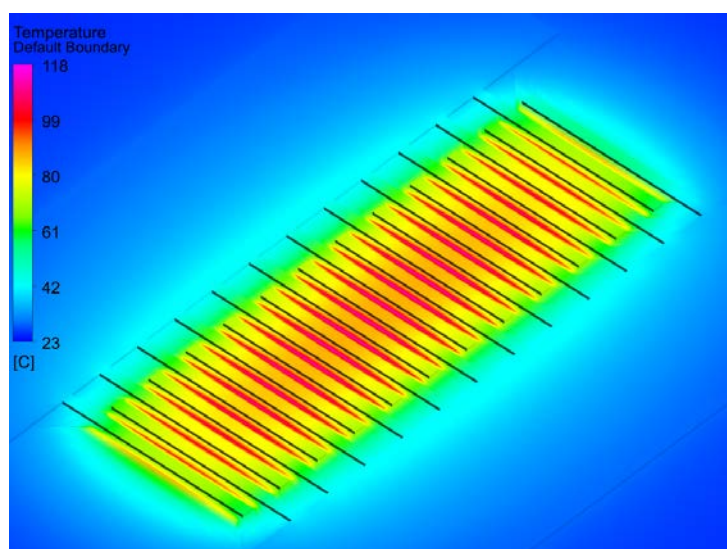


Рис. 2. Распределение температуры на поверхности структуры.

Модель учитывает температурную зависимость коэффициента теплопроводности арсенида галлия. Моделирование проводилось при различных температурах на нижней поверхности медной пластины (23 °C и 80 °C). Как видно из рис. 3, вычитание из

результатов, полученных для температуры корпуса $T_0=80\text{ }^\circ\text{C}$, разницы в $57\text{ }^\circ\text{C}$ не приводит к совпадению с кривой, полученной при $T_0=23\text{ }^\circ\text{C}$.

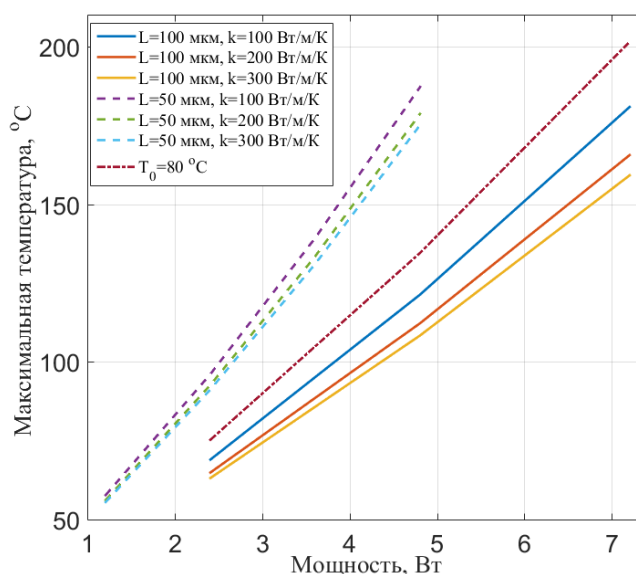


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры от мощности при температуре корпуса $23\text{ }^\circ\text{C}$ и шаге 28 мкм , кроме кривой (-·-). $N_{\text{GaAs}} = 25\text{ мкм}$, $N_{\text{Au}} = 30\text{ мкм}$.

Так как коэффициент теплопроводности гальванического золота сильно зависит от качества нанесения то были построены зависимости максимальной температуры от рассеиваемой мощности при различных значениях коэффициента теплопроводности интегрального теплоотвода $k = 100, 200, 300\text{ Вт/м/К}$ (рис. 3).

На рис. 4 приведено распределение температуры каналов транзистора в поперечном направлении. Из рисунка видно, что температура в канале быстро падает при удалении от источника на величину порядка десятых долей микрона и превышает температуру контактов более чем на $30\text{ }^\circ\text{C}$. Этот результат подтверждается данными, приведенными в литературе [4-6].

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. При одинаковой удельной мощности на единицу длины канала транзистора максимальная температура в канале с длиной пальца 50 мкм на $20 - 70$ градусов меньше, чем температура в канале транзистора с длиной пальца 100 мкм , и разница тем больше, чем толще GaAs подложка и ниже коэффициент теплопроводности гальванического золота.

2. При периоде структуры 28 мкм , и толщине подложки 100 мкм , при прочих равных условиях, максимальная температура в канале близка к максимальной температуре канала при расстоянии между затворами 14 мкм и толщине подложки 25 мкм и коэффициенте теплопроводности гальванического золота равном 300 Вт/м/К .

3. Зависимость коэффициентов теплопроводности от температуры, особенно для GaAs, обуславливает необходимость проведения расчетов при различных температурах корпуса.

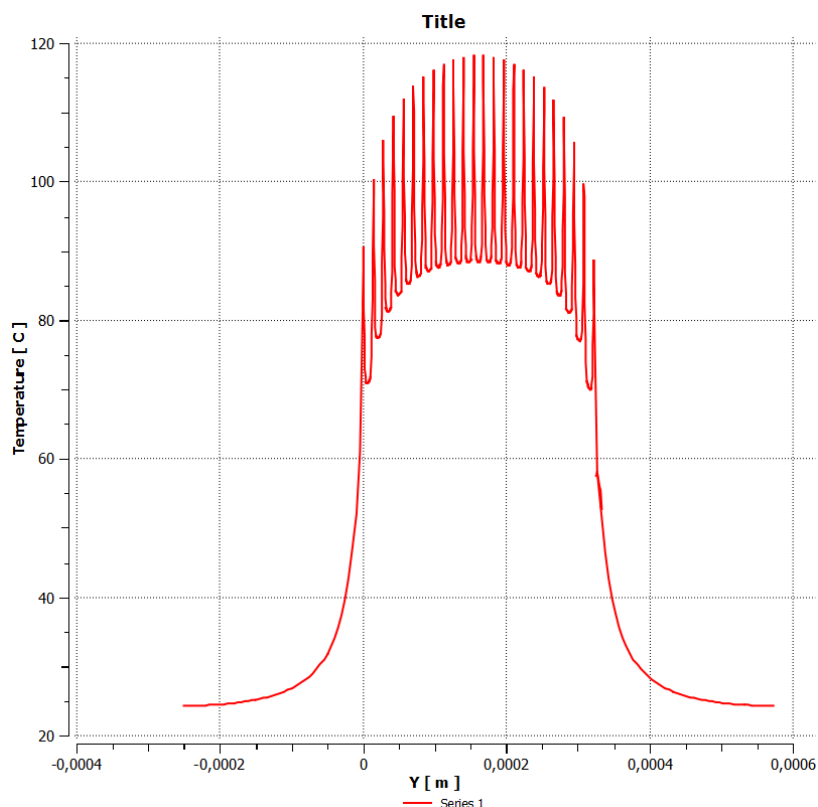


Рис. 4. Распределение температуры поперек каналов

4. Даже при периоде структуры 28 мкм, КПД равном 50% и длине пальца 50 мкм транзисторы с донорно-акцепторным легированием не смогут работать при удельной мощности более 3 Вт/мм даже при слабо перегретом корпусе. При длине пальца 100 мкм эта величина составляет менее 2.5 Вт/мм.

Поэтому для таких приборов, по-видимому, необходимо искать более эффективные средства теплоотвода, например [5,6].

Библиографический список

1. В.М. Лукашин, А.Б.Пашковский, К.С.Журавлев, А.И.Торопов, В.Г.Лапин, А.Б.Соколов. Уменьшение роли поперечного пространственного переноса электронов и рост выходной мощности гетероструктурных полевых транзисторов. Письма в Журнал Технической Физики, 2012, т.38. в. 17. С.84-89.
2. В.М. Лукашин, А.Б. Пашковский, К.С. Журавлев, А.И. Торопов, В.Г. Лапин, Е.И. Голант, А.А. Капралова. Перспективы развития мощных полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием. Физика и Техника Полупроводников, 2014, том 48, В.5. С. 684-692.
3. В.М. Лукашин, А.Б. Пашковский, В.Г. Лапин, С.В. Щербаков, А.А. Капралова, К.С. Журавлев, А.И. Торопов. Мощные гетероструктурные полевые транзисторы с донорно – акцепторным легированием, эффективно работающие при нулевом смещении на затворе. Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника, 2014, В.3(522), С. 5-14.
4. Бережнова П.В., Лукашин В.М., А.К.Ратникова, А.Б.Пашковский. Оценка области нелокального тепловыделения в мощных гетероструктурных полевых транзисторах. Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника, 2007, В.4(492), С.21 – 24.
5. А.А. Воробьев, Е.В. Воробьева, А.В. Галдецкий Моделирование теплового режима мощных транзисторов и МИС и новый метод монтажа кристаллов. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2011. – Вып. 3 (510). – С. 37-41.
6. А.А. Воробьев, А.В. Галдецкий. О возможности создания эффективного теплоотвода мощных СВЧ-транзистора с помощью структуры со стоп-слоем. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2011. – Вып. 3 (510). – С. 42-54.