

СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОТВОДА МОЩНОГО СВЧ-ТРАНЗИСТОРА С ПОМОЩЬЮ СТРУКТУРЫ СО СТОП-СЛОЕМ

А.Воробьев, А.Галдецкий, к.ф.-м.н.
info@stockmw.ru

Одно из основных направлений развития полупроводниковой СВЧ-электроники – повышение мощности единичных приборов. Мощность полупроводниковых СВЧ-приборов на основе арсенида галлия ограничивается их большим тепловым сопротивлением, обусловленным в значительной степени плохой теплопроводностью подложки GaAs. Для улучшения теплоотвода мощных СВЧ-транзисторов предложена новая конструкция транзистора, численное моделирование теплового режима которой показало ее эффективность.

В применяемых сегодня конструкциях транзисторов часто используется плотная упаковка "пальцев" структуры (что необходимо для уменьшения размеров кристаллов и увеличения их съема с пластины). Однако при уменьшении расстояния между "пальцами" транзистора температура активной области растет, из-за чего приходится утонять кристалл до 25–30 мкм, а для сохранения механической прочности – наращивать снизу толстый слой золота (~30 мкм) (рис.1). Но даже в этом случае размер транзистора мощностью 3–4 Вт составляет 1,5 мм.

НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТРАНЗИСТОРА

Транзисторы традиционной конструкции, изготавливаемые на кристалле толщиной 30 мкм, имеют следующие недостатки:

- ломаются при монтаже из-за малой толщины;
- необходимость разделять кристаллы химическим травлением, а не стандартной резкой, при которой часто образуемый на краях облой затрудняет автоматизированный монтаж кристаллов в корпус;
- потеря после химического разделения информации, полученной при автоматизированной разбраковке кристаллов на пластине (в результате приходится полагаться на трудоемкий ручной отбор транзисторов);
- сильный изгиб при нагреве во время пайки "биметаллической пластины" (30 мкм пластины + 30 мкм слоя гальванического золота), что затрудняет монтаж, особенно если в один корпус монтируется несколько кристаллов.

Эти проблемы усугубляются при разработке МИС повышенной мощности (10 Вт и выше), изготавливаемых на кристаллах размером 3—5 мкм. С кристаллами таких размеров крайне трудно работать. Поэтому обычно мощные приборы изготавливают на пластинах толщиной 100 мкм с разреженным расположением пальцев, что резко увеличивает габариты и стоимость прибора.

Авторы предлагают конструкцию транзистора, в которой толщина кристалла больше 30 мкм, но меньше или равна 100 мкм, а теплоотвод реализуется только в месте расположения активной области транзистора путем гальванического заполнения золотом углубления с нижней его стороны. Углубление создается травлением обратной стороны кристалла до стоп-слоя, расположенного ниже буферного слоя толщиной ~10 мкм (рис.2).

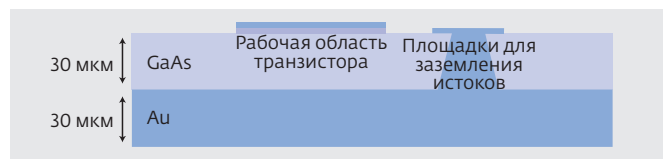


Рис.1. Традиционная конструкция транзистора

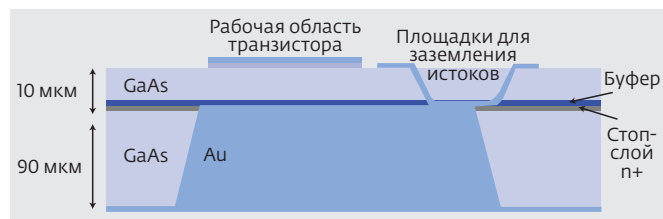


Рис.2. Новая конструкции транзистора

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ И НОВОЙ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНЗИСТОРА

Было проведено численное моделирование теплового режима транзистора новой конструкции (пластина толщиной до 100 мкм) и двух вариантов конструкций, выполненных по обычной технологии (на пластинах толщиной 100 и 30 мкм с 30-мкм слоем гальванического золота снизу). Предполагалось, что кристаллы смонтированы на медное основание толщиной 500 мкм, температура нижней грани которого равна 300К. Длина пальца затвора – 70 мкм, расстояние между пальцами – 14 мкм. В силу симметрии элементарной транзисторной ячейки моделировалась ее четверть размером 7×250 мкм с областью тепловыделения размером 0,1×35 мкм (рис.3)*. Предполагалось, что мощность тепловыделе-

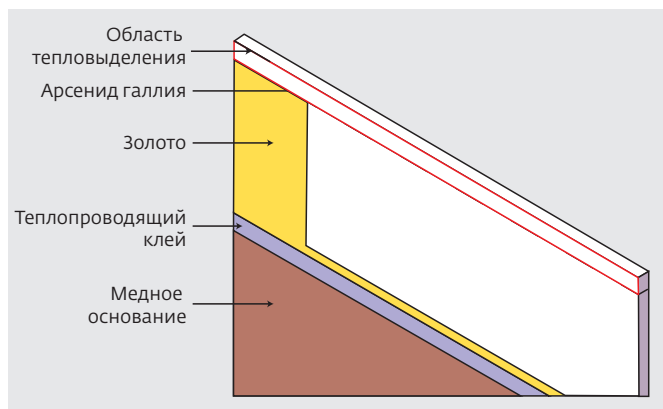


Рис.3. Изометрический вид моделируемой четверти элементарной ячейки нового транзистора

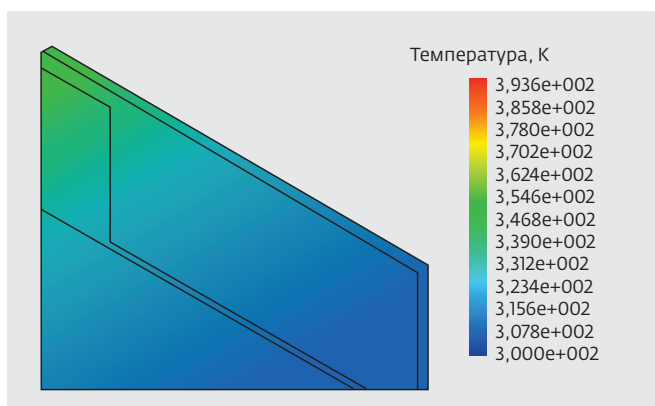


Рис.4. Распределение температуры в четверти элементарной ячейки транзистора. Красным контуром обведено золото

ния составляла 0,08 Вт на один палец затвора, т.е. 0,02 Вт на моделируемую четверть элементарной ячейки транзистора.

В программе были заданы размеры, положение и мощность области тепловыделения, температура основания, теплопроводность. В результате было получено распределение температуры в приборе (рис.4—8).

Моделирование показало, что распределение температуры в кристалле неоднородно. Температура активной области (под затвором) в транзисторе с традиционным теплоотводом и толщиной кристалла 100 мкм достигла бы 236°С, в традиционной конструкции с кри-

* Воробьев А.А., Галдецкий А.В., Ипполитов В.М. Моделирование теплового режима мощных транзисторов и МИС и новый метод монтажа кристаллов. – Материалы 17-й конференции "КрыМиКо 2007".

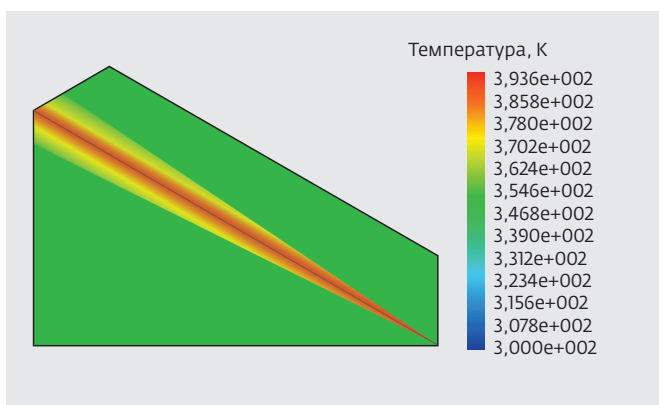


Рис.5. Распределение температуры в арсениде галлия вблизи области тепловыделения

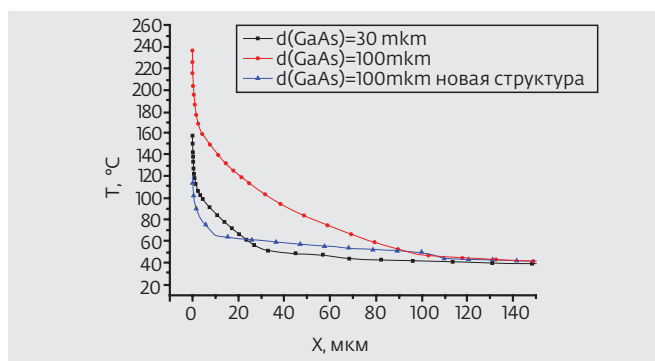


Рис.7. Распределение температуры вглубь подложки на глубину до 150 мкм

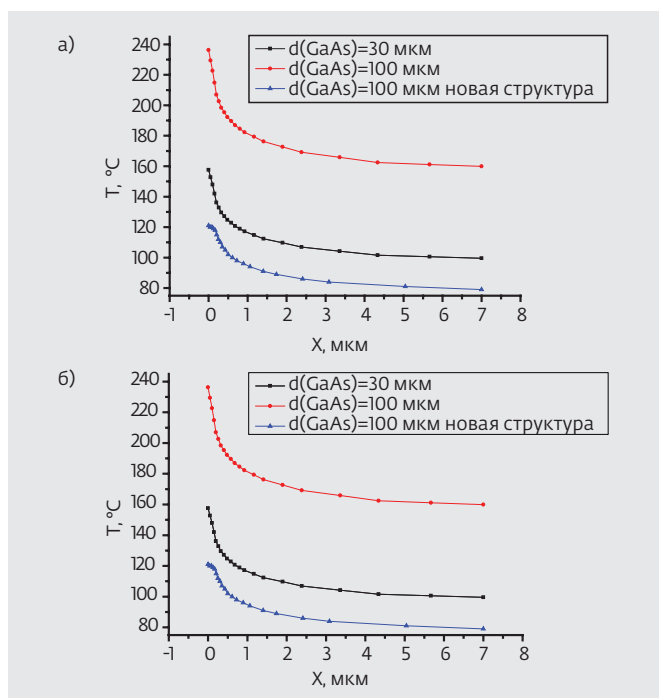


Рис.6. Распределение температуры на поверхности пластины в направлении поперек пальца затвора (а) и вдоль пальца затвора (б)

таллом толщиной 30 мкм – 158°C, а в новой конструкции толщиной 100 мкм – всего лишь 120°C (рис.6а). Следует также отметить более однородное распределение температуры вдоль пальца транзистора (рис.6б), что положительно влияет на суммирование СВЧ-мощности различных его областей. Нетрудно понять, что характерный масштаб температурного распределения на поверхности кристалла не превышает толщины пластины арсенида галлия, и в новом транзисторе с толщиной буфера 10 мкм однородность температуры должна быть выше.

Выводы

На основе результатов моделирования можно сделать следующие выводы.

1. В новой конструкции тепловое сопротивление транзистора снижается на 30% по сравнению с традиционной конструкцией толщиной 30 мкм (с буфером толщиной 10 мкм). При меньшей толщине буфера возможно дальнейшее снижение теплового сопротивления кристалла. Это позволяет уменьшить линейные размеры транзисторов, а значит увеличивать их съем с пластины, снижая тем самым стоимость изготовления одного прибора.

2. Транзистор на подложке толщиной 100 мкм вместо используемой в настоящее время подложки толщиной 30 мкм более технологичен, менее хрупок и не деформируется при пайке.

3. В новой конструкции прибора распределение температуры в рабочей области более однородное, чем в традиционной конструкции, что благоприятно влияет на достижение предельной выходной мощности.

4. Для изготовления новой конструкции требуются минимальные изменения существующего технологического процесса. В то же время, пластину толщиной 100 мкм можно разделять на кристаллы резкой, а не химическим разделением, что гораздо технологичнее. При этом сохраняются данные зондовых измерений на пластине и возможна автоматизированная отбраковка транзисторов.

5. Предложенную конструкцию можно использовать при создании мощных МИС и GaN-приборов на сапфировой подложке (при подборе соответствующих стоп-слоя и травителя), которая в большей степени ограничивает выходную мощность прибора.