

«взаимного проникновения» сталкивающихся тел друг в друга	увеличивается	объекта, в том числе массы	
Из-за нежесткого положения плиты на арматуре «раскачивание» плиты при захвате	“Раскачивание” плиты при захвате	За счет значительного уменьшения массы плиты на время захвата	«Восстановление» изменяемого значения происходит с временной задержкой во избежание «падения» плиты на объект
Из-за промежутков между колесами машины возникает артефакт движения гусениц	Визуализируется попадание фрагмента гусеницы между колесами	Увеличение количества колес	Без визуализации дополнительных колес
За счет передачи силового импульса на прочие соединения	Вибрация машины у стены и поворот базы	Слабо заметен, незначительно влияет на принятие решения	Коррекцию не подлежат

Следует отметить, что прочие возникающие при моделировании артефакты, можно было рассматривать как частный случай описанных в таблице 1.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДИАПАЗОНА СВЧ

Елизаров А. А., Закирова Э. А.

*Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)*

Проведен анализ инновационных технологий проектирования многослойных печатных плат диапазона СВЧ. Показана перспективность использования усовершенствованной технологии низкотемпературного совместного обжига керамической подложки и схемы на металле LTCC-M (Low Temperature Co-fired Ceramic on Metal).

### **Innovative technologies of multilayered microwave printed-circuit boards designing. Yelizarov A., Zakirova E.**

The analysis of innovative technologies of multilayered microwave printed-circuit boards designing is carried out. Perspectivity use of Low Temperature Co-fired Ceramics on Metal (LTCC-M) is shown.

Одной из важных тенденций развития современных микрополосковых СВЧ устройств является расширение количества их функций при меньших массогабаритных показателях и стабильных электрических параметрах и характеристиках. Главным

направлением этой тенденции является переход от традиционной двумерной компоновки элементов и конструкции печатной платы – к трехмерной. Применение многослойной технологии позволяет повысить функциональную плотность СВЧ устройств в сочетании с низкой стоимостью, высокой надежностью и хорошей воспроизводимостью.

Для практической реализации многослойных схем возможны различные методы и технологии, из которых известны печатные платы на основе органических или мягких материалов, из которых следует отметить печатные платы с подложками на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), а также с использованием подложек из жидкокристаллических полимеров (ЖКП). В настоящее время проектирование современных устройств СВЧ осуществляется на базе керамических подложек, представляющих собой многослойные структуры, выполненные с использованием высокотемпературного или низкотемпературного обжига [1-3].

Для создания изделий микроэлектроники широко используется технология HTCC (High Temperature Co-fired Ceramics) – на основе высокотемпературной керамики, спекаемой за одну технологическую стадию. К преимуществам технологии HTCC можно отнести высокую теплопроводность материала основания и механическую прочность, а также стабильность электрических параметров устройств (рис. 1). Для изготовления подложек используется либо алюмооксидная керамика с 92% содержанием  $Al_2O_3$ , либо нитрид алюминия, обладающий почти на порядок большей теплопроводностью (100-170 Вт/м<sup>2</sup>С) по сравнению с оксидом алюминия (20-30 Вт/м<sup>2</sup>С). Спекание слоев оксида алюминия в технологии HTCC происходит при температуре около 1600<sup>o</sup>С.

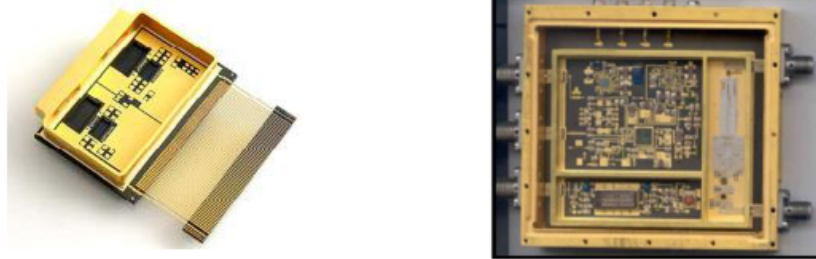


Рис. 1. Изделия микроэлектроники, изготовленные с применением технологии HTCC.

Для создания топологического рисунка платы используются высокотемпературные пасты на основе вольфрама и молибдена, обладающие худшей электропроводностью по сравнению с широко используемыми в СВЧ диапазоне золотом и серебром. Удельное сопротивление проводника из молибдена – 5,2, а из вольфрама – 5,5 мкОм\*см против 1,6 и 1,7 мкОм\*см для проводников из серебра и меди соответственно. Применение таких паст приводит к увеличению группового времени задержки сигналов и потерям их мощности, что затрудняет использование HTCC технологии в диапазоне СВЧ. Тем не менее, известны экспериментальные данные, указывающие на возможность применения изделий, изготовленных по такой технологии, на частотах до 24 ГГц, а при соблюдении конструкторских и топологических требований – на частотах до 30 ГГц [2, 3].

Однако наибольшие перспективы в СВЧ диапазоне имеет метод низкотемпературного совместного обжига керамической подложки и схемы (LTCC - LowTemperatureCo-firedCeramics). В базовом варианте технология LTCC имеет два

основных недостатка. Первым недостатком является усадка керамики в процессе обжига во всех трех измерениях, что ограничивает размер печатных плат и усложняет процесс их последующей обработки. Вторым, и более важным недостатком, является необходимость монтажа тепловода для отдельных компонентов схемы, осуществляемого после обжига.

Указанные недостатки могут быть устранены с помощью усовершенствованной LTCC – технологии на металле (LTCC-M), при которой специально составленная многослойная керамическая структура помещается на металлический носитель или каркас [4]. В результате, в процессе обжига фактически не происходит усадки структуры по плоскости подложки. Поперечное сечение односторонней LTCC-M печатной платы показано на рис.2. Для каркаса могут быть использованы несколько систем – одна, обеспечивающая максимальный тепловод, на основе слоев медь-молибден-медь, а другая - на основе ковара. Обе системы имеют температурный коэффициент расширения (ТКР), сравнимый с ТКР арсенида галлия, что допускает монтаж негерметизированного кристалла непосредственно на тепловод.



Рис. 2. Поперечное сечение односторонней LTCC-M платы.

Использование LTCC-M – технологии позволяет освоить и проводить комплексную интеграцию приемопередающих систем, включая микрополосковую схему и антенный модуль [4, 5]. Следует отметить, что двусторонняя печатная плата может быть спроектирована таким образом, что излучающие структуры и СВЧ элементы, включая микрополосковую антенну, расположены на верхней стороне платы, а низкочастотные элементы и устройства сопряжения – на нижней (рис.3).



Рис. 3. Интегральный приемопередающий LTCC-M модуль.

1 – низкочастотные элементы, 2 – компоненты с поверхностным монтажом в корпусе, 3 – активные интегральные элементы СВЧ.

Таким образом, проведенный анализ инноваций в проектировании многослойных печатных плат диапазона СВЧ показывает их зависимость от технологии интеграции трехмерных структур. Такие технологии должны быть конкурентоспособными в условиях рынка и обеспечивать максимальные

функциональные возможности СВЧ устройств с минимальными массогабаритными показателями и низкой стоимостью.

#### Литература

- 1 Coonrod J., Aguayo A. Thin Printed Circuit Board Laminates in High-frequency Applications // CircuitTree. 2009. №8. p. 22 – 24.
- 2 Albertsen A. LTCC Technology for Sensor and RF-Applications// Bodo's Power Systems. 2007.№12. p. 38-39.
- 3 Симин А.В., Холодняк Д.В., Вендик И.А. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига // Компоненты и технологии. 2005. №5. с.190-196.
- 4 Калякина Т.М. Перспективная технология изготовления многослойных ВЧ плат // Зарубежная радиоэлектроника. 2000. №4. с.54-61.
- 5 Таральчук П.А., Колмаков Я.А., Симин А.В., Холодняк Д.В. Многослойные интегральные схемы миниатюрных СВЧ-устройств для систем телекоммуникации и связи // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2005. Вып. 1. с. 65-70.

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Еремин Д.В., \*Увайсов С.У.  
Сургут, СурГУ; \*Москва, МИЭМ

Рассмотрена актуальность и практическая значимость разработки автоматизированной системы, назначением которой является обработка диагностических данных дистанционного зондирования магистральных газопроводов.

#### **Automated system for processing data of remote sensing diagnostic of main gas pipelines. Eremin D., Uvaysov S.**

Considered actuality and practical importance of developing an automated system, the purpose of which is the processing of diagnostic data of remote sensing of gas mains.

Учитывая нынешнее положение Российской Федерации на мировой арене, и в большей степени, главную особенность российской экономики, которая проявляется в зависимости от сырьевой экономики, становится ясна одна существенная деталь. Эта деталь определяет деятельность нефтегазодобывающих компаний как очень важное и приоритетное для нашей страны направление развития. В свою очередь любая деятельность складывается из многих компонентов, которые определяют эффективность данной деятельности. Одним из таких является качество, которое определяет конкурентоспособность организации и соответственно успешность в этом направлении. Но качество не может быть достигнуто без базовых приоритетов производственной деятельности, к которым относятся экология и безопасность. Для того чтобы вывести производственный процесс на соответствующий уровень экологии и сделать его максимально безопасным, учитывая всю сложность данного процесса, необходим комплексный или системный подход к реализации соответствующих приоритетов.