

Миниатюрные GaAs-монокристалльные микросхемы

для применений в диапазоне DC–45 ГГц,
выполненные по технологии КП

Генрик Моркнер (Henrik Morkner)

Корпусирование всегда было ахиллесовой пятой при получении максимальной эффективности микроволн в любой технологии изготовления ИС. Паразитная емкость и индуктивность, связанные с использованием проволочных соединений, рамок с выводами и инкапсулирующими диэлектрическими материалами, ограничивают эффективность работы конечных продуктов на высоких частотах. Для решения этой проблемы необходимо уменьшить влияние факторов, вызывающих паразитные явления, и применить технологию корпусирования на пластине (Wafer Scale Packaging, КП). Принцип КП относительно прост, но реализовать данную технологию может быть нелегко — нужно решить задачи растрескивания, переносимости пайки и стоимости.

Avago Technologies работает с КП уже более 10 лет (рис. 1). Первоначально технология была разработана как дешевое герметичное корпусирование для кремниевых FBAR MEM. В изготовлении микросхем GaAs PHEMT она заменила кремниевую технологию сращивания. Впервые семейство таких GaAs-микросхем было анонсировано в 2008 г., а в 2009-м продолжилась разработка и внедрение новых компонентов.

В статье объясняются общее устройство и процесс изготовления микросхем КП, производимых

компанией Avago для коммерческого рынка. Преимущества и недостатки данной методики сравниваются с традиционной микроволновой технологией. Подытоживает материал обзор имеющихся в продаже компонентов и перспективных разработок.

Основные процессы изготовления и сборки технологии КП

Технология КП начинается со стандартной пластины GaAs, обрабатываемой для получения МММС. В компании Avago применяются пластины PHEMT, работающие в режиме обеднения или обогащения. Для процесса КП пластина оставляется толстой, т. е. в ней отсутствуют межслойные переходы. Чтобы сохранить высокий выход, параметры пластины обычно проверяются при помощи компланарного зондирования до начала изготовления микросхем.

Первым этапом в процессе КП является наложение прокладочного материала, выбор которого обуславливается его пластичностью и способностью прилипания к поверхности, изготовленной из нитрида и металла. В прокладке выполняются отверстия, чтобы обеспечить формирование воздушных полостей над основными микроволновыми элементами. Высота и размер прокладки и получаемых воздушных полостей весьма важны, т. к. в связи с неоднородностью диэлектриков и отражениями могут возникать нежелательные режимы распространения волн.

После формирования прокладки поверх нее накладывается еще одна GaAs-пластина. Ее использование в качестве покрытия обладает рядом преимуществ: GaAs-пластина имеет тот же самый коэффициент температурного расширения, что и основная. Это исключает возникновение механических напряжений в «сэндвиче» при нагревании/охлаждении конструкции. Кроме того, обеспечивается однородность для разделения кристаллов. Совмещение выполняется оборудованием компании Avago, разработанным для FBAR и GaAs-пластин (рис. 2), после чего верхняя и нижняя стороны подгоняются к габаритным размерам корпуса (по высоте). Затем уточняется размер отверстия на нижней стороне для соединения не только с «землей»,

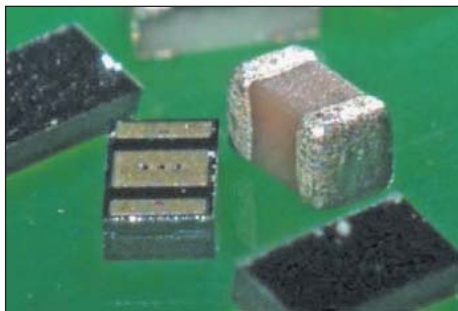
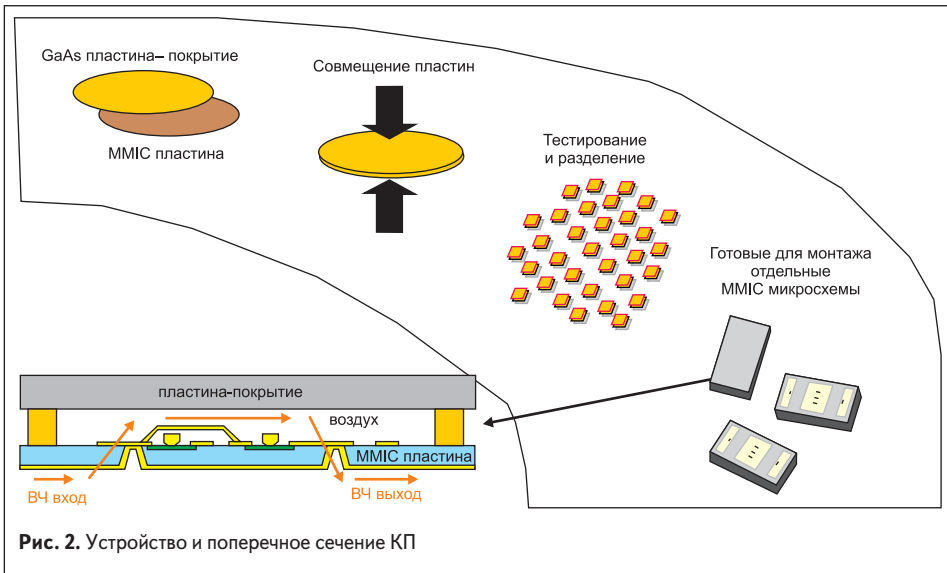


Рис. 1. Первая GaAs-микросхема, изготовленная по технологии КП и представленная на рынке в формате 0402 (1×0,5×0,3 мм), рядом со стандартным индуктором



через диэлектрик GaAs (скорость передачи — 12,7) вверх и к внутренней поверхности. Во время этого перехода создается полное сопротивление 50 Ом (лучше, чем обратные потери –20 дБ).

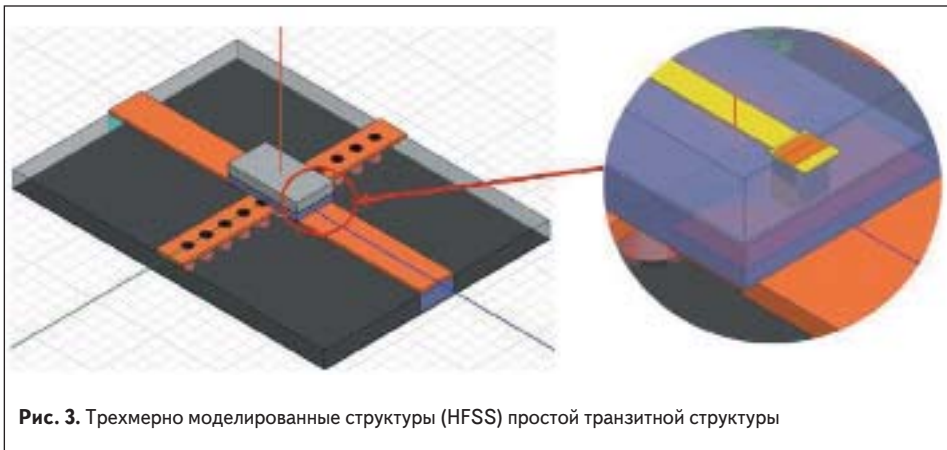
Для создания этого перехода компания Avago использовала несколько электромагнитных моделей. Электромагнитное моделирование применялось в связи с отсутствием идеальных элементов или традиционных переходов. Каждая модель обладала своими преимуществами и давала различные результаты. Различия в показателях часто вызывались способом расчета границ и вертикальных размеров, а также ограничениями на построение решетки. Все полученные результаты тщательно сопоставлялись с результатами измерений. На рис. 3 показана панель электромагнитного моделирования. На рис. 4 приведены смоделированные результаты для 60 ГГц при использовании КП GaAs на ламинированной печатной плате Rogers 4350.

Сравнение с традиционным корпусированием

По сравнению с традиционной технологией микроволнового корпусирования КП обладает двумя существенными преимуществами.

КП упрощает процесс сборки. Как показано на рис. 5, процесс сборки КП включает меньшее количество этапов. Кроме того, эти этапы могут выполняться в любом чистом помещении, пригодном для автоматизированной сборки. Пластины не передаются сторонним сборочным компаниям, где они могут подвергаться воздействию электростатических разрядов и внешних сил.

КП имеет меньшие паразитные мощности, емкость и индуктивность. Решения по технологии КП не имеют выводных рамок, проволочных соединений, громоздких крышек и пластиковой герметизации, увеличивающих паразитные мощности, емкость и индуктивность. Это повышает пропускную способность КП и дает преимущество при работе на высоких частотах. Хотя большинство корпусов дают уменьшение потерь при работе на частотах свыше 20 ГГц, микросхемы КП показывает отличные характе-

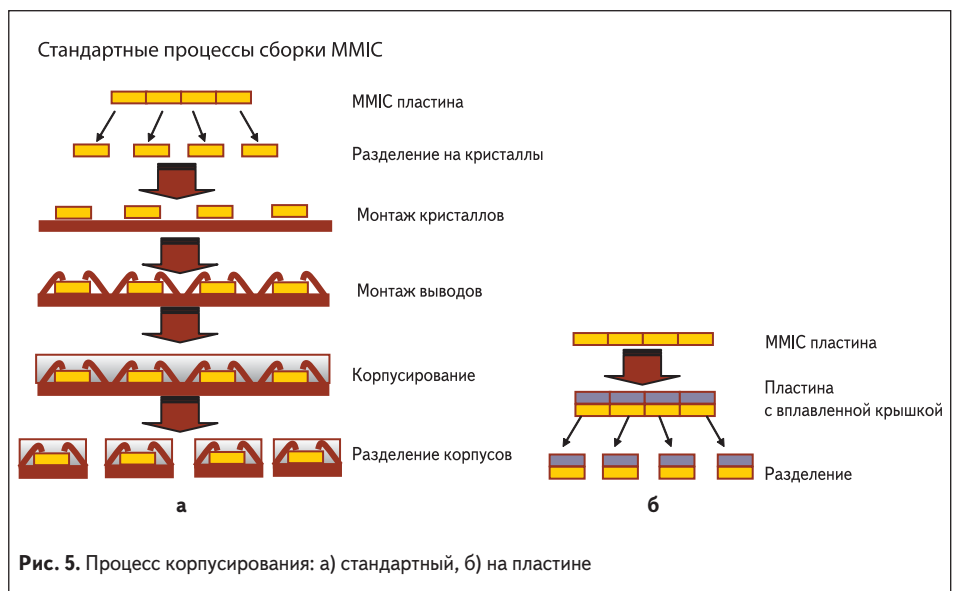
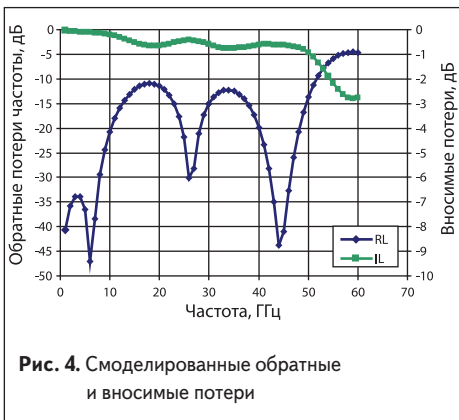


но и со всеми сигнальными переходами. К нижней части прикрепляется металлический стек для создания контактных площадок, которые могут выдерживать стандартный процесс пайки расплавлением дозированного припоя. Нижняя сторона металла также обрабатывается для уменьшения механического напряжения, в результате которого могут образоваться трещины.

при конструировании перехода от печатной платы (ПП) по технологии КП к ИС. Физическим ограничением является стойкость ПП, на которой монтируется КП. Как правило, для перехода с ПП на КП требуются интервал 100 мкм и опорная поверхность 200 мкм. При КП нужно предпринять разметку этой опорной поверхности и с относительными потерями передать микроволновую энергию

Разработка и конструирование: переход от печатной платы по технологии КП к ИС

Существует ряд физических и электрических ограничений, которые необходимо учитывать



ристики на частотах до 80 ГГц при стандартном поверхностном монтаже и монтаже на ППП. **Наведение шумов и паразитная индуктивность выходного проводочного соединения уменьшают мощность и увеличивают индуктивность.** На рис. 6 показан процесс традиционного корпусирования со свойственными ему коэффициентами потерь.

Компоненты по технологии КП от Avago Technologies

Первые появившиеся на рынке микросхемы, выполненные по технологии КП, были достаточно простыми. Как и при внедрении любой новой технологии, главной целью являлась наработка опыта. Весной 2008 г. компания Avago выпустила на рынок полевой транзистор

VMMK-1226 e-PHEMT на 0402 КП размером 1,0×0,5 мм. Характеристики VMMK-1226 при работе в диапазоне DC–26 ГГц эквивалентны характеристикам более дорогих керамических устройств. VMMK-1226 имеет три вывода с воздушной полостью над активным FET. Топология крайне проста, без использования встроенного согласования. На рис. 7 показаны нижние выводы и внутренняя компоновка. Во втором поколении микросхем КП производства компании Avago Technologies применяются те же размеры и расположение опорных площадей, что и в серии VMMK-1226, но с более сложной интегральной схемой. На рис. 8 показана серия VMMK-2x03, предназначенная для работы в диапазоне не выше 12 ГГц и представленная компанией в 2009 г.

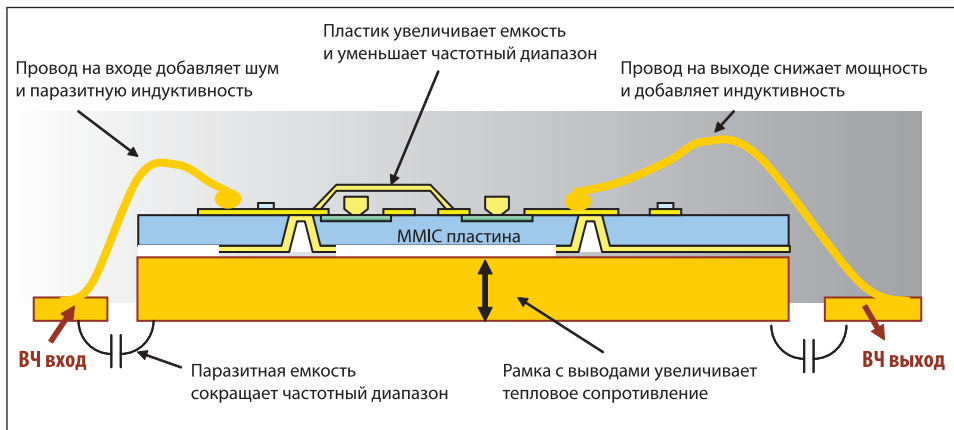


Рис. 6. Типичные паразитные явления в других технологиях монтажа на поверхность

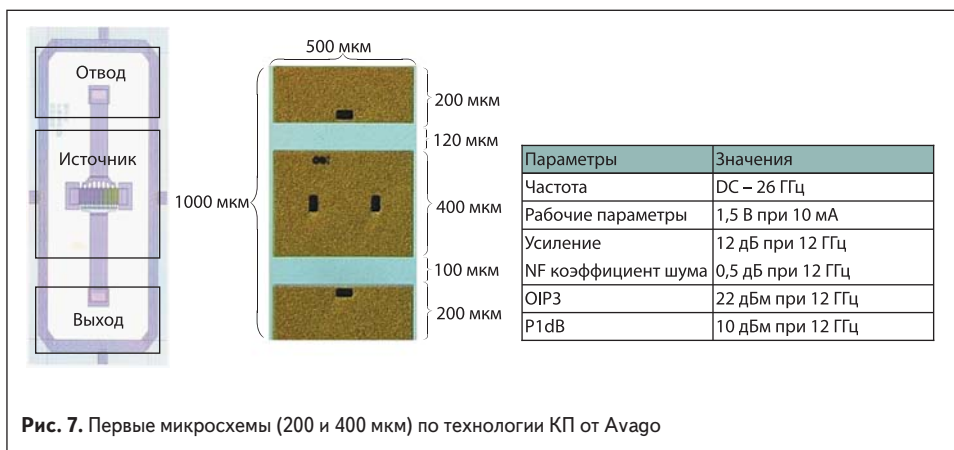


Рис. 7. Первые микросхемы (200 и 400 мкм) по технологии КП от Avago

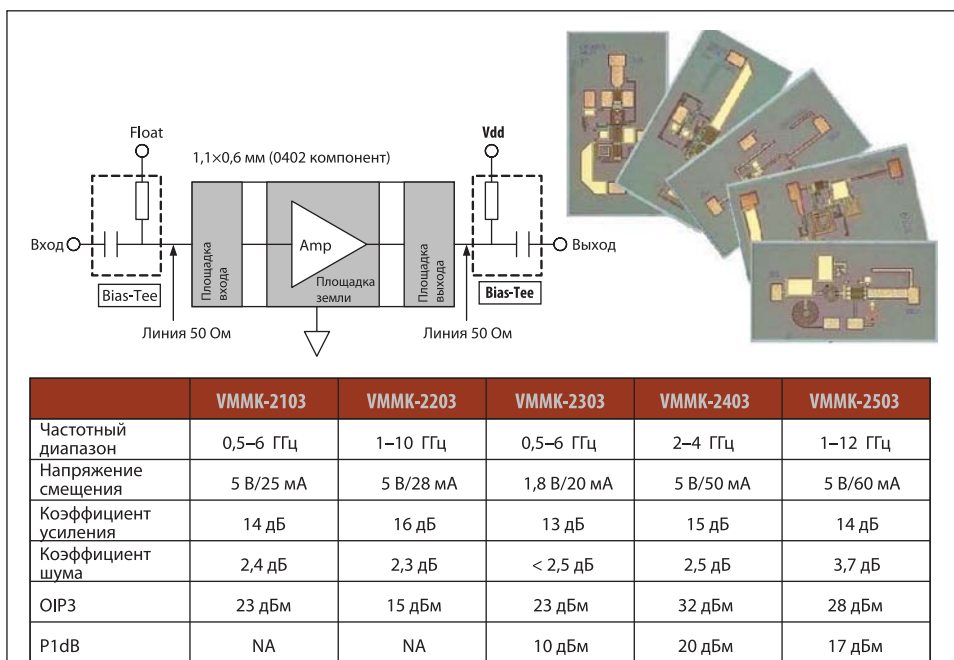


Рис. 8. Микросхемы второго поколения производства компании Avago по технологии КП

Технология КП — применение и воспроизведение

КП производства компании Avago в формате 0402 предназначены для использования в качестве основного элемента множества систем. Естественно, они могут быть востребованы и военно-промышленным комплексом (компактность и практически герметичный корпус), но все же основные сферы их применения — гражданские: спутники прямого вещания, GPS, антирадары.

Одним из препятствий для широкого использования микросхем КП является проверка рабочих характеристик и воспроизведение. Компания Avago уделила этому много внимания и теперь учитывает как традиционные s-параметры, так и x-параметры, соответствующие новому стандарту, введенному компанией Agilent. На рис. 9–14 приведены примеры применения КП вместе с данными x-параметров.

Применение КП Avago с x-параметрами

Преимущества и основные особенности x-параметров широко известны. По утверждению Agilent Technologies, они «могут способствовать преодолению основной проблемы радиочастотной инженерии, а именно тех различий нелинейного полного сопротивления, смешения на гармониках и эффектов нелинейного отражения, которые возникают при каскадном включении компонентов в условиях эксплуатации при больших сигналах. Это означает, что существует нелинейное и поэтому нетривиальное взаимоотношение между свойствами отдельных включенных каскадно компонентов

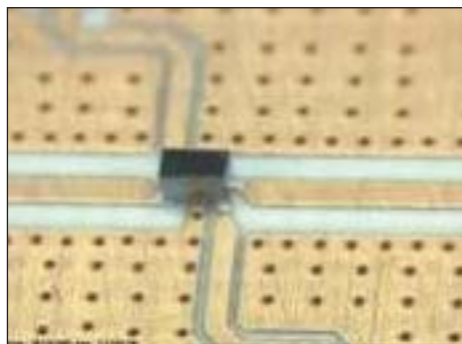
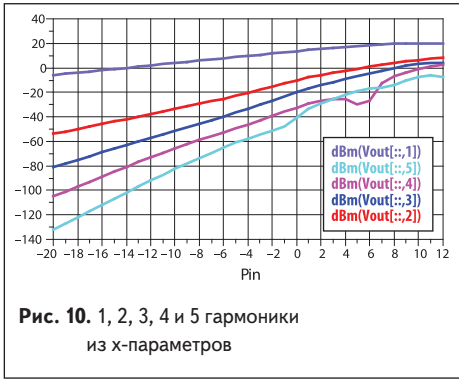


Рис. 9. Микросхема Avago 0402 серии VMMK, смонтированная на ППП



и общими свойствами получающегося каскада. Эта ситуация отлична от постоянного тока, когда можно (например) добавить значения резисторов, соединенных последовательно. X-параметры помогают решить эту проблему каскадов: при индивидуальном замере x-параметров в комплекте компонентов можно получить функцию нелинейной перекачки любого каскада, сделанного из них».

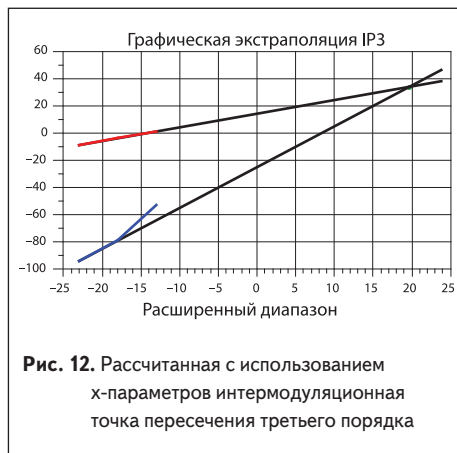
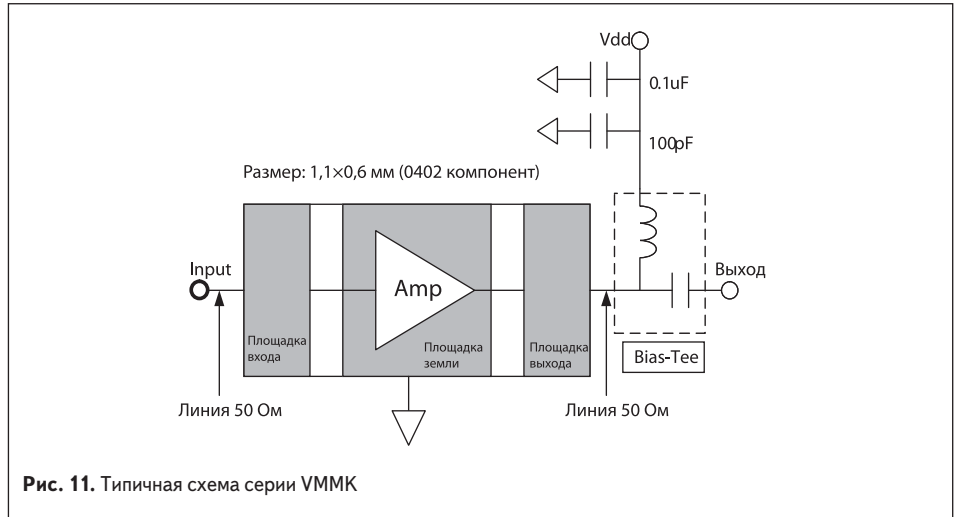
Тенденции развития

Технология КП, предложенная компанией Avago Technologies, является надежным и перспективным решением для СВЧ-технологий будущего, требующих миллиметровой точности. За счет уменьшения количества проволочных соединений, выводных рамок, ламинированных или пластиковых инкапсулятов их характеристики лучше, чем у традиционных корпусов. Технология КП обеспечивает полностью герметичное покрытие (MSL уровень 2) для активных компонентов, при этом низкую диэлектрическую постоянную (воздушную полость над чипом). Пользователи считают, что монтаж компонентов прост, и растущий спрос на существующее автоматическое оборудование приведет к снижению его стоимости.

КП начинается со стандартно произведенной арсенид-галлиевой пластины. Переходные отверстия на задней стороне и опорные площадки входа-выхода служат выводными рамками корпуса на целой пластине. Толщина металла на задней стенке достаточна для покрытия в нижней части переходного отверстия без необходимости применения обычной паяльной пасты. Размер и интервал между площадками достаточны для того, чтобы заказчик не изменял размер контура рисунка. Рекомендуется использовать паяльную пасту без свинца, т. к. она способствует самоприклеиванию компонентов на плату.

В этой технологии имеется несколько недостатков. Во-первых, арсенид галлия внутренне хрупок, в связи с чем металлическую основу КП необходимо тщательно проверять на отсутствие развития трещин напряжения при эксплуатации. Во-вторых, КП требует гораздо большего кристалла по сравнению с простым проволочным монтажом.

Наибольшим препятствием к широкому применению является новизна технологии. Большинство пользователей СВЧ-ИС консервативны и не спешат внедрять новые идеи в свое производство. Необходимость в компактных



решениях и лучшие характеристики являются основными силами, способными преодолеть этот консерватизм. Компания Avago продолжает дорабатывать и увеличивать объем выпускаемых микросхем КП. В 2009 г. на рынке появилось много новых продуктов с использованием формата 0402; основные критерии надежности СВЧ-продукции распространятся и на изделия большего формата, имеющие больше функций. Сюда вошли упаковки размером 1x2, 2x2 и 3x3 мм с контурами рисунка, совместимыми с QFN. Высота новых микросхем составила всего 0,4 мм. Более сложные и разнообразные компоненты КП будут применяться в усилителях мощности 2 Вт с диапазоном Ka и Ku, понижающих и повышающих преобразователях 38 ГГц и др. На рис. 15 показан прототип

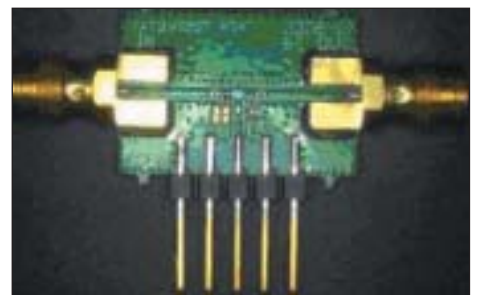


Рис. 13. Демоплата с компонентами серии VMMK

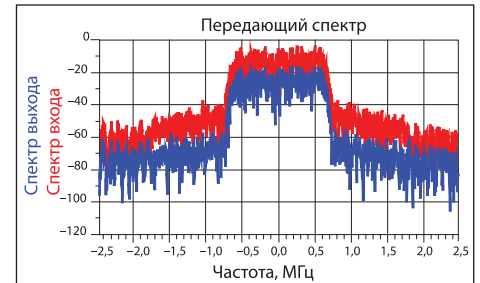
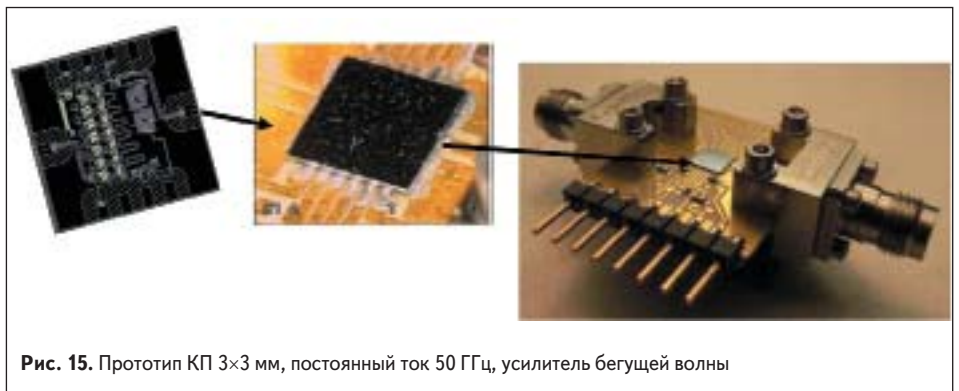


Рис. 14. Коэффициент мощности в соседнем канале, рассчитанный с использованием x-параметров

КП 3x3 мм, постоянный ток 50 ГГц, усилитель бегущей волны. Устройство и дизайн GaAs-микросхем, выполненных по технологии КП, относительно просты при ликвидации некоторых недостатков.



Изготовление заключается в скреплении двух пластин с образованием воздушной полости над критически важными участками ИС. Моделируются трехмерные переходы с минимальными потерями и предотвращением нежелательного режима работы. Важным фактором может стать применение КП заказчиками в тех областях, где преимущества этих изделий значительно перевешивают любые риски. ■

Литература

1. Phan K., Kessler J., Morkner H., Vice M., Nguyen L., Roland J. A Miniaturized Wafer-Scale Package Demonstrated with Three Enhancement Mode Amplifiers // EuMC. 2008.
2. Kumar S., Kessler J., Morkner H. 6–24 GHz Mixer Using 0.25um Enhancement Mode PHEMT Technology in a Low Cost Chip Scale Package // EuMC. 2008.
3. Phan K., Morkner H. A High Performance Yet Easy to Use Low Noise Amplifier in SMT Package for 6 to 20GHz Low Cost Applications // EuMC. 12th GaAs Symposium. 2004.
4. Phan K., Fujii K, Morkner H. Two High Dynamic Range mmW Amplifiers in SMT Package with ESD Protection // 37th EuMC. 2007.
5. Kobayashi K. Improved Efficiency, IP3-Bandwidth and Robustness of a Microwave Darlington Amplifier using 0.5um ED PHEMT and a New Circuit Topology // IEEE CSIC Digest. 2005.
6. Kumar S., Vice M., Morkner H., Lam W. Enhancement mode GaAs PHEMT LNA with linearity Control (IP3) and Phase matched Mitigated Bypass Switch with Differential Active Mixer // IEEE International Microwave Symposium. 2003.
7. Morkner H., Frank M., Yajima S. A Miniature PHEMT Switched-LNA for 800MHz to 8 GHz Handset Applications // IEEE RFIC Symposium. 1999. Session TUE1-2.