

РАДИОЧАСТОТНЫЕ МЕТКИ НА ПАВ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

А.Багдасарян¹, д.т.н., профессор, С.Багдасарян², к.т.н.,
В.Бутенко³, д.т.н., Г.Карапетьян⁴, к.т.н.

Радиочастотная метка на поверхностных акустических волнах (ПАВ), основной элемент систем радиочастотной идентификации, определяет такие важнейшие ее параметры, как помехозащищенность, величина зоны покрытия, дальность действия и точность. Создание новой радиоэлектронной аппаратуры и модернизация существующих систем автоматической идентификации невозможны без развития технологии производства электронной компонентной базы, в частности, технологии монтажа кристаллов радиочастотных меток на ПАВ. Поэтому применение керамики LTCC для монтажа кристаллов акустоэлектронных меток – задача актуальная. Ее решение позволит создать базовые конструкции микроминиатюрных модулей радиочастотных меток на ПАВ различной разрядности, расширяющих функциональные возможности систем радиочастотной идентификации и управления, снизить массогабаритные показатели микроминиатюрных модулей, решить проблему импортозамещения электронной компонентной базы.

БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ МЕТОК В КЕРАМИКЕ LTCC

Отсутствие технологических мощностей для выпуска радиочастотных меток на ПАВ в керамике LTCC (Low Temperature Cofire Ceramic) [1-5] приводит в России к использованию импортной элементной базы и к зависимости от продукции, доступной на рынке, что не позволяет выбрать оптимальное решение при создании и разработке новых классов радиоэлектронной аппаратуры.

Применение керамики LTCC для монтажа кристаллов акустоэлектронных меток обеспечивает высокие электрические характеристики, надежность, высокую степень миниатюризации и использование методов поверхностного монтажа [6]. Особенность новой технологии в том, что в LTCC-корпусе формируется и согласующая

индуктивность, которая компенсирует статическую емкость приемопередающего встречно-штыревого преобразователя акустоэлектронных меток. При этом обеспечиваются все преимущества LTCC-технологии для устройств на ПАВ, включая уменьшение вносимых потерь (ВП) и электростатическую защиту радиочастотных меток на ПАВ.

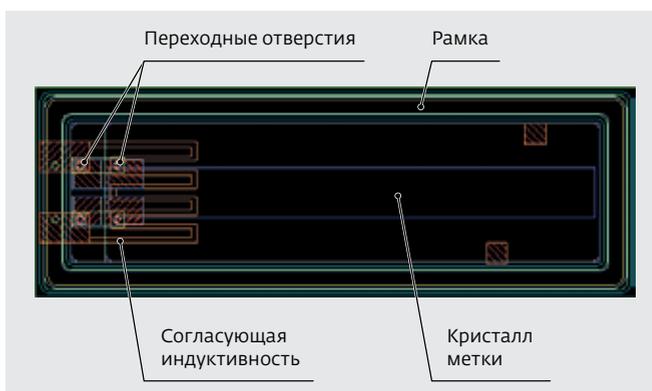


Рис.1. Модель структуры корпуса LTCC 16-, 32- и 64-бит акустоэлектронной метки

¹ ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН (Москва).

² НПП "ТРИИС" (Москва).

³ ФГУП "НИИР" (Москва).

⁴ ЮФУ (Ростов-на-Дону).

Корпус акустоэлектронной метки различной разрядности состоит из шести слоев керамики Du Pont Green Tare, 951PX (рис.1) и имеет толщину 0,216 мм в обожженном виде. Согласующая индуктивность выполняется в виде меандра (рис.2) в многослойной плате корпуса LTCC (рис.3). Формирование слоев LTCC-корпуса и заполнение отверстий, а также печать в автоматическом режиме проводилась с помощью графического редактора.

В технологический процесс изготовления корпусов LTCC акустоэлектронных меток входят следующие операции:

- вырезка заготовок: керамика, поставляемая в рулонах, раскатывается на плоском стальном столе и нарезается на заготовки;
- предварительная подготовка: сушка в сушильном шкафу, затем окончательная вырубка заготовки в соответствии с требуемым размером;
- штамповка применяется для создания базовых отверстий при сборке пакета и ориентации заготовок;
- формирование отверстий: отверстия пробиваются на программируемом перфораторе, в подложке формируются необходимые полости, окна и пазы соответствующего размера или диаметра;
- заполнение отверстий проводится на обычной установке трафаретной печати, причем отверстия заполняются полностью с учетом усадки керамики при обжиге;
- печать: совместно вжигаемые элементы (проводниковые, индуктивные и др.) наносятся на стандартной установке трафаретной печати. Для фиксации заготовки используется вакуумный стол;
- сборка пакета производится в пресс-форме, используется вакуумный захват (Vacuum hand) для позиционирования заготовок на базовых штифтах;
- прессование на изостатическом прессе ILS-6 с вакууммированием пакета;

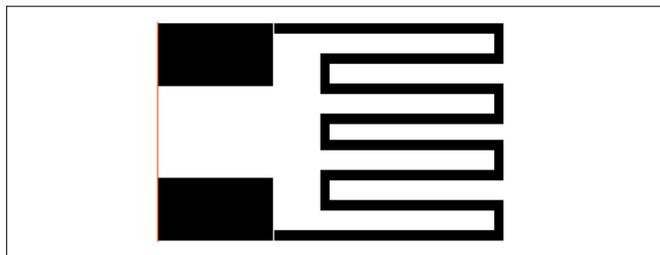


Рис.2. Внешний вид меандровой индуктивности 16-, 32- и 64-бит акустоэлектронной метки

- обжиг в конвейерной печи в воздушной атмосфере;
- процессы после обжига: на наружных слоях пакета формируются и вжигаются проводниковые элементы, затем заготовки режутся на платы и проводится электрический контроль.

Монтаж акустоэлектронных меток в керамике LTCC по технологии flip-chip (перевернутых кристаллов) обеспечивает малую протяженность межкомпонентных соединений, уменьшение паразитных емкостей и индуктивностей и, как следствие, минимальную задержку сигналов в быстродействующих схемах.

Герметизация корпусов с кристаллами производилась по двум технологиям: шовно-роликовой сваркой в контролируемой атмосфере (аргон, ГОСТ 10157-79) на установке SM8500 с защитной камерой MX-2000 и на лазерной машине МЛ4-2. При использовании второго способа экранирующие структуры лучше защищены от попадания загрязнений.

КОНСТРУКЦИЯ КРИСТАЛЛА АКУСТОЭЛЕКТРОННОЙ МЕТКИ НА ПАВ

В качестве пьезоэлектрической подложки для меток использовались кристаллы ниобата лития YX/1280-среза. Ширина подложки равна 1,42 мм, а длина зависела от емкости метки и для метки емкостью 128 бит была максимальной и равнялась 24 мм.

Основным конструктивным элементом акустоэлектронных меток является

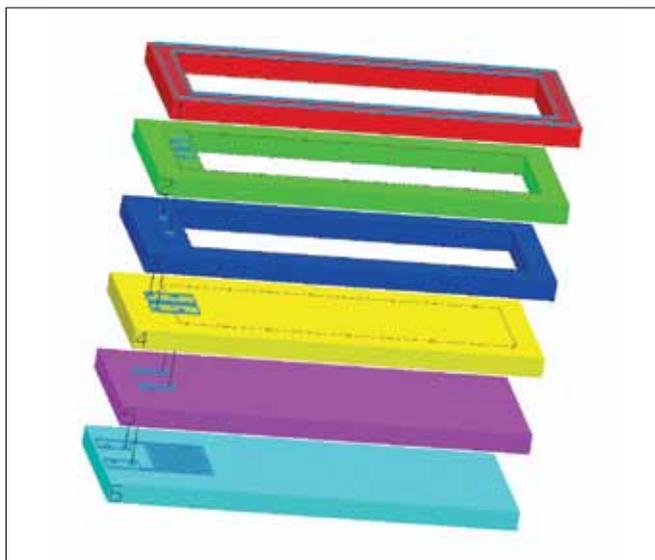
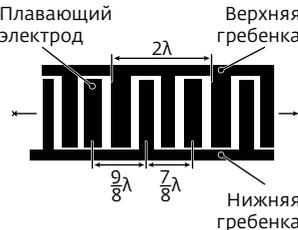
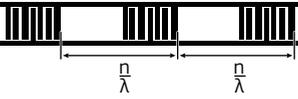


Рис.3. Формирование слоев LTCC-корпуса, в том числе согласующей индуктивности, и заполнение отверстий в многослойной плате корпуса LTCC 16-, 32- и 64-бит акустоэлектронной метки

Таблица 1. Типы и характеристики встречно-штыревых преобразователей

Тип ВШП	Конструкция	Достоинства	Недостатки	ВП, дБ	Направленность, дБ	R, Ом
Однонаправленный ВШП (2λ) Число однонаправленных секций $m=14$		Простота расчета	Межэлектродные зазоры менее $\lambda/4$ Повышенные требования к технологическому оборудованию	1–3	10–12	50 при апертуре 80λ
Однонаправленный ВШП (3λ) $m=1$		Зазоры равны $\lambda/4$ Уменьшенные требования к технологическому оборудованию Возможность построения узкополосных ВШП		2–4	9–11	50 при апертуре 70λ
Однонаправленный ВШП ($n\lambda$) $m=5-10$		Возможность построения узкополосных ВШП с полосой 1% и менее Зазор = $\lambda/4$	Повышенные требования к технологическому оборудованию	3–5	6–9	50 при апертуре 60λ

встречно-штыревой преобразователь (ВШП). В результате анализа достоинств и недостатков каждого из типов ВШП (табл.1) для эффективного использования всей отведенной полосы пропускания ВШП в диапазоне частот 860–890 МГц в качестве основного элемента приемопередающего тракта метки был выбран однонаправленный ВШП с внутренними отражателями с периодом 2λ (λ – длина ПАВ) на центральной частоте [7]. В таком ВШП зазоры между электродами равны $3/16 \lambda$, $\lambda=1,63$ мкм (см. табл.1). Число секций для получения однонаправленного режима было выбрано в соответствии с [7] равным 14, т.е. длина ВШП $N=28\lambda$ и полоса пропускания $f_0/N=31$ МГц ($f_0=875$ МГц).

Для получения более узких полос пропускания можно использовать однонаправленный ВШП

с периодом 3λ с шириной зазоров, равной $\lambda/4$, что облегчает изготовление фотошаблонов и повышает процент выхода годных чипов. В этом случае при числе секций, равном 14, длина ВШП составляет 42λ и полоса пропускания ВШП – 20 МГц (см. табл.1).

ОТРАЖАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ

Отражатели являются очень важными элементами в конструкции меток, поскольку отраженные от них ПАВ формируют код метки. В структурах акустоэлектронных меток отражатели (табл.2) выполнялись с малым коэффициентом отражения (не более 0,1–0,15). В этом случае переотраженные от соседних отражателей ПАВ по амплитуде почти на порядок меньше, чем отраженные, падающие на отражатели

от приемопередающего однонаправленного ВШП. Поэтому отражатели, выполненные в виде ВШП, должны содержать малое число электродов, чтобы коэффициент отражения от них не превышал вышеуказанной величины. Кроме того, необходимо учитывать, что ПАВ, падающие на следующий отражатель, будут по амплитуде несколько меньше, чем ПАВ, падающие на предыдущий отражатель, так как при каждом отражении часть энергии ПАВ уходит в отраженный сигнал и амплитуда ПАВ по мере распространения в системе отражателей убывает. Это приводит к тому, что по мере удаления от приемопередающего ВШП амплитуды отраженных ПАВ убывают и импульсы в отраженной последовательности имеют разную амплитуду. Чтобы этого не происходило, коэффициент отражения должен последовательно уменьшаться по определенному закону.

Все структуры акустоэлектронных меток изготавливались на подложках YX/1280-срезы ниобата лития. Использовались структуры с различным числом отражателей (4–32) при различных толщинах напыленной металлической пленки (толщина пленки 100–1000 Å).

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ МЕТОК НА ПАВ

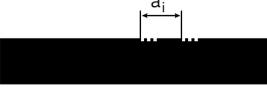
Частотная характеристика импеданса приемопередающего ВШП измерялась в диапазоне частот 860–890 МГц, затем проводилось Фурье-преобразование измеренной частотной характеристики (по программе Mathcad) и формировались импульсные отклики меток, на которых можно наблюдать отражение ПАВ от каждого из отражателей и видеть всю отраженную импульсную последовательность (рис.4).

Последовательность отраженных импульсов от 32- и 128-бит акустоэлектронных меток приведена на рис.5. Импульсы, отраженные от отдельных отражателей легко различаются, а также выровнены на одном уровне затухания. Неравномерность отраженных импульсов не превышает 3дБ. Коэффициент отражения от структуры равен 0,05. Хорошо виден опорный импульс.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ МЕТОК

Для обеспечения требуемого выхода годных изделий (80%) были сформулированы следующие требования к точности изготовления элементов

Таблица 2. Типы и характеристики отражающих структур (ОС)

Тип	Конструкция	Достоинства	Недостатки	ВП, дБ
Отражающие ВШП		Простота расчета Возможность кодирования через кодирующий фотшаблон	Возможность замыкания электродов ВШП-уменьшается коэффициент отражения и растут вносимые потери	30–40
Отражающие электроды		Простота расчета Возможность кодирования через кодирующий фотшаблон Невозможность замыкания электродов Более равномерный импульсный отклик	Уменьшенный коэффициент отражения – большое вносимое затухание	40–50
Отражающие канавки		Более сложное изготовление метки (кроме напыления металла требуется травление подложки для изготовления канавок)	Большая вероятность дефектов при изготовлении Невозможность кодирования через кодирующий фотшаблон	30–40

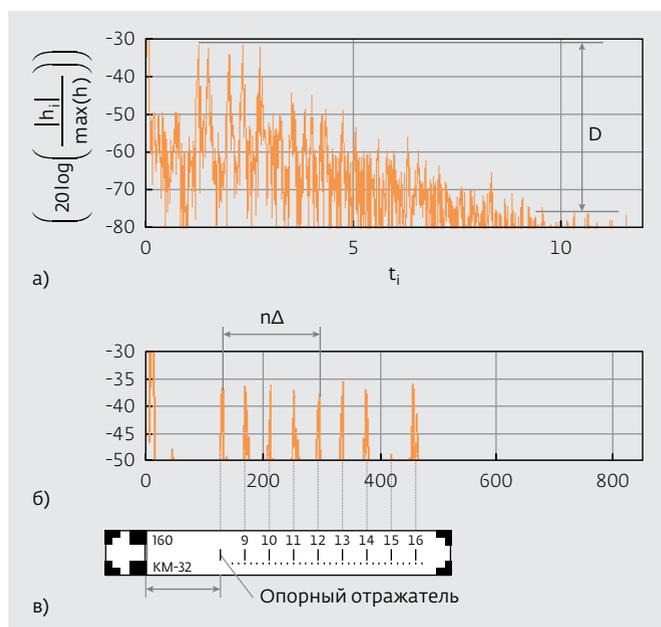


Рис. 4. Получение и обработка результатов измерений кристаллов акустоэлектронных меток: а – измерение импульсного отклика 16-бит метки; б – Фурье-преобразование импульсного отклика; в – определение кода метки

по основным технологическим операциям: допуски на контролируемые размеры на фотошаблоне – ±0,2 мкм, на толщину напыляемой пленки алюминия и на коэффициент металлизации при фотолитографии – ±0,02 мкм.

Технологический процесс изготовления акустоэлектронных меток на ПАВ включает в себя следующие основные операции:

- разбраковку пьезоэлектрических пластин по скорости акустической волны;
- изготовление фотошаблона (подготовку топологии на информационном носителе и изготовление группового фотошаблона по карте сборки);
- перенос изображения с фотошаблона на поверхность пьезопластины (напыление металла на поверхность пьезопластины, проведение фотолитографии, резку пьезопластины на отдельные кристаллы меток и разбраковку кристаллов);
- сборку (монтаж кристалла метки в корпус, нанесение акустопоглотителя, герметизацию, измерение рабочих характеристик акустоэлектронных меток, маркировку).

Весь этот технологический процесс можно разделить на два основных этапа: групповые методы (планарность акустоэлектронных устройств обуславливает возможность применения групповой

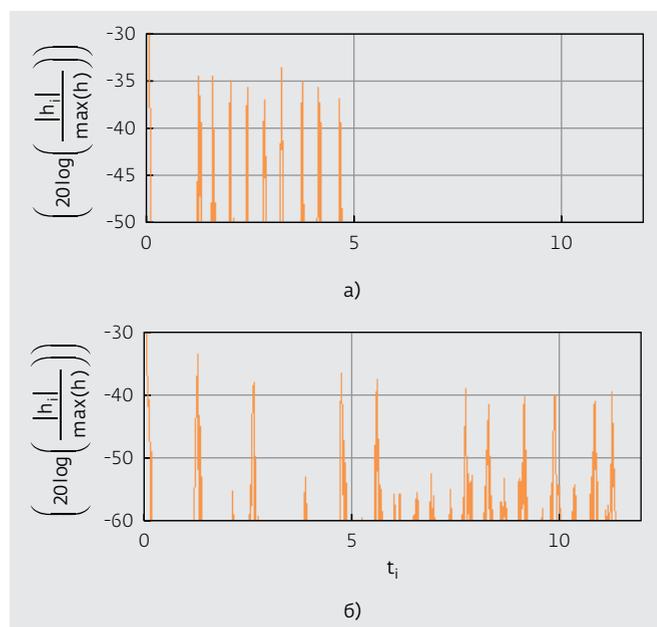


Рис.5. Последовательность отраженных импульсов: а – от 32-бит акустоэлектронной метки (код 99); б – от 128-бит акустоэлектронной метки (код 21)

технологии интегральных микросхем) и сборочные работы.

Первый этап сводится к формированию на поверхности пластины пьезоэлектрика определенного топологического рисунка. Качество напыления металла на подложку и точность воспроизведения электродной структуры определяет вносимое затухание и точность установки центральной частоты устройства. Это напрямую связано с процессами напыления и фотолитографии, а также с качественным изготовлением оригинала топологии – фотошаблона. Второй этап производства не менее важен, так как сборочные операции также оказывают существенное влияние на качество и себестоимость продукции.

При изготовлении акустоэлектронных меток использовались стандартные пьезоэлектрические подложки YXl/128°-среза ниобата лития диаметром 76,2 мм. Чтобы обеспечить выполнение жестких требований, предъявляемых к точности воспроизведения топологического рисунка (до 100 нм), была введена операция по предварительной разбраковке пластин по скорости акустической волны с точностью $\pm 0,5$ м/с.

Фотошаблоны кодирования акустоэлектронных меток изготавливались на генераторе изображения ЭМ-5009 "напрямую", при этом точность получения требуемой частоты (875 МГц) достигалась увеличением кратности повторения периода в топологии.

Следует отметить, что при разработке топологии акустоэлектронных меток в информацию о фотошаблонах были заложены допуски на подтравливание структуры как на этапе изготовления фотошаблонов (допуск не более +0,2 мкм), так и в процессе фотолитографии (не более +0,6 мкм). Выходной контроль фотошаблонов производился с учетом этих допусков. Двойная засветка при экспонировании фотошаблонов позволила снизить дефектность по рабочему полю заготовки до 5%.

Рассмотрим особенности переноса топологического изображения с фотошаблона на поверхность пьезопластины. Пленки алюминия формировались на поверхности пьезоэлектрика методом магнетронно-вакуумного напыления на установке УВН-71. Источник ионов, имеющийся в установке, позволяет в одном процессе с напылением проводить и ионную очистку пластин, а магнетрон с горизонтальным расположением мишени и самарий-кобальтовыми магнитами обеспечивает получение равномерных по толщине пленок алюминия с высокой степенью адгезии.

Электродная структура на поверхности пьезоподложки формировалась методом обратной ("взрывной") фотолитографии на стандартном оборудовании "Лада-125". Пленка фоторезиста наносилась на центрифуге, подсушка (задубливание) фотослоя – в трехзонной ИК-печи при температурах в зонах 80–90–70°C, общее время задубливания 15 мин. Заданная геометрия элементов акустоэлектронной метки была получена подбором оптимальных режимов экспонирования на установке ЭМ-576 и режимов проявления экспонированного слоя в 1,3%-ном растворе гидроксида калия в течение 10–18 с. Последующее задубливание фотослоя также проводилось в ИК-печи при температурах в зонах 80–120–80°C, общая продолжительность процесса 25 мин.

Пленка алюминия удалялась при температуре 42°C в растворе азотная кислота, ортофосфорная кислота, 5%-ный раствор синтанола (пропорция 2:4:3), остатки фотослоя – в диметилформамиде при комнатной температуре. Толщина слоя алюминия контролировалась на микроскопе "МИИ-4", геометрические размеры элементов – на микроскопе "Биолан-М". Резка пластин на кристаллы акустоэлектронных меток различной разрядности осуществлялась на установке ЭМ-225.

Итак, разработаны базовая технология монтажа кристаллов акустоэлектронных меток на ПАВ (КМ-16, КМ-32, КМ-64, КМ-128) в керамике ЛТСС, а также принципы построения, методика расчета характеристик кристаллов акустоэлектронных меток различной разрядности на основе Р-матричного метода проектирования.

Работа выполнена при поддержке Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России ГК от 08.11.2011 г. № 114П.1006800.11.189.

Авторы благодарны академику Ю.В.Гуляеву, В.П.Комору, В.М.Мухортову за ценные замечания и обсуждение результатов работы, а также Г.Н.Егорову за помощь в изготовлении ЛТСС-корпусов акустоэлектронных меток.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Багдасарян С.А., Гуляев Ю.В.** Радиочастотная идентификация с использованием технологии ПАВ. – Наука и технологии в промышленности, 2005, №1, с.54–60.
2. **Багдасарян С.А.** ПАВ-Технологии в системах радиочастотной идентификации. – Электронная промышленность, 2004, №3, с.170–171.
3. **Багдасарян С.А., Гуляев Ю.В.** Акустоэлектронные технологии в радиочастотной идентификации. – Радиоэлектроника, 2005, № 4, с.24–32.
4. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А.** Радиочастотная идентификация с использованием технологии ПАВ. Сб. трудов Международной научно-технической конференции «Фундаментальные основы инженерных наук», М., 2006, т.1, с.11–21.
5. **Hartmann C.S.** A Global SAW ID Tag with Large Data Capacity, Reprint from Proceedings of 2002 IEEE Ultrasonics Symposium Munich, Germany, October, 2002.
6. **Чигиринский С.** Особенности и преимущества производства многослойных структур на основе керамики (ЛТСС, НТСС, МЛСС). – Компоненты и технологии, 2009, №11.
7. Патент РФ №2195069. Однонаправленный преобразователь поверхностных акустических волн. / Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл. Б.И. №35, 20.12.2002 г.