

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИЙ СУБМОДУЛЬ X-ДИАПАЗОНА

А.С. Тишин¹, Е.Ю. Котляров¹

¹НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ (АО «НИИМЭ»)

В настоящее время одним из векторов развития микроэлектронной промышленности является уменьшение топологических размеров элементов и, как следствие, уменьшение МИС в целом. Одновременно с этим ведутся активные разработки по миниатюризации отдельных узлов систем и систем в целом. Применительно к АФАР одной из актуальнейших задач является оптимизация массогабаритных показателей приемопередающих субмодулей без ухудшения тактико-технических характеристик. Наиболее перспективным направлением решения данной задачи является использование кремниевых интегральных технологий для создания СВЧ коммутационных плат, позволяющих создать устройства по принципу «система в корпусе» и «система на кристалле».

В настоящей работе предложена концепция построения субмодуля на основе кремниевой многослойной коммутационной платы. Конструкция такого ППСМ показана на рис.1. Следует отметить, что возможность реализации рассматриваемого конструктивно-технологического решения появилась с развитием технологии 3D сборки в 2006-2010 годах. В рамках 3D сборки была разработана TSV (Through Silicon Vias) технология, обеспечивающая формирование сквозных металлизированных отверстий в кремнии [1]. Эти металлизированные отверстия в ППСМ выполняют функции множественного малоиндуктивного заземления и дополнительного теплоотвода.

Как следует из рис.1, кремний играет роль механического основания, электрически никак не связанного с элементами ППСМ, поэтому его электрические свойства оказывают весьма опосредованное влияние на обработку и перенос электрических сигналов субмодуля.

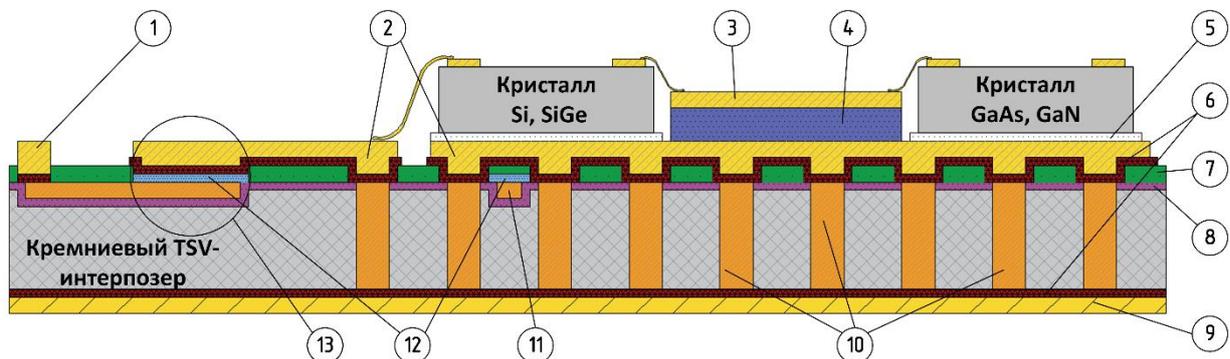


Рис.1. Схематическая конструкция ППСМ на кремниевой коммутационной плате, где: 1 - контактная площадка (Au); 2 - межсоединения 2-го уровня (Au); 3 - СВЧ МПЛ (Au); 4 - диэлектрик (BCB); 5 - тепло-, токопроводящий адгезив; 6 - металлический зародышевый слой; 7,8 - изолирующий диэлектрик (SiO_2); 9 - металлизация обратной стороны кристалла (Au); 10 - металлизированные TSV-отверстия; 11 - межсоединения 1-ого уровня (Cu); 12 - диэлектрик конденсаторов (Si_3N_4); 13 - конденсатор.

В качестве диэлектрика СВЧ межсоединений предполагается использовать одно из производных полимера типа бензоциклобутена [2], который в настоящее время широко применяется также для финишной защиты поверхности кристаллов СВЧ МИС.

Суммарная толщина смонтированного на кремниевой коммутационной плате ППСМ с учетом всех покрытий и проволочных соединений не превышает 0,3 мм. Далее ППСМ может быть смонтирован в герметичный СВЧ корпус либо на медное основание толщиной 2-3 мм при монтаже непосредственно в корпус многоканального ППМ.

Использование кремния в качестве коммутационной платы для ППСМ обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами, а именно:

- топологические нормы современной кремниевой технологии намного превосходят как возможности технологии многослойных плат на LTCC и стеклополимерах, так и требования к топологическим размерам элементов, необходимым для построения ППСМ с самыми жесткими на настоящее время требованиями по габаритам;

- применение тонкопленочных конденсаторов, интегрированных в коммутационную плату вместо традиционно используемых чип-конденсаторов, многократно снижает объем индивидуальных сборочных операций и повышает надежность СВЧ узла;
- теплопроводность кремния намного превосходит теплопроводность стеклополимеров и ЛТСС и практически сравнима с теплопроводностью, например, псевдосплавов, применяемых для согласования термического расширения кристаллов СВЧ МИС и меди;
- поскольку кремний в составе ППСМ никак не участвует в распространении электрических сигналов, к исходным пластинам предъявляются только геометрические требования, что позволит использовать недорогой отечественный материал.

В целях обеспечения дополнительного снижения размеров вместо традиционно применяемых отдельных монофункциональных кристаллов аттенуаторов, фазовращателей и коммутаторов в схеме использована GaAs многофункциональная монолитная интегральная схема управления - кристалл типа «Core Chip» [3,4].

В порядке экспериментальной отработки схемы и конструктивного прототипа субмодуля, был спроектирован, изготовлен и исследован ППСМ [5] на основе многослойной СВЧ коммутационной платы из материала типа FR-4. При этом габариты ППСМ составили 22,0x12,0x0,7 мм, кристаллы СВЧ МИС и драйверов смонтированы непосредственно на печатную плату. Для обеспечения теплоотвода посадочные площадки под кристаллы МИС снабжены большим количеством сквозных металлизированных отверстий.

Конструктивно-топологическое проектирование приемопередающего субмодуля на кремниевой многослойной TSV плате показало, что размеры намеченного к реализации ППСМ составят 15x9,5x0,5 мм.

Выводы.

Рассмотрена концепция конструктивно-технологической реализации СВЧ приемопередающих субмодулей в виде «система в корпусе» на основе использования современной кремниевой технологии и сложнофункциональных СВЧ МИС. Показана ее перспективность для решения задач дальнейшей миниатюризации СВЧ узлов, повышения их технологичности и надежности, снижения трудоемкости производства.

ЛИТЕРАТУРА.

1. *Liu, K., Frye, R., et al.* «Investigation of Integrated Passive Device with Through-Silicon Via» // IEEE 62nd Electronic Components and Technology Conf., 2012, p.1833-1839.
2. *Costanzo S., Borgia A., et al.* «Millimeter-Waves Structures on Benzocyclobutene Dielectric Substrate» // RADIOENGINEERING, VOL. 20, NO. 4, DECEMBER 2011, p.785-789.
3. *F L M Van, Den Bogaart,* «Highly integrated application specific MMICS for active phased array radar applications» // Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap deel64-nr.2-1999.
4. *Sanghoon Sim, Byungjoo Kang, Jeong-Geun Kim, Jong-Hoon Chun, Brian Jang, and Laurence Jeon* «A Four-Channel Bi-directional CMOS Core Chip for X-band Phased Array T/R Modules» // Radar Conference (RadarCon), 2015 IEEE 10-15 May 2015
5. *Г.Я. Красников, А.В. Волосов, Е.Ю. Котляров, П.В. Панасенко, А.С. Тишин* «Приемопередающий субмодуль х-диапазона частот» // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника, Выпуск 3 (163) стр 23-29.